



Dissertation

Unterstützung expliziter Articulation Work Interaktive Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

o. Univ.-Prof. DI Dr. Christian Breiteneder
E188 – Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme

o. Univ.-Prof. DI Dr. Christian Stary
Institut für Wirtschaftsinformatik – Communications Engineering
Johannes Kepler Universität Linz

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Informatik

von

Stefan Oppl
0055503
Reithoffergasse 2d/3, 4400 Steyr

Diese Dissertation haben begutachtet

o. Univ.-Prof. DI Dr. Christian Breiteneder

o. Univ.-Prof. DI Dr. Christian Stary

Steyr, am 28. Juni 2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Steyr, am 28. Juni 2010

Kurzfassung

Der Erfolg von (kooperativer) Arbeit beruht auf einem gemeinsamen Verständnis der betroffenen Abläufe durch die beteiligten Personen. Dieses gemeinsame Verständnis wird der Theorie von Strauss zufolge durch die ständige und unbewusste Durchführung von Tätigkeiten zur Abstimmung mit anderen Individuen erreicht. Beim Auftreten von Situationen, die von den Beteiligten als komplex und problematisch wahrgenommen werden, müssen nach Strauss bewusst dezidierte Aktivitäten der Abstimmung und zum Erreichen einer gemeinsamen Sichtweise durchgeführt werden. Sowohl die Identifikation der Notwendigkeit von Abstimmungsaktivitäten als auch deren Durchführung werden maßgeblich von den individuellen Wahrnehmungen der beteiligten Personen beeinflusst. Auf diesen Aspekt geht Strauss nicht ein, so dass auch Arbeiten, die sich bei der Entwicklung von Instrumenten der Unterstützung der Abstimmung auf dessen Arbeiten beziehen, die individuelle Dimension nicht explizit berücksichtigen. Wird diese individuelle Dimension ignoriert, so hat dies negative Auswirkungen auf das Arbeitsergebnis. Ziel dieser Arbeit ist deshalb die Unterstützung der Abstimmungsprozesse über Arbeitsabläufe unter expliziter Berücksichtigung der Bedürfnisse der beteiligten Individuen. Zu diesem Zweck werden Methoden aus der Theorie der mentalen Modelle nach Johnson-Laird mit den Anforderungen aus der Abstimmung von Arbeitsabläufen zusammengeführt.

Um die Abstimmung zu unterstützen, setzt der hier vorgestellte Ansatz die kooperative Bildung und Diskussion diagrammatischer Modelle ein. Dieser Zugang ist aus der Theorie der Bildung und Veränderung mentaler Modelle abgeleitet. Die Externalisierung der mentalen Modelle in Form von diagrammatischen Modellen ist nach Seel ein Weg zur Reflexion und Kommunikation derselben und ermöglicht so die Entwicklung einer gemeinsamen Sichtweise auf den kooperativen Arbeitsablauf. Methodisch baut die Arbeit auf Strukturlegetechniken und Concept Mapping auf, welche sich zur Externalisierung mentaler Modelle eignen. Die dort vorgeschlagenen Methoden werden unter Bezugnahme auf die Abstimmung von individuellen Sichtweisen auf Arbeitsabläufe zusammengeführt. Wesentlich für die kooperative Anwendung ist deren Durchführung auf einer durch mehrere Personen unmittelbar und gleichzeitig manipulierbaren Modellierungsoberfläche. Die entwickelte Methodik wird deshalb durch ein Tabletop Interface – eine horizontale Interaktionsoberfläche mit rechnerbasierten Unterstützungsfunktionen – zu einem Instrument ergänzt, mit dem die Durchführung von Abstimmungsaktivitäten unterstützt werden kann.

Das Tabletop Interface ermöglicht die kooperative Bildung von Modellen mittels physischen Bausteinen, die auf der Interaktionsoberfläche platziert werden. Das Modell kann so unmittelbar und simultan von mehreren Personen erfasst und manipuliert werden. Technologisch basiert das System auf der Identifikation der Bausteine mittels Markern, die durch eine Kamera in Echtzeit erfasst werden. Die erfasste Information wird durch das System interpretiert, so dass Aktivitäten zur Modellbildung identifiziert werden können. Die Darstellung von Information zum erstellten Modell erfolgt durch Rückprojektion

auf die Interaktionsoberfläche und einen Bildschirm, der als erweiterter Ausgabekanal für nicht auf der Oberfläche darstellbare Information dient. Durch zusätzliche Rechnerunterstützung werden kooperationsunterstützende Maßnahmen wie die Wiederherstellung vergangener Modellzustände ermöglicht. Die persistente Ablage der erstellten Modelle erfolgt als Topic Map, einem standardisierten Datenformat zur flexiblen Repräsentation semantischer Netze, das eine Wieder- und Weiterverwendbarkeit der erstellten Modelle gewährleistet.

Die Effektivität der Unterstützung von Abstimmungsaktivitäten durch das System wird im Rahmen einer empirischen Untersuchung untersucht. Dabei wird die Verwendbarkeit des interaktiven Systems selbst, dessen Nutzen bei der Abstimmung mentaler Modelle sowie letztendlich die Auswirkungen bei der Durchführung von Abstimmungsaktivitäten in Arbeitsprozessen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das Werkzeug verständlich und benutzbar ist und das Instrument in seiner Gesamtheit sowohl positive Wirkungen auf die Kooperation zwischen den beteiligten Personen hat als auch die Bildung einer gemeinsamen Sichtweise auf den betrachteten Arbeitsablauf hat.

Abstract

Successful (cooperative) work requires that the involved workers develop a common understanding of the modalities of their interaction. According to Strauss, common understanding emerges from continuously and unconsciously conducted activities for alignment of understanding. In situation perceived to be complex or problematic by the involved persons, Strauss suggests that alignment activities have to be triggered and conducted deliberately. Individual perceptions affect both, the identification of the need for alignment and alignment itself. Strauss does not explicitly address this aspect in his theory. Approaches that support alignment based upon Strauss' work thus also largely ignore the individual, cognitive dimension of alignment. Ignoring the individual dimension, however, has negative impact on the success of work processes. Accordingly, this work aims at extending the scope of alignment support by explicitly considering the perceptions and needs of individuals. The theory of mental models here is used to extend Strauss' concepts and develop effective support for developing a common understanding of work processes.

Following the theory of mental model development by Seel, the cooperative creation of diagrammatic models as representations of mental models can aid their alignment and the development of a common understanding. Suitable methods for building representations of mental models include structure elaboration techniques and concept mapping. Both methods have properties that support the cooperative creation of models. In this work, they are integrated to form a method that is useable in the context of the alignment of cooperative work. The main feature for cooperation support is that modeling takes place on a simultaneously accessible and physically manipulable modeling surface. The method thus is complemented with a tabletop interface – a horizontally mounted interaction surface that is augmented with computer support – to effectively support the alignment of individual views on cooperative work processes.

Tangible tokens are used to cooperatively build models on the interaction surface. By physically placing the tokens, the model can be manipulated simultaneously by several people. Token identification is based on visual markers that are tracked by a camera in real time. The gathered information is interpreted by the system to identify modeling activities. Model information is displayed by back-projecting it onto the surface from underneath. An additional screen is provided as an additional output channel for information that cannot be displayed directly on the interaction surface. Cooperation is further supported by additional features like reconstruction support for former model states. Persistent model representation is based upon the standardized XML Topic Map format, which allows for a reusable, self-contained representation of generic semantic networks.

The system's effectiveness in supporting the alignment of work is tested in an empirical study. In three steps, the system's usability, its effects on the alignment of mental

models and the effectiveness in supporting the development of a common understanding of work processes are examined. The results of the study show that the system is comprehensible and useable. Positive effects on both, the cooperation among people during modeling and the alignment of individual views of cooperative work, have been observed.

für
Felix und Sabrina

Vorwort

Arbeiten wie diese entstehen nie ohne Unterstützung und Einfluss von außen. Zahlreiche Menschen haben mich auf meinem Weg zum Abschluss dieser Arbeit begleitet. Diesen Menschen möchte ich an dieser Stelle danken.

Prof. Alois Ferscha habe ich zu verdanken, dass sich das Feld der Forschung als persönliche und berufliche Perspektive für mich auftat. Er nahm mich noch während meines Informatik-Studiums an seinem Institut auf und ermöglichte mir erste Erfahrungen im wissenschaftlichen Alltag zu sammeln. Für seine Anleitung und Unterstützung möchte ich mich bedanken.

Andreas Auinger hat mir den Weg in die interdisziplinäre Forschung eröffnet, indem er zum richtigen Zeitpunkt an mich dachte und mich für meine heutige Stelle vorschlug. Er stand mir danach als Bürokollege und Freund mit Rat und Tat zur Seite und ist mir auch heute noch ein wichtiger Diskussionspartner. Meinen ehemaligen Kollegen Peter Eberle und Jeannette Hemmecke danke ich für die Erweiterung meines fachlichen Horizonts, die Rückspiegelung meiner Arbeit aus anderen Disziplinen und ihren methodischen Input zu den Grundlagen und zum empirischen Teil dieser Arbeit. In Peter Eberles Garage entstand außerdem unter seiner federführenden Mitwirkung der Tisch, der ein zentrales Element des hier vorgestellten Systems ist. Simon Vogl begleitet mich seit Beginn meiner Tätigkeit an der Universität Linz und trug mit seinen Ideen und technischen Kenntnissen wesentlich zum aktuellen Entwicklungsstand des hier vorgestellten Werkzeugs bei. Matthias Neubauer war und ist mir als Studierender, Diplomand und nun Kollege eine große Stütze, wertvoller Diskussionspartner und Freund.

Auch meinen übrigen ehemaligen und aktuellen Arbeitskollegen gebührt Dank für ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Bereitschaft, meine Experimente über sich ergehen zu lassen. An dieser Stelle ist auch den unzähligen Studierenden zu danken, die an der Evaluierung des entwickelten Werkzeugs mitgewirkt haben. Ohne die Unterstützung meiner Diplomanden Florian Furtmüller, Thomas Feiner, Matthias Neubauer, Josef Bohninger, Daniel Bindreiter und Patrick Wahlmüller wäre das Werkzeug heute funktional nicht so erweiterbar und so umfassend evaluiert, wie es sich nun darstellt.

Prof. Christian Stary hat mich in den vergangenen fünf Jahren in meiner Denk- und Arbeitsweise geprägt und diese fundamental verändert. Seiner Führung und Anleitung ohne Vorgaben zu machen, seinem Vorbild und seiner Sichtweise auf wissenschaftliche Arbeit ist es zu verdanken, dass diese Dissertation in der vorliegenden Form fertiggestellt wurde. Er hat mir ermöglicht, meinen fachlichen Horizont zu erweitern, über den Tellerrand der Informatik hinaus zu sehen und „Unberechenbarkeit“ als wesentliches Prinzip der Wissenschaften und den dort handelnden Akteuren zu erkennen. Nicht nur in Forschung und Lehre habe ich von ihm fürs Leben gelernt.

Prof. Christian Breiteneder hat mich in seiner Arbeitsgruppe an der TU Wien aufgenommen, als meine interdisziplinären Ansprüche die Möglichkeiten an der Kepler Uni-

versität Linz überstiegen. Für seine Offenheit, seine jederzeitige Bereitschaft zur Unterstützung und die Begutachtung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Prof. Markus Peschl danke ich für die zahlreichen Diskussionen, die Motivation in Zeiten, in denen kein Fortschritt erkennbar war und der Möglichkeit, mein System in einem Beitrag zu seinem Buch über Kognition und Technologie im kooperativen Lernen zu beschreiben. Dieser Beitrag bildete den Nukleus für die Niederschrift der Dissertation und zwang mich, endlich mit dem Explizieren meiner Arbeit zu beginnen. Die leider viel zu seltenen Treffen mit Prof. Tom Gross und Jürgen Steinle waren stets motivierend für mich und bestärkten mich, die Dissertation endlich zu einem guten Abschluss zu bringen.

Neben all diesen Personen aus dem beruflichen Umfeld gebührt vor allem meiner Familie besonderer Dank. Meine Eltern haben mir meine Neugier mit auf den Weg gegeben, mir meine Ausbildung ermöglicht und mich immer in meinen Entscheidungen bestärkt. Meiner Mutter danke ich außerdem für die tagelange akribische Korrektur dieser Arbeit, durch die der Lesefluss nun nicht mehr durch Buchstabendreher und verirrte Beistriche beeinträchtigt wird.

Sabrina hat mit mir seit nunmehr beinahe 10 Jahren alle privaten und beruflichen Höhen gefeiert und Tiefen durchgestanden. Sie ergänzt und kompensiert meine chaotische Ader perfekt und hat mir wann immer notwendig die vollkommene Vertiefung in die Arbeit an meiner Dissertation ermöglicht. Gleichzeitig hat sie immer dafür gesorgt, dass ich das „echte“ Leben nicht aus den Augen verliere und war dann ein Regulativ, wenn mir der Blick für die Verhältnismäßigkeit meines Tuns abhanden kam. Danke für deine Unterstützung und dein Verständnis.

Seit zweieinhalb Jahren zeigt mir Felix, was im Leben wirklich wesentlich ist. Sein sonniges Gemüt und seine bedingungslose Liebe waren und sind mir ein stetiger Quell der Freude und Motivation.

Steyr, am 28. Juni 2010

Inhaltsübersicht

1. Einführung	1
I. Methoden zur Unterstützung der Abstimmung kooperativer Arbeit	19
2. Articulation Work	22
3. Mentale Modelle	76
4. Methodik und Anwendungsszenarien	98
II. Interaktive Externalisierung und Abstimmung	112
5. Anforderungen an ein Werkzeug	115
6. Grundlagen der Realisierung und verwandte Arbeiten	121
7. Eingabe und Interpretation	173
8. Ausgabe	238
9. Persistierung	271
III. Evaluierung des Instruments	300
10. Konzeptuelle Einordnung des Werkzeugs	302

11. Überblick über die empirische Untersuchung	328
12. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs	352
13. Evaluierung der Anwendung des Instruments	399
14. Evaluierung der durchgeführten Articulation Work	431
15. Schlussbetrachtungen	452
Anhang	476
A. Literatur zum Themengebiet Articulation Work	477
B. Daten der empirischen Untersuchung	492
Verzeichnisse	532
Abbildungsverzeichnis	532
Tabellenverzeichnis	535
Abkürzungsverzeichnis	537
Bildquellen	539
Publikationen im Kontext dieser Arbeit	542
Literaturverzeichnis	545
Lebenslauf	566



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1. Forschungsfragen	5
1.2. Aufbau der Arbeit	10
1.2.1. Überblick	10
1.2.2. Zusammenfassung der Zusammenhänge	11
I. Methoden zur Unterstützung der Abstimmung kooperativer Arbeit	19
2. Articulation Work	22
2.1. Begriffsbestimmung	22
2.2. Ausprägungen von Articulation Work	25
2.2.1. Unterscheidung nach Fjuk, Smørdal und Nurminen	28
2.2.2. Unterscheidung nach Hampson und Junor	31
2.2.3. Unterscheidung nach Færgemann et al.	33
2.2.4. Zusammenfassung	34
2.3. Abzustimmende Arbeitsaspekte	41
2.4. Unterstützung von Articulation Work	43
2.4.1. Vorgehen zur detaillierten Betrachtung	44
2.4.2. Modeling Articulation Work in Software Engineering Processes	45
2.4.3. Taking CSCW seriously: Supporting Articulation Work	48
2.4.4. Supporting articulation work using software configuration management systems	50
2.4.5. Coordination Mechanisms: Towards a Conceptual Foundation of CSCW Systems Design	52
2.4.6. Taking Articulation Work Seriously: An Activity Theoretical Approach	55
2.4.7. TeamSpace: an environment for team articulation work and virtual meetings	57
2.4.8. Supporting different dimensions of adaptability in workflow modeling	58

2.4.9.	Mundane knowledge management and microlevel organizational learning: An ethological approach	60
2.4.10.	Modelling Cooperative Work: Chances and Risks of Structuring	61
2.4.11.	Recursive Articulation Work in Ariadne: The Alignment of Meanings	64
2.4.12.	Combining Communication and Coordination Toward Articulation of Collaborative Activities	66
2.4.13.	Interactive Process Models	67
2.4.14.	Torres, a Conceptual Framework for Articulation Work across Boundaries	69
2.4.15.	Gegenüberstellung und Zusammenfassung	70
2.5.	Thought processes und Articulation Work	72
2.6.	Zusammenfassung	73
2.6.1.	Beitrag zur globalen Zielsetzung	74
2.6.2.	Weitere Verwendung der Ergebnisse	74
3.	Mentale Modelle	76
3.1.	Articulation Work und mentale Modelle	77
3.2.	Begriffsbestimmung	77
3.3.	Bildung und Veränderung mentaler Modelle	80
3.4.	Externalisierung mentaler Modelle	84
3.4.1.	Methode des lauten Denkens	86
3.4.2.	Strukturlegetechniken	89
3.4.3.	Concept Mapping	92
3.5.	Zusammenfassung	95
3.5.1.	Beitrag zur globalen Zielsetzung	96
3.5.2.	Weitere Verwendung der Ergebnisse	97
4.	Methodik und Anwendungsszenarien	98
4.1.	Durchführungsrahmen	99
4.2.	Vorgehen	100
4.2.1.	Einarbeitung	102
4.2.2.	Konzeptsammlung	103
4.2.3.	Konzeptstrukturierung	104
4.2.4.	Restrukturierung	104
4.3.	Anwendungsszenarien	105
4.3.1.	Verfeinerung mentaler Modelle	106
4.3.2.	Wissenstransfer	107
4.3.3.	Abstimmung mentaler Modelle	108
4.3.4.	Aushandlung mentaler Modelle	109
4.4.	Zusammenfassung	110
4.4.1.	Beitrag zur globalen Zielsetzung	110

4.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse 111

II. Interaktive Externalisierung und Abstimmung 112

5. Anforderungen an ein Werkzeug 115

5.1. Anforderungen aus Strukturlegetechniken 116
5.2. Anforderungen aus Concept Mapping 116
5.3. Anforderungen aus Articulation Work 117
5.4. Grundlegende Technologieentscheidung 118
5.5. Zusammenfassung 119
5.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung 119
5.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse 119

6. Grundlagen der Realisierung und verwandte Arbeiten 121

6.1. Historischer Überblick 121
6.2. Lernprozesse und Tangible Interfaces 123
6.3. Kooperation und Tangible Interfaces 125
6.3.1. Intuitive und simultane Manipulierbarkeit 126
6.3.2. Fokus-stärkende Wirkung 127
6.3.3. Awareness, Gestik und performative Bedeutung der Handlungen . 128
6.3.4. Externalisierungsfunktion und Rolle als Boundary Object 128
6.3.5. Implikationen 129
6.4. Konzeptualisierung und Klassifikation von Tangible Interfaces 130
6.4.1. Bricks 132
6.4.2. Graspable User Interfaces 134
6.4.3. Tangible Bits 135
6.4.4. Containers, Tokens und Tools 137
6.4.5. Tangible Objects Meaning 139
6.4.6. Das MCRpd Interaktions-Modell 140
6.4.7. Tokens und Constraints nach Ullmer 143
6.4.8. Degree of Coherence 145
6.4.9. Tokens und Constraints nach Shaer et al. 147
6.4.10. Kategorien von TUI-Anwendungen 149
6.4.11. Taxonomie für Tangible User Interfaces 150
6.4.12. Tangible Bits: Beyond Pixels 152
6.4.13. Zusammenfassung 156
6.5. Tabletop Interfaces 162
6.5.1. Historische Entwicklung 162
6.5.2. Aktuelle Plattformen 164
6.6. Tabletop Interfaces zur Erstellung diagrammatischer Modelle 166
6.6.1. Historische Entwicklung 166

6.6.2.	Aktuelle verwandte Ansätze	168
6.7.	Zusammenfassung	170
6.7.1.	Beitrag zur globalen Zielsetzung	171
6.7.2.	Weitere Verwendung der Ergebnisse	171
7.	Eingabe und Interpretation	173
7.1.	Möglichkeiten zur Erfassung von Benutzerinteraktion	174
7.1.1.	In Frage kommende technologische Ansätze	174
7.1.2.	In Frage kommende Frameworks	181
7.1.3.	Technologieentscheidung	190
7.2.	Konzeption und Umsetzung der Hardwarekomponenten	196
7.2.1.	Überblick	197
7.2.2.	Tokens und Input-Werkzeuge	198
7.2.3.	Eingabe auf der Tischoberfläche	208
7.3.	Benutzerinteraktion mit dem Werkzeug	211
7.3.1.	Hinzufügen und Verändern von Modellelementen	211
7.3.2.	Benennen von Modellelementen	212
7.3.3.	Verbinden von Modellelementen	213
7.3.4.	Löschen von Elementen und Verbindungen	215
7.3.5.	Einbettung von Zusatzinformation	215
7.3.6.	Kontrolle der Modellierungshistorie	217
7.4.	Erfassung der Benutzerinteraktion durch Software	218
7.4.1.	Interpretation der Rohdaten	219
7.4.2.	Stabilisierung der Erkennungsleistung	221
7.4.3.	Erkennung von Markierungen und Verbindungen	226
7.4.4.	Erkennung von geöffneten Tokens	228
7.4.5.	Benennung von Modellelementen	231
7.4.6.	Festlegung der Bedeutung von Modellelementen	233
7.4.7.	Tracking des Modellzustandes	233
7.4.8.	Verteilung des Modellzustandes	235
7.5.	Zusammenfassung	236
7.5.1.	Beitrag zur globalen Zielsetzung	237
7.5.2.	Weitere Verwendung der Ergebnisse	237
8.	Ausgabe	238
8.1.	Auszugebende Information	239
8.2.	Technologische Grundlage der Ausgabe	239
8.2.1.	Ansätze zur kohärenten Ausgabe	240
8.2.2.	Ansätze zur entkoppelten Ausgabe	243
8.2.3.	Technologie-Entscheidung	245
8.2.4.	Frameworks zur Ausgabe	247
8.3.	Ausgabe von Information	250

8.3.1. Konzept	250
8.3.2. Architektur	252
8.3.3. Ausgabe von Information zum Modell	253
8.3.4. Ausgabe zur Kontrolle des Systems	258
8.4. Umsetzung der Ausgabe mit Software	263
8.4.1. Ausgabe des Modellzustands	265
8.4.2. Ausgabe der Modellierungshistorie	266
8.4.3. Umsetzung der Wiederherstellungsunterstützung	267
8.5. Zusammenfassung	269
8.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	270
8.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	270
9. Persistierung	271
9.1. Topic Maps	272
9.1.1. Topics, Subjects, Topic Names und Variants	275
9.1.2. Associations und Roles	277
9.1.3. Occurrences und Datatypes	277
9.1.4. Metamodellierung in Topic Maps	278
9.1.5. Statements und Scopes	281
9.1.6. Reification	282
9.1.7. Merging	283
9.2. Abbildung von Modellen auf Topic Maps	283
9.2.1. Grundlegende Abbildung	284
9.2.2. Abbildung des Metamodells	285
9.2.3. Abgrenzung von Submodellen	288
9.2.4. Flexibilisierung der Abbildung	290
9.3. Technische Umsetzung der Persistierung von Modellen	290
9.3.1. Topic Map Engine	291
9.3.2. Dynamische Metamodelle	293
9.4. Export graphischer Repräsentationen	294
9.4.1. Ausgabeformen	294
9.4.2. Technische Umsetzung des graphischen Exports	296
9.5. Zusammenfassung	298
9.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	299
9.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	299
 III. Evaluierung des Instruments	 300
 10. Konzeptuelle Einordnung des Werkzeugs	 302
10.1. Einordnung in den Bricks-Designraum	302
10.2. Bestimmung der Eigenschaften des Graspable User Interfaces Ansatz	305

10.3. Betrachtung im Lichte des Tangible Bits Ansatzes	306
10.4. Einordnung in das Ordnungssystem von Holmquist et al.	308
10.5. Einordnung in das Object-Meaning-Kontinuum	309
10.6. Betrachtung im Lichte des MCRpd-Modells	310
10.7. Einordnung in den Tokens+Constraints Kontext	312
10.8. Einordnung in das Framework nach Koleva et al.	314
10.9. Spezifikation des TAC-Schemas nach Shaer et al.	316
10.10. Einordnung in die Kategorien von TUI-Anwendungen	319
10.11. Einordnung in die Taxonomie von Fishkin	320
10.12. Betrachtung im Lichte der Retrospektive von Ishii	324
10.13. Zusammenfassung	325
10.13.1. Eignung der konzeptuellen Ansätze zur Beschreibung von TUIs	325
10.13.2. Verbesserungspotential für das Werkzeug	326
10.13.3. Beitrag zur globalen Zielsetzung	327
10.13.4. Weitere Verwendung der Ergebnisse	327
11. Überblick über die empirische Untersuchung	328
11.1. Zu untersuchende Aspekte	329
11.1.1. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs	330
11.1.2. Evaluierung der Modellbildung	330
11.1.3. Evaluierung der Effekte der Articulation Work	331
11.2. Globales Untersuchungsdesign	332
11.2.1. Block 1: Technische Evaluierung	333
11.2.2. Block 2: Aushandlung von Zusammenarbeit 1	335
11.2.3. Block 3: Concept Mapping 1	337
11.2.4. Block 4: Aushandlung von Zusammenarbeit 2	339
11.2.5. Block 5: Concept Mapping 2	341
11.3. Eingesetzte Werkzeuge und Verfahren	343
11.3.1. Werkzeuge	344
11.3.2. Signifikanztests	344
11.3.3. Korrelationstest	346
11.3.4. Fragebögen	347
11.3.5. Interaktionsanalyse	348
11.4. Zusammenfassung	349
11.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	350
11.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	351
12. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs	352
12.1. Hypothesen	353
12.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen	353
12.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen	355
12.2. Untersuchungsdesign und Durchführung	357

12.2.1. Operationalisierung	357
12.2.2. Durchführung	361
12.3. Ergebnisse	364
12.3.1. Repräsentation diagrammatischer Modelle	364
12.3.2. Kooperatives Arbeiten	366
12.3.3. Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kontexten	373
12.3.4. Wiederherstellung vergangener Modellzustände	376
12.3.5. Nicht-Behinderung	378
12.3.6. Gewöhnung an das Werkzeug	385
12.3.7. Herstellung von Verbindern	388
12.3.8. Verwendung des Löschtokens	391
12.4. Zusammenfassung	395
12.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	398
12.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	398
13. Evaluierung der Anwendung des Instruments	399
13.1. Hypothesen	400
13.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen	400
13.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen	402
13.2. Untersuchungsdesign und Durchführung	402
13.2.1. Operationalisierung	403
13.2.2. Durchführung	407
13.3. Ergebnisse	411
13.3.1. Keine semantische Einschränkung der Externalisierung	411
13.3.2. Repräsentation beliebig umfangreicher Modelle	415
13.3.3. Reflexion des Modellierungsverlaufs	417
13.3.4. Wirkung auf die Kooperation bei der Modellerstellung	420
13.3.5. Abbildung von Zusammenhängen ohne Verbinder	424
13.4. Zusammenfassung	428
13.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	429
13.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	430
14. Evaluierung der durchgeführten Articulation Work	431
14.1. Hypothesen	432
14.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen	432
14.2. Untersuchungsdesign und Durchführung	433
14.2.1. Operationalisierung	433
14.2.2. Durchführung	435
14.3. Ergebnisse	436
14.3.1. Abstimmung individueller Modelle	436
14.3.2. Auswirkungen auf die Ergebnisse kooperativer Arbeit	441
14.4. Zusammenfassung	449

14.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung	451
14.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse	451
15. Schlussbetrachtungen	452
15.1. Zusammenfassung der Argumentation	453
15.2. Zusammenfassung der Evaluierung	455
15.2.1. Empirische Untersuchung	455
15.2.2. Gegenüberstellung der empirischen und konzeptuellen Untersuchung	457
15.3. Erfüllung der Anforderungen an das Werkzeug	460
15.4. Bewertung hinsichtlich der globalen Zielsetzung	465
15.4.1. Wie kann die Durchführung und Wirkung von „Articulation Work“ charakterisiert werden?	466
15.4.2. Wie kann explizite „Articulation Work“ effektiv unterstützt werden?	467
15.4.3. Globale Zielsetzung	470
15.5. Offene Aspekte und Entwicklungspotential	471
15.5.1. Entwicklungspotential des Werkzeugs	472
15.5.2. Prüfung der effektiven Unterstützung	473
15.5.3. Alternative Anwendungsfelder	474
15.6. Schluss	475
Anhang	476
A. Literatur zum Themengebiet Articulation Work	477
A.1. Literaturquellen	477
A.2. Relevante Literatur	478
B. Daten der empirischen Untersuchung	492
B.1. Verfügbare Rohdaten	492
B.2. Durchgeführte Auswertungen	493
B.2.1. Überblicksauswertung	494
B.2.2. Interaktionsanalyse	495
B.2.3. Deskriptive Parameter	495
B.2.4. Signifikanztests	497
B.2.5. Codierung offener Items	497
B.3. Verwendete Fragebögen	497
B.3.1. Fragebögen aus Evaluierungsblock 1	498
B.3.2. Fragebögen aus Evaluierungsblock 4	506
B.3.3. Fragebögen aus Evaluierungsblock 5	523
Verzeichnisse	532

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	532
Tabellenverzeichnis	535
Abkürzungsverzeichnis	537
Bildquellen	539
Publikationen im Kontext dieser Arbeit	542
Literaturverzeichnis	545
Lebenslauf	566

1. Einführung

„No one person embodies the requisite knowledge to comprehend complex organizational problems, or the requisite variety to clarify equivocal issues“ (Tyre und Von Hippel, 1997)

An dieser Aussage begründen Tyre und Von Hippel die unbedingte Notwendigkeit zur Kooperation bei der Durchführung von Arbeit in Organisationen. Arbeit in Organisation ist ein inhärent kooperatives System (Helmberger und Hoos, 1962) zur Erreichung eines Ziels (Semmer und Udris, 2004), in dem das Ziel nur durch das Zusammenwirken der Beiträge aller beteiligten Individuen erreicht werden kann (Strauss, 1985) (Tyre und Von Hippel, 1997). Diese Individuen haben unterschiedliche Kenntnisse, Fähigkeiten und Interessen, die zusammengeführt und aufeinander abgestimmt werden müssen um Kooperation zu ermöglichen (Schmidt, 1994).

Griffin und Hauser (1992) fassen in ihrer Arbeit eine Reihe von Studien zusammen, die eine starke Korrelation zwischen funktionierender Kommunikation und Kooperation in Unternehmen und dem Erfolg neuer Produkte belegen. Auch bei Untersuchungen von Arbeitsabläufen selbst konnte die Relevanz von Kooperation zwischen Individuen bestätigt werden. Hinsichtlich der Relevanz von Kooperation zwischen Organisationen beschreiben Kumar und Van Dissel (1996) die Risiken, die in organisationsübergreifenden Arbeitsprozessen auftreten können. Sowohl in klassischen organisationsübergreifenden Wertschöpfungsketten als auch in stärker vernetzten Organisationen sind den Autoren zufolge potentiellen Kosten der Kooperation zwischen den beteiligten Instanzen im Allgemeinen als das Auftretens von unterschiedlichen Interpretationen der Modalitäten der Zusammenarbeit im Speziellen wesentliche zu berücksichtigende Aspekte. Tsai (2002) zeigt in einer empirischen Studie die positive Wirkung von kooperationsfördernden Maßnahmen auch für Anwendungsfälle innerhalb von Organisationen. Insbesondere Tätigkeiten zur Wissensteilung und Informationsaustausch können sich demnach positiv auf Fähigkeiten der Organisation („organizational capabilities“) auswirken. Phua und Rowlinson (2004) weisen die Relevanz von Kooperation auf Ebene der beteiligten Personen für Projekte im Baugewerbe empirisch nach. Roy (2001) zeigt anhand von Studien, dass die Abstimmung der Zusammenarbeit in Organisationen ein kritischer Erfolgsfaktor ist. Erfolgt sie nicht oder ist sie nicht erfolgreich, so leidet darunter die Fähigkeit zur Zielerreichung. Individuen, die ähnliche Denkmuster („cognitive processes“) entwickelt haben, arbeiten besser zusammen und liefern bessere Ergebnisse, als Gruppen, in denen dies nicht der Fall ist (Roy, 2001).

Eine Beschäftigung mit den Möglichkeiten zur Unterstützung kooperativer Arbeit und der Verbesserung derselben ist deshalb ein vielfach adressiertes Thema der Forschung vor allem in der Soziologie (etwa Strauss (1993) oder Suchman (1995)) oder den Organisationswissenschaften (etwa Argyris und Schön (1978), Kim (1993) oder Firestone und McElroy (2003)) und führte auch zur Bildung neuer Forschungsfelder wie der „Computer-supported Cooperative Work“ (CSCW – nach Grudin (1994) etwa ab Mitte der 1980er-Jahre). Die Einbindung von Informationstechnologie zur Unterstützung kooperativer Arbeit eröffnet neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit und beseitigte viele Hindernisse – vor allem jene im Zusammenhang, die im Zusammenhang mit Kommunikation und der Verfügbarkeit von Information stehen (Grudin, 1988). Bei der Entwicklung von Systemen, die kooperative Arbeit unterstützen, müssen nach Grudin (1988) zwei Aspekte beachtet werden: der Verständnis der zu unterstützenden Phänomene und Abläufe in der Arbeitsrealität der betroffenen Personen¹ sowie das Verständnis der Arbeitsweise der betroffenen Individuen selbst².

Ein Ansatz, der im Rahmen von CSCW zur Erklärung kooperativer Arbeit und zur Ableitung von Unterstützungsmaßnahmen herangezogen wurde Schmidt und Bannon (1992), ist das Konzept der „Articulation Work“ Strauss (1985). „Articulation Work“ erklärt die nach Roy (2001) – wie oben zitiert – erfolgskritischen Prozesse der Abstimmung von Zusammenarbeit und bildet die Grundlage für eine Vielzahl von Ansätzen zur Unterstützung derselben (etwa (Cabitza et al., 2006), Raposo et al. (2004) oder Davenport (2002)). In der Literatur sind jedoch keine Arbeiten zu identifizieren, die den Zusammenhang zwischen der Verwendung von „Articulation Work“ als Grundlage der Entwicklung von Unterstützungsmaßnahmen und der Berücksichtigung beider von Grudin (1988) formulierten Forderungen untersuchen bzw. bestätigen. Dies ist jedoch notwendig, um die Unterstützung kooperativer Arbeit in ihrer Gesamtheit – also unter Berücksichtigung sowohl der kooperativen Arbeitsprozesse sowie der Beiträge der beteiligten Individuen – sicherstellen zu können (Grudin, 1988).

Das Konzept „Articulation Work“ wird von Strauss (1985) zur Beschreibung der unterschiedlichen Qualitäten von Tätigkeiten im Rahmen kooperativer Arbeit eingeführt. Es werden damit all jene Tätigkeiten erfasst, die der Planung und gegenseitigen Abstimmung kooperativer Arbeit sowie der Auflösung etwaig auftretender Unklarheiten oder Hindernisse bei der Zielerreichung dienen. Komplementär dazu bezeichnet Fujimura (1987) jenen Anteil an Arbeit, der der unmittelbaren Zielerreichung bzw. der Wertschöpfung dient, als „Production Work“. Im Sinne von Strauss dient die „Articulation Work“ also dazu, die „Production Work“ zu ermöglichen und aufrecht zu erhalten oder deren

¹ „We need to have a better understanding of how groups and organizations function and evolve than is reflected in most of the systems that have been developed. [...] [One approach is to] start out with a problem situation defined by workers, and work beside them a long time in order to develop a new system that is 'owned' by the workers...“ (Grudin, 1988, S.90)

² „If we are going to support groups that include any diversity at all, we will have to learn much more about how different kinds of people work.“ (Grudin, 1988, S.91)

Durchführbarkeit wieder herzustellen. Entsprechend der Grundannahme von (Strauss, 1985), dass jeder Arbeitsablauf ein inhärent kooperativer Vorgang ist, ermöglicht bzw. erhält „Articulation Work“ also eine funktionierende Kommunikation und Zusammenarbeit in Arbeitsabläufen. Zentral ist dabei vor allem die gegenseitigen Offenlegung der Annahmen aller beteiligten Personen, die den individuellen Arbeitsbeiträgen zugrunde liegen³. Die Arbeiten von Strauss haben rein deskriptiven Charakter, sie beschreiben das beobachtbare Phänomen des Auftretens von „Articulation Work“, treffen aber keine Aussagen über deren Wirkmechanismen oder etwaige Möglichkeiten zur Unterstützung derselben.

„Articulation Work“ ist nach Strauss integraler Bestandteil jedes kooperativen Arbeitsablaufs. Jene sozialen, unbewusst ausgeführten Tätigkeiten, die der Abstimmung der individuellen Arbeitsbeiträge dienen, bezeichnet Strauss (1988) bzw. Fjuk et al. (1997) als *implizite* „Articulation Work“. Mit steigender Komplexität der „Production Work“ steigt auch der Aufwand der dazu notwendigen „Articulation Work“ an (Strauss, 1988). Die Komplexität steigt hier mit der Anzahl der benötigten Arbeitsschritte, den dazu benötigten Kompetenzen und der Anzahl der involvierten Personen. Je komplexer („problematic“) eine Interaktion ist, desto notwendiger wird nach (Strauss, 1988) eine explizite Beschäftigung mit dem Vorgang der Artikulation. Werden Tätigkeiten in diesem Rahmen bewusst durchgeführt, so spricht man von *expliziter* „Articulation Work“ (Strauss, 1988) (Fjuk et al., 1997).

Der Begriff der „problematischen Interaktion“ bedarf einer näheren Betrachtung, um als Kriterium der Abgrenzung zwischen impliziter und expliziter „Articulation Work“ herangezogen werden zu können. Strauss zitiert diesbezüglich Hughes unmittelbar nach seiner Definition von „problematic interaction“: „[O]ne man’s routine of work is made up of the emergencies of other people“ (Hughes, 1971, zitiert nach (Strauss, 1993)). Das Merkmal, an dem die Notwendigkeit der Durchführung expliziter „Articulation Work“ begründet wird, ist demnach also ausschließlich durch individuelle Wahrnehmung beurteilbar. Die bewusste Durchführung von Abstimmungsaktivitäten ist immer dann notwendig, wenn zumindest eine der beteiligten Personen die Arbeitssituation als „problematisch“ wahrnimmt. Wie bereits oben erwähnt, beschreibt Strauss in seinen Arbeiten zwar das Phänomen „Articulation Work“ und dessen Wirkung (also im Wesentlichen *was* „Articulation Work“ ist), verzichtet aber auf eine detaillierte Betrachtung der Abläufe und Tätigkeiten bei der Durchführung der derselben (also *wie* „Articulation Work“ funktioniert). Insbesondere ignoriert er den individuellen Aspekt von „Articulation Work“, also jene die kognitiven Phänomene, die durch „Articulation Work“ beeinflusst werden bzw. die die Auslöser für deren Durchführung sind. Strauss ist sich dieser Auslassung

³ „Reconciling incommensurate assumptions and procedures in the absence of enforceable standards is the essence of articulation.“ (Gerson und Star, 1986, S. 266)

bewusst⁴, und bezeichnet diese kognitiven Vorgänge in späteren Arbeiten (etwa (Strauss, 1993)) als wichtig für das Verständnis der Abläufe bei der Durchführung von „Articulation Work“, ohne jedoch näher auf diese einzugehen. Diese Auslassung führt dazu, dass die von Grudin (1988) formulierte Forderung nach einem Verständnis der individuellen Arbeitsweisen bei kooperativer Arbeit bei der ausschließlichen Verwendung des Konzepts der „Articulation Work“ nicht erfüllt werden kann. Dies hat Auswirkungen auf spätere Arbeiten anderer Autoren, die sich der Unterstützung von „Articulation Work“ widmen (etwa Schmidt und Bannon (1992), Simone et al. (1999) oder Baker und Millerand (2007)).

Durch die Fokussierung auf die soziale Dimension von Arbeit im Allgemeinen und „Articulation Work“ im Besonderen berücksichtigen die vorgeschlagenen Unterstützungsansätze ebenfalls vorrangig auf die Unterstützung sozialen (Kommunikations-)Prozesse. Als Konsequenz sind die meisten Ansätze vor allem zur Unterstützung impliziter „Articulation Work“ geeignet und berücksichtigen die Möglichkeit des Auftretens „problematischer Interaktionen“ nicht explizit. Deutlich wird dies beispielsweise bei den Arbeiten von (Sarini und Simone, 2002a) – die Autoren schlagen ein System vor, dass die Durchführung von „Articulation Work“ in domänenübergreifenden Arbeitssituationen unterstützen soll – ein wesentliches Problem ist den Autoren zufolge hier die Sicherstellung eines gemeinsamen Begriffsverständnisses. Der Ansatz der Unterstützung im Arbeitsablauf selbst wird detailliert beschrieben. Durch die rechnerbasierte Identifikation und Anzeige analoger Begrifflichkeiten aus den betroffenen Domänen soll der soziale Kommunikationsprozess ermöglicht bzw. erleichtert werden. Der Aspekt der Erhebung der Begrifflichkeiten und deren Zuordnung zueinander – also jener Aspekt, der die einzelnen Individuen und deren Wahrnehmung der Domänen involviert – wird nur am Rande und eher oberflächlich behandelt⁵.

Arbeiten, die sich mit dem Vorgang der Abstimmung von Arbeit beschäftigen, ohne sich explizit auf Strauss' Konzept von „Articulation Work“ zu beziehen (wie etwa (Jørgensen, 2004)), berücksichtigten häufig auch stärker den Aspekt der konkreten Durchführung von „Articulation Work“ und eignen sich durch ihren Fokus auf die dezidierte Unterstützung des Abstimmungsprozesses an sich (und nicht nur die Schaffung der dazu notwendigen Rahmenbedingungen) auch für explizite „Articulation Work“. Auch in diesen Fällen erfolgt jedoch die Berücksichtigung der Rolle der beteiligten Individuen und deren Unterstützung nur in Einzelfällen (etwa bei Herrmann et al. (2002)), womit die Forderung von Grudin (1988) wiederum nicht erfüllt werden können.

⁴„[...] many social scientist pay almost no attention to interior activity: ignoring it, taking it for granted, but leaving it unexamined, or giving it the kind of abstract but not very detailed analysis [...]“ (Strauss, 1993, S. 131)

⁵„For sake of testing the integration we are aiming at, we defined the simplest protocol: all the users involved in the reconciliation process can communicate among themselves to define the correspondences, while a single Actor assumes the Role of Manager of the Reconciliation Artifact and is in charge of keeping it updated.“ (Sarini und Simone, 2002a, S. 10)

Die Unterstützung expliziter „Articulation Work“ ist also ein bislang nur selten explizit adressiertes Themenfeld. Durch die historische Entwicklung des Forschungsgebiets bedingt wurde die Rolle der beteiligten Individuen dabei nur am Rande berücksichtigt (was wiederum zur Fokussierung auf Maßnahmen zu führt, die auf die Unterstützung von sozialen Abstimmungsprozessen im Arbeitsablauf – also impliziter „Articulation Work“ – abzielen). In dieser Arbeit werden deshalb die Möglichkeiten zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ durch die Berücksichtigung der Rolle der beteiligten Individuen erfasst und daraus ein konkretes Unterstützungsinstrument entwickelt. Um die tatsächliche Unterstützung von „Articulation Work“ nachzuweisen, wird dessen Effektivität im Kontext der „Production Work“ geprüft. Zusammengefasst kann die globale Zielsetzung dieser Arbeit wie folgt beschrieben werden:

Globale Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit sind die Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung von expliziter Articulation Work unter Berücksichtigung relevanter Theoriebildungen zur Rolle der beteiligten Individuen zu erfassen, auf Basis dieser Erkenntnisse geeignete Methoden auszuwählen, diese in einem Instrument umzusetzen und dessen Effektivität im Kontext der Production Work zu prüfen.

1.1. Forschungsfragen

Aus der oben formulierten globalen Zielsetzung müssen zur strukturierten Bearbeitung detaillierte Fragestellungen abgeleitet werden. Die formulierten Forschungsfragen und deren detaillierte Fragestellungen bilden die Ankerpunkte des inhaltlichen Aufbaus dieser Arbeit und werden in allen folgenden Kapiteln referenziert, um den Bezug zur globalen Zielsetzung herzustellen. In Abbildung 1.1 sind die Forschungsfragen und Fragestellungen sowie deren Beziehung untereinander nochmals graphisch dargestellt.

In der globalen Zielsetzung wird die Unterstützung expliziter „Articulation Work“ gefordert. Um diese Forderung zu erfüllen, ist es notwendig, das Konzept der „Articulation Work“ zu untersuchen, um Ansatzpunkte für die exakte Abgrenzung expliziter „Articulation Work“, deren Unterstützung sowie der Beurteilung der effektiven Durchführung derselben zu erfassen. Dies ist Gegenstand der ersten Forschungsfrage.

Forschungsfrage 1

Wie kann die Durchführung und Wirkung von „Articulation Work“ charakterisiert werden?

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage können mehrere voneinander unabhängig zu bearbeitende Fragestellungen identifiziert werden, deren Beantwortung und Verknüpfung letztendlich zur Beantwortung der Forschungsfrage selbst führt.

Ein Aspekt der ersten Forschungsfrage ist die Klärung des Begriffs „Articulation Work“ selbst. Oben wurde bereits angedeutet, wie „Articulation Work“ von anderen Teilen eines Arbeitsablaufs abgegrenzt werden kann. Die Beschreibung der Durchführung von „Articulation Work“, also der möglichen Tätigkeiten und Rahmenbedingungen, bedarf aber einer detaillierten Betrachtung der existierenden Literatur. Die Wirkung von „Articulation Work“ (also: „Woran zeigen sich Konsequenzen der Durchführung von Articulation Work und wie können diese ausgeprägt sein?“) muss ebenfalls Gegenstand der Betrachtung sein, um Ansatzpunkte zur Beurteilung deren Effektivität identifizieren zu können. Aus diesen beiden Aspekten ergibt sich Fragestellung 1.

Fragestellung 1 *Was ist „Articulation Work“ und wie wirkt sie im Arbeitsprozess?*

„Articulation Work“ dient der Beseitigung „problematischer“ Situationen in der „Production Work“. Die Einschätzung, ob eine Situation „problematisch“ ist und ob die „Probleme“ beseitigt wurden, obliegt jedoch der subjektiven Einschätzung der handelnden Individuen. Auch die Entscheidung zur Durchführung expliziter „Articulation Work“ (aufgrund von implizit nicht auflösbaren wahrgenommenen „Problemen“) obliegt den involvierten Personen. Die Durchführung von „Articulation Work“ ist damit wesentlich von den handelnden Individuen beeinflusst, wird von diesen angestoßen und auch wieder beendet. Für die Betrachtung der Möglichkeiten zur Unterstützung von „Articulation Work“ ist es deshalb von Interesse, wie die beteiligten Individuen beurteilen, ob eine Situation „problematisch“ ist und ob dies nach der Durchführung von Tätigkeiten im Rahmen von „Articulation Work“ nicht mehr der Fall ist (und diese deshalb beendet werden kann). Der Aspekt der individuellen Wahrnehmung und Denkprozesse wird von Strauss (1993, S. 131) als wichtig für die Erklärung von „Articulation Work“ bezeichnet, jedoch explizit nicht weiter betrachtet. Zur Beantwortung der Fragestellung 2 ist deshalb die Betrachtung anderer, auf die Wahrnehmungs- und Denkprozesse der beteiligten Individuen eingehender Theorien notwendig.

Fragestellung 2 *Wie kann die Wahrnehmung von Arbeitsabläufen durch die an diesen beteiligten Individuen erklärt werden?*

Die Beantwortung der beiden bisher formulierten Fragestellungen ermöglicht eine umfassende Charakterisierung von „Articulation Work“ sowohl hinsichtlich deren Durchführung als auch deren Wirkung auf die „Production Work“. Die Beantwortung der Forschungsfrage geht insofern über den aktuellen Stand der Literatur hinaus, als dass sie auch die beteiligten Individuen vor, während und nach der Durchführung von „Articulation Work“ in die Betrachtung mit einbezieht. Durch die Erweiterung des Betrachtungsbereichs ergeben sich potentiell neue Ansatzpunkte für die Unterstützung von „Articulation Work“, die in der zweiten Forschungsfrage erfasst werden sollen.

Forschungsfrage 2

Wie kann explizite „Articulation Work“ effektiv unterstützt werden?

Auch die zweite Forschungsfrage bedarf zur umfassenden Bearbeitung der Unterteilung in mehrere Fragestellungen, die sich aus der Formulierung der globalen Zielsetzung ergeben. Im Gegensatz zur ersten Forschungsfrage sind die Fragestellung hier nicht unabhängig voneinander bearbeitbar sondern bauen zum Teil aufeinander auf. Die ersten beiden Fragestellungen beschäftigen sich mit der Unterstützung von „Articulation Work“ und stellen sowohl die methodischen Möglichkeiten als auch die konkrete Umsetzung dar. Die zweiten beiden Fragestellungen fokussieren auf die geforderte „effektive Unterstützung“. Hier wird im ersten Schritt geklärt, woran sich die effektive Unterstützung von „Articulation Work“ zeigt und wie diese beurteilt werden kann. Im zweiten Schritt wird das umgesetzte Instrument in diesem Sinne geprüft.

Bei der Betrachtung der Unterstützungsmöglichkeiten für „Articulation Work“ muss zwischen deren impliziter und expliziter Ausprägung unterschieden werden. Implizite „Articulation Work“ ist ein nicht formalisierter Prozess, der von den beteiligten Individuen unbewusst durchgeführt wird. Die Unterstützungsmöglichkeiten beschränken sich hier auf die Schaffung der sozialen bzw. technologischen Rahmenbedingungen, die die Durchführung impliziter „Articulation Work“ ermöglichen. Explizite „Articulation Work“ basiert hingegen auf der bewussten Beschäftigung der Individuen mit der „problematischen“ Arbeit. Sie hat das Ziel, einen Zustand herzustellen, in dem implizite „Articulation Work“ (wieder) möglich ist, d.h. in dem die beteiligten Individuen die Situation nicht mehr als zu komplex bzw. „problematisch“ wahrnehmen. Bei der Unterstützung expliziter „Articulation Work“ ist es deshalb sinnvoll, vor allem auch Methoden

zur Unterstützung der Individuen im Prozess der Durchführung von „Articulation Work“ zu erfassen.

Fragestellung 3 *Welche Methoden können zur Unterstützung von „Articulation Work“ herangezogen werden?*

Wie oben bereits erwähnt, ist die Unterstützung impliziter „Articulation Work“ ein umfassend erforschtes Gebiet, während kaum Arbeiten zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ vorhanden sind. Diese Hypothesen werden durch die Beantwortung der Fragestellung 3 verifiziert. Gelingt dies, kann an dieser Stelle auf die Unterstützung expliziter „Articulation Work“ fokussiert werden. Dies ermöglicht gleichzeitig eine Fokussierung auf Methoden, die im Sinne der obigen Ausführungen die beteiligten Individuen bei der Durchführung von expliziter „Articulation Work“ unterstützen. Diese Methoden sind in der Folge in einem Instrument umzusetzen. Als „Instrument“ wird an dieser Stelle die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Unterstützung der Durchführung der Methoden bezeichnet. Die Auswahl der geeigneten Methoden sowie die Umsetzung in einem Instrument sind Gegenstand der Fragestellung 4.

Fragestellung 4 *Wie kann ein Instrument zur Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ umgesetzt werden?*

Die Forderung nach einer effektiven Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ bedingt die Festlegung des Effektivitätskriteriums. Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen sind einerseits die Durchführung (sowohl deren grundsätzliche Ermöglichung als auch die Durchführung im Sinne der vorgeschlagenen Methodik) und andererseits die Wirkung der „Articulation Work“ (sowohl auf individueller Ebene als auch auf Ebene der „Production Work“) mögliche Merkmale, die hinsichtlich der Effektivität der Unterstützung beobachtet werden können. Die Festlegung der konkreten Form der Beurteilung hängt von den Ergebnissen der Forschungsfrage 1 ab und wird im Rahmen der Bearbeitung von Fragestellung 5 beantwortet.

Fragestellung 5 *Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ beurteilt werden?*

Die Beurteilung des umgesetzten Instruments anhand des Kriteriums der effektiven Unterstützung von „Articulation Work“ bildet den letzten Schritt in der Bearbeitung der Forschungsfrage 2. Die Beantwortung der Forschungsfrage ist nur dann möglich, wenn das aus der Theorie abgeleitete Instrument tatsächlich eine Möglichkeit zur effektiven Unterstützung von „Articulation Work“ darstellt. Zur Bearbeitung dieser Fragestellung müssen sowohl die Fragestellung 4 als auch die Fragestellung 5 abgeschlossen sein.

Fragestellung 6 *Ermöglicht das Instrument die effektive Durchführung von expliziter „Articulation Work“?*

1.1. Forschungsfragen

Die Beantwortung der Forschungsfrage 2 erfolgt durch die Darstellung eines möglichen Instruments für die Unterstützung expliziter „Articulation Work“. Kann die Effektivität der Unterstützung durch dieses Instruments bestätigt werden, so kann bei Beantwortung aller vorangegangener Fragestellungen auch die globale Zielsetzung als erfüllt angesehen werden.

Die Zusammenhänge zwischen der globalen Zielsetzung, den Forschungsfragen und den einzelnen Fragestellungen sind in Abbildung 1.1 nochmals graphisch zusammengefasst.

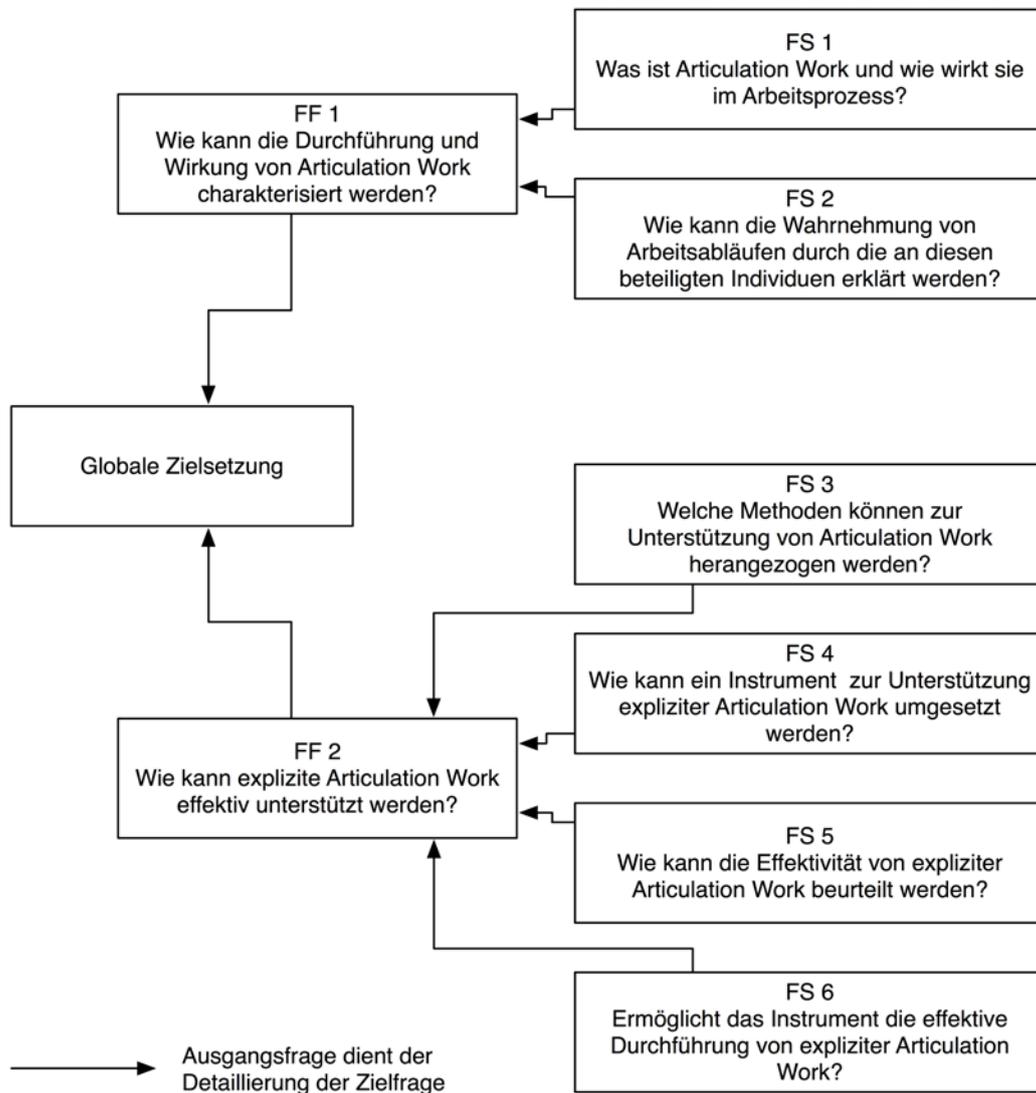


Abbildung 1.1.: Forschungsfragen und Fragestellungen

Diese Fragestellungen müssen im Rahmen der Durchführung dieser Arbeit beantwortet werden. Dazu wird in der Zusammenfassung jedes Kapitels auf diese Fragen referenziert und der jeweilige Beitrag zu deren Beantwortung identifiziert. In den Schlussbetrachtungen in Kapitel 15 ist die globale Zielsetzung schließlich wieder aufzugreifen und einer abschließenden Bewertung hinsichtlich ihrer Erfüllung zu unterziehen.

1.2. Aufbau der Arbeit

In diesem Abschnitt wird die Struktur der Arbeit auf globaler Ebene dargestellt. Zusätzlich wird der inhaltliche Aufbau der einzelnen Kapitel zueinander in Beziehung gesetzt und so der rote Faden durch die Arbeit transparent gemacht.

Die hier vorgestellte Struktur ist auszugsweise auch am Beginn jedes Kapitels beschrieben und graphisch dargestellt, um die Einordnung der Kapitel in den Gesamtzusammenhang der Arbeit zu erleichtern.

1.2.1. Überblick

Die Arbeit gliedert sich inhaltlich in drei große Teile, die durch das Einleitungs- und Schlusskapitel eingerahmt werden.

Teil I behandelt die der Unterstützung von „Articulation Work“ zugrunde liegenden Forschungsgebiete und erfasst die in diesen vorgeschlagenen konkreten Maßnahmen und Methoden zur Unterstützung. Der Teil deckt damit die Beantwortung der ersten oben formulierten Forschungsfrage ab und trägt durch die Betrachtung des methodischen Teils der Unterstützung bereits zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 bei. Im Einzelnen umfasst Teil I ein Kapitel über „Articulation Work“ (Fragestellung 1, Kapitel 2) und ein Kapitel über „Mentale Modelle“ (Fragestellung 2, Kapitel 3). Teil I endet mit einem Kapitel über Methodik der Anwendungsszenarien, in dem beschrieben wird, wie mentale Modelle für die Verwendung für „Articulation Work“ externalisiert und abgestimmt werden können und trägt damit bereits zur Forschungsfrage 2 bei (Fragestellung 3, Kapitel 4).

Teil II behandelt die Umsetzung des Werkzeugs selbst. Er trägt damit wesentlich zur Beantwortung der zweiten oben formulierten Forschungsfrage bei, indem er das bislang auf methodischer Ebene beschriebene Unterstützungsinstrument technisch vervollständigt. Das erste Kapitel greift die Ergebnisse des ersten Teils auf und leitet daraus die Anforderungen an das Werkzeug ab (Teil der Beantwortung der Fragestellung 4, Kapitel 5). In Kapitel 6 werden die konzeptuellen Grundlagen für die Implementierung aus dem Kontext von Tangible Interfaces heraus aufgearbeitet. Die Kapitel 7, 8 und 9 beschreiben nacheinander die technische Umsetzung des Werkzeugs – beginnend von den Eingabe-

kanälen über die Ausgabekanäle bis zu Persistierung der Modelle. Sie beantworten also die Fragestellung 4.

Teil III behandelt die Evaluierung des Werkzeugs. Er deckt damit im Wesentlichen den zweiten Teil der zweiten Forschungsfrage ab, klärt das Konzept der „effektiven Unterstützung von Articulation Work“ und prüft diese für das entwickelte Instrument. Dabei beginnt Kapitel 10 mit einer konzeptuellen Betrachtung des umgesetzten Systems (also einer theoretischen Einordnung des Werkzeugs auf Basis der Ergebnisse von Kapitel 6, den konzeptuellen Grundlagen der Implementierung). In Kapitel 11 werden die grundsätzliche Ausrichtung der empirischen Untersuchung und die durchgeführten Evaluierungen beschrieben. Die Kapitel 12, 13 und 14 beschäftigen sich mit der Ableitung der Hypothesen und deren Prüfung auf den unterschiedlichen Untersuchungsebenen der Arbeit. Dies beginnt mit der Prüfung der grundsätzlichen Verwendbarkeit des Systems (Kapitel 12), setzt mit der Prüfung der Eignung für die Externalisierung mentaler Modelle fort (Kapitel 13) und endet mit der Prüfung der Eignung für „Articulation Work“ selbst (Kapitel 14).

In der Zusammenfassung jedes Kapitels wird auf die betroffenen Fragestellung referenziert und der jeweilige Beitrag zur Erreichung der globalen Zielsetzung identifiziert. Der Schlussteil (Kapitel 15) fasst die Ergebnisse der Arbeit nochmals zusammen und spiegelt diese in ihrer Gesamtheit auf die ursprüngliche Zielsetzung zurück.

Die Gesamtstruktur dieser Arbeit ist in Abbildung 1.2 nochmals zusammenfassend dargestellt. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Kapiteln sind als Pfeile zwischen den einzelnen Blöcken dargestellt, wobei jeweils der Endpunkt Ergebnisse des Startpunktes als Grundlage für die weiteren Ausführungen verwendet.

Anhang A ist als Ergänzung zu Kapitel 2 (Articulation Work) zu sehen und stellt die gesamte zu diesem Gebiet erschienene Literatur strukturiert dar.

Anhang B ergänzt die Evaluierungskapitel in Teil III durch eine Zusammenfassung der im Rahmen der Untersuchung erhobenen Daten.

1.2.2. Zusammenfassung der Zusammenhänge

Dieser Abschnitt stellt die wesentlichen inhaltlichen Zusammenhänge der Arbeit dar und vermittelt so ein erstes Bild des roten Fadens durch die Arbeit. Er ergänzt somit die im letzten Abschnitt dargestellte Struktur der Arbeit um eine detaillierte inhaltliche Sicht und fasst das Vorgehen bei der Bearbeitung der in Abschnitt 1.1 formulierten Forschungsfragen zusammen.

Kapitel 2 beginnt mit einer generellen Begriffsbestimmung zum Themenfeld „Articulation Work“. Diese bildet die Grundlage für den nächsten Abschnitt, in dem auf Basis der Literatur geklärt wird, wie sich „Articulation Work“ manifestiert und in welchen

1.2. Aufbau der Arbeit

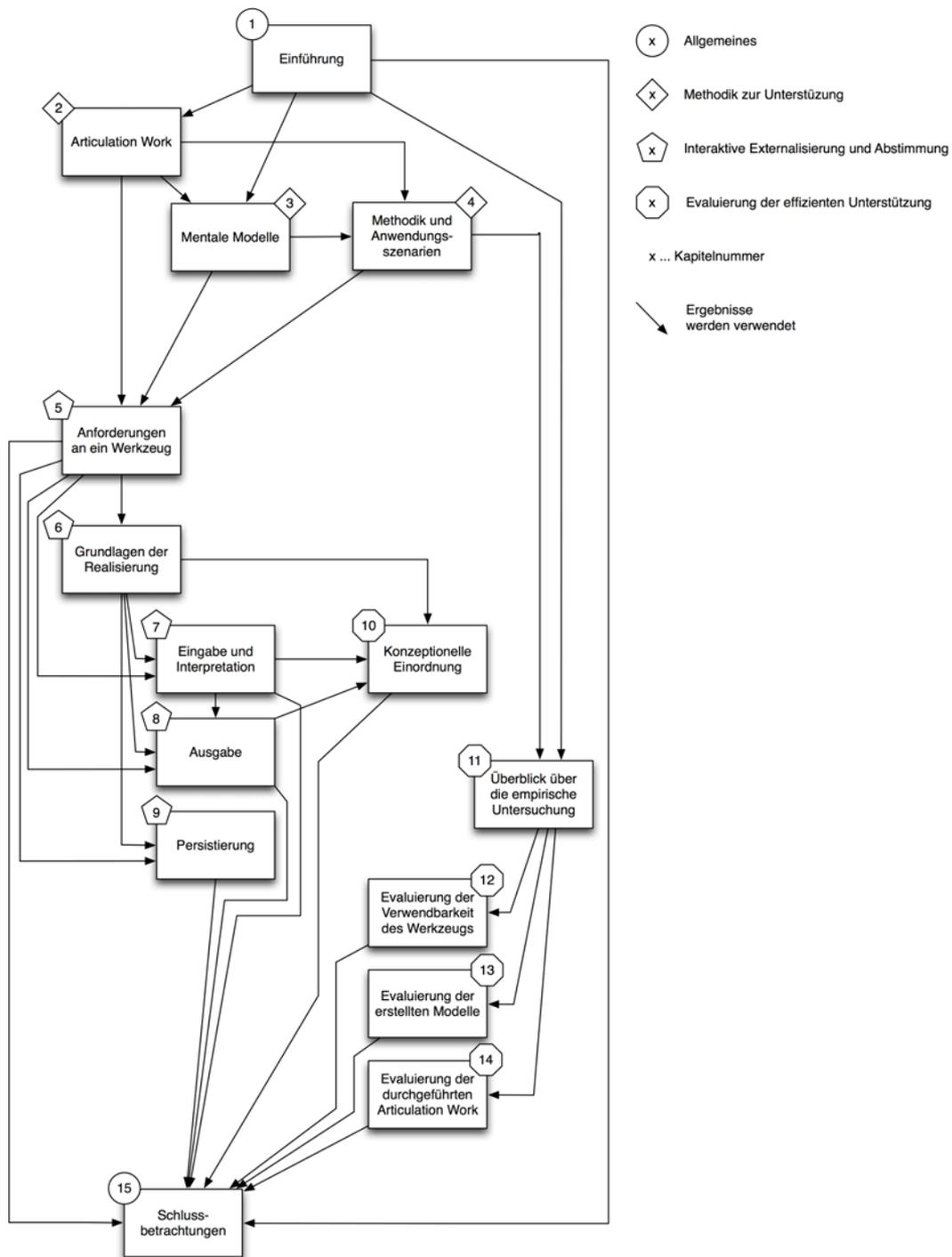


Abbildung 1.2.: Zusammenhänge zwischen den Kapiteln der Arbeit

unterschiedlichen Ausprägungen sie das tut. Das Ergebnis ist in Abbildung 2.3 zusammengefasst und spannt die in dieser Arbeit verwendete Taxonomie auf. In den beiden folgenden Abschnitten wird auf Basis der Literatur dargestellt, was (welche Arbeitsaspekte) Gegenstand von „Articulation Work“ ist und wie „Articulation Work“ unterstützt werden kann (siehe dazu auch Anhang A für eine Gesamtübersicht über die zu „Articulation Work“ verfügbare Literatur). Schließlich greift der letzte Abschnitt die Ergebnisse der Literaturstudien wieder auf und identifiziert eine konzeptuelle Lücke bei der Betrachtung von kooperativer Arbeit anhand der Theorie von Strauss, die auch schon im Rahmen der Einleitung identifiziert wurde – nämlich die bislang vernachlässigte Rolle des Individuums bei „Articulation Work“ und dessen konkrete Tätigkeiten. Zu diesem Aspekt existieren wenige Aussagen in der Literatur zu „Articulation Work“, Strauss (1993) selbst weist jedoch darauf hin, dass eine konzeptuelle Lücke entsteht, wenn auf die sozialen und organisationalen Aspekte von „Articulation Work“ fokussiert wird, die individuellen „thought processes“ aber außer Acht gelassen werden.

In Kapitel 3 wird die identifizierte Lücke aufgegriffen und konzeptuell mit dem Erklärungsmodell der mentalen Modelle (Johnson-Laird, 1981) hinterlegt. Im Kontext von „Articulation Work“ sind mentale Modelle jener Beitrag, den jedes beteiligte Individuum einbringt und der in der Folge Gegenstand der Abstimmung und Aushandlung sein muss, um eine gemeinsame Sichtweise zu entwickeln und „contingencies“ aufzulösen (was letztendlich das Ziel von „Articulation Work“ ist (Gerson und Star, 1986)). Dementsprechend beschäftigt sich der nächste Abschnitt mit der Bildung und Veränderung mentaler Modelle, wobei als wesentliches Hilfsmittel dazu die Externalisierung derselben identifiziert wird (Seel, 1991). Zur Externalisierung werden drei in der Literatur genannte Ansätze vorgestellt (Ifenthaler, 2006). Diesen sind Strukturlegetechniken (Dann, 1992) sowie Concept Mapping (Novak und Cañas, 2006) zuzurechnen, die in der Folge durch ihre kooperative Anwendbarkeit als die für „Articulation Work“ am besten geeigneten Ansätze identifiziert werden (vor allem Strukturlegetechniken unterstützen inhärent den Abstimmungsprozess von mentalen Modellen (Groeben und Scheele, 2000)).

Dies führt zu Kapitel 4, in dem auf Basis der beiden Ansätze die Methoden zur Externalisierung von mentalen Modellen beschrieben werden. Diese werden den Eigenschaften von „Articulation Work“ gegenüber gestellt und daraus ein Vorgehen abgeleitet, dass Strukturlegetechniken und Concept Mapping in einer Methodik zusammenführt. Diese Methodik soll möglichst offen (im Sinne von prozedural und inhaltlich flexibel) die Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle ermöglichen. Der zweite Teil des Kapitels stellt mögliche Anwendungsszenarien vor, die im Kontext von „Articulation Work“ auftreten können. Diese Anwendungsszenarien schlagen die Brücke zu den Anwendungen im Rahmen der Evaluierung (siehe Kapitel 11), da diese den einzelnen Evaluierungsteilen zugeordnet werden können.

Das Methodik-Kapitel leitet in Teil II der Arbeit über, wo die konkrete Unterstützung von „Articulation Work“ durch ein Werkzeug besprochen wird. Als Ausgangspunkt für das Kapitel 5 wird auf Teil I und dort speziell auf das Kapitel zur Methodik zurückge-

griffen und aus den dortigen Ergebnissen Anforderungen an ein Werkzeug abgeleitet, das die vorgeschlagene Vorgehensweise unterstützt. Konzeptuell ist hier zwischen Anforderungen zu unterscheiden, die aus der Concept Mapping Methodik stammen (im Wesentlichen „Flexibilität der Repräsentation“), Anforderungen, die von Strukturlegetechniken abzuleiten sind (im Wesentlichen „Physikalität der Repräsentation“) und jenen, die direkt aus „Articulation Work“ abgeleitet werden können (im Wesentlichen „Kooperative Bedienbarkeit“).

Die Festlegung dieser Anforderungen ist die Grundlage der konkreten Umsetzung des Werkzeugs. Kapitel 5 endet mit der Feststellung, dass aufgrund der Anforderungen aus allen drei Bereichen ein „Tangible Tabletop Interface“ geeignet ist, entsprechende Werkzeugunterstützung zu liefern. „Tangible“ motiviert sich dabei aus der in Strukturlegetechniken geforderten Physikalität der Abbildung, „Tabletop“ aus der unmittelbaren kooperativen Bearbeitbarkeit, die durch „Articulation Work“ selbst gefordert wird und „Interface“ (in diesem Kontext ist darunter die Rechnerunterstützung zu verstehen) durch die im Rahmen von Concept Mapping vorgeschlagenen Maßnahmen zur Modellierungsunterstützung, die nur durch Funktionen im Rechner realisiert werden können.

Vor der konkreten Umsetzung geht das folgende Kapitel (Kapitel 6) detailliert auf die Thematik der „Tangible Tabletop Interfaces“ ein. Neben einem historischen Überblick schlägt Abschnitt 6.2 ausgehend von der eher technologiezentrierten Sichtweise der „Tangible Interface“-Forschung die Brücke zurück zu den mentalen Modellen und Lernprozessen, die in Kapitel 3 („Mentale Modelle“) besprochen wurden. Einige der genannten Aspekte lassen sich auch auf die Anforderungen von „Articulation Work“ abbilden, was im zweiten Teil dieses Abschnitts beschrieben wird. Als zweiten Brückenschlag in den Grundlagenteil wird die Forschung zu den Auswirkungen von „Tangible Interfaces“ auf die Kooperation der Anwender betrachtet – ein Bereich der unmittelbar für „Articulation Work“ selbst relevant ist und damit die Brücke zurück zu Kapitel 2 schlägt. Mit diesen beiden Abschnitten (6.2 und 6.3) wird nochmals (aus „technischer“ Sicht) begründet, dass „Tangible Interfaces“ für den geplanten Anwendungsbereich (kooperative Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle) geeignet sind.

Der zweite Teil von Kapitel 6 (ab Abschnitt 6.4) beschäftigt sich mit Ansätzen, „Tangible Interfaces“ konzeptuell zu betrachten. Dazu wird die existierende Literatur umfassend aufgearbeitet und strukturiert dargestellt. Dieser Teil wird in Kapitel 10 wieder aufgegriffen und zur Einordnung des entwickelten Systems in den Designraum der „Tangible Interface“-Forschung verwendet. Auch in den Kapiteln 7 und 8, die die konkrete Umsetzung des Werkzeugs beschreiben, wird auf einzelne dieser konzeptuellen Erklärungsmodelle zurückgegriffen, die explizit für die Unterstützung der Konzeption von Tangible Interfaces entwickelt wurden.

Teil 3 von Kapitel 6 wird wieder konkreter und engt den Betrachtungsbereich von „Tangible Interfaces“ auf „Tabletop Interfaces“ ein, um letztendlich auf „Tabletop Interfaces zur Erstellung diagrammatischer Modelle“ zu fokussieren, was im Wesentlichen

die unmittelbare „Related Work“ zu der vorliegenden Arbeit aus technischer Sicht darstellt. Auch dazu wird jeweils die verfügbare Literatur (aus historischer Sicht sowie den „State of the Art“) aufgearbeitet.

Nach diesem umfassenden Überblickskapitel behandeln die Folgekapitel die konkrete technische Umsetzung des Werkzeugs. Das Werkzeug wurde dazu konzeptuell in drei Blöcke unterteilt. Kapitel 7 beschäftigt sich mit der Eingabe von Information über das „Tabletop Interface“ und der Aufbereitung und Interpretation der Eingabedaten für den spezifischen Anwendungsfall (also der „Modellierung“). Dabei erfolgt die Beschreibung vom Allgemeinen ins Spezielle und beginnt mit der Darstellung der grundlegenden Möglichkeiten, auf einem „Tabletop Interface“ Benutzereingaben zu ermöglichen. Auf Basis der Anforderungen aus Kapitel 5 wird eine Technologieentscheidung getroffen (optische Erkennung der Bausteine). Dazu werden in der Folge die in diesem Bereich verfügbaren Softwareframeworks dargestellt und wiederum strukturiert gegenübergestellt. Die folgende Framework-Entscheidung für das ReactIVision-System (Kaltenbrunner und Bencina, 2007) ermöglicht die Festlegung des konkreten Hard- und Softwaredesign für die Erkennung von Benutzereingaben. In den folgenden Abschnitten wird die Implementierung beginnend von der Benutzungsschnittstelle (in diesem Fall Hardware) hin zur Richtung Software zur Erkennung und Interpretation der Benutzereingaben dargestellt. Nach der Beschreibung der Hardware in Abschnitt 7.2 wird in Abschnitt 7.3 die Interaktion der Benutzer mit dem Werkzeug beschrieben. Damit kommt die Anwendungssicht (also die „Modellierung“) ins Spiel, die benötigt wird, um die Interpretation der Eingabedaten zu beschreiben. Dies erfolgt in Abschnitt 7.4. Das Kapitel endet an jenem Punkt, wo auch in der Software eine Schnittstelle zur Entkopplung und Modularisierung eingeführt wurde – bei der Übergabe der interpretierten und auf Modellierungsaktivitäten abstrahierten Eingabedaten an die weiterverarbeitenden Schichten (siehe Abbildung 7.19).

Kapitel 8 widmet sich der Ausgabe und ist analog zu Kapitel 7 aufgebaut. Beginnend von den grundsätzlichen Möglichkeiten zur Ausgabe immer weiter fokussiert, bis die konkreten Umsetzung der Informationsausgabe mittels dem JHotDraw-Framework (Gamma und Eggenschwiler, 1996) dargestellt werden kann. Wo in Kapitel 7 durch Beschreibung der Benutzerinteraktionen auf den konkreten Anwendungsfall der Technologie fokussiert wurde, wird hier zum gleichen Zweck die Beschreibung und Zuordnung der auszugehenden Information in Abschnitt 8.3 beschrieben und die Unterscheidung getroffen, ob die Ausgabe direkt auf der Tischoberfläche oder disloziert auf einer separaten Darstellungsfläche zu passieren hat. Die Feststellung, dass mehrere Ausgabekanäle benötigt werden, um die auszugehende Information darstellen zu können, führt zum konkreten Softwaredesign in Abschnitt 8.4. Dieses ist durch den Einsatz eines Dispatchers modular aufgebaut und erweiterbar angelegt (siehe Abbildung 8.3 bzw. Abbildung 8.11).

In Kapitel 9 wird die Persistierung der erstellten Modelle und der gewonnenen Metainformation besprochen. Dazu identifiziert der einleitende Abschnitt auf Basis der Notwendigkeit einer flexiblen Repräsentationsform „Topic Maps“ (ISO JTC1/SC34/WG3, 2008) als ein geeignetes Mittel für die Abbildung. In der Folge wird wieder auf den

konkreten Anwendungsfall eingegangen. Nach der Beschreibung von „Topic Maps“ wird die Abbildung der erstellten Modelle auf „Topic Maps“ und letztendlich die konkrete Implementierung der Persistierung dargestellt. Abschnitt 9.4 stellt die unterschiedlichen Möglichkeiten zum graphischen Export der Modelle dar, der für die unmittelbare Dokumentation des Modellierungsprozesses und -ergebnisses notwendig ist. Dieses Kapitel schließt Teil II der Arbeit ab.

In Teil III wird die Evaluierung des Werkzeugs behandelt. Dies beginnt mit der konzeptuellen Einordnung des erstellten Werkzeugs. Dazu werden sämtliche Ansätze zur Konzeptualisierung von Tangible Interfaces aus Abschnitt 6.4 herangezogen und das Werkzeug in seiner aktuellen Implementierung in diese eingeordnet. Das Ziel ist dabei einerseits, das Werkzeug in die bisherige Forschung einzuordnen, andererseits aber auch etwaiges Verbesserungspotential zu identifizieren, das etwa durch Inkonsistenzen der Ausprägungen innerhalb der jeweiligen Betrachtungsdimensionen aufgedeckt werden kann. Während die Einordnung in allen 12 betrachteten Ansätzen möglich ist, kann Verbesserungspotential nur in 7 Ansätzen identifiziert werden. In der Zusammenfassung des Kapitels wird einerseits die Eignung eines Ansatzes zur Einordnung des vorliegenden Systems und der ggf. entstehenden Mehrwert besprochen. Andererseits wird das Verbesserungspotential aufgezeigt, das sich aus der rein konzeptuellen Betrachtung des Systems ableiten lässt. Im Rahmen der empirischen Untersuchung in den folgenden Kapiteln werden diese Punkte aufgegriffen und hinsichtlich ihrer tatsächlich in der Praxis aufgetretenen Relevanz betrachtet.

Die Kapitel 11 bis 14 beschreiben die empirische Untersuchung. Kapitel 11 ist dabei wiederum als Übersichtskapitel konzipiert. Dort werden die zu untersuchenden Aspekte aus der Zielsetzung abgeleitet und die Einteilung in die Kapitel 12 bis 14 argumentiert. Untersuchungen werden auf Ebene des Werkzeugs (Benutzbarkeit), der „Mentalen Modelle“ (Eignung des Werkzeugs zur Externalisierung) sowie von „Articulation Work“ selbst (Unterstützung des Aushandlungsprozesses) durchgeführt. Für jeden dieser Blöcke wird eingeführt, auf Basis welcher Literatur die Untersuchung angelegt werden kann. In der darauf folgenden Beschreibung des globalen Untersuchungsdesigns werden alle durchgeführten Untersuchungen vorgestellt. Diese Vorstellung umfasst den Anwendungskontext, die Aufgabenstellung sowie die Beschreibung der Teilnehmer bzw. deren Hintergrund. Die Zuordnung zwischen den Untersuchungen und den untersuchten Aspekten erfolgt im Rahmen der Vorstellung der jeweiligen Untersuchung und zusammengefasst nochmals im letzten Abschnitt des Kapitels. Nach der Vorstellung der Untersuchungen werden die eingesetzten empirischen und statistischen Methoden beschrieben, auf die in den Kapiteln 12 bis 14 nur noch namentlich verwiesen wird.

Die Kapitel 12 bis 14 widmen sich der Prüfung der drei identifizierten Untersuchungsebenen. Alle drei Kapitel sind identisch aufgebaut. Im jeweils ersten Abschnitt werden die zu prüfenden Hypothesen abgeleitet. Diese Ableitung erfolgt aus der Zielsetzung, hinterlegt mit den konzeptuellen Grundlagen der Arbeit aus Teil I. Zusätzlich werden explorativ gebildete Hypothesen formuliert, die nicht unmittelbar aus der Zielsetzung ab-

leitbar sind, die aber Auffälligkeiten abbilden, die im Rahmen der ersten, explorativen Untersuchungen des Werkzeugs offensichtlich wurden und die an dieser Stelle nochmals dezidiert geprüft werden sollen, um die Vermutungen zu bestätigen oder diese widerlegen zu können. Im auf die Formulierung der Hypothesen folgenden Abschnitt über Untersuchungsdesign und Durchführung werden einerseits die Hypothesen operationalisiert (d.h. deren konkrete Prüfung vorgestellt und argumentiert) und in der Folge die Durchführung der Untersuchungen beschrieben. An dieser Stelle wird auf die im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Untersuchungen zurückgegriffen und der jeweils relevante Teil im Detail beschrieben. Der dritte Abschnitt jedes Kapitels präsentiert die Ergebnisse der Untersuchung. Für jede Hypothese wird die Auswertung durchgeführt, das Ergebnis diskutiert und in einem separaten Unterabschnitt nochmals zusammengefasst. Die Beschreibung der Auswertung umfasst dabei sowohl quantitative Daten (z.T. graphisch aufbereitet) als auch qualitative Ergebnisse, die meist in der Form von Transkripten von Auszügen aus Modellierungsprozessen eingefügt werden.

In den Schlussbetrachtungen in Kapitel 15 werden die Ergebnisse der Evaluierung zusammengefasst und auf Anforderungen an das Werkzeug sowie die globale Zielsetzung rückgespiegelt. Aufbauend darauf werden weitere Entwicklungsmöglichkeiten des Werkzeugs aufgezeigt und weiterführende Anwendungsszenarien beschrieben. Eine Reflexion des gesamten Entstehungsprozesses schließt diese Arbeit ab.

Abbildung 1.3 stellt die Bezüge zwischen den Kapitel und den zu bearbeitenden Fragestellungen nochmals graphisch dar. Die hier abgebildeten Bezüge werden auch in den Zusammenfassungen der jeweiligen Kapitel beschrieben und inhaltlich argumentiert.

1.2. Aufbau der Arbeit

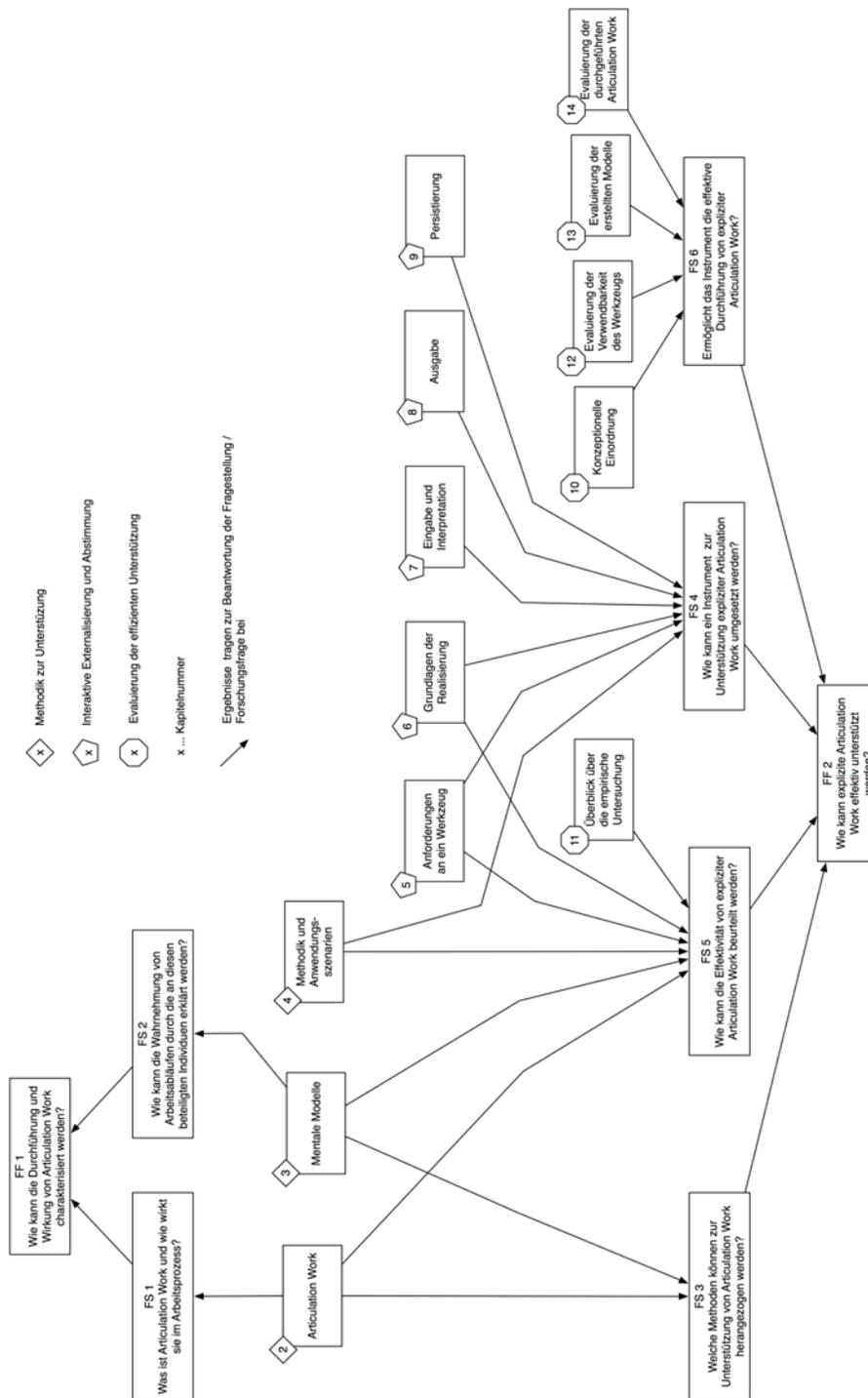


Abbildung 1.3.: Zusammenhang zwischen Zielsetzung und Struktur der Arbeit

Teil I.

Methoden zur Unterstützung der Abstimmung kooperativer Arbeit

Einleitung

In diesem Teil werden die Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung der Durchführung von „Articulation Work“ umfassend erhoben und dargestellt. Dazu werden die Grundlagen der relevanten Forschungsgebiete aufgearbeitet und deren möglicher Beitrag zur Konzeption eines Unterstützungsinstruments identifiziert. Dies beantwortet die erste in Kapitel 1 formulierte Forschungsfrage („Wie kann die Durchführung und Wirkung von Articulation Work charakterisiert werden?“). Bei der Betrachtung dieser Forschungsgebiete liegt der Fokus in diesem Teil auf in der Literatur vorgeschlagenen Maßnahmen zur Unterstützung von „Articulation Work“, wodurch durch die Erfassung der methodischen Alternativen bereits hier ein Beitrag zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage („Wie kann explizite Articulation Work effektiv unterstützt werden?“) geleistet wird.

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, baut diese Arbeit auf dem Konzept „Articulation Work“ auf. „Articulation Work“ ist ein Erklärungsmodell für jenen Anteil an (vornehmlich kooperativer) Arbeit, in dem die Tätigkeiten zur eigentlichen Zielerreichung abgestimmt werden und etwaig auftretende Probleme aufgelöst werden, so dass die „produktive Arbeit“, die der Zielerreichung dient, wieder aufgenommen werden kann. Die Durchführung von „Articulation Work“ ist ein alltäglicher Vorgang in jedem Arbeitsprozess und wird zumeist unbewusst und ungeplant durchgeführt. In bestimmten, als besonders „problematisch“ wahrgenommenen Situationen ist die implizite Durchführung jedoch nicht möglich, es ist notwendig, sich explizit mit der Abstimmung der problematischen Situation zu beschäftigen. Im Rahmen der Aufarbeitung der Grundlagen dieser Arbeit ist es notwendig, jene Situationen zu identifizieren, die zur Notwendigkeit von „expliziter Articulation Work“ führen können, deren konkrete Ausgestaltung zu untersuchen und die in der Literatur vorgeschlagenen Möglichkeiten zur Unterstützung von „Articulation Work“ aufzuarbeiten. Auf Basis dieser Ergebnisse kann letztendlich identifiziert werden, welche Aspekte bei der Unterstützung „expliziter Articulation Work“ als wichtig zu erachten sind.

Ein Aspekt, auf die Theorie von „Articulation Work“ nicht eingeht, ist die Rolle und Aktivität der an der Durchführung der „Articulation Work“ beteiligten Individuen (Strauss, 1993). Aus individueller Sicht ist die Durchführung von „Articulation Work“ ein Mittel, die jeweiligen kognitiven Erklärungsmodelle für die Durchführung der Arbeit (die „mentalen Modelle“) so aufeinander abzustimmen bzw. zu ergänzen, dass eine gemeinsame Sichtweise auf die durchzuführenden Aktivitäten und zu beachtenden Schnittstellen erreicht wird. Für die Unterstützung von „Articulation Work“ bedeutet dies, dass das Forschungsgebiet der „mentalen Modelle“ und vor allem deren Veränderung hinsichtlich möglicher methodischer Ansätze untersucht werden muss.

Wesentlich bei der Veränderung mentaler Modelle ist in kooperativen Arbeitssituationen die Externalisierung der mentalen Modelle (Seel, 1991). Die Externalisierung (als

Prozess und Ergebnis) ermöglicht die Reflexion der eigenen Sichtweise auf die reale Welt und die dortigen Handlungsalternativen als auch deren Kommunizierbarkeit. Im Sinne der Unterstützung von „Articulation Work“ ist von Interesse, welche Methoden zur Externalisierung vorgeschlagen werden und welche sich besonders für den Einsatz in kooperativen Situationen eignen. Aus diesen Methoden ist in der Folge eine für die Unterstützung von „Articulation Work“ geeignete Variante auszuwählen bzw. abzuleiten. Diese bildet in der Folge zusammen mit einer zu entwickelnden technischer Werkzeugunterstützung ein Instrument, dass eine effektive Unterstützung von „Articulation Work“ ermöglicht.

Kapitel 2 arbeitet die Grundlagen des Themengebiets „Articulation Work“ auf und geht auf die Konzeptbildung in diesem Bereich, die unterschiedlichen Ausprägungen und die Möglichkeiten der Unterstützung ein. In Kapitel 3 wird die individuelle Dimension der Durchführung von „Articulation Work“ betrachtet und mit dem Konzept der „mental Modelle“ ein Erklärungsansatz für die in diesem Zusammenhang ablaufenden bzw. durchzuführenden Prozesse beschrieben. Die Beschreibung der Methoden zur Externalisierung mentaler Modelle leitet schließlich über zu Kapitel 4, in dem eine Methodik zur Unterstützung der Durchführung von „Articulation Work“ abgeleitet und beschrieben wird. Diese Methodik bildet die Grundlage für die in Kapitel 5 abgeleiteten Anforderungen an ein Werkzeug zur Unterstützung derselben. Die Abbildung der Methodik in konkreten Anwendungsszenarien, die unterschiedliche Kontext der Durchführung von „Articulation Work“ abdecken, bildet wiederum die Grundlage für das in Kapitel 11 beschriebenen Design der im Rahmen der empirischen Untersuchung durchgeführten Anwendungen des entwickelten Werkzeugs.

2. Articulation Work

In diesem Kapitel wird das Konzept „Articulation Work“ dargestellt und in den Kontext von menschlicher Arbeit gestellt. Der erste Teil geht auf die historische Entwicklung des Begriffs „Articulation Work“ und die unterschiedlichen Herangehensweisen zu dessen Verständnis ein. Der zweite Teil des Kapitels widmet sich den Aktivitäten, die im Rahmen von „Articulation Work“ durchgeführt werden, den Merkmalen, an denen sich effektive „Articulation Work“ zeigt, sowie den Möglichkeiten der Unterstützung von „Articulation Work“ durch organisationale und technische Maßnahmen. Abbildung 2.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

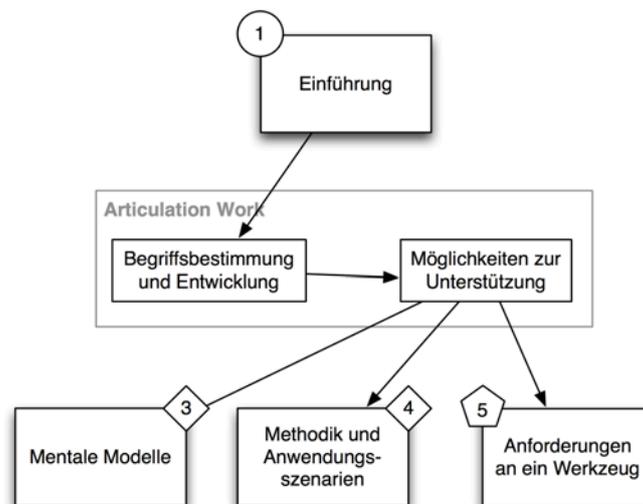


Abbildung 2.1.: Kapitel „Articulation Work“ im Gesamtzusammenhang

2.1. Begriffsbestimmung

Das Konzept „Articulation Work“ wurde als Erklärungsmodell für eine bestimmte Art von menschlicher Arbeit Mitte der 1980er Jahre von Strauss (1985) eingeführt. Neben

Strauss (1985) tragen auch die Arbeiten von Gerson und Star (1986) und Fujimura (1987) wesentlich zur Begriffsbestimmung und Konzeptbildung bei. Die vorhandene Literatur, die Bezug auf „Articulation Work“ nimmt (siehe Anhang A), referenziert im Wesentlichen auf eine oder mehrere dieser drei Arbeiten. Der Kontext, in dem die Entwicklung der im Folgenden vorgestellten Konzepte erfolgte, war die komplexe, von viel Interaktion an zahlreichen Schnittstellen geprägte Arbeit in Krankenhäusern (Strauss, 1985), in der Wissenschaft (Fujimura, 1987) und in Versicherungsunternehmen (Gerson und Star, 1986), die die jeweiligen Autoren in mehreren Fallstudien untersuchten.

Um in der Folge einen einheitlichen Begriffsraum aufspannen zu können, ist vorab der Begriff „Arbeit“ zu klären. Die eben genannten Autoren führen keine explizite Definition an, weshalb hier auf eine Definition zurückgegriffen wird, die im Kontext der folgenden Ausführungen zur „inneren“ Struktur von Arbeit nach „außen“ hinreichend umfassend ist¹. Semmer und Udris (2004) definieren vor dem Hintergrund der Organisationspsychologie „Arbeit“ wie folgt:

„Arbeit ist zielgerichtete menschliche Tätigkeit zum Zwecke der Transformation und Aneignung der Umwelt aufgrund selbst- oder fremddefinierter Aufgaben, mit gesellschaftlicher, materieller oder ideeller Bewertung, zur Realisierung oder Weiterentwicklung individueller oder kollektiver Bedürfnisse, Ansprüche und Kompetenzen.“

Arbeit ist also ein menschliches Phänomen, Träger von Arbeit sind immer Menschen. Arbeit definiert sich außerdem durch ihre Zielgerichtetheit und findet immer in Interaktion mit der Umwelt statt. Die Ziele, auf die Arbeit ausgerichtet ist, leiten sich aus Aufgaben ab, die sich Menschen selbst setzen können oder die ihnen vorgegeben werden. Diese Aufgaben dienen der Erreichung von individuellen oder kollektiven Bedürfnissen und Ansprüchen bzw. der (Weiter-)Entwicklung von Kompetenzen. Die Bewertung der Zielerreichung muss nicht unbedingt aus materieller Perspektive erfolgen sondern kann auch ideell oder gesellschaftlich begründet sein.

In dieser Arbeit wird der Begriff „Arbeit“ vor allem auch im organisationalen Kontext gesehen. Ein wesentlicher Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Arbeitsteilung, also die koordinierte Tätigkeit mehrerer Individuen um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Dies stellt die obige Definition nicht in Frage (Schmidt, 1994), erweitert jedoch den Betrachtungsbereich explizit auch auf Arbeit, die gemeinschaftlich durchgeführt wird².

„Articulation Work“ ist jener Anteil der gesamten durchgeführten Arbeit, der der Abstimmung mit anderen Individuen dient. Diese Abstimmung ist notwendig, um das eigentliche Arbeitsziel erreichen zu können. Arbeit wird von den oben angeführten Autoren als inhärent kooperativer Prozess gesehen, der immer auf Interaktion mit anderen

¹Auf eine umfassende Literaturstudie und die Entwicklung eines darauf aufbauenden „Arbeits“-Begriffs wurde hier verzichtet, da dies über den Betrachtungsbereich und Anspruch dieser Arbeit hinausgeht

²„[...] work is an individual phenomenon in so far as labor power happens to be tied to individuals and cannot be separated from the individuals. That is, a cooperative work process, is performed by individuals with individual interests and motives.“(Schmidt, 1994, S. 353)

Menschen basiert bzw. diese bedingt (Strauss formuliert diese Annahme in Bezugnahme auf Hughes (1971) prägnant mit der Aussage „*work rests ultimately on interaction*“). Diese Annahme ist insofern zulässig, als dass selbst Arbeitsabläufe, die selbst keine Kooperation mit anderen Menschen mit sich bringen, zumindest auf den Ergebnissen anderer Arbeitsabläufe aufbauen oder als Grundlage weiterer Arbeitsabläufe dienen. Interaktion tritt also in jedem Arbeitsprozess zumindest zu Beginn und am Ende in unmittelbarer oder mittelbarer³ Form auf. Diese Annahme wird auch von Schmidt (1994) unterstützt, der darauf hinweist, dass individuelle Arbeit und kooperative Arbeit oft nicht klar abgrenzbar sind bzw. dynamisch ineinander übergehen⁴.

Jener Teil von Arbeit, der der eigentlichen Zielerreichung dient, wird im hier vorgestellten Erklärungsmodell als „Production Work“ bezeichnet (Fujimura, 1987). „Production Work“ ist komplementär zu „Articulation Work“ zu sehen und umfasst alle Aktivitäten, die der „Wertschöpfung“ im wörtlichen Sinn dienen. „Production Work“ sind also alle Tätigkeiten, die mit der Schaffung jener Werte (oder Ergebnisse) befasst sind, die durch den Arbeitsablauf erreicht werden sollen.

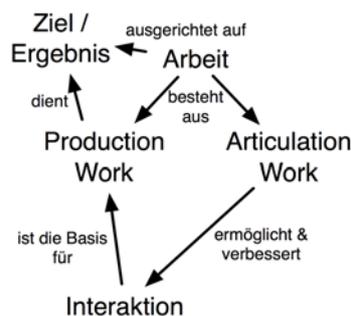


Abbildung 2.2.: Konzeptualisierung von Arbeitsabläufen

Teile eines Arbeitsablaufs dienen also der Zielerreichung an sich („Production Work“). Andere Teile dienen der Abstimmung zwischen den involvierten Akteuren, um ein gemeinsames Verständnis über die jeweiligen Schnittstellen – also die Berührungspunkte zwischen den Tätigkeiten – zu entwickeln (siehe Abbildung 2.2). Diese Entwicklung eines

³Unter „mittelbar“ ist hier Interaktion zu verstehen, die nicht im direkten Kontakt zwischen Individuen abläuft, sondern lediglich indirekt durch die Ergebnisse eines Arbeitsprozesses (Materialien, Dokumente, ...) vermittelt wird.

⁴„Cooperative work and individual work should not be conceived of as different work domains. In daily work practice, cooperative and individual activities are inextricably interwoven. [...] More than that, the boundary between individual and cooperative work is dynamic in the sense that people enter into cooperative work relations and leave them according to the requirements of the current situation and the technical and human resources at hand.“(Schmidt, 1994, S. 352)

gemeinsamen Verständnisses bzw. diese „Koordination“ ist kritisch für den Erfolg von kooperativer Arbeit (Strauss, 1993) und wird als „Articulation Work“ bezeichnet.⁵

„Articulation Work“ ermöglicht also funktionierende Kommunikation und Zusammenarbeit im eigentlichen Arbeitsablauf. Zentral ist dabei vor allem die gegenseitigen Offenlegung der Annahmen aller beteiligten Personen, die den individuellen Arbeitsbeiträgen zugrunde liegen⁶.

„Articulation Work“ ist keine Tätigkeit, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Arbeitsprozess durchgeführt wird und dann als abgeschlossen betrachtet werden kann⁷. Vielmehr wird „Articulation Work“ immer auch begleitend zur eigentlichen produktiven Arbeit durchgeführt und umfasst neben planenden und koordinierenden Tätigkeiten auch das Erkennen von Fehlentwicklungen bzw. von Situationen, in denen eine erneute Koordination notwendig ist⁸.

Der Begriff „Articulation Work“ ist im Englischen zweideutig und von Strauss auch bewusst so gewählt. Einerseits wird damit ausgedrückt, dass *Arbeit* („Work“) artikuliert wird, andererseits zeigt der Begriff, dass die *Artikulation* selbst ebenfalls Arbeit ist (also Zeit und Ressourcen in Anspruch nimmt) und auch also solche wertgeschätzt werden muss (Fujimura, 1987). Gleichzeitig kennzeichnet er auch die rekursive Natur von „Articulation Work“, die somit jederzeit selbst Gegenstand von „Articulation Work“ werden kann (Star und Strauss, 1999). „Articulation Work“ ist kein klar abgegrenztes und strukturiertes Konzept – sie tritt je nach Arbeitssituation in unterschiedlichen Spielarten auf. Die Unterscheidung dieser Arten von „Articulation Work“ ist für die Unterstützung derselben relevant und wird daher im folgenden Abschnitt genauer betrachtet.

2.2. Ausprägungen von Articulation Work

Wie bereits von Gerson und Star (1986) angeführt, argumentiert auch Strauss, dass Artikulation immer passieren muss (und passiert), wo Menschen zusammenarbeiten, um zu vermeiden, dass unbekannte Aspekte Probleme bei der Durchführung der Arbeit verursachen (Strauss, 1988). „Articulation Work“ ist kein revolutionäres Konzept, sondern fasst Tätigkeiten unter einem Begriff zusammen, die seit jeher Teil jeder Zusammenarbeit zwischen Menschen sind (Strauss, 1988). Grundsätzlich geht Strauss davon aus,

⁵ „*Since the plurality of tasks making up their totality, as well as the relations of actors to tasks, are not automatically articulated, actors must do that too, and often in complex ways. We call the work of doing this "articulation work" – a supra-type of work.*“ (Strauss, 1985)

⁶ „*Reconciling incommensurate assumptions and procedures in the absence of enforceable standards is the essence of articulation.*“ (Gerson und Star, 1986, S. 266)

⁷ „*The articulation work involves the pre-articulation of the tasks, their management and post-articulation.*“ (Raposo et al., 2004, S. 121)

⁸ „*Articulation consists of all the tasks involved in assembling, scheduling, monitoring, and coordinating all of the steps necessary to complete a production task.*“ (Gerson und Star, 1986, S. 266)

dass „Articulation Work“ immer abläuft, egal wie einfach oder kompliziert, wie eingespielt oder neuartig eine (Zusammen-)Arbeit ist (Strauss, 1988). Sehr wohl existieren jedoch Unterschiede in der Qualität der Arbeit, die sich auf die Form der Artikulation auswirken, die zu deren Abstimmung notwendig ist: „*A useful fundamental distinction between classes of interaction is between the routine and the problematic. Problematic interactions involve 'thought', or when more than one interactant is involved then also 'discussion'.*“ (Strauss, 1993, S. 43). Dieses Zitat zeigt im Übrigen auch, dass „Interaction“ im Sinne von Strauss nicht unbedingt ein kollektives Phänomen ist, sondern auch individuell (im Bezug auf die (unbelebte) Umgebung) auftreten kann.

Je komplexer („problematic“) eine Interaktion ist, desto notwendiger wird laut Strauss eine explizite Beschäftigung mit dem Vorgang der Artikulation. Bei einfachen, eingespielten („routine“) Interaktionen bleibt die Artikulation zumeist implizit, verborgen und informell⁹ (Hampson und Junor, 2005). Ein grundlegendes Problem, dass Artikulation für jeden noch so also einfach wahrgenommenen Arbeitsvorgang potentiell relevant macht, spricht Strauss mit den Worten von Hughes unmittelbar nach der Definition von „problematic interaction“ an: „*[O]ne man's routine of work is made up of the emergencies of other people*“ (Hughes, 1971) zitiert nach (Strauss, 1993).

„Articulation Work“ tritt also in zwei Qualitäten auf. Ist der Bedarf zur Abstimmung bekannt und werden Tätigkeiten zur Abdeckung dieses Bedarf bewusst durchgeführt, so spricht man von *expliziter* „Articulation Work“ (Strauss, 1988) (Fjuk et al., 1997). Die Abstimmung von Tätigkeiten, die ständig während der Zusammenarbeit unbewusst ausgeführt wird, bezeichnet man als *implizite* „Articulation Work“¹⁰. Letztgenannte Art ist es auch, die von den Arbeitenden „automatisch“ zur Anwendung gebracht wird, sobald Änderungen in der Arbeitsumgebung oder Probleme auftreten (Strauss, 1988). Implizite „Articulation Work“ stößt aber an ihre Grenzen, wenn die Arbeitssituation als „problematisch“ (Strauss, 1988) oder „komplex“ (Schmidt, 1990, S. 23f) wahrgenommen wird. Es wird dann notwendig, dezidierte Abstimmungs-Aktivitäten anzustoßen, also explizite „Articulation Work“ durchzuführen.

Diese Abstimmungs-Aktivitäten können konkret wiederum unterschiedliche Ausprägungen annehmen (Gasser, 1986):

Fitting (bzw. „Accommodation“ (Bendifallah und Scacchi, 1987)) Tätigkeiten zur Planung bzw. Anpassung der Arbeitspraxis an gegebene bzw. veränderte Umweltbedingungen.

⁹entsprechend der „Sozialisation“ im aus der Domäne der Wissensgenerierung und -teilung stammenden SECI-Zyklus (Nonaka und Takeuchi, 1995)

¹⁰*The explicit articulation is thus connected to the planning and decisions regarding the salient dimensions of work – who, what, when, how – while implicit articulation is invaluable when carrying out activities in situated circumstances, in order to handle contingencies.*(Fjuk et al., 1997, S.5)

Augmenting (bzw. „Negotiation of additional [maintainance] activities“ (Bendifallah und Scacchi, 1987)) Planung von zusätzlichen kurz- oder mittelfristigen Tätigkeiten, um das Auftreten von erkannten Problemen zu verhindern.

Working around Entwicklung von Strategien zur Vermeidung des Auftretens von Situationen, in denen Probleme auftreten, ohne deren Ursache zu beseitigen.

In einer späteren Arbeit geht Strauss auf den bislang nicht betrachteten temporalen Aspekte des Auftretens von expliziter „Articulation Work“ ein (Corbin und Strauss, 1993) und unterscheidet dabei zwischen „*Working out Original Arrangements*“ (also der erstmaligen Vereinbarung der Modalitäten einer Zusammenarbeit) und „*Reworking Arrangements*“ (also der Veränderung von getroffenen Vereinbarungen, die durch Änderungen im Arbeitskontext nicht mehr angewandt werden können). Während der Ausgangspunkt in diesen beiden Fällen unterschiedlich ist, ist doch die Zielsetzung die gleiche – Ziel ist es, die individuellen Standpunkte und Sichtweisen („*stances*“) soweit abzugleichen, dass eine Zusammenarbeit möglich ist. Diese Aktivitäten unterscheiden sich insofern von der laufend im Arbeitsablauf durchgeführten „Articulation Work“, als dass sie die Individuen dazu zwingen, aus dem Arbeitssystem herauszusteigen und dieses als Gesamtes zum Gegenstand der „Articulation Work“ zu machen (Corbin und Strauss, 1993). Dies umfasst auch die Aushandlung der Modalitäten der im Arbeitsablauf durchgeführten „Articulation Work“, wodurch deren rekursive Natur (Star und Strauss, 1999) deutlich wird. Sarini und Simone (2002a) beschäftigen sich explizit mit „rekursiver Articulation Work“ und führen als wesentliche Ziele die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses über die Arbeitsdomäne („*alignment of meaning*“) sowie die Abstimmung des Arbeitsablaufs selbst („*alignment of procedures*“) an. Diesem breiten Verständnis von „Articulation Work“ schließen sich auch Baker und Millerand (2007) aufgrund empirischer Erkenntnisse an.

Die Schritte, die im Rahmen von der Erarbeitung von „arrangements“ durchgeführt werden müssen, geben Corbin und Strauss (1993) wie folgt an (und beziehen sich dabei im Wesentlichen auf jene Tätigkeiten, die von Sarini und Simone (2002a) als „alignment of procedures“ bezeichnet werden):

1. Jedes beteiligte Individuum definiert für sich, welche Aspekte der Arbeit vereinbart werden müssen und legt seine Position dazu („stance“) fest. Mögliche Aspekte betreffen die durchzuführenden Schritte, mögliche Verantwortlichkeiten und benötigte Ressourcen¹¹.
2. Die beteiligten Individuen interpretieren die explizierten Standpunkte und Sichtweisen („stances“) der jeweils anderen.

¹¹ „*what needs to be done, by whom, what resources are needed, what one has to offer, what one expects from others, who has what power, and so forth*“ (Corbin und Strauss, 1993, S. 76)

3. Basierend auf diese Interpretation passt das Individuum seine Standpunkte und Sichtweisen an oder behält diese bei und verändert ggf. seine Verhandlungsstrategie.
4. Die Schritte 1-3 werden wiederholt, bis eine für alle Individuen akzeptable Vereinbarung erreicht ist.

Die zeitliche und konzeptuelle Unterscheidung zwischen „Working out Original Arrangements“ und „Reworking Arrangements“ lässt jedoch die häufiger auftretende „Articulation Work“ im Arbeitsprozess (die durchgeführt wird, ohne aus dem Arbeitssystem heraus zu steigen) außen vor. Während eines Arbeitsablaufs kann neben „Reworking Arrangements“ (das als Eskalationsstufe bei der Behandlung von Vereinbarungen zu sehen ist, auf deren Basis die Arbeit nicht mehr fortgesetzt werden kann und gleichbedeutend mit den Tätigkeiten „augmenting“ und „working around“ in (Gasser, 1986) ist) auch das Lösen von problematischen Situationen im Rahmen der aktuellen Vereinbarungen („resolving contingencies“ (Gerson und Star, 1986) bzw. „fitting“ (Gasser, 1986)) im Rahmen von „Articulation Work“ durchgeführt werden.

Neben den beschriebenen Unterscheidungen führt Strauss keine weitere systematische Betrachtung von „Articulation Work“ hinsichtlich deren Ausprägungen durch. In der Literatur konnten drei weitere Ansätze zur Differenzierung zwischen unterschiedlichen Arten von „Articulation Work“ auf Basis einer unterschiedlichen Konzeptualisierung der abzustimmenden Arbeit identifiziert werden (siehe Anhang A für eine umfassende Darstellung der zu „Articulation Work“ verfügbaren Literatur). Fjuk et al. (1997) stellen „Articulation Work“ der „Activity Theory“ (Leont’ev, 1978) gegenüber und unterscheiden so verschiedene Ebenen in Arbeitsabläufen, die abzustimmen sind. Hampson und Junor (2005) führen ein Raster ein, das „Articulation Work“ hinsichtlich der Art des Arbeitsprozesses unterscheidet, in dem sie zur Anwendung kommt. Færgemann et al. (2005) unterscheiden Varianten von „Articulation Work“ nach der organisationalen „Reichweite“ der zugrunde liegenden Arbeitsprozesse. Alle drei Ansätze werden in der Folge im Detail beschrieben. Das Ziel ist es hier, die unterschiedlichen Konzeptualisierungen von „Articulation Work“ so umfassend darzustellen, dass es in der Folge möglich wird, diese in einem gemeinsamen Modell zusammenzuführen und aufbauend auf diesem identifizieren zu können, wo bzw. welche Aktivitäten unterstützt werden können.

2.2.1. Unterscheidung nach Fjuk, SmørDAL und Nurminen

Fjuk et al. (1997) betrachten „Articulation Work“ im Kontext von CSCW¹² und versuchen ein konzeptuelles Framework zu entwickeln, das die Rolle von Computersystemen im Kontext individueller und kollektiver Tätigkeiten erklärt – sie entwickeln also ein Erklärungsmodell für die Funktionsweise sozio-technischer Systeme (Emery und Trist, 1960). Während die Implikationen von „Articulation Work“ für CSCW an dieser Stel-

¹²Computer Supported Cooperative Work

le nicht näher von Belang sind (siehe dazu Abschnitt 2.4.6), ist aber das theoretische Framework, das die Autoren ihren Ausführungen zu Grunde legen von Interesse.

Fjuk et al. (1997) bauen ihre Überlegungen auf die „Activity Theorie“ (Tätigkeits-Theorie) auf, die maßgeblich von Leont’ev (1972) geprägt wurde. Die Autoren argumentieren, dass diese einen Ansatzpunkt biete, die von Strauss als relevant erkannten aber nicht näher behandelten „externen Faktoren“, die Arbeit beeinflussen, zu berücksichtigen. Der Begriff der „externen Faktoren“ umfasst alle Einflussfaktoren, die nicht unmittelbar Teil des Arbeitsablaufs, sondern technologischer, organisationaler, kultureller, wirtschaftlicher oder physiologischer Natur sind.

Ohne an dieser Stelle näher auf die „Activity Theory“¹³ einzugehen, seien hier die drei Kernkonzepte der Theorie erwähnt:

- Activity (Tätigkeit)
- Action (Aktion)
- Operation (Operation)

Diese drei Konzepte bilden eine Hierarchie, in denen eine „Activity“ an oberster Stelle steht. Eine „Activity“ ist eine menschliche Tätigkeit, die durch ein Motiv getrieben ist und der (vorerst) individuellen Bedürfnisbefriedigung dient. Eine „Activity“ setzt sich aus mehreren „Actions“ zusammen, die jede für sich ein aus dem Motiv heraus begründbares Ziel haben und zur Bedürfnisbefriedigung direkt oder indirekt beitragen. „Actions“ setzen sich wiederum aus „Operations“ zusammen, also einzelnen, nicht mehr bewusst ausgeführten Handlungen, die durch die Bedingungen des jeweiligen Umgebungskontexts bestimmt werden. Während Individuen lernen, transformieren sie laufend „Actions“ zu „Operations“, automatisieren also deren Ausführung, sodass sich die kognitive Belastung verringert (als klassisches Beispiel kann hier das Erlernen des Autofahrens dienen).

Die „Activity Theory“ beschreibt als psychologisches Modell vorerst das Individuum und dessen Verhalten. In sozialen Systemen, die auf Interaktion basieren, stößt das Modell jedoch an die Grenzen der erklärbaren Phänomene. Engeström (1987) baut auf der klassischen „Activity Theory“ auf und erweitert diese um den Aspekt der Gemeinschaft sowie der Interaktion in dieser sowie der Rolle von Artefakten („Objects“) in derartigen Settings. Fjuk et al. (1997) bemängeln aber in ihrer Arbeit, dass Engeström in seinen Ausführungen abstrakt bleibt und nicht den Konkretisierungsgrad der originären „Activity Theory“ erreicht, was das Zusammenspiel der unterschiedlichen Ebenen („Activity“, „Action“ und „Operation“) betrifft.

Hinsichtlich der näheren Betrachtung von „Articulation Work“ unterscheiden Fjuk et al. (1997) in Bezugnahme auf Strauss (1993) zwei Ebenen („levels“) von „Articulation Work“, namentlich „planned“ und „situated Articulation Work“. Diese Unterscheidung korrespondiert den Autoren nach im Wesentlichen mit der Unterscheidung zwischen „ex-

¹³für eine allgemein verständliche Einführung unter Berücksichtigung der praktischen Implikationen siehe Dahme und Raeithel (1997) oder Nardi und Kaptelinin (2006)

pliziter“ und „impliziter Articulation Work“. „Planned“ bezieht sich hier darauf, dass die „Articulation Work“ der Koordination eines vordefinierten Arbeitsablaufs dient, also nicht zur unmittelbaren Bewältigung von aufgetretenen Problemen dient. „Situating Articulation Work“ hingegen läuft ad-hoc im Arbeitsablauf bei Bedarf (d.h. zur Beseitigung von aufgetretenen Problemen) ab. Aufgrund dieser Definitionen (die auch der unabhängig davon getroffenen Unterscheidung zwischen „ad-hoc alignment“ und „coordination of predefined work“ bei Schmidt und Simone (2000) entspricht), ist eine Gleichsetzung dieser Unterscheidung mit dem Unterschied zwischen impliziter und expliziter „Articulation Work“ im Sinne von Strauss (1993) fragwürdig. Die Autoren relativieren die strikte Entsprechung auch selbst mit späteren Aussagen in der Arbeit, in der auf „situated Articulation Work“ Bezug genommen wird, die aber ob der herausfordernden Natur des Arbeitsablaufs „expliziter“ abzulaufen habe (Fjuk et al., 1997, S. 15). Die Unterscheidung zwischen „situated“ und „planned Articulation Work“ wird hier deshalb als eigenständig und orthogonal zu impliziter und expliziter „Articulation Work“ betrachtet.

Unter Einbeziehung der „Activity Theory“ und basierend auf der Unterscheidung zwischen „Activity“, „Action“ und „Operation“ führen Fjuk et al. (1997) außerdem zwei unterschiedliche Arten von „Articulation Work“ ein, die sich in ihren Bezugspunkten unterscheiden und jeweils für den Fall individueller und kollektiver Tätigkeiten bzw. Aktionen betrachtet werden.

Articulation of action within individual activity Die Artikulation von Aktionen innerhalb einer Tätigkeit entspricht einer bewussten Planung eines Vorgehens zur Erreichung von definierten Zielen. Diese Form von „Articulation Work“ ist per Definition explizit. Sie umfasst lediglich Planungsaktivitäten eines Individuums und umfasst die Klärung der Fragen „wer“ (in diesem Zusammenhang das Individuum selbst oder andere) „was“ (im Sinne des zu erreichenden Ziels) „wo“ (im Sinne des örtlichen, zeitlichen oder organisationalen Kontexts) „wie“ (im Sinne der Operationalisierung der Aktionen zur Zielerreichung) arbeitet.

Articulation of operation within action in individual activities Die Auswahl und Ausführung von Operationen im Kontext einer Aktion erfolgt zumeist nicht bewusst basierend auf Erfahrungswissen. Tatsächlich kann die Auswahl von adäquaten Operationen als ein permanenter Fluss von, mit der produktiven Arbeit verwobenen, „Articulation Work“-Vorgängen gesehen werden, der implizit auch in individuellen Arbeitssituationen abläuft. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass Operationen in „problematischen“ Situationen (im Sinne von Strauss) zu Aktionen werden können, die nicht mehr unbewusst und automatisiert ablaufen können. Mit dieser Transformation wird auch die „Articulation Work“ explizit und muss das individuelle Vorgehen der geänderten Situation anpassen.

Articulation of individual action within collective activity Die Artikulation von Aktionen innerhalb einer kollektiven Tätigkeit geht in den Gegenständen der Artikula-

tion über die im individuellen Fall zu berücksichtigenden Planungsaspekte („wer“, „was“, „wann/wo“, „wie“) hinaus. Zusätzlich müssen um Zuge der Artikulation die Regeln der Kommunikation und Arbeitsteilung zwischen den am Arbeitsprozess Beteiligten artikuliert werden. Die Artikulation umfasst hier auch die gegenseitige Offenlegung und Kenntnisnahme der individuellen „kognitiven Strukturen“ und existierender Annahmen über den Arbeitsablauf.

Articulation of individual operation within action in collective activity Im Gegensatz zur individuellen Artikulation von Operationen im Kontext von Aktionen ist diese im kollektiven Fall seltener implizit abzuwickeln. Unterschiedliche Auffassungen über Herangehensweisen oder Missverständnisse bedürfen zum Teil einer expliziten Klärung, um die Zielerreichung zu gewährleisten. Operationen werden hier damit oft auf die Ebene von Aktionen gehoben und bewusst ausgehandelt.

Articulation of collective action in collective activity Die Kategorie der kollektiven Aktion wird von (Fjuk et al., 1997) nicht im Detail behandelt, da die „Activity Theory“ selbst diese nicht behandelt und auch keinerlei anderen diesbezüglich verwendbaren Forschungsergebnisse verwendbar wären. Jede Tätigkeit involviert auch kollektive Aktionen wie Aushandlungen, Konsensfindung oder gemeinsame Problemlösung. Bei der Artikulation von kollektiven Aktionen müssen alle beteiligten Individuen ihre Perspektive, ihr Wissen und ihre Überlegungen einbringen, um die gemeinschaftliche Entwicklung voranzutreiben. Fjuk et al. (1997) treffen hier keine Aussagen hinsichtlich der Implikationen für „Articulation Work“.

Articulation of operations within collective actions in collective activity Bei Zusammenarbeit auf Aktionsebene kann es zu konfliktionären Situationen kommen, wenn die per Definition nicht bewusst geplante Durchführung der individuellen Operationen zur Zielerreichung nicht zu der kollektiven Aktion beiträgt. Vor allem, wenn die individuellen Vorstellungen des Arbeitsablaufs divergieren („weak common conceptual structures“), kann es notwendig sein, explizite „Articulation Work“ anzustoßen, um diese Vorstellungen offenzulegen und abzugleichen.

Innerhalb eines Arbeitsablaufs können auch mehrere der hier beschriebenen Kategorien auftreten. Teile von Arbeitsabläufen können durch Änderungen im Arbeitskontext die Kategorie wechseln und somit mehr oder weniger explizite „Articulation Work“ notwendig machen. Durch die Unterscheidung zwischen kollektiver Tätigkeit und Aktion wird es möglich, „Articulation Work“ je nach Enge der Interaktion und den damit auftretenden unterschiedlichen Artikulationsbedürfnissen entsprechend auszulegen.

2.2.2. Unterscheidung nach Hampson und Junor

Hampson und Junor (2005) verwenden „Articulation Work“ als Framework zur Erklärung von „interactive customer service“, also jenen Kundenbeziehungen, bei denen die Interaktion zwischen Anbieter und Kunden im Vordergrund steht. Im Rahmen ihrer

Arbeit zeigen die Autoren auch die historische Entwicklung des Begriffs „Articulation Work“ auf und entwickeln einen Raster zur Einordnung unterschiedlicher Ausprägungen von Arbeit, die wiederum unterschiedliche Arten von „Articulation Work“ bedingen. Dieses Raster ist hier von Interesse.

Bezugnehmend auf Strauss (1993) unterschieden die Autoren einerseits zwischen Arbeitsabläufen, die *routine* sind, und solchen, die *non-routine* sind. Außerdem kann zwischen Arbeitsabläufen unterschieden werden, die *visible* oder *invisible* sind (Star und Strauss, 1999). Während *visible work* all jene Arbeitsabläufe umfasst, die als solche wahrgenommen werden, bezieht sich *invisible work* auf alle Arbeitsabläufe, die stattfinden, aber nicht „offiziell“ wahrgenommen werden (also etwa nicht in einem Prozessmodell repräsentiert sind). Daraus ergeben sich vier zu unterscheidende Settings, in denen „Articulation Work“ stattfindet und die sich sowohl in der konkret als „Articulation Work“ ausgeführten Tätigkeit, als auch in der möglichen methodischen und/oder technischen Unterstützung unterscheiden.

Visible routine work beschreibt jene Arbeitsabläufe, die von klassischen Management-Ansätzen erfasst werden, formalisiert werden können und in Unternehmen oft normiert vorgegeben sind (etwa in Form von Prozessmodellen oder durch die Vorgaben eines Workflow-Management-Systems). „Articulation Work“ findet hier zu definierten Zeitpunkten und explizit ausgelöst statt, um die normierten Abläufe zu definieren bzw. diese an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen.

Visible non-routine work beschreibt Arbeitsabläufe in Umgebungen, die so dynamisch sind, dass normierte Abläufe aufgrund der raschen, nicht absehbaren Veränderungen der Anforderungen nicht sinnvoll einsetzbar sind. „Articulation Work“ tritt hier regelmäßig implizit und explizit auf, da jede Veränderung eine – je nach Ausmaß der Veränderung implizite oder explizite – Neuabstimmung der Zusammenarbeit nach innen und außen benötigt.

Invisible routine work umfasst all jene Arbeitsabläufe in Unternehmen, die zwar etabliert sind, von den traditionellen Steuer- und Kontroll-Werkzeugen im Unternehmen jedoch nicht erfasst werden. Sie sind formal nicht normiert, treten jedoch so regelmäßig auf, dass sich eine routinemäßige Herangehensweise herausbildet. „Articulation Work“ läuft hier bei Veränderungen der Rahmenbedingungen zumeist implizit ab und sorgt dafür, dass die Interaktion zwischen den Beteiligten weiter funktioniert. Explizite „Articulation Work“ unter Einbeziehung der betroffenen Personen kann hier dafür sorgen, Arbeitsabläufe dieser Kategorie in den Bereich der „visible routine work“ überzuführen.

Invisible non-routine work umfasst jene Arbeitsabläufe, die zur Behandlung von unvorhergesehenen Anforderungen durchgeführt werden und die nach außen hin nicht sichtbar wird. Typisch treten derartige Situationen bei Ausnahmefällen in etablierten Arbeitsabläufen auf, bei denen die Tätigkeiten zu Wiederherstellung einer „regelkonformen“ Situation oft nicht durch Steuer- und Kontrollelemente erfasst

werden und durch die Einzigartigkeit der Ausnahme oder des Kontexts, in dem diese auftritt, keine etablierten Handlungsmuster existieren. „Articulation Work“ ist hier ad-hoc notwendig, um adäquat auf die Anforderungen der Umwelt reagieren zu können. Sowohl explizite und implizite „Articulation Work“ kann hier zu Anwendung kommen, wobei als Entscheidungskriterien zwischen diesen beiden Ausprägungen die wahrgenommene Komplexität der Situation sowie die zur Lösung zur Verfügung stehende Zeit zu berücksichtigen sind.

In unterschiedlichen Arbeitssituationen können diese vier Kategorien auch kombiniert auftreten. Zudem können manche Arbeitsabläufe durch erfolgreich durchgeführte „Articulation Work“ in eine andere Kategorie verschoben werden, wo der Bedarf an laufender ad-hoc Abstimmung geringer oder nicht vorhanden ist. Andere Arbeitsabläufe sind ihrer Natur nach nicht strukturierbar und formalisierbar, so dass „Articulation Work“ ein inhärenter Bestandteil des Ablaufs ist und trotz wiederholter Durchführung auch bleibt.

2.2.3. Unterscheidung nach Færgemann et al.

Færgemann et al. (2005) sprechen einen Aspekt von „Articulation Work“ an, der von anderen Autoren in dieser Form nicht erwähnt wird. Das strukturierende Merkmal ist in diesem Fall die „Reichweite“ der Arbeit, die zu koordinieren ist. Die „Reichweite“ (grob unterteilt in „lokal“ und „global“) beschreibt, ob die kooperierende Instanzen (Individuen oder Organisationseinheiten) miteinander vertraut sind, im täglichen Arbeitsverlauf ständig kooperieren und auch Zugriff auf die gleichen Informationsquellen haben und diese identisch interpretieren. Ist dies nicht der Fall, liegt ein „globales“ Arbeitssetting vor, in dem „Articulation Work“ anders als in lokalen Settings unterstützt werden muss.

Die Autoren führen dementsprechend vier unterschiedliche „Reichweiten“ von „Articulation Work“ an:

internal beschreibt „Articulation Work“, die zwischen ständig eng zusammenarbeitenden Individuen in einem etablierten Arbeitskontext durchgeführt wird.

semi-internal beschreibt die „Articulation Work“, die zwischen eng kooperierenden, aber organisational getrennten Einheiten auftritt.

semi-external bezeichnet die „Articulation Work“, die zwischen sporadisch interagierenden, organisational getrennten Einheiten auftritt, die jedoch noch unter einem gemeinsamen konzeptuellen Dach (also z.B. innerhalb einer bestimmten Arbeitsdomäne) arbeiten.

external bezeichnet jene „Articulation Work“, die über organisationale Grenzen hinweg durchgeführt wird, und in der auch kein gemeinsames Domänenwissen mehr vorausgesetzt werden kann.

Je weiter die Reichweite der „Articulation Work“ gefasst ist, desto expliziter und formalisierter muss diese den Autoren zufolge auch durchgeführt werden¹⁴

2.2.4. Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurden vier Arbeiten näher vorgestellt, die sich der Strukturierung des Konzepts „Articulation Work“ widmen. Die grundlegende Strukturierung bietet bereits Strauss (1985) (bzw. Strauss (1988) und Strauss (1993)). Die drei übrigen Arbeiten bauen auf Strauss auf und vertiefen das Verständnis von „Articulation Work“ weiter, in dem sie vor allem den im Zuge von „Articulation Work“ behandelten Gegenstand weiter detaillieren und strukturieren. Die drei Arbeiten gehen hierbei unterschiedliche Wege. Fjuk et al. (1997) setzen „Articulation Work“ in Beziehung zur aus der Psychologie stammenden „Activity Theory“ während Hampson und Junor (2005) und Færgemann et al. (2005) im Kontext der Soziologie bleiben und neben den Arbeiten von Strauss z.B. auch auf (Star und Strauss, 1999) aufbauen.

Fasst man die Konzepte zur Strukturierung von „Articulation Work“ aus allen hier besprochenen Arbeiten zusammen, so ergibt sich folgender Überblick:

- Ausprägung der „Articulation Work“
 - implizit vs. explizit¹⁵
- Ziel der „Articulation Work“
 - situated vs. planned¹⁶ bzw. ad-hoc alignment vs. coordination of predefined work¹⁷
 - working out original arrangements vs. reworking arrangements¹⁸ vs. resolving contingencies¹⁹
- Reichweite der „Articulation Work“
 - internal vs. semi-internal vs. semi-external vs. external²⁰
- Gegenstand der „Articulation Work“
 - alignment of procedures vs. alignment of meanings²¹

¹⁴ „local articulation work often is based on immediate access and visibility [...] articulation work across unit boundaries is [...] much more demanding and is more dependent on a high degree of formalization in the interaction and coordination undertaken.“ (Færgemann et al., 2005, S. 178f)

¹⁵in (Strauss, 1993)

¹⁶in (Fjuk et al., 1997)

¹⁷in (Schmidt und Simone, 2000)

¹⁸in (Corbin und Strauss, 1993)

¹⁹z.B. in (Gerson und Star, 1986)

²⁰in (Færgemann et al., 2005)

²¹in (Sarini und Simone, 2002a)

- routine vs. non-routine work²² bzw.
routine vs. problematic interaction (mit der belebten oder unbelebten Umwelt)²³
- visible vs. invisible work²⁴
- individual activity vs. collective activity vs. collective action²⁵
- Abstraktionsgrad des Gegenstandes der „Articulation Work“
 - activity-action vs. action-operation²⁶

Bezüglich des *Ziels von „Articulation Work“* sind im Wesentlichen zwei Gegensatzpaare zu identifizieren. „Situating Articulation Work“ wird während des Arbeitsablaufs beim Auftreten von unvorhergesehenen Problemen durchgeführt und dient der ad-hoc-Abstimmung der Beteiligten. Obwohl diese in den meisten Fällen implizit abläuft, sind doch Fälle vorstellbar, in denen eine explizite, d.h. bewusst durchgeführte, „Articulation Work“ sinnvoll bzw. notwendig ist (siehe weiter unten – Gegenstand der „Articulation Work“). „Planned Articulation Work“ dient der Koordination von vordefinierten Arbeitsabläufen und kann – je nach Arbeitskontext – implizit oder explizit auftreten. Ein Großteil der Autoren, die den Begriff „Articulation Work“ prägen (u.a. (Strauss, 1985), (Gerson und Star, 1986) und z.T. auch (Schmidt und Bannon, 1992)), schränken diese auf deren Durchführung zur Lösung von im Arbeitsprozess aufgetretenen Probleme (also „situated“) ein. Die Durchführung von „Articulation Work“ zur Koordination von Arbeitsabläufen wird nur selten und erst in späteren Arbeiten explizit angesprochen (etwa bei (Grinter, 1996) oder (Fjuk et al., 1997)).

Die Unterscheidung zwischen „working out arrangements“, „reworking arrangements“ und „resolving contingencies“ ist eine weitere Kategorisierung der Zielsetzung von „Articulation Work“, die sich auf den Zeitpunkt der Durchführung bezieht. Die beiden erstgenannten Ausprägungen sind dabei im Regelfall explizit, da sie eine bewusste Beschäftigung mit dem Arbeitsablauf bedingen, und steigen aus dem Arbeitssystem heraus. „Resolving contingencies“ wird im aktuellen Arbeitskontext durchgeführt und kann je nach wahrgenommener Komplexität des Problems implizit oder explizit auftreten. „Reworking arrangements“ ist wie „resolving contingencies“ immer „situated“, da es immer aufgrund einer im Arbeitsprozess auftretenden problematischen Situation ausgelöst wird, die die Durchführung der bis dahin geltenden Modalitäten der Zusammenarbeit unmöglich macht. „Working out arrangements“, also die initiale Festlegung der Modalitäten einer Zusammenarbeit, kann nicht in die Unterscheidung zwischen „situated“ und „planned“ eingeordnet werden, da die „Articulation Work“ in diesem Fall weder

²²in (Hampson und Junor, 2005)

²³in (Strauss, 1993)

²⁴u.a. in (Suchman, 1995), (Suchman, 1999), (Star und Strauss, 1999), (Hampson und Junor, 2005)

²⁵in (Fjuk et al., 1997)

²⁶in (Fjuk et al., 1997)

auf aufgetretenen Problemen beruht, noch die Koordination eines bereits bestehenden Arbeitsablaufs zum Ziel hat.

Die *Reichweite von „Articulation Work“* ist orthogonal zu den bereits genannten Unterscheidungen zu nennen, da diese alle in einer der vier Reichweiten-Kategorien auftreten können. Tendenziell ist „Articulation Work“ mit größerer Reichweite (also „semi-external“ oder „external“) eher explizit, da der Abstimmungsbedarf im Allgemeinen größer ist.

Hinsichtlich des *Gegenstandes von „Articulation Work“* sind fünf unterschiedliche Kategorisierungen zu identifizieren. Die jeweiligen Ausprägungen weisen in der Folge auf die Art der durchzuführenden „Articulation Work“ hin.

Die Unterscheidung zwischen „routine“ und „non-routine work“ bezieht sich darauf, ob der fragliche Arbeitsablauf für die beteiligten Personen alltäglich ist und unter bekannten Rahmenbedingungen stattfindet oder nicht. Je stärker der „non-routine“-Anteil in einem Arbeitsablauf zum Tragen kommt, desto expliziter muss im Allgemeinen die „Articulation Work“ sein – bei Routine-Arbeit ist der Bedarf an Articulation gering und beschränkt sich auf implizit durchführbare Detailabstimmungen zwischen den Beteiligten.

Obwohl vordergründig unterschiedlich, bezieht sich die nächste Kategorisierung „routine vs. problematic interaction“ auf den gleichen Sachverhalt. Strauss (1993), von dem diese Unterscheidung stammt, bezeichnet Interaktion als die Grundlage von Arbeitsabläufen und als wesentlichen Bestandteil derselben. Der hier verwendete „routine“-Begriff kann deshalb mit jenem der zuvor beschriebenen Unterscheidung gleichgesetzt werden. Der Begriff der „problematic interaction“ beschreibt insofern das gleiche Phänomen wie jener der „non-routine work“ als dass er sich ebenfalls auf die erhöhte kognitive Belastung der beteiligten Personen bei der Zielerreichung bezieht. Dementsprechend impliziert „problematic interaction“ eine meist explizite „Articulation Work“, während „routine interaction“ meist durch implizite „Articulation Work“ produktiv gehalten werden kann.

Die Unterscheidung zwischen „visible“ und „invisible work“ bezieht sich auf die Sichtbarkeit eines Arbeitsablaufs in seinem Durchführungskontext und dessen Wahrnehmung durch andere – vor allem auch übergeordnete – organisationale Instanzen. Während „visible work“ der Erfüllung definierter Aufgaben dient, formalisiert werden kann und durch Steuer- und Kontrollinstrumente oder organisationale Unterstützungswerkzeuge erfasst werden kann, bleibt „invisible work“ im organisationalen Kontext verborgen und ist nur für die handelnden Individuen sichtbar (und wird dementsprechend auch organisational nicht unterstützt und wertgeschätzt). Für „Articulation Work“ hat dies per se keine unmittelbaren Auswirkungen, außer dass „visible work“ immer ein Ergebnis expliziter „Articulation Work“ ist. Dies bedeutet gleichzeitig, dass explizite „Articulation Work“ (unter Einbeziehung sowohl der unmittelbar am Arbeitsablauf beteiligten Personen als auch der „übergeordneten“ Instanzen) dazu beitragen kann, „invisible work“ zu „visible work“ zu machen (siehe dazu auch (Fujimura, 1987)). „Articulation Work“

ist somit ein Mittel, einen Abgleich zwischen dem offiziellen (organisational festgeschriebenen) Verständnis eines Arbeitsablaufs und dem tatsächlichen Ablauf, wie er in der Praxis ausgeführt wird, durchzuführen. „Articulation Work“ kann damit eine Realisierung eines organisationalen Lernschritts sein, der im Sinne von Argyris und Schön (1978) die „espoused theories“ (die offiziell veröffentlichten Theorien über Arbeit) mit den „theories-in-use“ (die tatsächlich handlungsleitenden Theorien) abgleicht bzw. im Sinne von Sachs (1995) einen „tacit organisational view“ in einen „explicit organisational view“ überführen (siehe dazu auch die Ausführungen in Kapitel 1).

Die Enge der notwendigen Kooperation bei der Durchführung eines Arbeitsablaufs (festgemacht an den Handlungs-Kategorien der „Activity Theory“) ist Gegenstand der letzten Kategorie. „Individual activity“ beschreibt Arbeitsabläufe, die im Wesentlichen von einem Individuum ausgeführt werden und lediglich an den Schnittstellen zu Beginn und am Ende Interaktion benötigen. „Collective Activity“ beschreibt Arbeitsabläufe, in denen mehrere Individuen klar abgegrenzte Teile der Arbeit übernehmen und Interaktion an festgelegten Schnittstellen bzw. zu festgelegten Zeitpunkten stattfindet. Dies entspricht im Wesentlichen der klassischen Arbeitsteilung in Unternehmen im tayloristischen Sinne. „Collective Action“ beschreibt tatsächlich kooperative Arbeit im engeren Sinn, deren Durchführung nur durch enge Interaktion mehrere Individuen auch in Detailaspekten notwendig ist. Je enger die Kooperation, desto notwendiger wird „Articulation Work“, wobei diese in allen Fällen sowohl in ihrer impliziten als auch expliziten Ausprägung zum Einsatz kommen kann.

Zur Identifikation der im Einzelfall sinnvollen Variante von „Articulation Work“ (implizit oder explizit) ist die Berücksichtigung der letztgenannten Unterscheidung hinsichtlich des Abstraktionsgrades der „Articulation Work“ notwendig. Beschäftigt sich „Articulation Work“ mit der abstrakteren Ebene zwischen „activity“ und „action“, steht die Betrachtungsdimension „Was?“ (also die Ziele und das generelle Vorgehen) im Zentrum. Bei Arbeitsabläufen, die „non-routine“ sind, kommt eher explizite „Articulation Work“ zum Einsatz. Bei „routine“-Arbeitsabläufen ist „Articulation Work“ auf dieser abstrakten Ebene implizit nicht und explizit nur dann notwendig, wenn der Ablauf selbst nicht mehr anwendbar ist (also „problematic“ bzw. „non-routine“ wird) und hinterfragt werden soll („reworking arrangements“). Auf der konkreten Ebene zwischen „action“ und „operation“ (also der Frage nach dem „Wie?“) kommt in individuell abgehandelten Arbeitsabläufen vorrangig implizite „Articulation Work“ zum Einsatz. Treten unvorhergesehene Probleme auf oder werden etablierte Operationen als nicht mehr adäquat wahrgenommen, kommt zur Klärung wieder explizite „Articulation Work“ zum Einsatz. In kollektiven Arbeitsprozessen ist die Enge der Interaktion entscheidend. Bei klar separierbaren Arbeitsanteilen (also bei Interaktion auf „activity“-Ebene) bleibt die Entscheidung zur konkreten Umsetzung beim Individuum und die „Articulation Work“ im Normalfall implizit (für Ausnahmen siehe die Ausführungen zu individuellen Arbeitsabläufen in Abschnitt 2.2.1). Bei Arbeitsabläufen mit enger Interaktion auf Aktionsebene muss diese im Normalfall im Vorhinein („working out arrangements“) durch explizite

2.2. Ausprägungen von Articulation Work

„Articulation Work“ ausgehandelt werden. Während des Arbeitsablaufs kann wiederum implizite „Articulation Work“ zurückgegriffen werden, wobei auf Grund der Anzahl der beteiligten Personen die Wahrscheinlichkeit steigt, dass ein beteiligtes Individuum die Interaktion als „problematic“ empfindet und dies wiederum explizite „Articulation Work“ notwendig macht.

Zusammenfassend können die in den letzten Abschnitten beschriebenen Zusammenhänge wie in Abbildung 2.3 dargestellt beschrieben werden. Diese Darstellung stellt den Versuch einer Strukturierung des Konzepts „Articulation Work“ dar, um deren mögliche Ausprägungen in unterschiedlichen Arbeitskontexten zu zeigen. Sie ist keine Beschreibung der möglichen Abläufe eines „Articulation Work“-Prozesses. In der Abbildung sind die wesentlichen Inhalte der oben behandelten Einteilungen abgebildet.

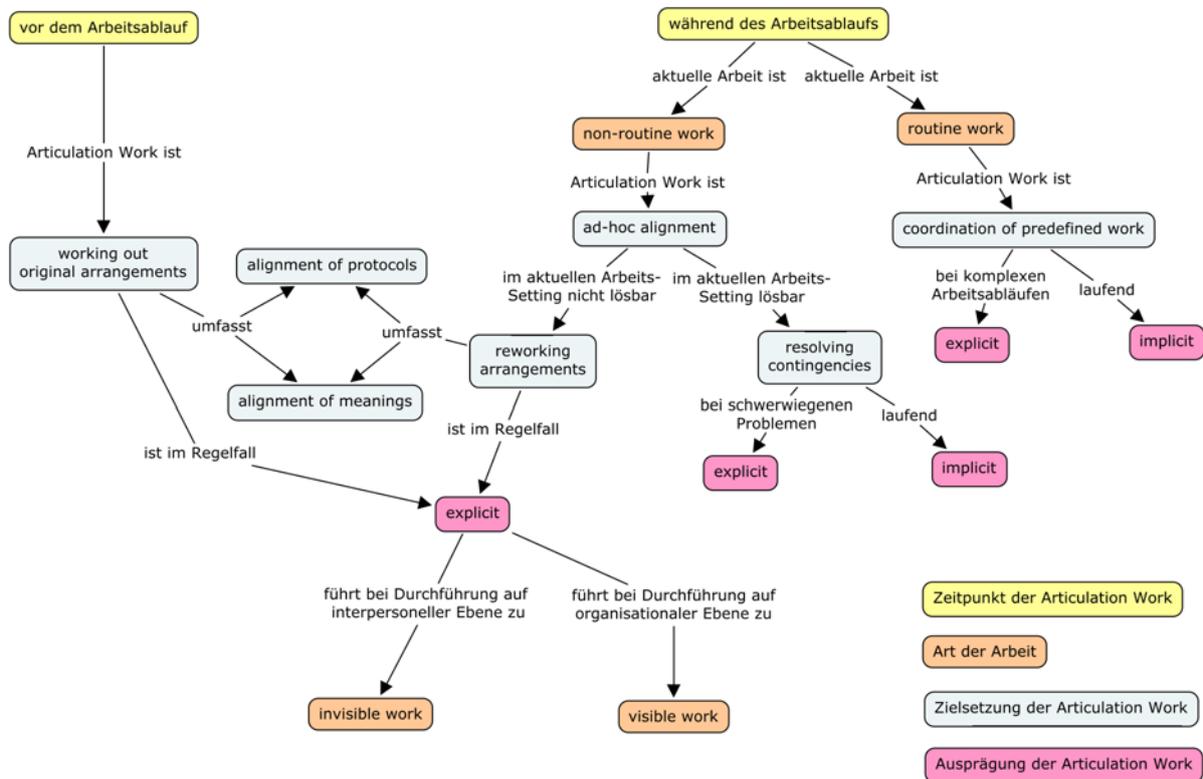


Abbildung 2.3.: Articulation Work im Durchführungskontext

Die erste Unterscheidung, die am oberen Rand der Grafik dargestellt ist, betrifft den Zeitpunkt der Durchführung von „Articulation Work“. Während von den meisten Autoren lediglich jene Phasen eines Arbeitsprozesses zu „Articulation Work“ gezählt werden, die während der Durchführung der „Production Work“ auftreten, bezeichnen Corbin und Strauss (1993) selbst auch den Vorlauf eines Arbeitsprozesses (also die Konzeptions- und Planungsphase) als „Articulation Work“ (auch die ursprüngliche Definition von Stauss

schließt diese Phase nicht aus). Nach Corbin und Strauss (1993) ist „Articulation Work“ in dieser Phase immer explizit (entsprechend dem in dieser Arbeit angegebenen Schema). Obwohl grundsätzlich nichts gegen eine implizite Durchführung dieser Phase spräche (bei „einfachen“ Arbeitsaufgaben, die von (etablierten Gruppen von) Individuen übernommen werden), wird diese Variante von den Autoren nicht erwähnt und deshalb in der Abbildung nicht dargestellt. Je nach Kontext, in dem die „Articulation Work“ durchgeführt wird (organisational, d.h. in offiziellem Rahmen oder informell ausschließlich in der lokalen Arbeitsumgebung) führt sie zu „visible“ oder „invisible work“.

„Articulation Work“, die im Zuge des Arbeitsablaufs ausgeführt wird, kann zwei Zwecken dienen. Einerseits kann sie im Falle etablierter Arbeitsabläufe („routine“) der Koordination der ohnehin definierten Abläufe dienen (die nicht notwendigerweise „visible“ sein müssen). Dies wird im Regelfall implizit ablaufen, lediglich bei komplexen Arbeitsabläufen oder etwa in verteilt organisierten Arbeitsumgebungen (vgl. (Carstensen und Schmidt, 1999)) wird eine explizite Beschäftigung mit der Koordination notwendig sein. Andererseits kann „Articulation Work“ auch in Situationen („ad-hoc“) zur Anwendung kommen, in denen keine etablierten Arbeitsabläufe existieren oder diese aufgrund von Veränderung in der Arbeitsumgebung nicht adäquat sind. Dieser Fall beschreibt „Articulation Work“ im engeren Sinne, die der Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit in Situationen dient, in denen die Ausführung von „Production Work“ (aus welchen Gründen auch immer) nicht mehr möglich ist.

Bei der „ad-hoc“-Anwendung von „Articulation Work“ sind unterschiedliche Eskalationsstufen zu unterscheiden. In vielen Situationen, die von einzelnen beteiligten Individuen als „problematisch“ oder „non-routine“ wahrgenommen werden, ist die Auflösung dieser Bedenken durch einfache implizite „Articulation Work“, also ohne bewusste Beschäftigung im Rahmen der üblichen sozialen Interaktion möglich. Wird die aktuelle Arbeit als so „problematisch“ wahrgenommen, dass sie nicht durchgeführt bzw. aufrecht erhalten werden kann, muss eine explizite (d.h. bewusste) Beschäftigung mit der Situation erfolgen, um die „Production Work“ wieder in einen operativen Zustand zu versetzen oder verbleibende Unklarheiten implizit beseitigen zu können.

Es können jedoch Situationen auftreten, in denen die aktuelle Arbeitspraxis nicht mehr soweit angepasst werden kann, dass die „Production Work“ wieder aufgenommen werden kann. Dies ist vor allem in Situationen der Fall, in denen es zu massiven Veränderungen des Arbeitskontexts gekommen ist (etwa durch veränderte Vorschriften, neue Werkzeuge oder Personaländerungen). In diesen Fällen muss die Arbeitspraxis selbst hinterfragt werden, was nach (Corbin und Strauss, 1993) im Wesentlichen einer Neuplanung unter Berücksichtigung der bislang gemachten Erfahrungen entspricht. Diese Überarbeitung ist immer explizit und kann je nach Durchführungskontext wiederum zu „visible“ oder „invisible work“ führen. Sie umfasst je nach Art des aufgetretenen Problems „alignment of meaning“ (also die Entwicklung einer gemeinsamen Sicht aller beteiligten Individuen auf die Arbeitsdomäne) und / oder „alignment of procedures“ (also die Abstimmung der Modalitäten der Zusammenarbeit).

An dieser Stelle ist es wichtig, nochmals darauf hinzuweisen, dass die getroffenen Unterscheidungen keine strikte, präskriptive Kategorisierung von „Articulation Work“ darstellen. Wie auch von Schmidt und Simone (2000) angemerkt²⁷, sind die Grenzen zwischen den unterschiedlichen Ausprägungen von „Articulation Work“ fließend. Auch die Kontexte, die zur Durchführung einer bestimmten Ausprägung führen, sind dynamisch und können sich während der Durchführung der „Articulation Work“ selbst ändern. Für diese Arbeit bedeutet dies, dass sich die Unterstützung von „Articulation Work“ nicht auf eine bestimmte Ausprägung beschränken darf – vielmehr muss ein Weg gefunden werden, unterschiedliche Anforderungen an die gegenseitige Abstimmung in unterschiedlichen Kontexten zu realisieren.

In der Darstellung nicht enthalten sind die Unterscheidungen, die nach (Fjuk et al., 1997) auf die „Activity Theory“ zurückzuführen sind. Es sind dies die Unterscheidung nach Kooperations-Art der Arbeit („individuell“ vs. „lose kooperativ“ vs. „eng kooperativ“) und dem Abstraktionsgrad der „Articulation Work“ (abstrakt zwischen „activity“ und „action“ vs. konkret zwischen „action“ und „operation“). Hintergrund der Entscheidung, diese Unterscheidungen in der Abbildung zu vernachlässigen, ist deren fehlende Wirkung auf die Ausprägung der durchgeführten „Articulation Work“ (implizit oder explizit). In allen Kooperations-Arten ist die Durchführung von sowohl impliziter als auch expliziter „Articulation Work“ auf beiden Abstraktionsstufen denkbar. Es ändert sich lediglich die konkrete Ausgestaltung der „Articulation Work“ bzw. die Notwendigkeit einer eventuellen Unterstützung.

Außerdem fehlt in der Darstellung die Unterscheidung anhand der Reichweite von „Articulation Work“ nach (Færgemann et al., 2005). Diese hat durchaus Einfluss auf die Ausprägung der durchgeführten „Articulation Work“, steht aber vollständig orthogonal zu den abgebildeten Unterscheidungen. Die Komplexität der Darstellung wäre deshalb durch die Integration dieser Unterscheidung auf ein Maß angestiegen, das eine sinnvolle Interpretation der Grafik nicht mehr zugelassen hätte. Die Reichweite ist deshalb implizit in der Unterscheidung nach „routine“ und „non-routine work“ codiert, da domänenübergreifende Arbeitssituationen tendenziell eher „non-routine“ bzw. „problematic“ sind und dadurch eher zu expliziterer „external Articulation Work“ führen.

Auf Basis dieser dargestellten Struktur werden die im folgenden Abschnitt beschriebenen Arbeitsaspekte in unterschiedlichen Ausprägungen von „Articulation Work“ abgestimmt bzw. koordiniert. Jede dieser Ausprägungen muss in den unterschiedlichen Kontexten, in denen sie auftreten können, verschieden stark und mit unterschiedlichen Mitteln unterstützt werden. Abschnitt 2.4 widmet sich auf Basis einer Literaturstudie

²⁷ „As already indicated, the general modalities of articulation work which we for the sake of clarity discussed separately — ad hoc alignment and improvisation on the basis of mutual awareness versus action constrained by coordinative artifacts and protocols — are not ‘natural kinds’ in the Aristotelian sense: they do not exist as distinct domains of action, they are analytical distinctions.“ (Schmidt und Simone, 2000, S. 7)

dem State-of-the-Art der Möglichkeiten dieser Unterstützung aus organisatorischer, methodischer und technischer Sicht.

2.3. Abzustimmende Arbeitsaspekte

Bei der Durchführung von „Articulation Work“ ist das Ziel etwaige im Rahmen eines Arbeitsablaufs aufgetretene Unklarheiten oder Probleme aufzulösen. Diese Probleme und Unklarheiten können unterschiedliche Aspekte der Arbeit (etwa die durchzuführenden Schritte, die beteiligten Personen und Verantwortlichkeiten oder die zu verwendenden Ressourcen) betreffen. Um „Articulation Work“ umfassend zu beschreiben und eine fundierte Unterstützung gewährleisten zu können, ist eine nähere Beschäftigung mit diesen potentiell abzustimmenden Arbeitsaspekten notwendig.

Abbildung 2.4 zeigt eine Übersicht über Aspekte, die im Rahmen von „Articulation Work“ Gegenstand der Abstimmung zwischen den beteiligten Individuen sein können (entnommen aus (Schmidt und Simone, 1996)). In Abbildung 2.5 sind diese Aspekte nochmals hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen ihnen diagrammatisch dargestellt.

Obwohl diese Übersicht aus Beobachtungen induktiv abgeleitet ist und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, zeigt sie doch eine Anzahl von konkreten Ausprägungen der von Strauss angeführten Dimensionen von Arbeit, die im Rahmen von „Articulation Work“ abzustimmen sind („Wer?“, „Was?“, „Wann/Wo?“ und „Wie?“). Die Autoren klären also, welche Aspekte von Arbeit konkret von der Abstimmung betroffen sein können. Mit der Unterscheidung zwischen den nominalen Aspekten von Arbeit und der konkreten Manifestation eines Arbeitsablaufs im organisationalen Kontext stellen die Autoren einen in dieser Form bislang nicht explizit angesprochenen Unterschied bei der Durchführung von „Articulation Work“ dar.

Konzeptuell unterscheiden die Autoren auch zwischen Arbeitsaspekten, die den Arbeitsablauf an sich betreffen („*cooperative work arrangement*“) und Aspekten, die den Durchführungsrahmen der Arbeit, also deren Umfeld oder organisationalen Kontext beschreibt („*field of work*“). Die Berücksichtigung beider Aspekte wird bereits bei Strauss (1988) als ein wesentliches Merkmal von „Articulation Work“ identifiziert, bei Schmidt und Simone (1996) aber erstmals in dieser expliziten Form dargestellt und abgegrenzt.

Konkret nimmt also die Frage nach dem „Womit?“ – also den Arbeitsmitteln, den Ressourcen bzw. dem Arbeitsumfeld an sich – sowohl auf konzeptueller als auch auf konkreter Ebene einen großen Stellenwert ein. Die Behandlung dieses Aspektes dient vor allem der Bildung einer gemeinsamen Sichtweise auf den Arbeitskontext, in dem der betreffende Arbeitsablauf abgehandelt wird.

2.3. Abzustimmende Arbeitsaspekte

Nominal		Actual	
Elemental categories of articulation work	Elemental predicates	Elemental categories of articulation work	Elemental predicates
<i>Articulation work with respect to the cooperative work arrangement</i>			
Role	assign to [Committed actor]; responsible for [Task, Resource]	Committed-actor	assume , accept, reject [Role]; initiate [Activity];
Task	point out, express; divide, relate; allocate, volunteer; accept, reject; order, countermand; accomplish, assess; approve, disapprove; realized by [Activity]; to be aligned with [Task]	Activity/Action	[Committed actor] initiate; [Actor-in-action] undertake, do, accomplish; realize [Task]; [Actor-in-action] makes publicly perceptible, monitors, is aware of, explains, questions; aligned with [Activity]
Personnel	locate, allocate, reserve;	Actor-in-action	does [Activity];
<i>Articulation work with respect to the field of work</i>			
Conceptual structures	categorize: define, relate, exemplify relations between categories pertaining to [Field of Work];	State of field of work	classify aspect of [State of field of work]; monitor, direct attention to, make sense of, act on aspect of [State of field of work];
Informational resource	locate, obtain access to, block access to;	Informational resources-in-use	show, hide content of; publicize, conceal existence of;
Material resource	locate, procure; allocate, reserve to [Task];	Material resources-in-use	deploy, consume; transform;
Technical resource	locate, procure; allocate, reserve to [Task];	Technical resources-in-use	deploy; use;
Infrastructural resource	reserve;	Infrastructural resources-in-use	use;

Abbildung 2.4.: Abzustimmende Arbeitsaspekte (entnommen aus (Schmidt und Simone, 1996))

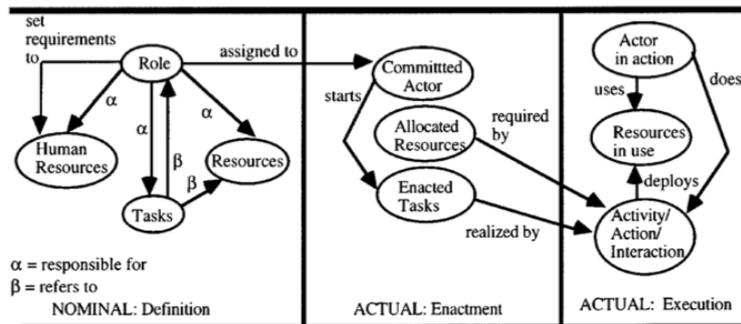


Abbildung 2.5.: Zusammenhänge zwischen Arbeitsaspekten (entnommen aus (Divitini und Simone, 2000))

Von Interesse sind auch die den einzelnen Aspekten zugeordneten Prädikate, die eine Aussage über die konkret durchzuführenden Aktivitäten zulassen. Diese Aktivitäten sind sowohl dem Bereich der „Production Work“ (z.B. „do“, „use“) als auch der „Articulation Work“ zuzuordnen (z.B. „assign to“, „allocate“). Zum Teil sind auch Beziehungen zwischen den Aspekten angeführt, die eine notwendige Abstimmung über die Grenzen der einzelnen Aspekte hinweg anzeigen (z.B. „Task realized by Activity“ oder „Role responsible for Task“).

Für diese Arbeit ist die Beschreibung der abzustimmenden Aspekte von Interesse, als dass an diesen die Effektivität der Durchführung von „Articulation Work“ beobachtet werden kann. Diese Effektivität ist dann gegeben, wenn eine gemeinsame Sichtweise auf die abzustimmenden Gegenstände, konkret also die relevanten Aspekte des Arbeitsablaufs selbst sowie jene aus dessen Umfeld, entwickelt wurde.

2.4. Unterstützung von Articulation Work

Nach den ersten Arbeiten von Strauss zum Thema „Articulation Work“ wurde das Konzept bald als Erklärungsmodell für die Vorgänge aufgenommen, die im Zuge kooperativer Arbeit ablaufen. Bereits 1986 verweisen Gerson und Star auf die Notwendigkeit einer expliziten Unterstützung von „Articulation Work“²⁸. Anhand der historischen Entwicklung von Mitte der 1980er-Jahre bis Ende des ersten Jahrzehntes des neuen Jahrtausends werden in den folgenden Abschnitten Maßnahmen zur Unterstützung beschrieben und in den jeweiligen Anwendungskontext gesetzt. Hierbei werden alle Arbeiten berücksichtigt, die sich direkt auf den von Strauss geprägten „Articulation Work“-Begriff beziehen.

²⁸ „Methods for analyzing due process means, in this perspective, explicit procedures for evaluating and reconciling incompatibilities among different bodies of tacit local knowledge.“ (Gerson und Star, 1986, S. 266)

In der Literatursuche wurden dazu Datenbanken aus den Bereichen Informatik, Psychologie, Soziologie, den Wirtschaftswissenschaften sowie der Organisationslehre durchsucht (für eine detaillierte Auflistung siehe Abschnitt A.1). Nach der initialen Suche wurde jeweils auch die in den gefundenen Arbeiten referenzierte Sekundärliteratur aufgearbeitet. Des Weiteren wurden mit Hilfe von rückwärts verlinkenden Datenbanken (wo vorhanden) Publikationen erfasst, die die bislang gefundenen Arbeiten referenzieren und diese hinsichtlich ihrer Relevanz überprüft. Insgesamt ergab sich so eine Sammlung von 70 Publikationen (inklusive der grundlegenden Arbeiten, die bereits oben beschrieben wurden). Von diesen 70 Publikationen wurden 13 Arbeiten im Kontext dieses Abschnitts einer näheren Betrachtung unterzogen, da sie Aussagen zur Unterstützung von „Articulation Work“ treffen. Die übrigen Publikationen geben hierzu keine Aussage ab oder sind im Kontext größerer Forschungsvorhaben entstanden, die bereits durch eine repräsentative Arbeit in der detaillierten Betrachtung enthalten sind.

Sämtliche Arbeiten sind in Anhang A hinsichtlich ihres Inhalts beschrieben und ihrer Relevanz für die Unterstützung von „Articulation Work“ beurteilt. In Anhang A ist außerdem eine Übersichtsgrafik zu finden, die das gesamte Feld an Publikationen zum Thema „Articulation Work“ visualisiert und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeiten und Forschungsvorhaben aufzeigt.

2.4.1. Vorgehen zur detaillierten Betrachtung

Zur strukturierten Betrachtung der Unterstützung von „Articulation Work“ wird ein einheitlicher Raster angewandt, anhand dessen die aus unterschiedlichen Forschungsgebieten stammenden und in unterschiedlichen Anwendungsdomänen angewandten Arbeiten einander gegenüber gestellt werden können. Neben den eigentlichen Unterstützungsmaßnahmen ist zur Bewertung derselben auch Kontextinformation notwendig, die die unterschiedlichen Ansätze offenlegt. Folgende Merkmale bzw. Inhalte einer Arbeit werden dazu betrachtet:

Kontext Forschungsgebiet aus dem das Konstrukt „Articulation Work“ betrachtet wird bzw. in dessen Kontext es zur Anwendung gebracht wird und / oder abstraktes oder konkretes Problemfeld, in dem „Articulation Work“ als Analysedimension oder zur Ableitung von Maßnahmen angewandt wird.

Unterstützung Konkrete oder abstrakte Maßnahmen oder Werkzeuge, die zur Unterstützung von „Articulation Work“ vorgeschlagen und/oder umgesetzt werden. Ggf. unterschieden in

- organisationale Unterstützung
- methodische Unterstützung
- technische Unterstützung

Auswirkungen Tatsächliche oder vermutete Auswirkungen der Unterstützung auf die durchgeführte „Articulation Work“.

Bewertung Zusammenfassung des Beitrags der Arbeit zur Unterstützung von „Articulation Work“ hinsichtlich der unterstützten Ausprägungen inklusive einer Beurteilung der möglichen Generalisierbarkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen bzw. vorgestellten Werkzeuge.

Die als relevant betrachteten Publikationen sind methodisch unterschiedlich ausgerichtet. Ein großer Anteil beschreibt rein empirisch-deskriptiv ein beobachtetes Phänomen und zieht Schlüsse hinsichtlich möglicher bzw. notwendiger Ausprägungen von „Articulation Work“ in bestimmten Anwendungsdomänen. Ein anderer Teil fokussiert auf die organisationale und/oder technische Unterstützung von „Articulation Work“, zum Teil ohne auf eigene empirische Ergebnisse aufzubauen oder diese zu erheben. Aus diesem Grund kann das oben angegebene Raster nicht immer vollständig befüllt werden. Wo hinsichtlich einer bestimmten Dimension keine Information vorhanden ist, wird explizit im Text darauf hingewiesen. Wo mehrere Publikation eines Autors oder einer Gruppe zum gleichen Forschungsgegenstand existieren, wurden die umfassendsten Arbeiten (i.A. jene, die das jeweilige Forschungsvorhaben abschließend beschreiben) herausgegriffen und exemplarisch detailliert ausgearbeitet. Alle übrigen Arbeiten des Forschungsgegenstandes A sind in entsprechend der jeweils hier beschriebenen Publikation zugeordnet.

2.4.2. Modeling Articulation Work in Software Engineering Processes

Die erste Publikation, die sich mit der organisationalen Unterstützung von „Articulation Work“ in Form der expliziten Berücksichtigung von „Articulation Work“ in formalisierten Ablaufmodellen beschäftigt, ist die Arbeit von Mi und Scacchi (1991).

Kontext

Mi und Scacchi (1991) betrachten „Articulation Work“ im Kontext der Softwareentwicklung und argumentieren für deren explizite Berücksichtigung in Software Engineering Prozessen. In einer Literaturstudie zeigen sie, dass (die zum Zeitpunkt der Erstellung) verfügbaren Software-Engineering-Prozess-Modellierungs-Techniken die Einbindung von „Articulation Work“ in die Vorgehensmodelle nicht ermöglichen²⁹. Die Autoren selbst haben ihren Hintergrund ebenfalls in der Domäne des Software Engineering und wählen ihren Zugang zu Thematik dementsprechend, indem sie eine formale Abbildung des „Ar-

²⁹ „After we compare these findings with the process modeling techniques, it becomes apparent that current software process modeling techniques do not directly address articulation work.“ (Mi und Scacchi, 1991, S. 192)

articulation Work“-Prozesses und eine Unterstützung durch regelbasierte Heuristiken zur Lösungsfindung vorschlagen.

Unterstützung

Die Autoren formalisieren im ersten Schritt den Ablauf von „Articulation Work“ im Kontext von Softwareengineering (siehe Abbildung 2.6). Die einzelnen Schritte leiten sie aus drei empirischen Studien ab, die sowohl hinsichtlich ihres Inhalts als auch ihrer Durchführung nicht näher beschrieben werden.

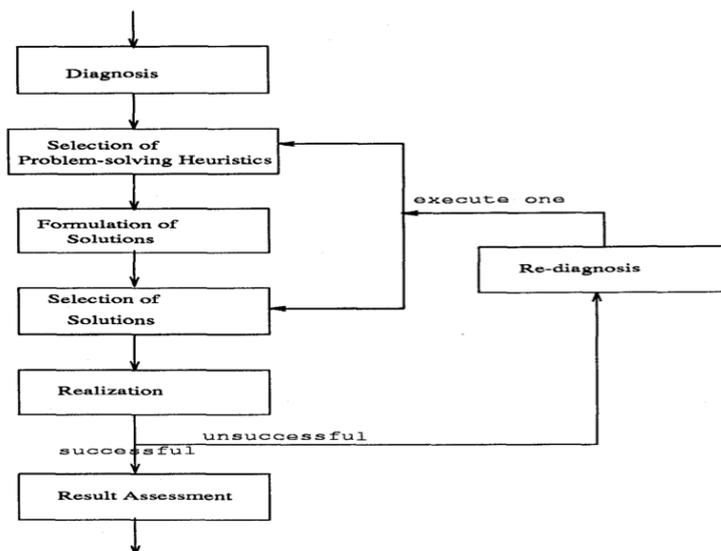


Abbildung 2.6.: Artikulations-Prozess (entnommen aus (Mi und Scacchi, 1991))

Die Autoren beziehen sich also offensichtlich auf explizite „Articulation Work“, die „ad-hoc“ – beim Auftreten eines Problems im Software Engineering Prozess – ausgelöst wird.

Zur Durchführung dieses Prozesses schlagen die Autoren einen Satz von regelbasierten Heuristiken vor, aus denen die betroffenen Individuen (hier: „agents“) auswählen können. Diese Heuristiken beschreiben mögliche Tätigkeiten im Zuge der „Articulation Work“ (ausdefiniert durch ECA³⁰-Regelsätze). Dabei geben die Autoren Heuristiken zur Problemlösung („problem-solving heuristics“, die der direkt Behebung der aufgetretenen Probleme dienen) und Heuristiken zur Auswahl geeigneter Lösungen („selection heuristics“) an.

³⁰Event-Condition-Action

Auswirkungen

Das vorgeschlagene System wurde auf konzeptueller Ebene entwickelt und nicht praktisch umgesetzt. Insofern existieren keinerlei reale Erfahrungen mit dem Ansatz. Anhand eines hypothetischen Beispiels demonstrieren die Autoren jedoch die Anwendung des Modells und der Heuristiken.

Der Vorteil liegt im Wesentlichen darin, dass der „Articulation Work“-Prozess durch seine Formalisierung bekannt ist („visible“ in Sinne der Ausführungen in Abschnitt 2.2.2) und dementsprechend auch offiziell auftreten „darf“. Durch den vorgegebenen Satz an Heuristiken sind außerdem die Alternativen zur Problembehandlung und deren Durchführung bekannt. Die Autoren geben diese Heuristiken für den Bereich des Software-Engineering an, betonen aber deren exemplarischen Charakter – die Heuristiken und vor allem deren konkrete Umsetzung (durch die Spezifikation von ECA-Regeln) müssen an die jeweilige Arbeits-Domäne angepasst werden.

Bewertung

Das vorgeschlagene Prozess-Modell von „Articulation Work“ bildet den Ablauf auf so abstrakter Ebene ab, dass es für „ad-hoc explicit Articulation Work“ zur Lösung unmittelbar auftretender Probleme allgemein (d.h. unabhängig von der Anwendungsdomäne) anwendbar ist und auch in mit den von Corbin und Strauss (1993) genannten Schritten bei der Durchführung expliziter „Articulation Work“ in Einklang gebracht werden kann.

Die Angabe von (exemplarischen) Heuristiken zur Durchführung des Artikulations-Prozesses ist insofern sinnvoll, als dass diese domänen- und organisations-spezifische Lösungsstrategien auch für unerfahrene Teilnehmer zugänglich machen können.

In Bezug auf die Generalisierbarkeit des Ansatzes problematisch zu sehen ist jedoch die Verwendung von ECA-Regeln zur Spezifikation der Durchführung der einzelnen Heuristiken. Die Angabe derartiger Regeln ist nicht in allen Anwendungsbereichen in einem sinnvollen Detaillierungsgrad möglich. Vor allem soziale Prozesse in kooperativen Umgebungen, auf die die Autoren der ursprünglichen Literatur zum Thema „Articulation Work“ stark Bezug nehmen, können in diesen Regeln nicht sinnvoll (im Sinne einer Durchführungsvorschrift) abgebildet werden.

Kontext	Unterstützung von Software Engineering
Art von AW	ad-hoc explizit
Unterstützung	<i>organisational</i> durch Formalisierung und a-priori-Spezifikation des Articulation-Prozesses („Was?“) und dessen Ausgestaltung („Wie?“)
Auswirkungen	Definiertes Vorgehen, wie „Articulation Work“ durchgeführt werden muss

2.4.3. Taking CSCW seriously: Supporting Articulation Work

Schmidt und Bannon (1992) begründen mit dieser Arbeit eine Entwicklungsrichtung der CSCW, die neben der Unterstützung der eigentlichen produktiven Arbeit auch auf die Unterstützung von „Articulation Work“ fokussiert. Sie beschreiben damit erstmals Anforderungen an die und Möglichkeiten der technische Unterstützung von „Articulation Work“.

Kontext

Schmidt und Bannon (1992) widmen sich in ihren Ausführungen der kooperativen Arbeit und der Unterstützung derselben durch Computersysteme. Sie argumentieren, dass zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit CSCW auf einer sehr formalisierten, strukturierten Sichtweise von kooperativer Arbeit aufbaut (z.B. im Sinne einer präskriptiven Workflow-Unterstützung) und Aspekte wie individuelle Arbeitsweise und Kommunikation unter den Beteiligten vernachlässigt. Dieser Sichtweise setzen sie einen Ansatz entgegen, der auch die Unterstützung von „Articulation Work“ berücksichtigt und damit den handelnden Individuen selbst die Kontrolle über die Interaktion gibt³¹.

Die Autoren selbst arbeiten vor ihrem Hintergrund aus der Informatik, der Soziologie und den Arbeitswissenschaften. Sie stellen die Technologie nicht ins Zentrum ihrer Überlegungen, sondern betonen deren unterstützende Funktion für Individuen, die in Organisationen arbeiten. Die Untersuchungsdomäne ist dabei explizit nicht eingeschränkt, kooperative Arbeit wird in allen ihren Ausprägungen und in beliebigen Kontexten betrachtet³².

Unterstützung

Bei ihren Ausführungen zur unterstützenden Wirkung von CSCW bei „Articulation Work“ konzentrieren sich die Autoren auf zwei Aspekte von CSCW und zeigen, wie diese ausgestaltet sein müssen, um „Articulation Work“ zuzulassen bzw. zu unterstützen.

Der erste Aspekt, auf den eingegangen wird, ist die Unterstützung von Workflows durch Computersysteme. Um hier „Articulation Work“ zu berücksichtigen, ist die Unterstützung der Selbst-Organisation der kooperierenden Personen ein zentraler Punkt³³. In

³¹ „Thus, by entering into cooperative work relations, the participants must engage in activities that are, in a sense, extraneous to the activities that contribute directly to fashioning the product or service and meeting requirements.“(Schmidt und Bannon, 1992, S. 8)

³² „In sum, we certainly want CSCW to address the aspects of computer support for cooperative work wherever they occur.“(Schmidt und Bannon, 1992, S. 11)

³³ „Computer support of cooperative work should aim at supporting self-organization of cooperative ensembles as opposed to disrupting cooperative work by computerizing formal procedures.“(Schmidt und Bannon, 1992, S. 17)

diesem Sinne argumentieren die Autoren gegen einen fixen, unveränderlich vorgegebenen Workflow mit a-priori definierten Zuständigkeiten, sondern schlagen die Ermöglichung bzw. Unterstützung von Aushandlungsprozessen vor, in denen der Arbeitsablauf entsprechend dem aktuellen Arbeitskontext angepasst und kooperativ abgearbeitet werden kann. Anhand der angeführten Beispiele wird deutlich, dass dabei eher von „Articulation Work“ zur Koordinierung etablierter Arbeitsprozesse ausgegangen wird, die vorgeschlagene Unterstützungsfunktionalität ist jedoch auch für „ad-hoc Articulation Work“ sinnvoll anzuwenden (in Klammer jeweils die Zuordnung zur Art von „Articulation Work“):

- Offenlegung des der Workflowunterstützung zugrunde liegenden Modells und Unterstützung der Interpretation und Reflexion desselben („ad-hoc implicit and explicit Articulation Work“)
- Unterstützung der Anpassung des Modells an den aktuellen Arbeitskontext („explicit resolving contingencies“)
- Ermöglichung der flexiblen Anwendung bzw. dynamischen Veränderung des Modells während der Ausführung des Arbeitsablaufs („implicit and explicit coordination of predefined work“)
- Unterstützung zur Veränderung bzw. Neuerstellung von Modellen, um die Arbeit an veränderte organisationale Rahmenbedingungen anzupassen („reworking arrangements“)
- Dokumentation und Kommunikation aller Veränderungen des Modells oder Abweichungen während der Ausführung (in allen Fällen)
- Unterstützung der Aushandlung eines gemeinsamen Verständnisses des Modells („ad-hoc explicit Articulation Work“)

Der zweite Aspekt, auf den näher eingegangen wird, ist jener der Kooperation mittels geteilter Informationsräume, also Ablagesysteme für Informationen, auf die mehrere Personen Zugriff haben. Als zentral wird hier die Unterstützung der Entwicklung einer einheitlichen Interpretation der verfügbaren Information gesehen³⁴. Die Autoren führen hier drei Funktionen an, die ein CSCW-System unterstützen muss:

- Unterstützung der Identifikation des Erstellers die Information
- Offenlegung der Kontexts der Information (im Sinne einer Relation zur Ursprungs- bzw. Anwendungsdomäne)
- Kontrolle über den Zugriff auf Information durch den Ersteller

Die genannten Aspekte zielen allesamt nicht auf die Unterstützung direkter Interaktion ab, sondern ermöglichen durch die Erfassung von Metadaten im Wesentlichen eine Beurteilung von geteilt verfügbarer Information durch Individuen, während diese damit arbei-

³⁴ „At the level of the objects themselves, shareability may not be a problem, but in terms of their interpretation, the actors must attempt to jointly construct a common information space which goes beyond their individual personal information spaces.“ (Schmidt und Bannon, 1992, S. 21)

ten. Die „Articulation Work“, die hier unterstützt wird, ist durch die semi-automatisierte Erfassbarkeit bzw. die automatisierte Anzeige zumeist implizit.

Auswirkungen

Aufgrund der konzeptuellen Natur der Arbeit stehen keine Angaben zu etwaigen Auswirkungen der Maßnahmen zur Verfügung.

Bewertung

Schmidt und Bannon (1992) sind die ersten, die sich mit der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ in beliebigen Anwendungsdomänen und in all ihren Ausprägungen beschäftigen. Sie geben dabei Anforderungen („Was?“) an diese technische Unterstützung an, gehen jedoch nicht auf deren Umsetzung („Wie?“) ein.

Auf Anforderungsebene wird jedoch umfassend hinsichtlich unterschiedlicher Artikulationsbedürfnisse argumentiert, so dass die Arbeit als Grundlage zur Konzeption einer konkreten technischen Unterstützung von „Articulation Work“ herangezogen werden kann.

Kontext	Umsetzung von CSCW-Systemen (Workflow-Support, Shared Information Spaces, Cooperative Tools)
Art von AW	alle Arten und Ausprägungen von „Articulation Work“ (Workflow Planung und Unterstützung), implizit (Information Sharing)
Unterstützung	<i>technisch</i> durch Maßnahmen, die sowohl die selbstgesteuerte Anpassung von Arbeitsabläufen an den aktuellen Arbeitskontext als auch die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnis über den Arbeitsablauf und die verwendeten Arbeitsartefakte ermöglicht
Auswirkungen	—

2.4.4. Supporting articulation work using software configuration management systems

Grinter (1996) führt in dieser Arbeit die Ideen von Bendifallah und Scacchi (1987) und Schmidt und Bannon (1992) weiter und zeigt, wie die Softwareentwicklung als kooperativer Prozess durch computerbasierte Werkzeuge unterstützt werden kann.

Kontext

Die Autorin betrachtet die Rolle von „Articulation Work“ im Kontext der Softwareentwicklung und zeigt anhand zweier qualitativer empirischer Studien die Auswirkungen eines computerbasierten Configuration Management Systems bei der kooperativen Erstellung von Software.

Grinter beschäftigt sich mit zwei Arten von Aufgaben, die im Rahmen eines Software-Entwicklungs-Prozesses im Rahmen von „Articulation Work“ zu bewältigen sind. Einerseits ist die tägliche Arbeit abzustimmen, so dass sichergestellt ist, dass die gerade erstellte Software korrekt funktioniert. Andererseits muss sichergestellt werden, dass auch das gesamte Produkt als Einheit funktioniert. Während die erstere Herausforderung durch das in den Fallstudien eingesetzte Configuration Management System unterstützt wurde (im Rahmen von „resolving contingencies“, die sowohl implizit als auch explizit war), waren im zweiten Fall organisationale Maßnahmen wie die Bildung von Koordinations-Komitees (also „explicit coordination of predefined work“) notwendig.

Unterstützung

In der Arbeit detailliert beschrieben sind die Eigenschaften und Auswirkungen des Configuration Management Systems, so dass hier nur dessen Unterstützungsleistung berücksichtigt werden kann. Konkret muss hier weiter auf jene Fälle von „resolving contingencies“ eingeschränkt werden, die von Problemen in Arbeitsabläufen ausgelöst werden, die auf konfliktionierende (Teil-)Ergebnisse der produktiven Arbeit zurückzuführen sind (hier: simultan editierter Source-Code, der nicht automatisiert zusammengeführt werden kann)

Während der Entwicklung von Software wird durch das Configuration Management System dargestellt, ob bzw. durch wen ein bestimmter Teil des Source Codes zur Zeit bearbeitet wird. So kann die simultane und potentiell zu Konflikten führende Bearbeitung durch andere Personen vermieden werden. Diese Information muss weder explizit ins System eingepflegt noch abgerufen werden und ist deshalb als Unterstützung von impliziter „Articulation Work“ zu klassifizieren.

Sind bereits Konflikte aufgetreten, unterstützt das System die Auflösung derselben durch eine adäquate Darstellung der betroffenen Teile des Source Codes, so dass den zusammenarbeitenden Individuen eine Grundlage zur Erörterung und Auflösung des Konflikts zur Verfügung steht. Diese Darstellung muss „geeignet“ sein – welche Arten von Zusatzinformation und welche Form der Darstellung dies gewährleistet, ist domänenabhängig. Im konkreten Fall wird die zusätzliche Angabe einer Begründung für Änderungen in Source Code Teilen empfohlen, um bei der Auflösung der Konflikte fundiert argumentieren zu können.

Auswirkungen

Den Software Entwicklern wird die Freiheit gelassen, Konflikte durch sequentielle Bearbeitung zu vermeiden oder diese (z.B. aus Zeitdruck) bewusst in Kauf zu nehmen und deren Auflösung ggf. in einem separaten Schritt durchzuführen.

Bewertung

Die Arbeit von Grinter (1996) geht auf einen Spezialfall von „resolving contingencies“ ein und zeigt, welche Unterstützungsleistung ein Software-Werkzeug bei der Ausgestaltung eines Arbeitsprozesses leisten kann, in dem sich die produktive Arbeit stark an Artefakten (hier: Source-Code) materialisiert. In derartigen Arbeits-Umgebungen sind die vorgeschlagenen bzw. beschriebenen technischen Maßnahmen sinnvoll und führten in den angeführten Fällen zum Erfolg.

Kontext	Unterstützung von Software Entwicklung
Art von AW	„resolving contingencies“ implizit und explizit (zur Vermeidung bzw. zur Beseitigung von konfliktionierenden Arbeitsergebnissen)
Unterstützung	<i>resolving contingencies implizit</i> : Visualisierung aktuell durch andere Personen bearbeitete bzw. verwendete Arbeitsgegenstände; <i>resolving contingenciesv explizit</i> : adäquate Darstellung der konfliktionierenden Ergebnisse (Darstellung domänenabhängig)
Auswirkungen	Wahlfreiheit der interagierenden Individuen bei der Ausgestaltung ihres Arbeitsablaufs.

2.4.5. Coordination Mechanisms: Towards a Conceptual Foundation of CSCW Systems Design

Schmidt und Simone (1996) entwickeln in ihrer Arbeit ein generisches Vorgehen zur Konzeption von technischer Unterstützung von „Articulation Work“. Aufbauend auf früheren Arbeiten der Autoren (z.B. (Schmidt, 1990) und (Schmidt und Bannon, 1992)) formulieren die Autoren eine Notation zur Spezifikation von CSCW-Systemen, die auf der Unterstützung von „Articulation Work“ aufbauen.

Kontext

Die Arbeit führt den in früheren Arbeiten der Autoren bereits propagierten Ansatz der Konzeption von CSCW-Systemen zur Unterstützung von „Articulation Work“ fort. Die Herangehensweise ist stark technisch orientiert, begründet sich jedoch immer aus dem

jeweiligen Anwendungskontext oder theoretischen Überlegungen aus den Arbeitswissenschaften.

Unterstützung

Die Autoren legen einen klaren Fokus auf die technische Unterstützung von „Articulation Work“ in der Form von CSCW-Systemen, für die sie eine Notation zur Spezifikation derselben entwickeln. Bevor sie jedoch im Detail auf deren Entwicklung eingehen, führen sie – als Grundlage für die weitere Entwicklung und als historischen Kontext – etablierte organisationale Maßnahmen zur Unterstützung von „Articulation Work“ an.

Bei den angeführten organisationalen Maßnahmen führen die Autoren die Nützlichkeit von Artefakten, die für ihren Anwendungsbereich die notwendige Durchführung von „Articulation Work“ formalisieren und definieren und damit die Komplexität der alltäglich Interaktion reduzieren³⁵. Beispiele für derartige Artefakte sind etwa Checklisten, Formulare zur Meldung von Fehlern o.ä.. Die Artefakte sind dabei immer Teil eines „Koordinationsmechanismus“, der den Umgang mit einer aufgetretenen Situation oder einer Aufgabe beschreibt. Neben dem Artefakt enthält dieser Mechanismus auch ein „Koordinationsprotokoll“, das den Ablauf bzw. das Vorgehen und den Umgang mit dem Artefakt beschreibt. Diese Protokolle sind dabei nicht als strikt vorgegebenen Ablaufmuster zu verstehen, sondern sollen Individuen ermöglichen, in Standardfällen ohne Planungsaufwand ein fixes Vorgehen zur Verfügung zu haben und bei Bedarf dieses an den jeweiligen Fall anpassen zu können (in Sinne von „situated action“ (Suchman, 1987))³⁶. Die Rolle des Artefakts ist dabei die „Vergegenständlichung“ des Protokolls und damit die Erhöhung der Zugänglichkeit desselben. Außerdem repräsentiert das Artefakt während der Durchführung der „Articulation Work“ deren aktuellen Status und Fortschritt. Aus all diesen Ausführungen kann abgeleitet werden, dass sich die Autoren immer auf explizite „Articulation Work“ im Arbeitsablauf beziehen.

Der eigentliche Schwerpunkt der Arbeit ist jedoch die technische Unterstützung von „Articulation Work“. Aufbauend auf den zuvor ausgeführten organisationalen Maßnahmen wird gezeigt, wie diese durch technische Mittel umgesetzt und unterstützt bzw. verbessert werden können. Die Grundidee besteht darin, sowohl die Artefakte als auch Teile der Protokolle in den Rechner zu transferieren und durch die digitale Repräsentation die Flexibilität zu gewinnen, die bei „coordination of predefined work“ im konkre-

³⁵ „Faced with a high degree of complexity of articulation work, cooperating actors typically use a special category of artifacts which, in the context of a set of conventions and procedures, stipulate and mediate articulation work and thereby are instrumental in reducing its complexity and in alleviating the need for ad hoc communication.“(Schmidt und Simone, 1996, S. 159)

³⁶ „As a generalization, we find that a protocol stipulates the articulation of distributed activities by conveying affordances and constraints to the individual actor which the actor, as a competent member of the particular ensemble, can apply without further contemplation and deliberation unless he or she, again as a competent member, has accountable reasons not to do so.“(Schmidt und Simone, 1996, S. 173)

ten Arbeitsablauf notwendig ist. Die grundlegenden Anforderungen an ein technisches System, das „Articulation Work“ unterstützt, sind deshalb auch die *Formbarkeit* der Koordinationsmechanismen („malleability“, also die Anpassbarkeit an den aktuellen Arbeitskontext), sowie die *Verknüpfbarkeit* der Koordinationsmechanismen untereinander („linkability“), um die in komplexen Arbeitssituationen notwendige Durchführung von mehreren voneinander abhängigen Koordinationsmechanismen zu unterstützen.

Diese Forderungen werden im Rahmen des „Ariadne“-Ansatzes umgesetzt, der in (Schmidt und Simone, 1996) konzeptuell beschrieben ist. Die tatsächliche Implementierung von „Ariadne“ wird unter anderem in (Divitini und Simone, 2000) und (Sarini, 2003) beschrieben und ist Gegenstand von Abschnitt 2.4.11.

Auswirkungen

Da keine konkrete Anwendung des Systems beschrieben wird (bzw. dessen Implementierung zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit nicht abgeschlossen war), können hier keine praktischen Auswirkungen des Ansatzes angegeben werden.

Generell ist zu erwarten, dass durch die Einführung von Koordinationsmechanismen der Aufwand für „coordination of predefined work“ sinkt bzw. deren Komplexität reduziert wird. Durch die technische Unterstützung ist es möglich, die notwendige Flexibilität zu wahren, um die spezifizierten Koordinationsmechanismen an den aktuelle Arbeitskontext anzupassen, sowie den gesamten Verlauf eines „Articulation Work“-Prozesses durch die Verknüpfbarkeit mehrerer Koordinationsmechanismen und dabei trotzdem die Übernahme der jeweils relevanten Kontextinformation nahtlos zu unterstützen.

Bewertung

Schmidt und Simone (1996) zeigen umfassend die Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ unmittelbar in Arbeitsabläufen – die vorgeschlagenen Konzepte können jedoch ebenso auf „Articulation Work“ im Vorfeld von Arbeitsabläufen zu deren Konzeption angewandt werden. Die vorgestellte technische Unterstützung setzt die organisationalen Maßnahmen um und ermöglicht die Realisierung von flexiblen, an den jeweiligen Kontext angepassten bzw. anpassbaren Werkzeugen.

Vor allem die Konzeptualisierung von Koordinationsmechanismen in Protokolle und Artefakte ist ein wesentlicher Beitrag zum Verständnis der Koordination von Individuen in Arbeitsabläufen und ein Ansatzpunkt zur Reduktion der Komplexität von Abstimmungsprozessen bzw. deren Vermeidung.

Die formulierten Anforderungen an ein technisches System („malleability“ und „linkability“) sind vor allem für den unmittelbaren Einsatz in Arbeitsprozessen als wesentliche Erfolgskriterien für die praktische Einsetzbarkeit eines derartigen Systems.

Kontext	Umsetzung von CSCW-Systemen
Art von AW	explizit, im Regelfall im Arbeitsablauf
Unterstützung	<i>organisational</i> durch Koordinationsmechanismen, die aus einem vorgeschlagenen Vorgehen („Protokoll“) und einem zugehörigen „Artefakt“ (als Repräsentant des Protokolls und zur Dokumentation) bestehen; <i>technisch</i> durch Umsetzung der Koordinationsmechanismen im Rechner mit dem Ziel, die geforderte Flexibilität und Verknüpfbarkeit derselben zu gewährleisten
Auswirkungen	Reduktion der Komplexität der „Articulation Work“, Flexibilität bei der Durchführung von „expliziter Articulation Work“

2.4.6. Taking Articulation Work Seriously: An Activity Theoretical Approach

Neben den in Abschnitt 2.2.1 bereits beschriebenen konzeptuellen Arbeiten zu „Articulation Work“ enthält die Arbeit von Fjuk et al. (1997) auch Ansätze zur Unterstützung von „Articulation Work“.

Kontext

Fjuk et al. (1997) beschäftigen sich mit der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ mittels CSCW-Systemen. Ihre Ansätze leiten sie aus der „Activity Theory“ ab, die ihre Wurzeln in der Psychologie (Leont’ev, 1972) bzw. in ihrer erweiterten Variante in den Arbeitswissenschaften (Engeström, 2000) hat.

Unterstützung

Entsprechend den in Abschnitt 2.2.1 bereits beschriebenen unterschiedlichen Arten von Arbeit, in denen „Articulation Work“ auftreten kann (individuelle Arbeit, lose und eng gekoppelte kooperative Arbeit), unterscheiden die Autoren auch bei der Betrachtung der Unterstützung von „Articulation Work“ nach diesen drei Gruppen.

Im Falle individueller Arbeit kann „Articulation Work“ auf abstrakter Ebene („action within activity“) durch die automationsgestützte Verwaltung von Arbeitsorganisationswerkzeugen wie Kalendern und Todo-Listen unterstützt werden. Die „Articulation Work“ auf konkreter Ebene („operation within action“) kann – im Falle der computergestützten Abwicklung der zugehörigen „Production Work“ insofern unterstützt werden, als dass die Benutzungsschnittstelle so an die Arbeitsdomäne angepasst ist, dass die

Notwendigkeit der Beschäftigung mit den technischen Eigenschaften und der Bedienung des Systems geringer wird.

Bei lose gekoppelter kooperativer Arbeit zielt die geforderte Unterstützung von „Articulation Work“ auf die Organisation der Arbeitsteilung ab. Dabei muss unter anderem die Zuordnung von organisationalen Rollen zu beteiligten Individuen, die Erteilung von Zugriffsrechten, sowie die Festlegung von Schnittstellen zwischen den Beteiligten berücksichtigt werden. Während des Arbeitsprozesses ist die Verfügbarkeit von expliziten Kommunikationskanälen und Mitteln zur Teilung von Daten notwendig.

Bei eng gekoppelter kooperativer Arbeit steigen die Anforderungen an Werkzeuge zur Unterstützung von „Articulation Work“ insofern noch weiter, als dass hier zusätzlich die Aushandlung der Durchführung von konkreten Arbeitsschritten, sowie die Abstimmung untereinander in synchroner Zusammenarbeit unterstützt werden muss.

Auswirkungen

Die Arbeit beschreibt die Unterstützung von „Articulation Work“ auf rein konzeptueller Ebene und führt keinerlei Auswirkungen derselben auf den Arbeitsprozess an.

Bewertung

Die Vorschläge der Autoren stehen weitgehend in Einklang mit dem Ausführungen von Schmidt und Simone (1996) (siehe oben). Dies ist insofern bemerkenswert, als dass die Ableitung der Maßnahmen auf Basis der „Activity Theory“ erfolgt, auf die in der anderen Arbeit nicht Bezug genommen wurde.

Fjuk et al. formulieren Anforderungen an die technische Unterstützung von „Articulation Work“ (in allen Kontexten, vorrangig explizit, in Teilaspekten auch implizit) und führen exemplarisch Werkzeuge an, mit denen diese erfüllt werden können. Sie geben jedoch (im Gegensatz zu Schmidt und Simone (1996)) kein Konzept an, wie die Unterstützung von „Articulation Work“ allgemein (d.h. unabhängig von jeweiligen Anwendungsfall) realisiert werden kann.

Kontext	Umsetzung von CSCW-Systemen auf Basis der Activity Theory
Art von AW	alle
Unterstützung	durch computerunterstützte Werkzeuge zur Arbeitsorganisation, Kommunikation und Aushandlung von Zusammenarbeit
Auswirkungen	keine angeführt

2.4.7. TeamSpace: an environment for team articulation work and virtual meetings

Fuchs et al. (2001) beschreiben ein technisches System, das die Zusammenarbeit in Gruppen durch Unterstützung von „Articulation Work“ erleichtern soll.

Kontext

Die Autoren beschreiben die technische Unterstützung von „Articulation Work“ in (verteilt arbeitenden) Gruppen mittels CSCW-Technologie. Ihr Anwendungsbereich ist die Softwareentwicklung, in deren Kontext die Teams von Programmierern, die geographisch verteilt sind, bei deren Zusammenarbeit unterstützen. Im Rahmen dieses Anwendungsgebietes wurde auch eine Studie zur Erhebung der Anforderungen an die technische Unterstützung durchgeführt.

Unterstützung

Fuchs et al. (2001) präsentieren ein konkret umgesetztes System, das eine Reihe von Werkzeugen zur Unterstützung von „Articulation Work“ bietet:

- „Task structured workspace“ Werkzeug zum Aufgabenmanagement und zur geteilten Bearbeitung von Informations-Objekten. Dient außerdem als Container für die übrigen Werkzeuge.
- „Place-based adaptation to work modes“ Die Autoren unterscheiden unterschiedliche zu unterstützende „work modes“ („work“, „meeting“, „social“) und unterstützen diese unterschiedlich, indem die Benutzungsschnittstelle an den jeweiligen Modus und dessen Artikulations-Anforderungen adaptiert wird.
- „Synchronous and asynchronous communication and awareness“ Werkzeug zur Planung und Durchführung von virtuellen Meetings (inkl. Audio- und Video-Übertragung) sowie Anzeige des aktuellen Tätigkeits- und Verfügbarkeitsstatus von Mitarbeitern.

Auswirkungen

Das System wurde zum Zeitpunkt der Erstellung des Artikels nicht operativ eingesetzt. Die Autoren treffen auch keine expliziten Aussagen zu den erwarteten Effekten des Systems.

Bewertung

Die Autoren gehen sehr konkret auf einzelne Werkzeuge zur Unterstützung von „Articulation Work“ ein (ohne diese im Detail abzugrenzen und die zu unterstützenden Aspekte zu motivieren). Sie beziehen sich auf Schmidt und Bannon (1992) und unterstützen auch die dort genannten wesentlichen Aspekte von „Articulation Work“. Die konzeptuelle Aussagekraft ist ob der Fokussierung auf eine konkrete Implementierung eher gering einzuschätzen.

Domäne	Umsetzung von CSCW-Systemen zur Unterstützung von Software-Entwicklung
Art von AW	implizite und explizite „coordination of predefined work“, explizites „ad-hoc alignment“
Unterstützung	<i>technisch</i> Werkzeuge zur aufgaben- und kontextorientierten Anpassung der Benutzungsschnittstelle, Werkzeuge zur Kommunikation und zur Herstellung von Awareness
Auswirkungen	keine angeführt

2.4.8. Supporting different dimensions of adaptability in workflow modeling

Divitini und Simone (2000) stellen ein System zur Unterstützung von etablierter kooperativer Arbeit in Form eines adaptiven Workflow-Systems vor, dessen Verhalten durch die Durchführung von „Articulation Work“ beeinflusst werden kann bzw. die Durchführung derselben unterstützt.

Kontext

Die Autoren bauen in ihrer Arbeit auf die von Schmidt und Simone (1996) vorgestellten Konzepte auf und konkretisieren den Aspekt der Koordination von etablierten Arbeitsabläufen („coordinating predefined work“). Dabei nehmen sie Bezug auf die Verwendung von Workflow-Management-Systemen und integrieren die in diesem Bereich etablierten Konzepte mit dem „Ariadne“-Ansatz von Schmidt und Simone (1996). Die Unterstützung von „Articulation Work“ erfolgt damit klar mit technischem Hintergrund.

Unterstützung

An dieser Stelle werden lediglich jene Unterstützungs-Maßnahmen beschrieben, die über die in der Besprechung der Arbeit von Schmidt und Simone (1996) bereit genannt wurden, hinausgehen. Die Autoren schlagen vor, verteilte Arbeit bzw. deren Abstimmung

anstatt mit WfMS³⁷ mit „Computational Coordination Mechanisms“ zu unterstützen. Diese Koordinations-Mechanismen sind an den jeweiligen Anwendungsfall angepasste computerbasierte Werkzeuge, die die Abstimmung der beteiligten Individuen während der Durchführung eines Arbeitsablaufs unterstützen sollen. Wesentlich ist, dass das hier vorgeschlagene Konzept die domänenabhängige Spezifikation dieser „Computational Coordination Mechanisms“ umfasst bzw. auf diesem basiert.

Aufbauend auf den in Abschnitt 2.3 bereits beschriebenen abzustimmenden Arbeitsaspekten (hier: „Categories of Articulation Work“) können abhängig vom abzustimmenden Aspekt Sprachen entworfen bzw. existierenden Sprachen auf diese Aspekte abgebildet werden. Dies ermöglicht eine domänengerechte Spezifikation von „Computational Coordination Mechanisms“ und damit die Unterstützung von „Articulation Work“ bereits in der Phase der Planung eines Arbeitsablaufs.

Das so spezifizierte System unterstützt in der Folge die Ausführung von Arbeitsabläufen. Es erlaubt auch (gesteuert durch ein festgelegtes Berechtigungssystem) unterschiedlich starke, temporäre oder permanente Änderungen des spezifizierten Koordinationsmechanismus.

Auswirkungen

Die Autoren machen keine Angaben über eine konkrete Anwendung des Ansatzes in der Praxis. Durch die flexible Spezifikationsmöglichkeit der Koordinationsmechanismen ist laut den Autoren eine reduzierte Komplexität bei der Spezifikation bzw. die exaktere Abbildung der relevanten Information möglich³⁸.

Bewertung

Die vorliegende Arbeit nimmt erstmals auf die Rolle von Modellen bei der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ Bezug. Die Autoren argumentieren, dass die Adäquatheit der Repräsentationsform von Information im Rahmen expliziter „Articulation Work“ ein wesentliches Erfolgskriterium ist. Obwohl die konkrete technische Umsetzung nicht beschrieben ist, ist diese konzeptuelle Anforderung für das weitere Vorgehen berücksichtigungswert.

³⁷Workflow-Management-System

³⁸„[...] overcome some of the limits of almost all current approaches to process modeling [...]: either a restricted language focusing on a specific type of representation or a language comprehensive of all potentially needed features, requiring the user to manage an overwhelming complexity.“(Divitini und Simone, 2000, S. 377)

Kontext	Integration von CSCW-Konzepten mit WfMS-Ansätzen
Art von AW	„working out original arrangements“, explizite „coordination of predefined work“, explizites „resolving contingencies“ sowie „reworking arrangements“
Unterstützung	<i>methodisch</i> : Auswahl bzw. Definition einer adäquaten Modellierungssprache, um Koordinationsmechanismen zu spezifizieren, <i>technisch</i> : Möglichkeit der Ausführung und Anpassung dieser Koordinationsmechanismen
Auswirkungen	Vereinfachte Spezifikation der Koordinationsmechanismen, flexible Koordination bei der Ausführung des Arbeitsablaufs

2.4.9. Mundane knowledge management and microlevel organizational learning: An ethological approach

Davenport (2002) beschreibt „Articulation Work“ als eine Form von „alltäglichem Wissensmanagement“, mit Hilfe dessen beteiligte Individuen im Arbeitsprozess lernen und ihre Kompetenzen erweitern („*situated learning*“).

Kontext

Davenport (2002) betrachten „Articulation Work“ aus einer Lern-Perspektive (unter Bezugnahme auf „*situated learning*“ (Lave und Wenger, 1991)) und bezeichnen es als alltägliches Wissensmanagement („*mundane knowledge management*“). Sie führt in weiterer Folge aus, inwiefern „*situated learning*“ in geographisch verteilten Gruppen durch Informationstechnologie unterstützt werden kann und beziehen sich dabei auf das Konzept der „*Communities of Practice*“ (Wenger, 1999).

Die Autorin verfolgt dabei eine enge Auffassung von „Articulation Work“ und bezieht sich lediglich auf „*routine interaction*“ in Gruppen von Individuen.

Unterstützung

Anhand einer Fallstudie identifiziert die Autorin die unterschiedlichen Handlung-Phasen, die im Rahmen eines Lernprozesses im Rahmen von „Articulation Work“ auftreten und zeigt, wie diese im konkreten Fall unterstützt wurden. Wesentlich ist hier nicht die konkrete technische Unterstützung, die sich auf die Bereitstellung einer Kommunikation-Plattform beschränkte, sondern der verfolgte methodische Ansatz, die auf die Konzepte der „*Communities of Practice*“ zurückgreift.

Während der eigentliche Arbeitsdurchführung arbeitet die betreffende Gruppe von Individuen selbstgesteuert und koordiniert sich selbst. In Fällen, in denen ein Problem auf-

tritt („resolving contingencies“), erweist sich das Eingreifen eines „facilitators“ im Sinne von Wenger (1999) als hilfreich. Dieser übernimmt die Aufgabe, die durchzuführende „Articulation Work“ zu koordinieren und zu moderieren, so dass die aufgetretene problematische Situation gelöst werden kann. Die Rolle des „facilitators“ kann dabei auch dynamisch von einem bereits beteiligten und in dieser Hinsicht kompetenten Individuum übernommen werden und muss nicht permanent besetzt werden. „Kompetent“ bedeutet in diesem Zusammenhang, die eingesetzten technischen Werkzeuge zu beherrschen, Domänenwissen zu haben und Kompetenz in der Extraktion und Zusammenfassung von Wissen der einzelnen beteiligten Individuen zu haben.

Auswirkungen

In der Arbeit sind keine konkreten Ergebnisse der getroffenen Maßnahmen angeführt. Die Generalisierbarkeit der aus der Fallstudie abgeleiteten Maßnahmen wird explizit nicht behandelt und bleibt offen.

Bewertung

Die Arbeit führt das Konzept der „Communities of Practice“ mit jenem der „Articulation Work“ zusammen. Die Autorin zeigt, dass die nicht formalisierte Interaktion in Communities ein geeignetes Mittel ist, um zumindest die einfacheren (im Sinne von „unproblematischen“) Fälle von „Articulation Work“ zu bewältigen. Inwieweit sich diese Organisationsform auch für komplexere Problemfälle eignet, bleibt offen.

Die Arbeit zeigt jedoch als eine von wenigen Ansätzen einen nicht durch Technik getriebenen Weg der Unterstützung von „Articulation Work“ auf und ist aus diesem Grund berücksichtigungswert.

Kontext	„situated learning“, Wissensmanagement, „Communities of Practice“
Art von AW	„coordinating predefined work“ & „resolving contingencies“
Unterstützung	durch die organisationale und technische Unterstützung von „Communities of Practice“
Auswirkungen	—

2.4.10. Modelling Cooperative Work: Chances and Risks of Structuring

Herrmann et al. (2002) beschäftigen sich mit Modellen von soziotechnischen Arbeitsprozessen und zeigen auf, dass zu deren (kooperativen Erstellung) „Articulation Work“ notwendig ist.

Kontext

Herrmann et al. (2002) beschreiben die (kooperative) Bildung von diagrammatischen Modellen in sozio-technischen Systemen und deren Auswirkung auf den realen Arbeitsablauf. Sie beziehen sich dabei nur am Rande auf „Articulation Work“ (im Kontext der CSCW-Forschung von Schmidt und Bannon (1992)) und bezeichnen damit jene Vorgänge, die notwendig sind, um die individuellen Sichtweisen der am Arbeitsablauf beteiligten Personen abzustimmen und in einem gemeinsamen Modell zu repräsentieren („articulating and negotiating“ – siehe Abbildung 2.7). In anderen Publikationen der Autoren wird ein Modellierungswerkzeug (Herrmann et al., 2004a) und eine Methode (Herrmann et al., 2004b) beschrieben, die diesen Vorgang unterstützen soll.

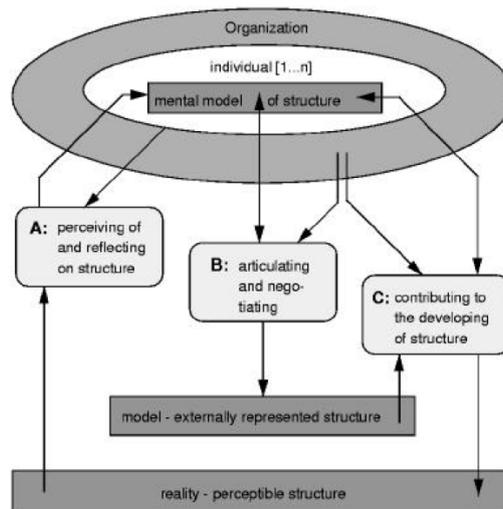


Abbildung 2.7.: Mentale Modelle im Kontext der Arbeitsmodellierung (entnommen aus (Herrmann et al., 2002))

Unterstützung

Im Rahmen mehrerer Fallstudien zeigen die Autoren, dass die Verwendung von diagrammatischen Modellen als externalisierte Repräsentation von individuellen Sichten auf Arbeitsabläufe bei deren Abstimmung und Verbesserung – also bei der Durchführung von „Articulation Work“ – hilfreich ist. Externalisierte Modelle bringen jedoch auch Risiken

mit sich, die durch eine adäquate Unterstützung des Modellierungsprozesses gemindert werden müssen. Konkret erwähnen die Autoren die schwierige Veränderbarkeit einmal niedergeschriebener Arbeitsabläufe, die potentiell fehlerhafte oder unzureichende Abbildung des Arbeitsablaufs im Modell sowie (im Kontext der kooperativen Erstellung) jene Unzulänglichkeiten des Modells, die durch bewusst falsch oder nicht offengelegte Arbeitsaspekte aus „politischen“ Gründen entstehen.

In der Folge entwickeln Herrmann et al. Anforderungen an einen Modellierungsprozess sowie eine Modellierungssprache, die diese Risiken so weit möglich vermeiden und „Articulation Work“ unterstützen:

- Modelle müssen „aus dem Arbeitsablauf heraus“ entstehen, also von den unmittelbar betroffenen Personen entwickelt werden und dürfen nicht von „außerhalb“ übergestülpt werden.
- Die Modellierungssprache muss es erlauben, die Dynamik der abgebildeten Strukturen darzustellen.
- Sie muss sowohl zur Abbildung (präskriptiver) exakter Arbeitsabläufe („scripts“) als auch zur Abbildung des (Orientierung gebenden) Arbeitskontext („maps“) geeignet sein.
- Detaillierungs- und Abstraktionsgrad der Abbildung müssen frei wählbar sein.
- Information über den Modellierungsverlauf selbst muss im Modell abbildbar sein.
- Die Modellierungssprache muss die Abbildung beliebiger Aspekte von Arbeit (nicht nur Aktivitäten und Ressourcen, sondern z.B. auch Rollen oder Kompetenzen) erlauben.
- Der Modellierungsvorgang muss durch ein flexibles Werkzeug unterstützt werden, das die Verwendung der Unterstützungsfunktionalitäten ermöglicht aber nicht erzwingt.
- Das Werkzeug sollte den Export der Modelle in beliebige Datenformate ermöglichen, um deren Weiterverarbeitbarkeit zu gewährleisten.

Auswirkungen

Anhand der Fallstudien zeigen die Autoren, dass das ein Vorgehen nach den beschriebenen Richtlinien, sowie eine entsprechende Werkzeugunterstützung bei der Abstimmung von kooperativen Arbeitsabläufen hilfreich ist (siehe dazu auch (Herrmann et al., 2000)).

Bewertung

Die Arbeit kann als ein Beitrag zur Unterstützung von „Articulation Work“ im Sinne von „making agreements“ verstanden werden, auch wenn dies nicht explizit so benannt

wird. In diesem Zusammenhang führen die Autoren die Nützlichkeit von externalisierten Modellrepräsentation bei der Abstimmung und Aushandlung von Arbeitsabläufen an. Für diese Form der Unterstützung werden konkrete Anforderungen sowohl methodischer als auch technischer Natur gegeben, was diese Arbeit zu einer wertvollen Quelle für die weiteren Ausführungen in der vorliegenden Arbeit macht.

Kontext	Modellierung von Arbeit,
Art von AW	explizites „agreement making“
Unterstützung	flexible Modellierung von Arbeitsabläufen unter Einbeziehung der unmittelbar beteiligten Individuen
Auswirkungen	Erleichterung bzw. Ermöglichung der Abstimmung oder Aushandlung von kooperativen Arbeitsabläufen

2.4.11. Recursive Articulation Work in Ariadne: The Alignment of Meanings

(Sarini und Simone, 2002a) beschäftigen sich mit „recursive Articulation Work“, also jener Form, deren Gegenstand selbst wiederum „Articulation Work“ ist. Die Autoren leiten Anforderungen an die Unterstützung dieser Form von „Articulation Work“ ab und zeigen die konkrete Umsetzung als Teil des „Reconciler“-Systems.

Kontext

Die Arbeit baut auf den oben bereits beschriebenen Arbeiten (Schmidt und Bannon, 1992) und (Divitini und Simone, 2000) auf und beschäftigt sich mit der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ durch CSCW-Systeme. Konkret wird auf jene Fälle von „Articulation Work“ eingegangen, wo „alignment of meaning“ (also die Abstimmung der individuellen Verständnisse der Arbeitsdomäne) notwendig ist. Es ist kein spezifischer Anwendungsbereich angeführt, das Konzept hat den Anspruch, generisch anwendbar zu sein.

Unterstützung

Die Arbeit behandelt zwei unterschiedliche Phasen von „Articulation Work“: jene, in denen die beteiligten Individuen die auftretende Probleme abgrenzen, detailliert spezifizieren und (Teil-)Lösungen aushandeln („agreement making“) und jene, in denen Koordinationsprobleme durch die gesammelte Information bereits vor dem Auftreten verhindert werden („coordination of predefined work“). Während weitere Unterstützung an dieser Stelle nicht näher behandelt wird, da es sich bei der vorgeschlagenen Implementierung lediglich um ein Vorschlagssystem für Begriffe an der Benutzungsschnittstelle handelt, muss erstere Unterstützungsform näher betrachtet werden.

Der dabei angestoßene Unterstützungsprozess ist ein Koordinationsmechanismus im Sinne von Divitini und Simone (2000). Im Rahmen der Ausführung desselben wird ein „Reconciliation Artifact“ generiert und enthält eine Abbildung der individuellen Begriffswelten der beteiligten Individuen, die untereinander in Korrespondenz gesetzt werden. Wie die Externalisierung der Begriffe, sowie deren Assoziation untereinander ablaufen, schränkt der Ansatz bewusst nicht ein bzw. legt sich nur vorläufig fest³⁹. Das „Reconciler“-System unterstützt dabei die Erfassung und Verwaltung der offengelegten Begriffe. Wie es den Artikulationsprozess konkret unterstützt, ist in Mark et al. (2002a) angeführt, hier aber nicht Gegenstand einer detaillierteren Betrachtung, da vorrangig technische Implementierungsdetails beschrieben wurden.

Auswirkungen

In der vorliegenden Arbeit werden keine Aussagen hinsichtlich der tatsächlichen Auswirkungen der Unterstützung getroffen. Auch Mark et al. (2002a) kommen auf Basis einer empirischen Studie zu dem Schluss, dass die Unterstützungsleistung nicht allgemein nachgewiesen werden kann und ist stark von der individuellen Nutzungsbereitschaft abhängig.

Bewertung

Die Autoren gehen auf die Unterstützung jenes Teils von „Articulation Work“ ein, der zur Abstimmung der individuellen Sichten auf den Arbeitsablauf und der jeweiligen Begriffswelten eingesetzt wird. Auch wenn sie in der konkreten methodischen Umsetzung vage bleiben, ist erstmals eine explizite Beschäftigung mit der Unterstützung dieser Phase vorhanden.

Kontext	CSCW
Art von AW	explizites „agreement making“, „coordination of predefined work“
Unterstützung	durch die Abstimmung der individuellen Sichten auf eine Domäne, der Offenlegung des Vokabulars in einem geteilten Artefakt und dessen Verwendung während der Arbeit
Auswirkungen	—

³⁹ „For sake of testing the integration we are aiming at, we defined the simplest protocol: all the users involved in the reconciliation process can communicate among themselves to define the correspondences, while a single Actor assumes the Role of Manager of the Reconciliation Artifact and is in charge of keeping it updated.“(Sarini und Simone, 2002a, S. 10)

2.4.12. Combining Communication and Coordination Toward Articulation of Collaborative Activities

Raposo et al. (2004) decken in ihrer Arbeit zur (technischen) Unterstützung kooperativer Arbeit explizit alle Zeitpunkte, in denen „Articulation Work“ auftreten kann, ab („pre-articulation“, „coordination“, „post-articulation“).

Kontext

Die Autoren schlagen eine technische Unterstützung von „Articulation Work“ mittels CSCW-Werkzeugen vor. Sie fassen dabei das Konzept „Articulation Work“ sehr weit und inkludieren neben der Planungs- und Durchführungsphase eines Arbeitsablaufs auch dessen Nachlauf („post-articulation“), in dem die durchgeführte Koordination reflektiert wird. Zur Unterstützung verfolgen die Autoren einen formalisierten Ansatz, der auf Konzepten der theoretischen Informatik aufbaut. Das Anwendungsgebiet ihres Ansatzes schränken die Autoren nicht ein und berücksichtigen explizit lose wie auch eng gekoppelte kooperative Arbeitsabläufe mit beliebig vielen beteiligten Individuen.

Unterstützung

Je nach Phase der „Articulation Work“ unterscheiden die Autoren zwischen unterschiedlichen Arten der Unterstützung. Für die „pre-“ und „post-articulation“-Phase wird die Verwendung von „conversation clichés“ zur Aushandlung von „commitments“ vorgeschlagen. Während der „coordination“-Phase werden die „commitments“ automationsgestützt zur Anwendung gebracht.

„Conversation clichés“ sind im Wesentlichen Zustandsautomaten, die den Rahmen einer Konversation zwischen Individuen vorgeben. Sie dienen jeweils der Erreichung einer bestimmten Art von „commitment“. „Commitments“ sind logische Konstrukte, in denen die individuelle Zustimmung oder Ablehnung zu Aussagen ausgedrückt werden kann, die die Koordination beschreiben. Weiters ist es möglich, explizit kein „commitment“ zu einer Aussage abzugeben. Auf Basis dieser „commitments“ bestimmt ein Algorithmus die Modalitäten der Zusammenarbeit.

Während der „coordination phase“ kommt ein „task/interdependency-model“ zum Einsatz, das im Wesentlichen einem auf die „commitments“ abgestimmten Aktivitätsdiagramm entspricht. In diesem Modell werden letztlich die durchzuführenden Aufgaben und deren gegenseitige Abhängigkeiten definiert. Während der Ausführung kann das System dann auf diese Abhängigkeiten hinweisen bzw. die notwendigen Koordinationsmechanismen auslösen.

Auswirkungen

Konkrete Auswirkungen werden in der Publikation nicht angeführt. Die Autoren erwähnen die Simulierbarkeit und Verifizierbarkeit der erstellten Modelle als Vorteil der formalen Repräsentation.

Bewertung

Die Autoren verfolgen einen – im Gegensatz zu anderen Arbeiten – stark regulatorischen Ansatz zur Unterstützung von „Articulation Work“. Die vorgeschlagenen Mechanismen zur Abstimmung und Koordination von kooperativer Arbeit versuchen, den Arbeitsverlauf durch computergestützte Vorgaben in einem definierten Rahmen zu halten und so das Auftreten von problematischen Situationen zu verhindern.

Der Vorteil dieses eher restriktiven Vorgehens liegt in der Formalisierbarkeit der Interaktionsmuster und Arbeitsabläufe und der damit verbundenen Verifizierbarkeit und Simulierbarkeit der erstellten Modelle.

Kontext	CSCW, Formale Modelle von Interaktion
Art von AW	explizites „making arrangements“, explizite „coordination of predefined work“
Unterstützung	„ <i>making arrangements</i> “: Aushandlungsunterstützung durch „Conversation Clichés“, „ <i>coordination</i> “ durch die Ausführung der ausgehandelten Aufgabenmodelle
Auswirkungen	formale Verifizierbarkeit und Simulierbarkeit

2.4.13. Interactive Process Models

Jørgensen (2004) beschreibt die Verwendung von „interaktiven“ Prozessmodellen in organisationalen Arbeitsprozessen und die Veränderung dieser Prozesse durch Modellierungsvorgänge. Dabei bezeichnet er den Modellierungsvorgang als „Articulation Work“.

Kontext

Im Gegensatz zu den anderen hier behandelten Arbeiten steht bei Jørgensen (2004) nicht die Unterstützung der Koordination von Arbeitsprozessen im Vordergrund. Die Arbeit beschäftigt sich mit Prozessmodellen (also ablauforientierten Modellen von Arbeit) und sieht „Articulation Work“ als jene Tätigkeit, die zur Erstellung dieser Modelle notwendig ist. Die Rückwirkung der Modelle auf die reale Arbeitswelt wird als „Model Activation“ bezeichnet. Modellierung ist hierbei eine Aktivität, die von den betroffenen Personen selbst ausgeführt wird, die erstellten Modelle bilden dementsprechend die individuelle Sicht auf einen Arbeitsablauf ab. Insofern ist der vorgestellte Ansatz tatsächlich als eine

Form von „making arrangements“ (als Variante von expliziter, planender „Articulation Work“) zu sehen.

Unterstützung

Jørgensen führt Anforderungen an eine Modellierungssprache an, die „Articulation Work“ unterstützt. Diese sollte:

- einfach sein und nur wenige Basiselemente enthalten. Elemente der realen Welt sollten eindeutig in das Modell abgebildet werden können. Die Aussage des Modells sollte möglichst intuitiv erschließbar sein.
- visuell bzw. graphisch darstellbar sein. Die Darstellung sollte sowohl einen Überblick über das Gesamtmodell als auch detaillierte Ansichten einzelner Ausschnitte ermöglichen.
- Konstrukte enthalten, die auf die jeweilige Anwendungsdomäne der Modellierenden abgebildet bzw. angepasst werden können.
- nicht statisch hinsichtlich der Bedeutung der verwendeten Modellelemente sein. Die Bedeutung der Modellelemente kann sich während der Erstellung der Modelle durch Aushandlung oder Reflexion verändern.

Der Autor führt zur Erfüllung dieser Anforderungen eine Modellierungssprache ein, die den Ansatz des „semantic holism“ verfolgt. In Sprachen, die den Ansatz des „semantischen Holismus“ berücksichtigen, haben Modellelemente keine eindeutige, fix vorgegebene Bedeutung. Vielmehr erschließt sich der Bedeutung der einzelnen Elemente erst aus dem Gesamtzusammenhang des Modells, also aus dem Zusammenspiel aller Elemente.

Auch im Feld der „coordination of predefined work“ liefert Jørgensen (2004) Ansätze zur Unterstützung von Articulation Work, indem er die erstellten Modelle semi-automatisiert („interactive“) ausführbar macht („activation“).

Auswirkungen

Der Autor führt keine konkrete Evaluierung seines Ansatzes an, weshalb keine Aussagen zu den Auswirkungen des Ansatzes in der Praxis gemacht werden können. Aus der zugrunde liegenden Literatur leitet er jedoch ab, dass der gewählte Ansatz zur Modellierung eine adäquatere und einfachere Abbildung der Realität durch in der Modellierung ungeübte Individuen ermöglicht als andere gängige Modellierungs-Methoden.

Bewertung

Die Fokussierung auf Modellbildung als Aktivität im Rahmen von „Articulation Work“ ist ein Alleinstellungsmerkmal dieser Arbeit. Jørgensen berücksichtigt die für „Articula-

tion Work“ notwendige Flexibilität in der technischen und methodischen Unterstützung derselben und stellt Anforderungen auf, die eine Modellierungssprache erfüllen muss, um „Articulation Work“ adäquat zu unterstützen. Die Unterstützung der Ausführung der Modelle in interaktiver Form ohne die im WfMS üblichen strikten Abläufe kommt einer flexiblen Koordination des eigentlichen Arbeitsablaufs ebenfalls entgegen.

Kontext	Prozessmodellierung, Workflow-Management
Art von AW	explizites „making arrangements“, „coordinating predefined work“
Unterstützung	„making arrangements“: durch flexible, anwenderzentrierte Modellbildung, „coordinating“: durch interaktive Ausführung der erstellten Modelle
Auswirkungen	adäquate und einfache Abbildung sowie intuitive Interpretierbarkeit der Modelle und damit Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ durch Modelle von Arbeit

2.4.14. Torres, a Conceptual Framework for Articulation Work across Boundaries

Cabitza et al. (2006) stellen mit „Torres“ ein Framework vor, das sich speziell zur Unterstützung von „globaler Articulation Work“ eignet.

Kontext

Cabitza et al. (2006) entwickeln den weiter oben beschriebenen Ansatz von Sarini und Simone (2002a) weiter und wenden ihn unter Bezugnahme auf Færgemann et al. (2005) auf „globale Articulation Work“ an. Die Autoren stehen damit in der Tradition der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ durch CSCW-Werkzeuge und wenden diese im speziellen auf Situationen an, in denen Individuen oder Organisationseinheiten kooperieren müssen, die außerhalb des betreffenden Arbeitsablaufs keine kooperativen Tätigkeiten durchführen.

Unterstützung

Die Autoren bleiben grundsätzlich bei dem Ansatz von Sarini und Simone (2002a), die Koordination von Arbeit mittels Artefakten zu unterstützen, die auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst sind. „Torres“ ist dabei ein Framework zur Erstellung derartiger Artefakte. Dazu wird ein zweistufiger Prozess vorgeschlagen, der die domänenübergreifende Verständlichkeit der artikulierten Information sicherstellen soll.

In der ersten Phase werden von jedem beteiligten Individuum bzw. von jeder beteiligten Instanz „Local Formal Representations“ der jeweiligen Domäne erstellt werden. Diese enthalten nicht Modelle der Arbeitsabläufe selbst sondern lediglich die wesentlichen Konzepte der Domäne, die potentiell missverständlich sein können.

In der zweiten Phase werden die „Local Formal Representations“ zu einem einheitlichen, vorgegebenen Modell von „Articulation Work“ mittels ebenfalls vorgegebener Relationen in Beziehung gesetzt. Dadurch ist es möglich, etwaig auftretende Missverständnisse automationsgestützt aufzulösen bzw. zu vermeiden.

Auswirkungen

Die Autoren leiten die Eigenschaften ihres Systems aus den Beobachtungen in einer Fallstudie aus dem medizinischen Bereich ab. Die Implementierung war jedoch zum Zeitpunkt der Publikation nicht abgeschlossen, auch in Folgepublikationen (z.B. (Cabitza et al., 2009)) ist keine explizite Beschreibung von Auswirkungen des Systems im praktischen Einsatz vorhanden.

Bewertung

Die Autoren entwickeln den in Sarini und Simone (2002a) vorgeschlagenen „Reconciler“-Ansatz weiter und detaillieren vor allem jene Phase, in der „alignment of meanings“ durchgeführt wird. Methodisch schlagen die Autoren einen individuell durchzuführende zweistufigen Prozess vor, dessen Ergebnisse automatisiert mit den Ergebnissen der anderen Individuen zusammengeführt werden. Methodisch ist dies der detaillierteste Ansatz der Arbeiten der Gruppe rund um Simone und wird deswegen an dieser Stelle betrachtet.

Kontext	CSCW
Art von AW	„making arrangements“
Unterstützung	<i>methodisch</i> : Abstimmung unterschiedlicher Domänenmodelle und Erstellung von Informations-Artefakten, die domänenübergreifend verständlich sind
Auswirkungen	—

2.4.15. Gegenüberstellung und Zusammenfassung

Die Möglichkeiten zur Unterstützung von „Articulation Work“ sind ob der großen Spannweite möglicher Ausprägungen vielfältig. Im Allgemeinen zeigt sich die Tendenz, dass die Unterstützung bei einfacheren Formen (wie „coordination of predefined work“) eher mittels rein organisationalen Mitteln erfolgen kann, während bei komplexeren Formen

von „Articulation Work“ zusätzlich auch technische Mittel eingesetzt werden und methodische Unterstützung angeboten wird. Außerdem soll durch technische Unterstützung der Phase, die dem eigentlichen Arbeitsablauf voraus geht (Planung, „making original arrangements“) das Auftreten von problematischen Situationen (und damit der Bedarf nach komplexen Formen von „Articulation Work“) während der Durchführung des Arbeitsablaufs vermieden werden.

Für einfache Formen von „Articulation Work“, in denen etablierte Arbeitsabläufe koordiniert bzw. kleine Unklarheiten oder Hindernisse beseitigt werden müssen, werden in der Literatur immer wieder soziale Mechanismen als ausreichendes Regulativ beschrieben (z.B. in (Raposo et al., 2001) oder (Schmidt, 1994)). Davenport (2002) nennt „Communities of Practice“ (Wenger, 1999) als mögliches Instrument zur Institutionalisierung dieser sozialen Mechanismen. Einen Spezialfall stellen hier jene Arbeitsabläufe dar, die verteilt durchgeführt werden und in denen deshalb die sozialen Mechanismen durch technische Mittel ermöglicht werden müssen (Færgemann et al., 2005). In diesen Fällen werden auch einfache Formen von „Articulation Work“ technisch unterstützt (z.B. bei (Divitini und Simone, 2000) oder (Fuchs et al., 2001)).

Je komplexer die Arbeitssituation wahrgenommen wird, desto notwendiger wird eine explizite Beschäftigung mit den abzustimmenden Arbeitsaspekten (auch bei Arbeitsabläufen, die nicht oder nur in Teilaspekten kooperativ bearbeitet werden (Fjuk et al., 1997)). Letztendliches Ziel ist es immer, einen Status (wieder-)herzustellen, in dem soziale, implizite Mechanismen zur Koordination ausreichen. Organisationale (z.B. bei (Grinter, 1996)) oder auch technische Unterstützung (z.B. bei (Schmidt und Simone, 2000) und allen auf dieser Publikation aufbauenden Arbeiten) kann hierbei hilfreich sein.

Bei der technischen Unterstützung von „Articulation Work“ können zwei Ansatzpunkte unterschieden werden. Einerseits kann die Lösung von aufgetretenen Problemen unterstützt werden (z.B. bei (Grinter, 1996)) oder deren Auftreten von vorneherein verhindert werden (z.B. bei (Raposo et al., 2004)). Andererseits kann „Articulation Work“ bei der Planung von Arbeitsprozessen unterstützt werden, wobei unter anderem die Koordinationsmechanismen während der Durchführung des Arbeitsablaufs vereinbart werden (z.B. bei Sarini und Simone (2002b) und den darauf aufbauenden Arbeiten). Ziel ist es hier, schon im Vorfeld den Arbeitsablauf bzw. die unterschiedlichen Sichten darauf soweit abzustimmen, dass die Koordination möglichst unproblematisch und implizit abgehandelt werden kann.

Diese Form von „Articulation Work“ wird vom Großteil der in diesem Bereich tätigen Autoren durch Modelle der zu koordinierenden Arbeit als explizite Artefakte im Artikulationsprozess unterstützt (z.B. bei (Divitini und Simone, 2000), (Sarini und Simone, 2002a), (Raposo et al., 2004) oder (Jørgensen, 2004)). Diese Modelle werden von den beteiligten Personen erstellt und müssen syntaktisch einfach bzw. intuitiv zu handhaben und semantisch flexibel sein (Herrmann et al., 2002) (Jørgensen, 2004). Der Inhalt der Modelle kann sowohl der eigentliche Arbeitsablauf sein (Divitini und Simone, 2000)

als auch die allgemeine Struktur der Arbeitsdomäne konzeptuell abbilden (Sarini und Simone, 2002a).

Die existierenden Arbeiten in diesem Bereich setzten allerdings die Existenz dieser Modelle voraus bzw. schaffen die konzeptuellen Rahmenbedingungen, um die Erstellung derartiger Modelle zu ermöglichen. Dabei sind sie immer durch den Anspruch eingeschränkt, die Modelle automationsgestützt zur Unterstützung der Koordination im Arbeitsablauf selbst weiterzuverarbeiten. Die Anforderung an die Modellierungssprache sind also nur zum Teil aus den Bedürfnissen der Benutzer abgeleitet, sondern vielmehr ein Kompromiss zwischen den Anforderungen des technischen Systems und der Bedürfnisse der Benutzer. Mit der konkreten Erstellung der Modelle selbst beschäftigen sich lediglich Herrmann et al. (2002) sowie Jørgensen (2004), auch sie gehen aber nicht auf die konkrete Unterstützung der Individuen im Modellierungsprozess ein.

Die Unterstützung der an einem Arbeitsablauf beteiligten Individuen bei Modellbildung und -abstimmung als „Articulation Work“ weist an dieser Stelle also Lücken auf, die bislang nicht behandelt wurden. Dies ist insofern problematisch, als dass vor allem komplexe Formen von „Articulation Work“ auf externe Repräsentationen zurückgreifen, um die Abstimmung zu erleichtern. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird deswegen versucht, methodische und technische Hilfsmittel zu entwickeln, die auf Modellen basierende „Articulation Work“ unterstützen kann. Einen möglichen Ansatzpunkt dazu liefert bereits Strauss (1993).

2.5. Thought processes und Articulation Work

Zur Zielsetzung von „Articulation Work“ und deren Unterstützung treffen die im letzten Abschnitt betrachteten Arbeiten klare Aussagen. Offen bleiben jedoch vor allem bei der Unterstützung komplexerer Formen von „Articulation Work“ explizite Aussagen zu den notwendigen Leistungen der Individuen im Prozess der Artikulation, deren konkrete Ausgestaltung und der möglichen Unterstützung.

Bereits Strauss ist sich dieser (konzeptuellen) Auslassung bewusst⁴⁰, und beschäftigt sich in späteren Arbeiten (etwa (Strauss, 1993)) auch mit jenen kognitiven Vorgängen, die von ihm als „thought processes“ oder „mental activities“ bezeichnet werden und

⁴⁰ „[...] many social scientist pay almost no attention to interior activity: ignoring it, taking it for granted, but leaving it unexamined, or giving it the kind of abstract but not very detailed analysis [...]“ (Strauss, 1993, S. 131)

die untrennbar mit jeder Art von Tätigkeit und Interaktion verbunden sind⁴¹ und diese beeinflussen⁴².

Im Kontext der Abstimmung von Arbeitsabläufen kommt den „thought processes“ der Individuen große Bedeutung zu, da sie den sichtbaren individuellen Handlungen zugrunde liegen bzw. diese beeinflussen. „Articulation Work“ wirkt sich also auf die „thought processes“ der beteiligten Individuen aus (wie auch von Davenport (2002) im Kontext des „situated learning“ erwähnt). Strauss interessiert sich allerdings ausschließlich für die dynamischen Aspekte der Interaktion zwischen Individuen, nicht aber für die Ausgangspunkte und Ergebnisse der zugrunde liegenden „thought processes“.⁴³

Die Repräsentationen, auf denen „thought processes“ beruhen und operieren, sind jedoch für die Unterstützung von „Articulation Work“ von Interesse. Vorhandene Arbeiten (etwa (Herrmann et al., 2002) oder (Jørgensen, 2004)) beschäftigen sich lediglich mit bereits externalisierten Repräsentationen, gehen jedoch ebenfalls nicht auf deren Erstellung oder Ursprung ein. Die kognitions-wissenschaftlichen Ansätze zu Schemata ((Rumelhart und Norman, 1978) (vgl. nach Hanke, 2006)) und mentalen Modellen ((vgl. Seel, 1991)) sind ein Erklärungsansatz für diese Lücke (Herrmann et al., 2002).

2.6. Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde „Articulation Work“ als ein Erklärungsmodell für die koordinierenden Abläufe bei kooperativer menschlicher Arbeit eingeführt. Nach einer Begriffsklärung auf Basis der zur Thematik publizierten Literatur wurden die unterschiedlichen Ausprägungen beschrieben, in denen „Articulation Work“ auftreten kann und in welchen Situationen welche Ausprägung auftritt. Den Abschluss des allgemeinen Teils bildet eine Übersicht über die Gegenstände von „Articulation Work“, also jene Arbeitsaspekte, die potentiell abgestimmt werden müssen.

Der zweite Teil des Kapitels beschreibt technische und methodische Möglichkeiten zur Unterstützung der Durchführung von „Articulation Work“. Die dort identifizierten Ansätze zeigen ein breites Spektrum von Möglichkeiten der Unterstützung für unterschiedliche Ausprägungen von „Articulation Work“. Vor allem im Bereich der Unterstützung von „expliziter Articulation Work“, also der bewusst angestossenen und durchgeführten Form von „Articulation Work“, kommen in einem Großteil der Arbeiten diagrammati-

⁴¹ „These [thought processes] accompany visible action, as well as precede and follow in conditional and consequential modes“ (Strauss, 1993, S. 146)

⁴² „Even well-grooved, routine action and interaction may be accompanied by thought [...] directly relevant to the work at hand. As I vacuum the house, barely noticing my movements, still I give myself commands [...]“ (Strauss, 1993, S. 132)

⁴³ „I use the gerund 'ing' after 'symbol' [bei der Beschreibung von 'symbolizing', Anm.] to signify that my principal interest is, again, in interaction rather than its products, for symbols are precipitates of interaction“ (Strauss, 1993, S. 149)

sche Modelle zum Einsatz. Diese erleichtern die Abstimmung und ermöglichen die einfacheren und schnellere Entwicklung einer gemeinsamen Sichtweise auf den betrachteten Arbeitsablauf.

2.6.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Hinsichtlich der in Kapitel 1 formulierten Forschungsfragen und Fragestellungen wurde in diesem Kapitel vor allem die Fragestellung 1 („Was ist Articulation Work und wie wirkt sie im Arbeitsprozess“) behandelt. Die relevanten Konzepte und Untersuchungen wurden in den Abschnitten 2.1 und 2.2 erarbeitet und einander gegenübergestellt (auf Grundlage der in Anhang A aufgearbeiteten Literatur zum Themengebiet „Articulation Work“). Das Ergebnis der Aufarbeitung ist eine Konzeption von „Articulation Work“, in der alle in der Literatur genannten Auslöser, Ausprägungen und Zielsetzungen berücksichtigt wurden (siehe Abbildung 2.3).

In Abschnitt 2.3 wurde mit der Betrachtung der im Rahmen von „Articulation Work“ abzustimmenden Aspekte der „Production Work“ jene Betrachtungsgegenstände identifiziert, an denen sich die Durchführung von „Articulation Work“ zeigt. Für diese Arbeit ist dies von Interesse, als dass an diesen die Effektivität der Durchführung von „Articulation Work“ beobachtet werden kann. Diese Effektivität ist dann gegeben, wenn eine gemeinsame Sichtweise auf die abzustimmenden Gegenstände, konkret also die relevanten Aspekte des Arbeitsablaufs selbst sowie jene aus dessen Umfeld, entwickelt wurde. Dies ist ein erster Beitrag zur Bearbeitung der Fragestellung 5 („Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter Articulation Work beurteilt werden?“).

Die in Abschnitt 2.4 dargestellte Literatur zum Themengebiet der Unterstützung von „Articulation Work“ konkretisiert einerseits die Beantwortung der Fragestellung 1 hinsichtlich der Wirkungsweise in Arbeitsprozessen, trägt aber andererseits vor allem zur Erarbeitung der Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung von „Articulation Work“ bei (Fragestellung 3). Auf Basis der dortigen Ergebnisse zeigt sich, wie in Abschnitt 2.4.15 beschrieben, dass in existierenden Arbeiten zur Unterstützung von „Articulation Work“ nur auf die zu unterstützenden Phänomene und Abläufe eingegangen wurde. Die zweite von Grudin (1988) formulierte Forderung nach einer Berücksichtigung der Bedürfnisse und Tätigkeiten der beteiligten Individuen (siehe Kapitel 1) wurde bislang nicht behandelt. Abschnitt 2.5 weist auf einen möglichen Ansatzpunkt hin, die Fragestellung 3 im Sinne von Grudin (1988) vollständiger bearbeiten zu können.

2.6.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die zur Unterstützung von „Articulation Work“ von mehreren Autoren vorgeschlagene Erstellung von diagrammatischen Modelle wird in existierenden Arbeiten methodisch nur teilweise behandelt. Vor allem die Rolle der beteiligten Individuen und deren Unter-

stützung im Erstellungsprozess bleibt unklar. Dies ist insofern problematisch, als dass die erfolgreiche Durchführung von „Articulation Work“ die Einbindung aller beteiligten Individuen bedingt und deren Sichtweise auf den abzustimmenden Arbeitsablauf berücksichtigen muss. Als Ansatzpunkt, die Berücksichtigung dieser individuellen Beiträge bei der Durchführung von „Articulation Work“ sicherzustellen und methodisch sowie mit einem Werkzeug zu unterstützen, wurde das Konzept der „Mentalen Modelle“ als geeignet identifiziert. In Kapitel 3 werden diese nun konzeptuell eingeführt und hinsichtlich der Anforderungen im Rahmen der Durchführung von „Articulation Work“ betrachtet.

3. Mentale Modelle

In diesem Kapitel wird das Konzept der „*mentalen Modelle*“ eingeführt, das in dieser Arbeit als Erklärungsansatz für jene Aspekte von „Articulation Work“ verwendet wird, die die nicht sichtbaren, kognitiven Beiträge eines beteiligten Individuums betreffen. Nach einer Einführung in die Begriffswelt der mentalen Modelle wird die Argumentation aus dem Kapitel „Articulation Work“ nochmals aufgegriffen und die mögliche Rolle mentaler Modelle für die Durchführung derselben erörtert. In der Folge werden Methoden eingeführt, mit denen mentale Modelle externalisiert und kommuniziert werden können. Basierend auf diesen Beschreibungen wird im letzten Teil des Kapitels untersucht, welche Herausforderungen sich bei der Anwendung dieser Methoden im Kontext von „Articulation Work“ ergeben können. Abbildung 3.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

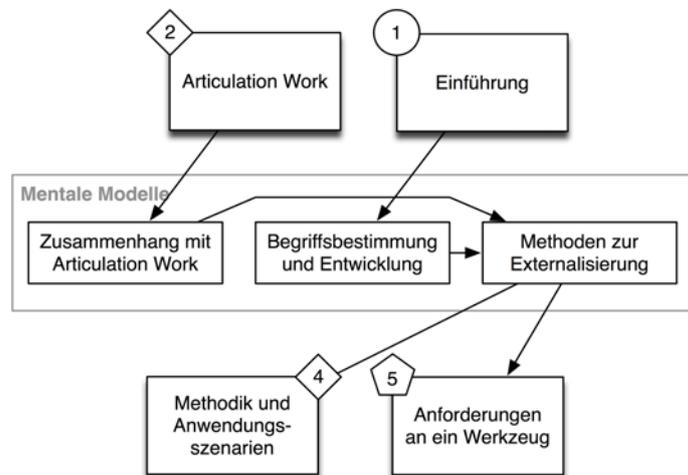


Abbildung 3.1.: Kapitel „Mentale Modelle“ im Gesamtzusammenhang

3.1. Articulation Work und mentale Modelle

Wie bereits im vorgehenden Kapitel beschrieben, werden in vorhandenen Arbeiten zu „Articulation Work“ deren Auftreten, Kontext und Wirkung beschrieben, nicht aber jene Aspekte ihrer Durchführung, die die individuellen Aktivitäten betreffen. Der eigentliche Gegenstand der Abstimmung, die im Rahmen der „Articulation Work“ erfolgen soll, wird ebenfalls nicht konkret festgelegt. Strauss spricht von *„putting together tasks, task sequences, task clusters - even aligning larger units such as lines of work and subprojects - in the service of work flow“* (Strauss, 1988, S. 2), und konkretisiert: *„the specific questions about tasks of course include: what, where, when, how, for how long, how complex, how well defined are their boundaries, how attainable are they under current working conditions, how precisely are they defined in their operational details, and what is the expected level of performance. (Which of those are the most salient dimensions depends on the organizational work context under study, and we cannot emphasize too much that it is the researcher who must discover these saliences.)“* (Strauss, 1985, S. 6). Strauss lässt also offen, was es exakt ist, das abgestimmt werden muss bzw. verlagert diese Frage in den konkreten Einzelfall.

Strauss spricht diese Auslassung in einer späteren Arbeit explizit an (Strauss, 1993, S. 131) und führt – wie im letzten Kapitel bereits erwähnt – das Konstrukt der „thought processes“ ein. Im Kontext der Abstimmung von Tätigkeiten kommt den „thought processes“ der Individuen insofern Bedeutung zu, als dass sie den sichtbaren individuellen Handlungen zugrunde liegen bzw. diese beeinflussen. „Articulation Work“ wirkt sich also auf die „thought processes“ der beteiligten Individuen aus. „Thought processes“ umfassen *„images, imaginations, projections of scenes, [...] flashes of insight, rehearsals of action, construction and reconstruction of scenarios, the spurting up of metaphors or comparisons, the reworking and reevaluating of past scenes and one’s actions within them, and so on and on“* (Strauss, 1993, S. 130) - also im Wesentlichen alle kognitiven Vorgänge, die unmittelbar oder mittelbar im Zusammenhang mit den sichtbaren Arbeitsaspekten, insbesondere den Tätigkeiten zur Zielerreichung und der wahrgenommenen Arbeitsumgebung, stehen. Strauss interessiert sich allerdings ausschließlich für die dynamischen Aspekte der Interaktion zwischen Individuen, nicht aber für die Ausgangspunkte und Ergebnisse der zugrunde liegenden „thought processes“ (Strauss, 1993, S. 149).

3.2. Begriffsbestimmung

Das Konzept der „mentalen Modelle“ wird grundsätzlich verwendet, um zu erklären *„wie Menschen die Welt verstehen – genauer: wie sie ihr Wissen benutzen, um sich bestimmte Phänomene der Welt subjektiv plausibel zu machen“* (Seel, 1991, S. VII). Mentale Modelle sind dabei Erklärungsmodelle der Welt, die von Menschen auf Basis

von Alltagserfahrungen, bisherigem Wissen und darauf basierenden Schlussfolgerungen gebildet werden. Ein mentales Modell wird dann vom jeweiligen Individuum als Basis verwendet, um die Welt zu verstehen und ggf. Vorhersagen über deren Verhalten zu bilden. (Seel, 1991, S. VII)

Im Wesentlichen wurde das Forschungsfeld der mentalen Modelle durch zwei Arbeiten maßgeblich beeinflusst. Johnson-Laird (1981) sowie de Kleer und Brown (1981) führen den Begriff als eigenständigen Forschungsgegenstand ein und legen damit die Grundlage für einen Großteil der nachfolgenden Arbeiten in dem Gebiet. Im Kontext dieser Arbeit wird auf das von Seel (1991) vorgeschlagene Verständnis von „mentalenen Modellen“ zurückgegriffen. Seel (1991) versucht, die unterschiedlichen Richtungen der Forschung im Bereich der mentalen Modelle zusammenzuführen und daraus die Bedeutung von Mentalenen Modellen für Lernvorgänge (unter die – im breiten Verständnis von Seel – auch die hier relevanten Abstimmungsvorgänge fallen) und Möglichkeiten zu deren Unterstützung abzuleiten. Die folgenden Ausführungen basieren deshalb auf den Ausführungen von Seel und seiner Mitarbeiter (Ifenthaler (2006), Pirnay-Dummer (2006) und Hanke (2006)).

Mentale Modelle sind nach Ifenthaler (2006, S. 7) *„kognitive Konstruktionen, die abhängig von der jeweiligen Situation und vom semantischen Wissen einer Person ad hoc konstruiert werden“*. Ein mentales Modell ist also kein permanentes kognitives Konstrukt, sondern wird auf Basis vorhandenen Wissens in bestimmten Situationen ad-hoc gebildet (siehe dazu auch Abschnitt 3.3). In engem Zusammenhang mit dem Begriff der mentalenen Modelle ist jener der „Schemata“ zu nennen. „Schemata“ unterscheiden sich ihrer Definition nach nur in Detail von „mentalenen Modellen“¹ Ein „Schema“ repräsentiert nach Seel (2003b, S. 57) *„das aufgrund vielfältiger Einzelerfahrungen mit Objekten, Personen, Situationen und Handlungen erworbene verallgemeinerbare und abstrakte Wissen einer Person.“* Schemata werden benutzt um *„Wissensstrukturen zu beschreiben, welche typische Zusammenhänge eines Realitätsbereiches repräsentieren.“* (Ifenthaler, 2006, S. 8). Auf Basis dieser „Schemata“ treffen Individuen treffen Handlungsentscheidungen in bestimmten Situationen. „Schemata“ sind dabei als „Vorlagen“ zu sehen, die adäquate Handlungen für einen bestimmten Situationstypus vorgeben (im Sinne der erwähnten „Verallgemeinerbarkeit“) und Individuen damit zur raschen, unmittelbaren Handlung befähigt, ohne ausführliche Planungstätigkeiten durchführen zu müssen. In Abgrenzung dazu werden „mentale Modelle“ ad-hoc in Situationen gebildet, wo keine Schemata vorhanden sind oder vorhandene nicht angewandt werden können.

Ifenthaler (2006) beschreibt den Zusammenhang zwischen Schemata und mentalenen Modellen wie in Abbildung 3.2 dargestellt. Er bezieht sich dabei auf das „Äquilibrations“-

3.2. Begriffsbestimmung

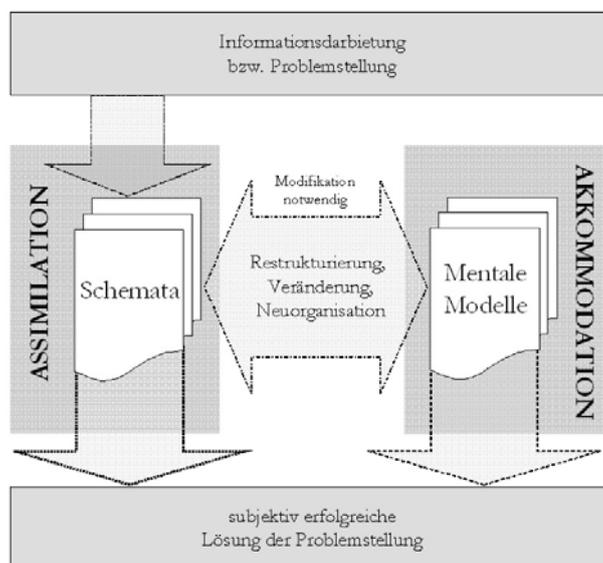


Abbildung 3.2.: Schemata und mentale Modelle (entnommen aus Ifenthaler (2006, S. 10))

Prinzip nach Piaget (1976). Demnach entwickelt sich das Wissen eines Individuums durch die komplementären Prozesse „Assimilation“ und „Akkommodation.“

Solange eine wahrgenommene Situation auf existierende Schemata abgebildet werden kann und daraus unmittelbar Handlungen abgeleitet werden können, spricht man von „Assimilation“ der wahrgenommenen Information. „Assimilation“ festigt bestehende Schemata, gestaltet diese ggf. in Details exakter aus oder um, stellt die grundlegenden Annahmen, die dem Schema zugrunde liegen, aber nicht in Frage. Kann die wahrgenommene Information nicht auf existierende Schemata abgebildet werden, kommt es zur „Akkommodation“, also der (ad-hoc) Bildung eines mentalen Modells und darauf aufbauend zur „*Restrukturierung, Veränderung und Neuorganisation*“ (Ifenthaler, 2006) der betreffenden Schemata. Schemata und mentale Modelle können damit auch als jene Strukturen interpretiert werden, die beim „Single-“ bzw. „Double-Loop-Learning“ nach Argyris und Schön (1978) zum Einsatz kommen. Im Kontext von „Articulation Work“ sind mentale Modelle in jenen Situationen von Interesse, die als so „problematisch“ wahrgenommen werden, dass keine Fortführung der operativen Arbeit mehr möglich ist (auf individueller Ebene also evtl. existierende „Schemata“ nicht mehr zum Einsatz gebracht werden können). In diesen Situationen muss „explizite Articulation Work“ durchgeführt werden, um auf Basis eines mentalen Modells dieses selbst zu verändern, auszugestalten und soweit mit der Umwelt abzustimmen, dass eine Wiederaufnahme der operativen

¹Tatsächlich wird nach Ifenthaler (2006) der Begriff der „mentalen Modelle“ von manchen Autoren zugunsten von „Schemata“ als überflüssig bezeichnet, da zweitens die auftretenden kognitiven Phänomene ausreichend beschreibt.

Arbeit (bzw. die Bildung von adäquaten Schemata) möglich wird. Um auf die Durchführung von „expliziter Articulation Work“ unter Bezugnahme auf die mentalen Modelle der Individuen näher eingehen zu können, werden im nächsten Abschnitt die Bildung und Veränderung mentaler Modelle näher betrachtet.

3.3. Bildung und Veränderung mentaler Modelle

Nach Seel (1991) umfasst die Bildung mentaler Modelle zwei Komponenten: Eine *deklarative Komponente*, in der bereichs- bzw. domänen-spezifisches Wissen in der Form von hier nicht näher spezifizierten, strukturierten Wissensbasen abgelegt wird und eine *operative Komponente*, in der auf Grundlage dieser Wissensbasen Schlüsse gezogen und neues Wissen abgeleitet wird, die über das ursprüngliche domänenspezifische Wissen hinausgeht.

Das in den Wissensbasen repräsentierte Wissen kann auf Alltagserfahrung basieren oder durch Vermittlung oder Instruktion begründet werden. Im ersteren Fall ist das Wissen dann als konkret und handlungsbezogen anzusehen, im zweiten Fall ist das Wissen eher auf abstrakter, formaler Ebene anzusiedeln. Analog dazu kann auch in der operativen Komponente die Schlussfolgerung entweder induktiv auf Basis eines „intuitionsbegründeten“ Regelsystems gezogen werden oder durch Deduktion mittels einem formal begründbaren Regelsystem gebildet werden (Seel, 1991).

Die Modifikation und Erweiterung der eigenen Wissensbasen und die (Weiter-) Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten, die für die Ableitung von Schlussfolgerungen notwendig sind, bezeichnet Seel (1991) als „Lernen“. Lernen ist *„mit der Verarbeitung individueller Erfahrungen mit sowie vermittelter Information über die Welt, ihre Struktur und Evidenz verbunden und kann als ein Prozess permanenter konzeptueller Veränderungen verstanden werden.“* (Seel, 1991, S. 23). Lernen setzt damit die Fähigkeit und Bereitschaft voraus, *„vermittelte Weltauffassungen zu verstehen, zu akzeptieren und sodann den eigenen gedanklichen Konstruktionen zugrunde zu legen“* (Seel, 1991, S. 23). Im Wesentlichen entspricht dies einer Verallgemeinerung jener Vorgänge, die im Rahmen von nicht rein koordinierender sondern abstimmender und vor allem planender „Articulation Work“ durchgeführt werden.

In Zusammenhang mit diesem Verständnis von „Lernen“ sind verschiedene Arten von mentalen Modellen zu unterscheiden. Seel (1991) differenziert zwischen „Novizenmodellen“ und „Expertenmodellen“ (diese Unterscheidung trifft implizit auch Norman (1983) im Kontext der Verwendung mentaler Modelle in der HCI²). Ein „Novizenmodell“ ist ein Alltagsmodell, das ad-hoc in einer Problemsituation gebildet wird und dem Individuum, das es gebildet hat, in der aktuellen Situation als plausibel wahrgenommen wird (auch wenn es objektiv falsch ist). Es reicht aus, um adäquate Reaktionen auf die gegebene

²Human Computer Interaction

ne Situation abzuleiten, ohne dass notwendigerweise eine Begründung der Handlungen möglich wäre oder diese nicht mit dem tatsächlichen Grund der Problembewältigung übereinstimmen³. Je öfter die Anwendung eines „Novizenmodells“ zum Erfolg führt, umso stabiler wird es zur Grundlage des Handelns des Individuums in der jeweiligen Situation.

„Expertenmodelle“ (oder „wissenschaftliche Modelle“) sind hingegen inhaltlich vollständiger und bilden die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge der beobachtbaren Realität ab (sind also „objektiv korrekt“). Sie sind im allgemeinen differenzierter und bedienen sich einer adäquateren mentalen Codierung – d.h. Begriffssystem – als „Novizensysteme“ (die sich i.A. vertrauter Begriffssysteme bedienen, auch wenn diese einer anderen Domäne entstammen oder objektiv inkorrekt sind). Auch die Kompetenz des Individuums im Umgang mit dem mentalen Modell ist in diesem Fall höher. Der Übergang von einem „Novizenmodell“ zu einem „Expertenmodell“ erfolgt dabei durch „Lernen“ im oben genannten Sinn. (Ifenthaler, 2006)

„Expertenmodelle“ müssen aber nicht immer den erwünschten Endzustand eines Lernprozesses darstellen. Durch die gesteigerte Komplexität des Modells wird dessen ad-hoc-Anwendung schwieriger, die Nützlichkeit des Modells ist deshalb eingeschränkt (vgl. Ifenthaler, 2006, S. 20). Hier zeigt sich eine Analogie mit dem Bereich „Articulation Work“, wo es – wie im letzten Kapitel beschrieben – ebenfalls nicht als erforderlich angesehen wird, dass jedes beteiligte Individuum eine detaillierte Gesamtsicht auf den Arbeitsablauf hat. Vielmehr ist es ausreichend, die jeweils relevanten Schnittstellen zu abzustimmen und einen groben Überblick über den Gesamtzusammenhang zu haben.

Ifenthaler (2006) erweitert deshalb die binäre Klassifikation durch „Erklärungsmodelle“, die er konzeptuell zwischen „Novizen-“ und „Expertenmodellen“ ansiedelt. Ein „Erklärungsmodell“ *„beinhaltet alle notwendigen Informationen, um ein Problem bezüglich des Sachverhaltes und der Anforderungssituation richtig zu lösen. Einem Erklärungsmodell wird dabei ein hoher Grad an Nützlichkeit beigemessen, was in Bezug auf die kognitive Leistung zu einer ergonomischen Problemlösung führt. Je nach Komplexität des Sachverhaltes und der damit verbundenen Anforderungssituation kann ein Erklärungsmodell einem Novizenmodell oder einem Expertenmodell sehr ähnlich sein“* (Ifenthaler, 2006, S. 21). „Erklärungsmodelle“ sind also je nach Art der zugrunde liegenden Problemstellung unterschiedlich aufgebaut. Ziel eines „Erklärungsmodells“ ist es immer, bestmöglich zur Problemlösung beizutragen, diese also für das Individuum im Kontext der jeweiligen Problemstellung möglichst einfach zu gestalten. Ein „Erklärungsmodell“ gewinnt dabei durch „Lernen“ an Reifegrad, es nähert sich einem „Expertenmodell“ immer weiter an.

Im Kontext von „Articulation Work“ ist der Begriff des „Erklärungsmodells“ ein hilfreiches Konstrukt. Je nach Reifegrad des betreffenden mentalen Modells wird eine bestimmte Arbeitssituation als mehr oder weniger komplex wahrgenommen. Je komplexer

³„[...] most people’s understanding of the devices they interact with is surprisingly meager, imprecisely specified, and full of inconsistencies, gaps and idiosyncratic quirks.“(Norman, 1983, S. 8)

eine Arbeitssituation wahrgenommen wird, desto größer ist der Bedarf nach expliziter „Articulation Work“, also der expliziten Beschäftigung mit dem Arbeitsprozess, dessen Reflexion und der Abstimmung der eigenen Wahrnehmung mit anderen beteiligten Individuen. Diese Beschäftigung mit dem Arbeitsprozess, also jene Tätigkeiten, die im Rahmen der „Articulation Work“ durchgeführt werden, entsprechen – wie oben bereits beschrieben – dem hier beschriebenen „Lernen“, wobei in kooperativen Arbeitssituation die Quellen „vermittelter Information“ vorrangig die anderen beteiligten Individuen oder organisationale Artefakte sind, die den Arbeitsablauf beschreiben.

Die Veränderung mentaler Modelle weist zwei grundlegende Schwierigkeiten auf. Bei bereits als nicht adäquat erkannten mentalen Modellen (wie sie bei „Articulation Work“, die in „non-routine work“ bzw. „problematic work“ ausgeführt wird, auftreten), besteht grundsätzlich die Bereitschaft zur Veränderung (im Sinne einer „Akkommodation“ des mentalen Modells an die als verändert wahrgenommene Umweltbedingungen), die Herausforderung besteht aber darin, die notwendigen Informationen vermittelt zu bekommen, also an diese zu gelangen und adäquat dargeboten zu bekommen. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich in Situationen, in denen nicht alle involvierten Individuen die Situation als „problematisch“ wahrnehmen und deshalb keine grundlegende Bereitschaft zeigen, ihre der Arbeit zugrunde liegenden Annahmen (also ihre mentalen Modelle) zu verändern (Ifenthaler (2006) spricht von „hoher Veränderungsresistenz“). Dies tritt vor allem in Situationen auf, in denen „Articulation Work“ nicht aus einer allgemein wahrgenommenen Problemsituation heraus durchgeführt wird, sondern entweder mit rein planendem Charakter angestoßen wird oder nur für einzelnen beteiligte Individuen so stark „problematisch“ ist, dass eine explizite Beschäftigung mehrerer oder aller am Arbeitsablauf beteiligten notwendig ist.

Aus der Theorie der mentalen Modelle heraus begründet, müssen also drei Rahmenbedingungen gegeben sein, um „explizite Articulation Work“ durchführen zu können:

1. Die Beteiligten müssen bereit sein, ihre mentalen Modelle abzustimmen und das individuelle Verständnis der Schnittstellen abzugleichen.
2. Die von den beteiligten Individuen benötigte Information über den Arbeitsablauf muss von den anderen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden können oder in der Form organisationaler Artefakte vorliegen.
3. Die benötigte Information muss in adäquater Form dargeboten werden, um die individuellen mentalen Modelle mit diesen in Einklang zu bringen.

Anforderung 1 ist eine Frage des sozialen Verhaltens der beteiligten Personen bzw. der Organisationskultur und kann ggf. durch organisationale Maßnahmen (z.B. durch die Förderung von „Communities of Practice“ (Wenger, 1999)) unterstützt werden. Anforderung 2 kann trivial zu erfüllen sein, wenn der Kontext des Arbeitsablaufs (d.h. das Umfeld, in dem die Arbeit durchgeführt wird, u.a. inkl. aller beteiligten Individuen) bekannt ist. In komplexen, neuartigen oder unbekanntem Arbeitssituationen muss auch die Erfüllung dieser Anforderung unterstützt werden. Ansatzpunkte dafür liefert im Be-

reich von „Articulation Work“ etwa Grinter (1996) (siehe Abschnitt 2.4.4) oder Fuchs et al. (2001) (siehe Abschnitt 2.4.7), umfassend mit dieser Thematik beschäftigt sich der Forschungsbereich der „Organisational Memories“ (zur technischen Unterstützung siehe etwa (Abecker et al., 1998) oder (Diefenbruch et al., 2002)⁴).

Anforderung 3 wird in der Forschung zum Thema „Articulation Work“ von Sarini und Simone (2002a) im Kontext des „alignment of meanings“ angesprochen, bei dem eine automationsgestützte Abbildung unterschiedlicher Domänenvokabulare die grundsätzliche Verständigung bzw. die Vermeidung von Missverständnissen vermeiden soll. Diese Maßnahme ermöglicht allerdings erst die Abstimmung mentaler Modelle, unterstützt diese aber noch nicht unmittelbar. Im Sinne der adäquaten Form der Darbietung argumentieren auch Divitini und Simone (2000), (Jørgensen, 2004) und vor allem Herrmann et al. (2002) mit der Forderung von flexiblen bzw. an die Bedürfnisse der Benutzer anpassbaren Modellierungssprachen bei der Verwendung von externalisierten Modellen als Unterstützung der Durchführung von „Articulation Work“ (siehe dazu die Abschnitte 2.4.8, 2.4.13 und 2.4.10).

Hinsichtlich Anforderung 3 argumentiert Seel (1991) im Bereich der mentalen Modelle für die Nützlichkeit externalisierter Repräsentationen zur Verbesserung von mentalen Modellen. Er vertritt die Auffassung, dass „die Externalisierung die Konstruktion eines mentalen Modells ‚vervollkommnet‘“, was er darauf zurückführt, dass „erst aus der Zielsetzung heraus, sich einem anderen mitzuteilen, die Präzision einer gedanklichen Konstruktion resultiert, die für die Erklärung einer Weltergebenheit erforderlich ist“ (Seel, 1991, S. 155). Die Bildung von Externalisierungen mentaler Modelle verbessert also einerseits das individuelle mentale Modell, indem sie Lücken und Inkonsistenzen bewusst macht, und ermöglicht andererseits die Kommunikation mit anderen Individuen und ist damit die Grundlage der Vermittlung von Information und damit des „Lernens“ und „Articulation Work“ im hier beschriebenen Sinn. Seel (1991) lässt jedoch offen, in welcher Form die Repräsentation erfolgt, um die Vermittelbarkeit bestmöglich sicherzustellen⁵. Ifenthaler (2006), Hanke (2006) und Pirnay-Dummer (2006) weisen an dieser Stelle jedoch auf qualitative Unterschiede der Eignung unterschiedlicher externer Repräsentationsformen mentaler Modelle zur Externalisierung und Vermittlung derselben hin. Auf diese unterschiedlichen Formen und deren Eignung wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Grundsätzlich konnte jedoch hier gezeigt werden, dass „Articulation Work“ die mentalen Modelle der beteiligten Individuen verändert bzw. auf diesen aufbaut. In weiterer Folge wurde deutlich, dass zur expliziten Durchführung von „Articulation Work“ auch aus der Theorie der mentalen Modelle heraus die Verwendung von externalisierten Modellen (wie bereits von Divitini und Simone (2000), Herrmann et al. (2002) und Jørgensen (2004) ohne den Hintergrund der mentalen Modelle vorgeschlagen) sinnvoll ist.

⁴eine detaillierte Darstellung des Forschungsgebiets ist in (Maier, 2008) zu finden

⁵„Internalisierung von Erkenntnismitteln setzen Zeichensysteme (auditiver, visueller oder anderer Natur) für die Verschlüsselung der semantischen Gebilde voraus“ (Seel, 1991, S. 155)

Diese Forderung nach einer Externalisierung mentaler Modelle, um deren Abstimmung zu unterstützen wird auch durch die Ausführungen von Senge (1990) und Kim (1993) gestützt, die mentale Modelle⁶ als ein wichtiges Konzept im Kontext des organisationalen Lernens identifizieren. Mentale Modelle bilden dort die Grundlage für Handlungen von Individuen in Organisationen und müssen geteilt werden, um der Organisation selbst eine Weiterentwicklung (einen „organisationalen Lernschritt“) zu ermöglichen.

3.4. Externalisierung mentaler Modelle

Die Externalisierung von „mental Modellen“ ist immer ein zweistufiger Prozess (siehe Abbildung 3.3), in dem jeweils eine Transformation des Kodierungssystems stattfindet. Die wahrgenommene Realität (das „Weltwissen“) wird (ad-hoc) in ein mentales Modell abgebildet werden. Soll dieses externalisiert werden, ist dazu ein weiterer Übersetzungs- bzw. Abbildungsschritt notwendig. Gleichzeitig führt nach Stachowiak (1973) jede Modellbildung neben der „Abbildung“ auch zur „Verkürzung“, d.h. dass das Modell nicht die gesamte Information des Originals enthält, sondern nur jene Aspekte, die vom Ersteller als relevant wahrgenommen werden⁷. In diesem Sinne können sie nur in einem bestimmten (zeitlichen, personellen und operationalen) Kontext für das Original stehen („pragmatisches Merkmal“ – jedes Modells ist für einen bestimmten Zweck konstruiert⁸).

Herausfordernd ist im Kontext von „Articulation Work“ das Abbildungsmerkmal, also die notwendige Übersetzungsleistung bei der Externalisierung eines mentalen Modells. Externalisierung umfasst nach Hanke (2006) immer die „Repräsentation“ als auch die „Kommunikation“ eines mentalen Modells. Die Relevanz dieser beiden Aspekte verschiebt sich je nach Kontext bzw. Zielsetzung der Externalisierung. Dient diese eher der individuellen Verständnisbildung, steht die „Repräsentation“ im Vordergrund (diesen Zweck erfüllt nach (Seel, 1991) auch bereits das mentale Modell selbst, die Externalisierung hat schärfenden Charakter). Die externalisierte Repräsentation soll nach Seel (1991, S. 187) in Bezug auf das repräsentierte mentale Modell

- vollständig
- konzise

⁶in einem etwas breiteren Verständnis, welches im Wesentlichen auch Schemata umfasst: „[mental models are] deeply ingrained assumptions, generalizations, or even pictures and images that influence how we understand the world and how we take action.“Senge (1990)

⁷„Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und / oder Modellbenutzern relevant scheinen.“(Stachowiak, 1973)

⁸„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion: für bestimmte — erkennende und / oder handelnde, modellbenutzende — Subjekte; innerhalb bestimmter Zeitintervalle und unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“(Stachowiak, 1973)

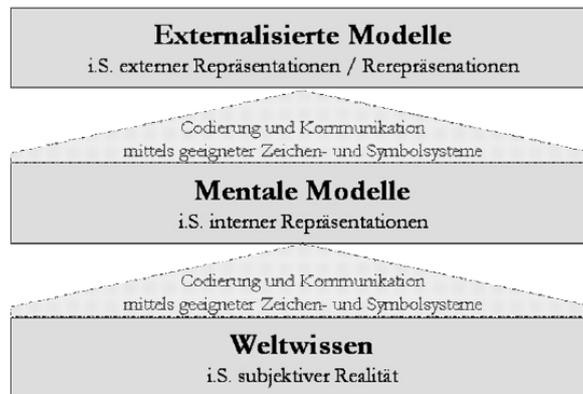


Abbildung 3.3.: Externalisierung mentaler Modelle (entnommen aus (Ifenthaler, 2006))

- kohärent und konkret
- bedeutungshaltig und korrekt

sein. Das Kodierungssystem muss hier also so gewählt werden, dass eine möglichst unmittelbare Abbildung der mentalen Modelle auf die externalisierte Repräsentation (und vice versa) möglich ist.

In Situationen, in denen mentale Modelle zusätzlich auch anderen Individuen vermittelt werden sollen, steht „Kommunikation“ im Vordergrund. Die „Kommunizierbarkeit“ eines mentalen Modells hat Auswirkungen auf die wählbaren Kodierungssysteme zur Externalisierung. Das gewählte Kodierungssystem muss allen beteiligten Individuen verständlich sein, während dieses Kriterium bei der individuellen Verständnisbildung irrelevant ist (Hanke, 2006). Im Rahmen von „Articulation Work“ steht im Allgemeinen die „Kommunikation“ bei der Externalisierung im Vordergrund, wobei diese ohne eine adäquate „Repräsentation“ nicht möglich ist. Ziel muss es also sein, Kodierungssysteme zur Verfügung zu stellen, die

- allen beteiligten Individuen verständlich sind, und
- eine möglichst unmittelbare Abbildbarkeit der mentalen Modelle auf die externalisierte Repräsentation ermöglicht.

Kodierungssysteme können „*auditiver, visueller oder anderer Natur*“ (Seel, 1991, S. 155) sein. Das gebräuchlichste Kodierungssystem ist die natürliche Sprache. Diese ist im Sinne der ersten Anforderung oft eine gute Wahl, bietet aber aufgrund ihrer Generizität nur wenig Möglichkeiten, sowohl den Repräsentations- als auch den Kommunikationsprozess bei der Externalisierung explizit zu unterstützen. Ifenthaler (2006) stellt mehrere Methoden vor, die sich spezifisch zum Zwecke der Externalisierung mentaler Modelle eignen und zu qualitativ höherwertigen Externalisierungsergebnisse führen sollen. Dies sind im Einzelnen:

- Methode des lauten Denkens
- Strukturlegetechniken
- Concept Mapping

Auch (Huss, 2003) erwähnt diese Ansätze im Zusammenhang mit der Externalisierung „mentaler Repräsentationen“. In der Folge werden die genannten Ansätze detaillierter betrachtet. Dabei kommt folgender Raster zum Einsatz:

Konzept beschreibt die grundlegenden Konzepte des Ansatzes und die darauf aufbauende Zielvorstellung

Vorgehen beschreibt, wie die Zielerreichung methodisch sichergestellt werden soll.

Unterstützung beschreibt, welche (technischen) Unterstützungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

Bewertung fasst die Eigenschaften der Methode zusammen und beurteilt sie hinsichtlich ihrer Eignung für „Articulation Work“

3.4.1. Methode des lauten Denkens

Die „Methode des lauten Denkens“ (Van Someren et al., 1994) beschreibt ein Vorgehen, bei dem Individuen während ihrer operativen Tätigkeit ihre Gedanken und die Motive für ihr Handeln verbalisieren.

Konzept

Die Grundidee der „Methode des lauten Denken“ basiert darauf, alle Gedanken, die eine Tätigkeit begleiten, laut auszusprechen ohne sich auf diese Verbalisierung explizit zu konzentrieren (und etwa über Formulierungen nachzudenken oder Interpretationen durchzuführen). Es werden keine Fragen gestellt, das externalisierende Individuum wird ggf. lediglich daran erinnert, seine Gedanken auszusprechen. Nach Van Someren et al. (1994) hat diese Form der Externalisierung keinen negativen Einfluss auf die Durchführung der eigentlichen Tätigkeit.

Die „Methode des lauten Denkens“ wird immer mit dem Ziel durchgeführt, die kognitiven Prozesse in einer bestimmten Situation offenzulegen. Dazu muss eine Problemstellung ausgewählt werden, die diese Situation auslöst und möglichst keine oder geringe Nebeneffekte aufweist. Zu diesen Nebeneffekten gehört etwa die kognitive Überforderung des Individuums, wenn die Aufgabe als zu schwierig wahrgenommen wird. Gleichzeitig führt eine zu einfache Aufgabe zu einer routinisierten Abarbeitung, deren kognitiven Prozesse zumeist implizit und schwer zu externalisieren sind (vgl. „Operations“ in der „Activity Theory“ (Leont’ev, 1978)). Der wahrgenommene Schwierigkeitsgrad der Aufgabe steht

in direktem Bezug zu der Expertise des Individuums (als unabhängige Variable), die damit bei der Auswahl der Problemstellung berücksichtigt werden muss.

Die „Methode des lauten Denkens“ wird oft mit Retrospektion kombiniert. Retrospektion ist die angeleitete Reflexion über eine Tätigkeit im Nachhinein (also nach Abschluss der Tätigkeit). Im Falle der Kombination mit der „Methode des lauten Denkens“ wird diese Reflexion mit Protokollen der verbalisierten Gedanken durchgeführt, was Unklarheiten in diesen Protokollen beseitigt und eine tiefergehende Reflexion ermöglichen kann.

Die Ergebnisse der „Methode des lauten Denkens“ werden auf Basis von Audio- oder Video-Aufnahmen möglichst exakt transkribiert. Die Auswertung der Protokolle erfolgt im Normalfall nicht durch das Individuum selbst, sondern wird interpretativ durch Dritte durchgeführt. Von Van Someren et al. (1994) wird dazu unter anderem vorgeschlagen, eine Aufgaben-Analyse durchzuführen, deren Ergebnis im Allgemeinen ein (diagrammatisches) Modell der Aufgaben und Tätigkeiten des Individuum zur Zielerreichung ist.

Vorgehen

Van Someren et al. (1994) beschreiben einen prototypischen Ablauf der „Methode des lauten Denkens“, der hier angegeben wird. Die Durchführung der Methode sollte in einer möglichst ungestörten, ruhigen Umgebung erfolgen. Das Individuum wird instruiert, bei der Problemlösung laut mitzusprechen und alles zu sagen, was ihm durch den Kopf geht (für konkrete Formulierungsvorschläge der Fragestellungen siehe (Van Someren et al., 1994, S. 43)). Bevor die eigentliche Problemstellung bekannt gegeben wird, kann bei in der Methode ungeübten Individuen eine „Aufwärmphase“ durchgeführt werden, in der etwa anhand der Lösung einer einfachen Schlussrechnung die Verbalisierung der Überlegungen zu deren Lösung geübt werden kann.

Während der Durchführung der Methode beschränkt sich der Untersuchungsleiter darauf, das Individuum an das Aussprechen seiner Gedanken zu erinnern, sobald dieses zu sprechen aufhört. Der gesamte Verlauf der Aufgabenbearbeitung wird mittels Audio- oder Video-Ausrüstung aufgezeichnet.

Nach Abschluss der Methode wird die gesamte Aufzeichnung transkribiert. Bei der Transkription muss auf höchste Exaktheit geachtet werden, auch Sprechpausen oder nichtverbale Geräusche des Individuums sind relevant. Liegt eine Videoaufzeichnung vor, so wird das Transkript um die beobachteten Tätigkeiten des Individuums ergänzt. Das fertige Transkript kann dem Individuum im Sinne der Retrospektion zur Kommentierung vorgelegt werden, bei der Ergänzungen oder Erklärungen angebracht werden können (aber als solche gekennzeichnet werden müssen).

Zur Auswertung der Ergebnisse der „Methode des lauten Denkens“ werden unterschiedliche Methoden herangezogen, die im Detail in (Van Someren et al., 1994) beschrieben sind. Da hier lediglich die Externalisierung selbst von Interesse ist, wird auf diese Methode an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

Unterstützung

Eine technische Unterstützung der „Methode des lauten Denkens“ ist von den Entwicklern der Methode (Van Someren et al., 1994) grundsätzlich nicht vorgesehen. Lediglich zur Dokumentation der artikulierten Information wird eine Aufzeichnung mittels Video- oder Audio-Ausrüstung empfohlen. Diese Dokumentation ist notwendig, um eine möglichst vollständige Auswertung der Information zu gewährleisten und eine Abbildung auf eine strukturierte Externalisierung des zugrunde liegenden mentalen Modells zu ermöglichen.

Senge (1990) schlägt zur verbalen Externalisierung von mentalen Modellen einen Ansatz vor, der der „Methode des lauten Denkens“ nahe kommt, die Gedanken des Individuums aber verschriftlicht. Bei Einsatz der „left-hand column“⁹ wird ein Blatt Papier in zwei Spalten geteilt, wobei in der rechten Spalte eine Transkription der Handlungen bzw. der Konversation eines Individuums eingetragen wird. In der linken Spalte werden die Gedanken und handlungsmotivierenden Überlegungen eingetragen und den sichtbaren Handlungen in der rechten Spalte zugeordnet. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass er – auch wenn er technisch unterstützt wird – nur im Nachhinein durchgeführt werden kann, um den eigentlichen Arbeitsablauf nicht zu unterbrechen.

Bewertung

Die „Methode des lauten Denkens“ (Van Someren et al., 1994) ist die einzige der vorgeschlagenen Methoden zur Externalisierung mentaler Modelle, welche nicht auf eine graphische Repräsentationsform zurückgreift. Die externalisierende Person muss während der Aufgabenbearbeitung unmittelbar ihre kognitiven Prozesse und Denkmuster verbalisieren. Dies ist für viele Menschen ungewohnt und führt oft zu unvollständigen Repräsentationen. Detailliertes Nachfragen ist hier deshalb notwendig. Die gewonnenen Daten (etwa aus Audio- oder Videomitschnitten des Versuchsszenarios) werden strukturiert ausgewertet, kategorisiert und interpretiert. Hier liegt auch die Schwierigkeit des Verfahrens – in der Interpretation ist eine eindeutige Zuordnung zu bestimmten kognitiven Prozessen oft nicht möglich, die Repräsentation des mentalen Modells bleibt unvollständig oder ist inkonsistent. (Ifenthaler, 2006, S. 28)

In einer informellen Variante ist die „Methode des lauten Denkens“ jedoch vor allem für den Einsatz in nicht komplexen Fällen von „Articulation Work“ geeignet (also etwa bei kleineren Änderungen im Arbeitskontext, die die Anpassung einzelner Tätigkeiten aber nicht die Adaption des gesamten Arbeitsablaufs benötigen). Dabei kann auf eine Aufzeichnung ggf. verzichtet werden, da die Durchführung der unmittelbaren Kommunikation dient und deren Ergebnisse nicht weiter interpretiert oder anderweitig verwendet werden müssen.

⁹Eine detaillierte Beschreibung der Methode ist in (Senge et al., 1994) erschienen

3.4.2. Strukturlegetechniken

Strukturlegetechniken sind Methoden, in denen gelegte Strukturen zur Repräsentation von „Wissen“ eingesetzt werden. Die gelegten Strukturen (die im Wesentlichen aus Knoten und Kanten unterschiedlicher Bedeutung bestehen) bilden dabei die Zusammenhänge einzelner Konstrukte ab, wie sie die legende Person wahrnimmt. Der Prozess des Legens ist eine „*Rekonstruktion subjektiver Theorien*“ (Dann, 1992) und stellt eine „[...] *verstehende Beschreibung von Handlungen nicht aus der Perspektive eines außenstehenden Beobachters, sondern aus Sicht der handelnden Person, des Akteurs selber*“ (Dann, 1992, S. 2) dar.

Konzept

Das Konzept der Strukturlegetechniken entstammt im Wesentlichen einem Forschungsprogramm zur Entwicklung von Ansätzen zur „rekonstruktiven Erhebung subjektiver Theorien“ (Dann, 1992). „Subjektive Theorien“ sind dabei im Wesentlichen den mentalen Modellen und Schemata gleichzusetzen¹⁰ (Kluwe, 1990, zitiert nach (Huss, 2003)). Strukturlegetechniken sind nicht als reine Erhebungsmethoden zu sehen, sondern beeinflussen durch den Lege-Vorgang selbst die zu externalisierenden mentalen Modelle und bilden damit die Grundlage für eine mögliche Veränderung des Agierens im Arbeitskontext (Dann, 1992, S. 6). Die Grundidee von Strukturlegetechniken ist die freie Anordnung und Assoziation von Begriffen. Je nach Variante kann dies individuell oder in Gruppen, mit oder ohne Moderator bzw. Untersuchungsleiter geschehen. Der Prozess ist dann abgeschlossen, wenn die Beteiligten die Repräsentation als eine adäquate Abbildung ihrer Denkmodelle sehen. Vor allem in kooperativen Sitzungen ist dies mit Aushandlungs- und Abstimmungsprozessen während der Repräsentation verbunden, was Strukturlegetechniken in der Durchführung potentiell aufwändig macht.

Strukturlegetechniken sind hinsichtlich der Art und dem Umfang der vorgegebenen Konstrukte nicht einheitlich aufgebaut. Es existieren Ansätze, in denen sämtliche Strukturelemente (also Konzepte und Arten von Beziehungen) vorgeben sind und die vom Externalisierenden „lediglich“ die Anordnung dieser Strukturelemente verlangen. Dem gegenüber stehen Strukturlege-Varianten, die weder die Konzeptklassen (und dementsprechend auch keine konkreten Konzepte) noch die Beziehungsarten vorgeben und deren Festlegung dem Externalisierenden überlassen (für einen Überblick über Varianten siehe (Ifenthaler, 2006, S. 29)). Im Fall der gängigen HSLT¹¹ (Scheele und Groeben, 1988) wird ein zweistufiges Vorgehen gewählt, bei dem im ersten Schritt die Konzepte durch ein vorgegebenes Frageschema erhoben werden und im zweiten Schritt die Anordnung

¹⁰ „*Subjektive Theorien [...] sind nicht nur unmittelbar handlungserklärend, -rechtfertigend oder -leitend; d.h. sie beziehen sich über die unmittelbare Erklärung/Rechtfertigung etc. eigener Handlungen hinaus auf z.B. ganze Handlungskategorien [...]*“ (Scheele und Groeben, 1988, S. 34)

¹¹Heidelberger Strukturlegetechnik

und Assoziation durchgeführt wird. Die Strukturen, die durch den Externalisierenden gebildet werden sind im Sinne von Stachowiaks „Allgemeiner Modelltheorie“ (Stachowiak, 1973) als „diagrammatische Modelle“ einzustufen (also ein im Normalfall graphisches, jedoch nicht ikonisches Darstellungsmodell).

Vorgehen

Je nach Variante von Strukturlegetechniken werden mehr oder weniger starke Vorgaben hinsichtlich des Ablaufs der Externalisierung gemacht. In der Literatur (z.B. (Ifenthaler, 2006)) wird die Dialog-Konsens-Methodik, die im Rahmen der Heidelberger Strukturlegetechnik (Scheele und Groeben, 1988) zur Anwendung kommt, als einer der elaboriertesten Ansätze bezeichnet. Exemplarisch wird diese deshalb an dieser Stelle betrachtet.

Die Dialog-Konsens-Methodik sichert die Adäquatheit der während des Legeprozesses entstehenden mentalen Modelle durch laufende „kommunikative Validierung“ des Verständnisses ab. Um die kognitive Last zu reduzieren, wird dem eigentlichen Strukturlegetechnik eine Erhebungs-Phase vorgelagert, in der die relevanten Strukturelemente (Konzepte und Assoziationen) identifiziert werden.

In der Erhebungsphase werden mittels einem semistrukturierten Interview (exemplarischer Aufbau siehe (Scheele und Groeben, 1988)) werden Konzepte identifiziert, die für den jeweiligen Problembereich von Interesse sind. Die Identifikation erfolgt durch den Untersuchungsleiter auf Basis des Interview-Protokolls und nicht durch das externalisierende Individuum selbst. Das Individuum bestätigt, verändert oder erweitert in der Folge im Dialog mit dem Untersuchungsleiter die identifizierten Konzepte. Die Strukturierung der Konzepte erfolgt mittels vorgegebenen Relationen (die – so wie die Konzepte – als Kärtchen vorliegen). Die HSLT definiert insgesamt 20 Relationsarten und sieht keine Erweiterung derselben vor. Die Strukturierung wird sowohl vom externalisierenden Individuum als auch von Untersuchungsleiter unabhängig voneinander vorgenommen und dann im Rahmen eines Dialog-Konsens-Prozesses gegenübergestellt und das Verständnis abgeglichen. Ziel ist hier, dass der Untersuchungsleiter das mentale Modell des Individuums versteht. Scheele und Groeben (1988) schlagen vor, bei komplexen Sachverhalten die Konsensbildung über die Konzepte in einem separaten Dialog-Konsens-Prozess durchzuführen, bevor die Strukturierung vorgenommen wird.

Auch andere Strukturlegetechniken (siehe (Dann, 1992)) bleiben beim Konzept des Dialog-Konsenses und trennen zwischen der Phase der Konzepterhebung und der der Konzeptstrukturierung. Sie unterscheiden sich in der Zielsetzung der Externalisierung (und sind zum Teil nur für bestimmte Formen von mentalen Modelle geeignet) sowie im Grad der Vorstrukturierung (also inwieweit Konzepte und / oder Beziehungen bereits vorgegeben sind). Entsprechend der jeweiligen Offenheit bzw. Eingeschränktheit der Strukturlegetechnik ist die Phase der Konzept- (bzw. Beziehungs-)Sammlung mehr oder weniger stark ausgeprägt. Gemein ist allen Strukturlegetechniken, dass zwei dedizierte

Phasen der Konzeptsammlung und der Konzeptstrukturierung durchgeführt werden, die in der Folge im Dialog-Konsens iterativ solange verfeinert werden, bis alle beteiligten Personen (also der Untersuchungsleiter und das externalisierende Individuum) mit dem Ergebnis zufrieden sind.

Unterstützung

Als technologische Unterstützung von Strukturlegetechniken wird in der Literatur mehrfach (u.a. bei (Huss, 2003) und (Ifenthaler, 2006)) die Software MaNET¹² (Eckert, 1998) erwähnt¹³. Von den Entwicklern dieses Produkts wird dieses aber wiederholt als Software zur computerunterstützten Generierung von „Concept Maps“ (siehe Abschnitt 3.4.3) bezeichnet. Tatsächlich verschwimmen ob der fehlenden physischen Repräsentation des Modells (es wird ausschließlich am Rechner konstruiert) und dem offenen semantischen Konzept (im Gegensatz zur HSLT) die Grenzen zu „Concept Mapping“-Werkzeugen im Sinne der Entwickler dieses Ansatzes (Novak und Cañas, 2006). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Mandl und Fischer (2000), die bei der Unterstützung von Methoden zur „Strukturdarstellung“ auf „Concept-Mapping“-Werkzeuge verweisen.

Eine explizite Unterstützung des physischen Legeaspekts von Strukturlegetechniken wird in der Literatur nicht erwähnt. Aktuell existieren allerdings Bestrebungen, computerunterstützte „Concept Mapping“-Ansätze in den physischen Raum zu transferieren (Do-Lenh et al., 2009) (Tanenbaum und Antle, 2009). Diese Ansätze werden in Abschnitt 6.6.2 im Rahmen der Beschreibung der verwandten Arbeiten genauer betrachtet.

Bewertung

Strukturlegetechniken bedienen sich einer physischen Abbildung der mentalen Modelle durch die externalisierende Person. Sie zählen damit hinsichtlich des Ergebnisses zu den graphischen Verfahren zur Externalisierung mentaler Modelle. Konzeptuell besteht keine Einschränkung auf individuelles Externalisieren, das Verfahren kann auch in Gruppen angewandt werden. Die beteiligten Personen bilden Begriffsnetzwerke, die die deren Handlungen zugrunde liegenden Annahmen und Modelle abbilden. Strukturlegetechniken werden in den gängigen Varianten durch Dialog-Konsens-Methoden unterstützt, in denen die Modelle in Interaktion zwischen dem Externalisierenden und dem Moderator bzw. Versuchsleiter entstehen. Grundsätzlich ist dies aber nicht notwendig und wird auch nicht in allen Strukturlege-Varianten angewandt.

Hinsichtlich der Auftrennung des Externalisierungsprozesses in zwei Phasen (Konzeptsammlung und –Strukturierung) ist bei der Durchführung im Rahmen von „Articulation Work“ eine fakultative Durchführung der ersten Phase möglich und angemessen. Durch

¹²Mannheimer Netzwerk-Elaborations-Technik

¹³<http://www.marescom.net> (Abruf am 21.08.2009)

die inhaltliche Offenheit von „Articulation Work“ sind viele Konstrukte nur in ihrem Kontext sinnvoll verständlich und müssen deshalb unmittelbar in die Struktur eingebettet werden oder werden erst aus dieser ersichtlich. Eine strikte Teilung in Sammlung und Strukturierung ist daher in diesem Anwendungsbereich fragwürdig. Bei der Modellierung komplexer Zusammenhänge ist außerdem eine möglichst hohe Flexibilität der Repräsentationsform von Vorteil, um den Modellierungsprozess nicht zu behindern und eine Fokussierung auf den Modellierungsgegenstand zu ermöglichen (Goguen, 1993, S. 6). Dies wird im Kontext von „Articulation Work“ (Schmidt und Simone, 2000, S. 10) und insbesondere bei der Verwendung von diagrammatischen Modellen zu diesem Zweck (Jørgensen, 2004, S. 23) als wesentlich erachtet.

Im Falle von „Articulation Work“ ist von einer wechselseitigen Abstimmung der mentalen Modelle der beteiligten Individuen auszugehen (obgleich es Szenarien geben kann, in der klassische Experten-Laien-Settings im Sinne eines unidirektionalen Wissenstransfers auftreten – diese werden hier jedoch als Spezialfall des allgemeinen, wechselseitigen Szenarios betrachtet). Dazu ist eine Auflösung der in der ursprünglichen Methode vorgesehenen strikten Trennung zwischen „Proband“ und „Untersuchendem“ hin zu einer gleichberechtigten Rolle aller Beteiligten notwendig. Zu untersuchen bleibt, ob die Rolle des Moderators und „Ermöglicers“ (im Sinne der Unterstützung bei der Werkzeugbenutzung), die ansonsten vom Untersuchungsleiter eingenommen wird, nach wie vor explizit wahrgenommen werden muss (durch eine Person, die ansonsten nicht in den Dialog-Konsens-Prozess eingebunden ist).

Kritisch betrachtet wird die lange Durchführungsdauer der Externalisierungs-Prozesse, die eine nicht unwesentliche Belastung der Teilnehmer darstellt. Auch die Komplexität mancher Ansätze (etwa der HSLT mit ihren 20 unterschiedlichen Beziehungstypen) stellt eine nicht unwesentliche kognitive Belastung der Teilnehmer dar. Neuere Ansätze empfehlen zur Reduktion des Aufwandes den Einsatz von rechnerbasierten Werkzeugen, ohne dabei jedoch spezifischer zu werden. (Ifenthaler, 2006, S. 29f)

3.4.3. Concept Mapping

Concept Mapping (Novak und Cañas, 2006) ist eine Methode, in der semantische offene diagrammatische Modelle graphisch erstellt werden. Sie dienen der flexiblen Abbildung von Begriffen (Konzepten) und deren Zusammenhänge. Die erstellte Struktur entspricht einem Graphen mit Knoten, die die Konzepte repräsentieren und Kanten, die gerichtet oder ungerichtet die Beziehungen zwischen den Konzepten herstellen und durch Beschriftung zusätzlich spezifiziert werden können. Concept Mapping sollte ob der potentiellen Komplexität der entstehenden Modelle Novak und Cañas (2006) zufolge durch rechnerbasierte Werkzeuge unterstützt werden.

Konzept

Concept Maps sind graphische Strukturen, in denen durch Knoten und Kanten Begriffe und deren Zusammenhänge dargestellt werden. Die Begriffe („Konzepte“) werden dabei anhand des Themas der Concept Map ausgewählt, die zumeist in Form einer Fokus-Frage vorliegt. Ein Konzept ist nach (Novak und Cañas, 2006, S. 1) „*a perceived regularity in events or objects, or records of events or objects, designated by a label*“. Konzepte sind also allgemeine Aussagen über Phänomene oder Objekte, die durch einen Bezeichner beschrieben werden können. Diese Bezeichner sind im Allgemeinen kurz und sollten 1-2 Worte umfassen.

Die Konzepte werden untereinander mit Beziehungen verbunden, wobei die Kombination aus zwei oder mehreren Konzepten und einer Beziehung als „Proposition“ bezeichnet wird. „Propositionen“ sind nach Novak und Cañas (2006, S. 1) „*statements about some object or event in the universe, either naturally occurring or constructed*“. Beziehungen können grundsätzlich gerichtet oder ungerichtet sein und müssen durch eine Beschriftung („linking word“) mit (beliebiger) Bedeutung versehen werden. Nach Novak und Cañas (2006) enthalten Concept Maps meist eine hierarchische Struktur, in der die allgemeinen Konzepte am oberen Rand angeordnet sind und nach unten hin immer spezifischer werden. Daneben gibt es „cross-links“, die Beziehungen außerhalb der hierarchischen Struktur darstellen und Konzepte zueinander in Beziehung setzen, die in unterschiedlichen Bereichen der Concept Map stehen. Die grundlegende Struktur einer Concept Map ist in Abbildung 3.4 als Concept Map dargestellt.

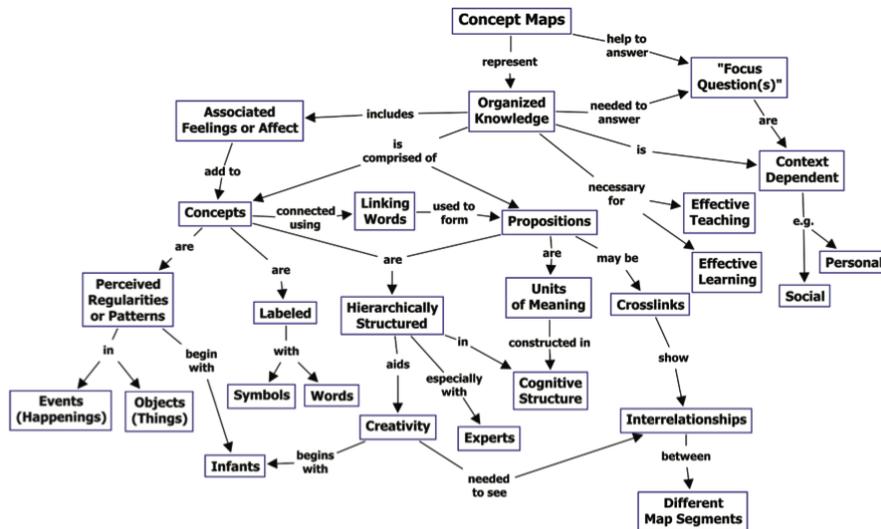


Abbildung 3.4.: Struktur einer Concept Map (entnommen aus (Novak und Cañas, 2006, S. 2))

Concept Maps werden verwendet, um exploratives Lernen zu unterstützen. In diesem Fall bilden Individuen die ihnen bewussten Zusammenhänge der Realität in der Concept Map ab und erschließen bei der individuellen oder kooperativen Erstellung den Problembereich vollständiger, was zur Entwicklung eines umfassenderen Verständnisses beiträgt. Nach Novak und Cañas (2006) können Concept Maps auch verwendet werden, um (implizites) Expertenwissen abzubilden (die Autoren beziehen sich hier auf die „Wissensspirale“ nach Nonaka und Takeuchi (1995)). Im Wesentlichen ermöglichen Concept Maps damit das Externalisieren sowohl von Laien- als auch Expertenmodellen im Sinne von Seel (1991) und unterstützen auch die Weiterentwicklung von Laienmodellen hin zu ausgereifteren Erklärungs- oder Expertenmodellen. Damit ist eine grundsätzliche Eignung für den Einsatz im Rahmen von auf der Externalisierung von Modellen basierender „Articulation Work“ gegeben.

Vorgehen

Novak und Cañas (2006) schlagen vor, bei der Konstruktion einer Concept Map mit der Festlegung einer Fokus-Frage zu beginnen. Die Fokus-Frage muss klar formuliert sein und spezifisch auf das Problem oder den Sachverhalt eingehen, der in der Concept Map repräsentiert werden soll. Die Fokus-Frage dient nicht nur der Festlegung des Gegenstands der Concept Map, sondern auch deren Abgrenzung nach außen (d.h. dass die Frage so spezifisch sein muss, dass Abweichungen vom intendierten Gegenstand der Concept Map erkannt werden können).

Im nächsten Schritt werden die relevanten Konzepte gesammelt. Novak und Cañas (2006) sprechen von 15-25 Konzepten, die im ersten Durchlauf maximal verwendet werden sollten. Diese Konzepte können grob entsprechend ihrer Abstraktheit vorsortiert werden, um die Erstellung der Concept Map im nächsten Schritt zu erleichtern.

Die vorläufige Concept Map, die im nächsten Schritt erstellt wird, basiert auf den hierarchischen Zusammenhängen zwischen den gesammelten Konzepten. Zwischen diesen wird in der Folge nach „cross-links“ gesucht. Alle identifizierten Beziehungen müssen benannt werden. Im Zuge dieser ersten Herstellung von Beziehungen ergeben sich im Normalfall weitere Konzepte, die in die Concept Map aufgenommen werden müssen. Dies erfolgt im Zuge eines erneuten Durchlaufs durch den beschriebenen Prozess. Nach Novak und Cañas (2006) benötigt eine Concept Map mindestens drei dieser Durchläufe, um ausreichende Qualität erreichen zu können.

Unterstützung

Novak und Cañas (2006) erwähnen, dass Concept Mapping mittels Haftnotizen auf Papier oder Whiteboards durchgeführt werden kann, empfehlen aber, ein rechnerbasiertes

Werkzeug – die CMapTools (Cañas et al., 2004) – einzusetzen, das den Erstellungsprozess unterstützt und den Umgang mit der entstehenden Komplexität erleichtert.

Dieses Werkzeug ermöglicht neben der Unterstützung des Mapping-Prozesses (d.h. der Nachverfolgung des Prozesses und der Möglichkeit, einzelne Schritte rückgängig zu machen) auch eine erweiterte Abbildung der Concept Map selbst. Diese umfasst unter anderem auch die Einbindung von externen Ressourcen (Dateien am Rechner), was von Novak und Cañas (2006) als wesentlich zur Einbettung der Concept Map in den Kontext des Problemumfelds angesehen wird.

Bewertung

Concept Mapping ist ein Ansatz zur computer-basierten Strukturierung und Visualisierung von Konzept-Netzwerken (Novak und Cañas, 2006). Durch die Rechnerunterstützung ergeben sich Vorteile hinsichtlich der Flexibilität der Darstellung und der Archivierung der Modelle. Konzeptuell werden wie bei Strukturlegetechniken Begriffsnetzwerke gebildet, wobei die methodische Hinterlegung bei Concept Mapping Ansätzen nicht so variantenreich und detailliert ausgeführt ist.

Durch die digitale Repräsentation ist eine Concept Map leichter ohne Konsequenzen zu manipulieren, da Änderungen jederzeit rückgängig gemacht werden können. Dies ermöglicht Experimente mit dem Modell und erlaubt dem Externalisierenden eine umfassendere Ergründung und Reflexion der Modelle. Kritisch wird jedoch die im Gegensatz zu Strukturlegetechniken fehlende Unmittelbarkeit der Externalisierung betrachtet – jeder Externalisierungs-Prozess muss am Rechner umgesetzt werden und setzt damit Kompetenz im Umgang mit diesem Medium voraus. Ifenthaler (2006, S. 30f)

Für die Durchführung von „Articulation Work“ sind Concept Maps durch ihre semantische Offenheit vor allem zur expliziten Unterstützung von „alignment of meaning“ geeignet (vgl. (Sarini und Simone, 2002a), beschrieben in Abschnitt 2.2). Bei der rechnergestützten Durchführung von Concept Mapping ist aber die Wirkung der auf einen Benutzer ausgerichteten Benutzungsschnittstelle (Monitor sowie Maus und Tastatur) auf die Interaktion zwischen den Beteiligten zu berücksichtigen.

3.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Konzept der „Mentalen Modelle“ eingeführt und dessen Relevanz für die Durchführung expliziter „Articulation Work“ beschrieben. In weiterer Folge wurden die Externalisierung mentaler Modelle, deren Rückwirkung auf die kognitiven Prozesse der Individuen sowie Methoden zu Unterstützung des Externalisierungsvorganges beschrieben. Der Zusammenhang des Themenbereichs der „Mentalen

Modelle“, deren Externalisierung und deren Einbettung in den Gesamtzusammenhang von „Articulation Work“ ist in Abbildung 3.5 nochmals zusammenfassend dargestellt.

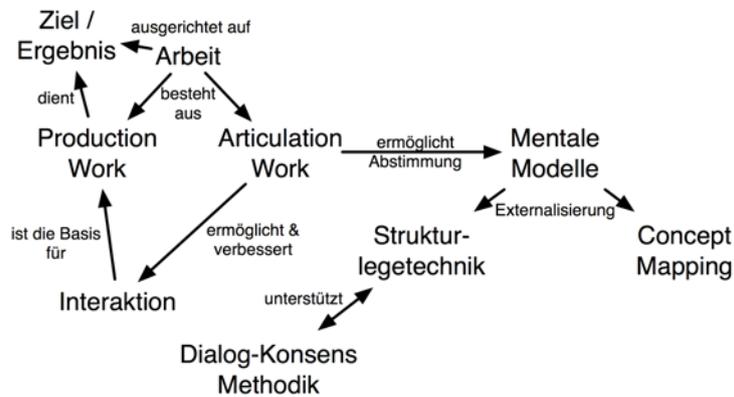


Abbildung 3.5.: Mentale Modelle und Articulation Work im Gesamtzusammenhang

„Mentale Modelle“ sind ein Erklärungskonzept für jene mentalen Strukturen und Vorgänge, mit Hilfe derer Individuen ihre Wahrnehmungen der realen Welt erklären und Handlungsalternativen ableiten. Durch Lernprozesse können „Mentale Modelle“ verfeinert oder grundlegend verändert werden. Quellen für neue Information, die in mentalen Modellen abgebildet wird, können die Wahrnehmung der realen Welt, dokumentarische Ressourcen oder andere Individuen sein. Ein wesentlicher Unterstützungsfaktor für die Reflexion und Verfeinerung mentaler Modelle ist deren Externalisierung. Diese ist außerdem die Voraussetzung für die Kommunikation und Abstimmung verschiedener mentaler Modelle.

3.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

In diesem Kapitel wird mittels der Theorie der mentalen Modelle die Wahrnehmung der an Arbeitsabläufen beteiligten Individuen erklärt. Die Erarbeitung der Konzeption der mentalen Modelle in Abschnitt 3.2 sowie die Beschreibung deren Bildung und Veränderung in Abschnitt 3.3 beantworten also Fragestellung 2 („Wie kann die Wahrnehmung von Arbeitsabläufen durch die an diesen beteiligten Individuen erklärt werden?“).

Die in Abschnitt 3.1 dargestellten Zusammenhänge stellen mentale Modelle in den Kontext von „Articulation Work“ und bilden so die Brücke, die die beiden Fragestellungen verbindet. Die Forschungsfrage 1 („Wie kann die Durchführung und Wirkung von Articulation Work charakterisiert werden?“) wird damit sowohl aus Sicht der klassischen Literatur zu „Articulation Work“ als auch aus Sicht der handelnden Individuen betrachtet und im Sinne von Grudin (1988) umfassend beantwortet.

Analog zur Kapitel 2 werden auch in diesem Kapitel die Möglichkeiten der methodischen Unterstützung von im Rahmen von „Articulation Work“ durchzuführenden Aktivitäten aus Sicht der mentalen Modelle beschrieben. Die dazu in Abschnitt 3.4 dargestellten Methoden tragen damit zur Beantwortung von Fragestellung 3 („Welche Methoden können zur Unterstützung von Articulation Work herangezogen werden?“) bei und ergänzen die in Kapitel 2 erfassten Ansätze zur Unterstützung um Methoden, die explizit auf die Verständnisbildung der an einem Arbeitsablauf beteiligten Individuen eingehen.

3.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Während die Externalisierung auch rein verbal erfolgen kann, ist die Verwendung einer expliziten, graphischen Repräsentation vorteilhaft. Diese wirkt vor allem in Situationen, in denen mentale Modelle offengelegt und kommuniziert werden sollen, als Ankerpunkt und Dokumentation, anhand derer eine Abstimmung der individuellen Sichten erfolgen kann. Methoden, deren Eignung zur Externalisierung mentaler Modelle empirisch belegt ist, sind unter anderem Strukturlegetechniken und Concept Mapping. Für die im Rahmen dieser Arbeit verfolgte Unterstützung von „expliziter Articulation Work“ bieten beide Methoden Vor- und Nachteile. Deswegen wird im folgenden Kapitel eine Synthese dieser beiden Methoden angestrebt, die deren Vorteile vereint und gleichzeitig die nachteilig wirkenden Faktoren zu vermeiden sucht.

4. Methodik und Anwendungsszenarien

In diesem Kapitel wird die Methodik vorgestellt, die zur Externalisierung von mentalen Modellen im Rahmen von „Articulation Work“ zur Anwendung kommt. Die Inhalte dieses Kapitels bauen auf den Ergebnissen der Kapitel 2 und 3 auf. Die Anforderungen an die Unterstützung durch ein Werkzeug, die sich aufgrund der hier vorgestellten Methodik ergeben, werden in Kapitel 5 identifiziert und in weiterer Folge in einem Werkzeug umgesetzt. Abbildung 4.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

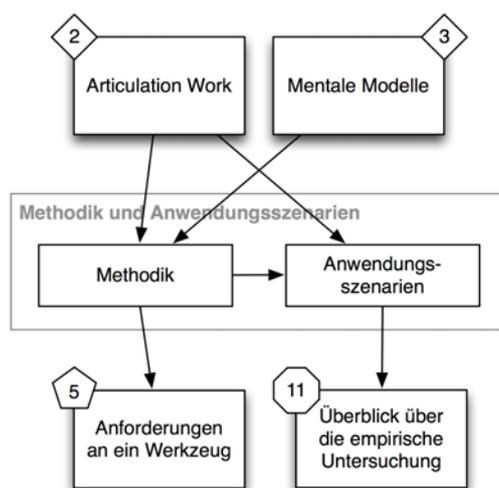


Abbildung 4.1.: Kapitel „Methodik und Anwendungsszenarien“ im Gesamtzusammenhang

Den Schlussfolgerungen zufolge, die Ifenthaler (2006) hinsichtlich der Eignung der beschriebenen Methoden zur Externalisierung von mentalen Modellen zieht, sind jene Ansätze, die auf der Bildung diagrammatischer Modelle basieren, besser für die Unterstützung expliziter „Articulation Work“ geeignet als Methoden, die auf einer rein natürlichsprachlichen Repräsentation aufbauen. Dies liegt vor allem in der höheren Abstraktion begründet, die die externe Repräsentation als interindividuellen Ankerpunkt für Kommunikation besser geeignet macht. Dies deckt sich mit den Aussagen von Sarini und Simone (2002a), Herrmann et al. (2002), Raposo et al. (2004) oder Jørgensen (2004), die

aus Sicht von „Articulation Work“ für die Verwendung von (diagrammatischen) Modellen zur Unterstützung argumentieren.

Betrachtet man nun die beiden Vertreter der auf diagrammatischen Modellen aufbauenden Methoden – Strukturlegetechniken und Concept Mapping –, so zeigt sich hinsichtlich der Eignung zur Unterstützung von „Articulation Work“ kein eindeutiger Vorteil für eine der beiden Methoden. Vielmehr weisen beide in diesem Kontext Vor- und Nachteile auf. Hier wird deshalb versucht, die Vorteile von Strukturlegetechniken – im Wesentlichen die Unmittelbarkeit der physischen Repräsentation – mit jenen von Concept Mapping – der Flexibilität der Modellierung sowie der Möglichkeit der Unterstützung des Modellierungsprozesses durch Computersysteme – zu vereinen.

Dabei wird auf das methodische Vorgehen von „Concept Mapping“ im Sinne der kooperativen Verständnisbildung, die bei „Strukturlegetechniken“ angewandt wird, adaptiert und die Modellierungsumgebung an den bei „Strukturlegetechniken“ vorgeschlagenen Durchführungsrahmen angepasst.

4.1. Durchführungsrahmen

Der Rahmen, in explizite „Articulation Work“ mit Unterstützung von externalisierten Modellen durchgeführt wird, ist an den Aufbau von Strukturlegetechniken angelehnt. Eine wesentliche Eigenschaft ist hierbei die physische Modellierungsoberfläche, auf der das Modell mittels real vorhandener und unmittelbar manipulierbaren Elementen aufgebaut wird.

Im Sinne der Abstimmung unterschiedlicher Sichten muss eine kooperative, nicht exklusive Manipulierbarkeit des Modells gewährleistet sein. Das Modell selbst ist – orientiert an der Offenheit der Repräsentation bei „Concept Mapping“ – weder in der Art der Elemente noch der Beziehungen eingeschränkt.

Hinsichtlich des Durchführungsrahmen ist auch die Notwendigkeit des Einsatzes einer Person zu diskutieren, die den Externalisierungsprozess anleitet und steuernd in diesen eingreift. Die Dialog-Konsens-Methode, die im Rahmen von Strukturlegetechniken zur Anwendung kommt, sieht die Rolle eines Untersuchungsleiters vor, der den Ablauf der Externalisierung strukturell anleitet. Inhaltlich hat der Untersuchungsleiter jedoch keine neutrale Rolle inne, sondern tritt im Rahmen des Dialog-Konsens-Prozesses in Interaktion mit der externalisierenden Person. Ziel des Untersuchungsleiters ist es, das mentale Modell der externalisierenden Person zu erschließen und zu verstehen. In kooperativen Situationen (die von der Dialog-Konsens-Methode nach (Scheele und Groeben, 1988) nicht explizit berücksichtigt werden), wo gegenseitiges Verständnis erreicht werden muss, wechselt demnach die Rolle des Untersuchungsleiters inhaltlich gesehen dynamisch.

Aus Sicht der Prozesssteuerung kann zu diesem Zeitpunkt nicht entschieden werden, ob ein Untersuchungsleiter benötigt wird oder nicht. Bei Strukturlegetechniken beschränkt

sich dessen Aufgabe auf die Sicherstellung der Fokussierung der beteiligten Personen auf die jeweilige Aufgabe. Im Rahmen der Concept Mapping Methode ist ein intervenierender Untersuchungsleiter nicht vorgesehen. Für den hier vorgestellten Ansatz bedeutet dies, dass die Rolle der Untersuchungsleiters vorerst unbesetzt bleibt, methodisch aber im Sinne der Rolle bei Strukturlegetechniken zulässig ist.

4.2. Vorgehen

Sowohl im Bereich der Strukturlegetechniken als auch im „Concept Mapping“ wird vorgeschlagen, den initialen Modellierungsprozess in zwei Phasen – Konzeptsammlung und Konzeptstrukturierung – zu teilen und in der Folge das Modell iterativ solange zu verändern bzw. zu erweitern, bis alle Beteiligten mit der Lösung zufrieden sind (im Bereich der Strukturlegetechniken wird dies als „Dialog-Konsens“ bezeichnet, im „Concept Mapping“ spricht man von „Revisionen“ des Modells, die erstellt werden müssen). Beide Abläufe sind in Abbildung 4.2 dargestellt.

Das „Dialog-Konsens“-Vorgehen nach Scheele und Groeben (1988) ist stark reglementiert und in den einzelnen Schritten mit definierten Methoden bzw. Vorgehensvorschriften hinterlegt. Die im Rahmen von „Concept Mapping“ vorgeschlagene Methode ist hier offener und ist damit für die Anwendung im Rahmen von „expliziter Articulation Work“ besser geeignet. Dies liegt am eher informellen Durchführungsrahmen von „expliziter Articulation Work“ begründet, deren Ausgestaltung individuell verschieden ist und zwischen den Beteiligten (implizit) ausgehandelt wird. Ziel ist hier, den Artikulationsprozess zu unterstützen und nicht, ihn zu formalisieren und in vorgegebene Ablaufgrenzen zu pressen.

Auch die zweiphasige Durchführung des Modellierungsprozesses muss unter diesem Gesichtspunkt hinterfragt werden. Die Unterteilung in zwei Phasen ist bei der Beschreibung von konzeptuellen Modellen (zum „alignment of meanings“) sinnvoll. Begründet liegt dies in der Vielfalt möglicher Strukturierungsvarianten bei dieser Art von Modellen. Im Gegensatz dazu ist die zweistufige Abhandlung der Externalisierung bei Modellen von Abläufen (bei „alignment of procedures“) nur bedingt sinnvoll, da Aktivitäts-Konzepte im Normalfall bereits in deren kausalen Abfolge externalisiert und dann bzw. parallel mit zusätzlichen Konzepten hinterlegt werden. Die Verwendung dieser Form von Modellen ist bei der Abstimmung von Arbeit gängig, wird aber weder bei Concept Mapping noch bei Strukturlegetechniken explizit angesprochen. Insofern ist die explizite Durchführung der ersten Phase – also der Konzeptsammlung – als optional anzusehen. Im Sinne der Methode zur Erstellung von Concept Maps nach Novak und Cañas (2006) werden Konzeptsammlungs-Phasen in den iterativen Modellverfeinerungsprozess eingeflochten, wenn dies in der Situation als notwendig wahrgenommen wird.

4.2. Vorgehen

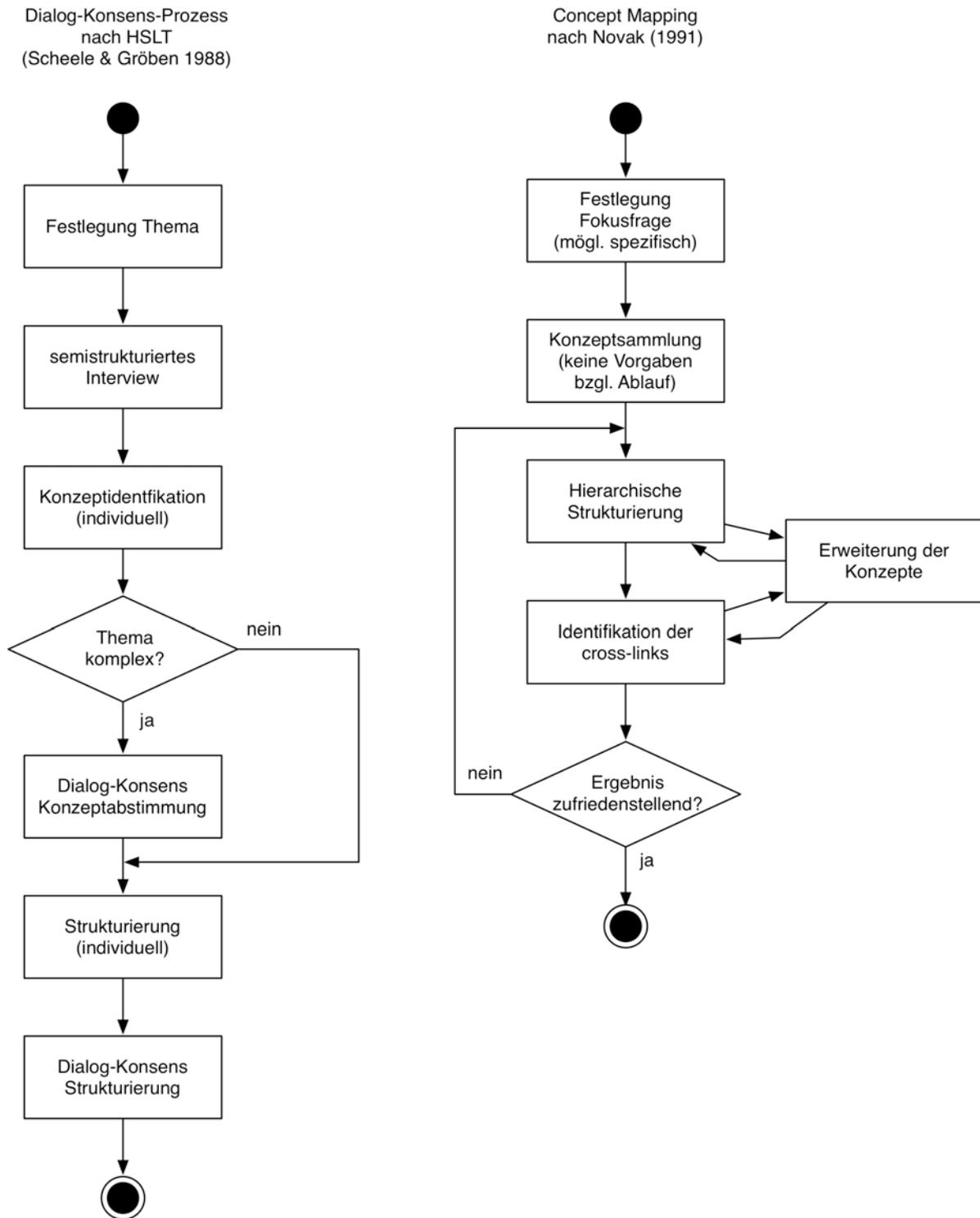


Abbildung 4.2.: Externalisierung mentaler Modelle mittels Strukturlegetechniken und Concept Mapping

Die im Folgenden beschriebene Methodik basiert wie oben angeführt auf den in Kapitel 3 vorgestellten Methoden „Strukturlegetechniken“ und „Concept Mapping“. Für die Anpassung an den Durchführungskontext im Rahmen von „Articulation Work“ wurden jene in Abschnitt 2.4 beschriebenen Ansätze zur Unterstützung von „Articulation Work“ herangezogen, die Aussagen zu den Anforderungen an eine Methodik treffen. Im Einzelnen sind dies Corbin und Strauss (1993)¹, Jørgensen (2004)², Cabitza et al. (2006)³ sowie Herrmann et al. (2002)⁴. Letztere Arbeit spezifiziert aber vor allem Anforderungen an eine etwaige Werkzeugunterstützung, weshalb sie in Kapitel 5 nochmals näher berücksichtigt wird.

Die einzelnen Schritte, die bei der Durchführung der Methodik zur Anwendung kommen, sind im Einzelnen:

- Einarbeitung
- Konzeptsammlung
- Konzeptstrukturierung
- Restrukturierung

Diese Aufzählung gibt keine Reihenfolge der durchzuführenden Schritte vor. Vielmehr sind die einzelnen Blöcke als Module zu sehen, die je nach Anwendungsfall zu einem beliebigen Zeitpunkt im Externalisierungsprozess (auch mehrfach) zur Anwendung kommen oder auch entfallen können. Im Folgenden wird die Durchführung der einzelnen Schritte kurz umrissen und angegeben, in welchen Situationen deren Einsatz angemessen bzw. notwendig ist.

4.2.1. Einarbeitung

Die Einarbeitung wird nach Bedarf durchgeführt, wenn zumindest eine Person nicht mit der Methodik oder dem unterstützenden Werkzeug vertraut ist. Im Rahmen einer Erklärungsphase wird den Teilnehmern die Funktionalität des Werkzeugs vorgestellt und dessen Verwendung im Rahmen der Methodik dargelegt. Dies erfolgt durch eine Person, die sowohl mit dem Werkzeug als auch der Methodik vertraut ist. Neben einem etwaigen Untersuchungsleiter kann diese Rolle auch durch einen anderen Teilnehmer wahrgenommen werden, der bereits eine Externalisierung mit Unterstützung der Methodik und des Werkzeugs teilgenommen hat.

Der Erklärungsphase kann auch eine freie Experimentier-Phase angeschlossen werden, in der die Teilnehmer die Gelegenheit haben, ohne Vorgaben das Werkzeug zu verwenden und dessen Funktionalität zu erfassen. Nach Bedarf kann dazu auch ein exemplarisches

¹beschrieben auf Seite 27 in dieser Arbeit

²beschrieben auf Seite 68

³beschrieben auf Seite 69

⁴beschrieben auf Seite 63

Thema vorgegeben werden, anhand dessen die Durchführung der Methodik gezeigt bzw. durchgespielt werden kann.

Zu beachten ist im Rahmen der Einarbeitung, dass die Offenheit der Methodik nicht unbeabsichtigt eingeschränkt wird, indem durch Erklärungen oder Beispiele strukturelle oder inhaltliche Vorgaben gemacht werden, an denen sich die Teilnehmer in der Folge bei der Durchführung der Externalisierung orientieren. Strukturell betrifft dies etwa Vergleiche mit unter Umständen bekannten Methoden wie „Mind Mapping“, dessen hierarchischer Aufbau jedoch nicht die Offenheit der Strukturen zulässt, die in der vorliegenden Arbeit möglich und notwendig sind. Inhaltliche Einschränkungen können etwa durch Beispiele von Konzeptklassen vorgegeben werden, die von den Teilnehmern unreflektiert übernommen werden und die dadurch die semantische Offenheit der Repräsentation einschränken.

4.2.2. Konzeptsammlung

Bei der Sammlung der Konzepte wird neben den im Rahmen von „Concept Mapping“ und Strukturlegetechniken vorgeschlagenen Vorgehen eine weitere Einschränkung vorgenommen, die aus den Erkenntnissen der Forschung im Bereich der „Articulation Work“ stammt. Sowohl „Concept Mapping“ als auch Strukturlegetechniken führen keine explizite inhaltliche Klassifizierung der gesammelten Konzepte durch – es werden keine Klassen von Konzepten gebildet, die einen gemeinsamen Aspekt oder Bezugspunkt aufweisen. Während „Concept Mapping“ eine derartige Strukturierung zumindest zulässt, ist diese bei Strukturlegetechniken nicht vorgesehen.

Bereits Strauss spricht von den „salient dimensions of work“ (Fjuk et al., 1997, S.5), die im Rahmen von „Articulation Work“ abgestimmt werden müssen und deren Wichtigkeit für die jeweils beteiligten Individuen von Anwendungsfall zu Anwendungsfall verschieden sein kann. Auch Sarini und Simone (2002a) unterstützen mit ihrer Arbeit die Abstimmung unterschiedlicher Perspektiven auf einen Arbeitsablauf anhand der Identifikation gemeinsamer Konzeptklassen und deren Ausprägungen. Die Ebene der Konzeptklassen spielen den genannten Autoren zufolge also im Rahmen von „Articulation Work“ eine nicht unwesentliche Rolle. Sie werden in der hier vorgeschlagenen Methodik deshalb explizit berücksichtigt.

Dazu sind zwei Vorgehensweisen vorstellbar. Einerseits kann ein Satz an domänen- bzw. anwendungsspezifischen Konzeptklassen vorgegeben werden, der von den Benutzern verwendet werden muss. Andererseits können die Konzeptklassen selbst Gegenstand von „Articulation Work“ sein und erst während des Externalisierungsvorganges festgelegt werden. Diese Variante erscheint im Anwendungsgebiet von „Articulation Work“ besser geeignet, da sie die Denkstrukturen der beteiligten Individuen auf mehreren Ebenen offenlegt. Unerfahrene Benutzer können mit der Offenheit des Ansatzes jedoch überfordert sein, was sich darin äußert, dass keine oder sehr allgemeine, umfassende Konzeptklas-

sen ohne Unterscheidungskraft gebildet werden. Ein möglicher Lösungsansatz ist hier die Kombination der beiden beschriebenen Ansätze, indem ein Kernsatz an domänen-spezifischen Konzeptklassen vorgegeben wird, gleichzeitig aber eine Erweiterung durch individuelle Konzeptklassen ermöglicht wird. Diese Variante ist in Oppl und Weichhart (2005) hinsichtlich ihrer Durchführung und Auswirkungen beschrieben.

4.2.3. Konzeptstrukturierung

Die Konzeptstrukturierung erfolgt in der hier beschriebenen Methodik entsprechend dem Vorgehen bei „Concept Mapping“ vollständig offen, d.h. dass keine semantisch vordefinierten Arten von Beziehungen verwendet werden. Anwender sind in der Bezeichnung der Beziehungen vollkommen frei und können diese auch explizit nicht bezeichnen, wenn dies von ihnen nicht notwendig wahrgenommen wird (als Abweichung zum „Concept Mapping“). Syntaktisch sind Beziehungen immer binär, haben also nur zwei Endpunkte und können ungerichtet, gerichtet oder bidirektional sein. Die Einschränkung auf binäre Beziehungen gegenüber „Concept Mapping“ wird basierend auf den Annahmen bei Strukturlegetechniken getroffen. Dort werden grundsätzlich binäre Zusammenhänge verwendet, da diese eindeutiger erfassbar sind. Beziehungen mit mehr als zwei Endpunkten sind oft mehrdeutig und anfällig für Missinterpretation.

Vor der Festlegung von Beziehungen erfolgt in der hier beschriebenen Methode (analog zu Strukturlegetechniken) die initiale Strukturierung der Konzepte durch räumliche Anordnung derselben auf der physischen Modellierungsoberfläche. Bereits dabei kann in die Position der Konzepte Bedeutung codiert werden. So ist es möglich, rein durch die Positionierung Hierarchien oder Kausalzusammenhänge anzudeuten. Die Methodik macht hier keine Vorgaben, lässt aber diese Form der Bedeutungsfestlegung explizit zu. Für das resultierende Modell hat dies die Auswirkung, dass dessen Semantik nicht ausschließlich in dessen Netzwerkgraphen codiert ist, die Erfassung der Bedeutung der Knoten (Konzepte) und Kanten (Beziehungen) alleine also nicht ausreicht. Vielmehr muss auch die exakte Positionierung der Knoten (Konzepte) in die Repräsentation des Modells mit aufgenommen werden. Zur Rekonstruktion des Modells ist dies ohnehin notwendig, an dieser Stelle geht die Bedeutung der Position jedoch weiter und codiert für sich stehend semantisch hinterlegte Zusammenhänge.

4.2.4. Restrukturierung

Unter Restrukturierung wird hier die Neuordnung von bereits verwendeten Konzepten auf der Modellierungsoberfläche verstanden. Wie zuvor erwähnt, ist in den Positionen der Konzepte oft Information über deren Beziehung zueinander codiert. Neben der Veränderung von explizit hergestellten Verbindungen zwischen Konzepten ist so auch durch Veränderung der Konzept-Positionen eine Änderung der Modellbedeutung

möglich. Weiteres kommt im Kontext von „Articulation Work“ vor allem dann zum Tragen, wenn der wahrgenommene Kontext von Arbeitsabläufen abgebildet wird und dieser zwischen mehreren Personen ausgehandelt wird (vgl. (Wahlmüller, 2010) bzw. Kapitel 13). Dabei werden Konzepte im Rahmen ihrer (wahrgenommenen) Bedeutung für den Arbeitsablauf in bzw. um diesen an- und umgeordnet und spezifizieren so dessen Durchführungsrahmen näher aus.

Die Restrukturierung kann sich auch auf eine Veränderung der explizit angegebenen Verbindungen zwischen Konzepten beziehen. Im Gegensatz zu einer Veränderung der räumlichen Anordnung der Konzepte müssen in diesem Fall die betreffenden Verbindungen entfernt werden und entsprechend neue hinzugefügt werden. In beiden Fällen ist es in Hinblick auf eine Werkzeugunterstützung wichtig, die Durchführung experimenteller Veränderungen zu ermöglichen, die einfach rückgängig gemacht werden können. Dazu ist es notwendig, bestimmte Modellzustände als Referenz kennzeichnen zu können, die in der Folge als Bezugspunkte für eine allfällige Wiederherstellung dienen können.

4.3. Anwendungsszenarien

Die eben beschriebenen Schritte bei der Anwendung der Methodik sind, wie bereits erwähnt, als Bausteine zu verstehen, die je nach Anwendungsszenario unterschiedlich zusammengesetzt werden können oder auch wegfallen können. Außerdem ist jeweils eine individuelle oder kooperative Anwendung möglich. Auch diese Entscheidung ist vom jeweiligen Anwendungsszenario abhängig.

In der Folge werden nun exemplarisch einige mögliche Anwendungsszenarien der Methodik beschrieben, die sich aus dem Einsatz derselben im Rahmen von „Articulation Work“ ableiten lassen. Neben den beschriebenen Szenarien sind aufgrund der Offenheit der Methodik auch weitere Anwendungsvarianten denkbar. Im Rahmen von „Articulation Work“ treten folgende Einsatzszenarien auf:

- Verfeinerung mentaler Modelle
- Wissenstransfer
- Abstimmung mentaler Modelle
- Aushandlung mentaler Modelle

Diese Szenarien wurden auch im Rahmen der Evaluierung in unterschiedlichen Anwendungsblöcken abgebildet (siehe Kapitel 11) und dienen als Grundlage der empirischen Überprüfung der dort formulierten Hypothesen.

4.3.1. Verfeinerung mentaler Modelle

Die Verfeinerung mentaler Modelle ist ein Anwendungsfall einer nicht kooperativen, ausschließlich individuellen Anwendung der Methodik. Die „Articulation Work“, in deren Rahmen die Externalisierung durchgeführt wird, hat reflexiven Charakter und dient der Vertiefung des Verständnisses eines realen Phänomens. Ziel ist es, die beobachteten Abläufe oder Ereignisse besser erklären zu können, um so letztendlich adäquatere Handlungsalternativen ableiten zu können. Die Aufgabenstellung lautet dementsprechend, das aktuelle Verständnis des Phänomens zu externalisieren und in der Folge anhand der externalisierten Repräsentation nach möglicherweise veränderten oder erweiterbaren Erklärungsansätzen zu suchen (siehe dazu die Beschreibung des Ansatzes von Fjuk et al. (1997) in Abschnitt 2.2.1).

Bestehen keine Vorkenntnissen des Individuums in der Durchführung der Methodik bzw. der Verwendung der Werkzeugunterstützung, so wird die Aktivität „Einarbeitung“ durchgeführt. Dies ist in diesem Szenario der einzige Punkt, an dem eine zweite Person (also ein „Prozessbegleiter“) eingreift. In den späteren Phasen – der eigentlichen Externalisierung – ist lediglich das betreffende Individuum beteiligt.

Je nach individueller Präferenz beginnt der eigentliche Externalisierungsvorgang mit einer dedizierten Konzeptsammelungsphase oder einer bereits von Beginn an verwobenen Sammlungs- und Strukturierungsphase. Auch bei Beginn mit einer Konzeptsammelungsphase geht die darauf folgende Strukturierungsphase mit einer iterativ verwobenen Ergänzung bzw. Veränderung der Konzepte einher. Der erste Teil der Anwendung ist abgeschlossen, wenn die initiale externalisierte Repräsentation den wahrgenommenen Ist-Zustand für das Individuum abbildet.

Im zweiten Teil wird die externalisierte Repräsentation als Grundlage für eine tiefergehende Erklärung des realen Phänomens herangezogen. Im Rahmen dieses reflexiven Prozesses kann es zu Restrukturierungen im Modell kommen, um dessen Ausdrucksstärke oder Erklärungskraft zu verbessern. Dies kann Ergänzungen (wie etwa die Berücksichtigung von Ausnahme- oder Spezialfällen) umfassen, aber auch zu einer grundlegenden Veränderung des ursprünglichen Erklärungsansatzes führen (siehe „Assimilation“ vs. „Akkommodation“ in Abschnitt 3.2 bzw. die Unterscheidung zwischen „single-loop learning“ und „double-loop learning“ bei Argyris (1976)).

Die Anwendung der Methodik ist abgeschlossen, wenn für das Individuum ein konsistenter mentaler Zustand erreicht ist (das Erklärungsmodell also als konsistent wahrgenommen wird). Dies kann auch der ursprüngliche Ausgangszustand sein, der durch die Externalisierung bestätigt und weiter gefestigt wurde. Bei einer Veränderung des mentalen Modells muss sich dieses in der Folge in der praktischen Anwendung bei der Entwicklung von Handlungsalternativen bei der Konfrontation mit dem gegebenen Phänomen in der realen Welt bewähren (im Sinne des „assess“ im OADI⁵-Zyklus des individuellen

⁵Observe – Assess – Design – Implement

Lernens bei Kim (1993)). Die Anwendung der Methodik dient hier also der Entwicklung neuer Erklärungsansätze und Handlungsalternativen, deren Bestätigung und Festigung erfolgt erst in der praktischen Anwendung.

4.3.2. Wissenstransfer

Das Szenario „Wissenstransfer“ bezieht sich auf Situationen, in denen Wissen von einer Person an ein oder mehrere Individuen weitergegeben werden muss. Im Rahmen von „Articulation Work“ kann diese Situation auftreten, wenn ein Arbeitsablauf von manchen Beteiligten aufgrund von mangelnder Erfahrung oder Unkenntnis als problematisch wahrgenommen wird, zumindest eine Person aber das Fakten- oder Handlungswissen besitzt, um adäquate Handlungsalternativen ableiten zu können (siehe hier etwa den Übergang von „invisible work“ zu „visible work“ in der Beschreibung des Ansatzes von Hampson und Junor (2005) in Abschnitt 2.2.2). Ziel ist hier, das relevante Wissen von der kompetenten Person zu den unerfahrenen Personen zu transferieren, diese also „lernen“ zu lassen. Die Aufgabenstellung lautet dementsprechend, die relevanten Konzepte und Beziehungen zur Erklärung der Situation und der Ableitung von Handlungsalternativen durch das kompetente Individuum zu externalisieren. Aufbauend auf der externalisierten Repräsentation wird eine kooperative Reflexionsphase durchgeführt.

Der erste Teil der Durchführung entspricht im Wesentlichen dem im ersten Szenario beschriebenen Vorgehen. Die Konzeptsammlung und -strukturierung erfolgt initial individuell, wobei die „lernenden“ Individuen an diesem Teil des Prozesses bereits beobachtend teilnehmen können. Die externalisierende Person kann den Externalisierungsprozess durch Anwendung der Prinzipien der „Methode des lauten Denkens“ (siehe Abschnitt 3.4.1) nachvollziehbarer machen.

Der kooperative Teil der Durchführung beginnt mit einer Erklärungs- und Reflexionsphase, der die externalisierte Repräsentation zugrunde liegt und als Bezugs- und Ankerpunkt dient. Je nach Verlauf des Prozesses kann diese Reflexion in eine (Re-)Strukturierungsphase übergehen, in der die Repräsentation bei punktuell auftretenden Verständnisschwierigkeiten verfeinert bzw. konkretisiert werden kann.

Der Prozess ist abgeschlossen, wenn sowohl die „lernenden“ Individuen die als problematisch wahrgenommene Situation für sich auflösen können und auch das externalisierende Individuum den Eindruck gewinnt, dass die zu vermittelnden Konzepte von den „Lernenden“ akkommodiert wurden. Der tatsächliche Erfolg des Wissenstransfers zeigt sich wiederum erst in der praktischen Durchführung von Handlungen in der fraglichen Situation bzw. deren Auswirkungen in der Realität.

4.3.3. Abstimmung mentaler Modelle

Die Abstimmung mentaler Modelle ist das erste Szenario in dem eine tatsächlich kooperative Externalisierung vorgenommen wird. Im Rahmen von „Articulation Work“ tritt diese Variante dann auf, wenn etablierte, individuelle bzw. lokale Arbeitsabläufe existieren, die aufgrund von neuen Anforderungen oder Rahmenbedingungen so abgestimmt werden müssen, dass sie interoperabel bzw. kooperativ durchführbar sind. Dies ist der im Rahmen von „Articulation Work“ am häufigsten genannte Anwendungsfall, auf den auch Strauss bereits in seinen ersten Arbeiten Bezug nimmt.

Ziel ist hier, die individuellen Arbeitsabläufe und deren wahrgenommene Rahmenbedingungen soweit offen zu legen, dass eine Identifikation der Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilen und die Etablierung eines kooperativen Arbeitsablaufs möglich wird. Alternativ kann dieses Szenario auch dann auftreten, wenn ein organisational spezifizierter Soll-Prozess den tatsächlichen Arbeitsabläufen gegenüber gestellt werden soll bzw. aus diesen ein Soll-Prozess entwickelt werden soll. Die Aufgabenstellung lautet in allen Fällen im ersten Schritt, die individuellen Beiträge zu dem angepeilten kooperativen Arbeitsablauf zu identifizieren und soweit zu externalisieren, dass diese für die anderen beteiligten Individuen erfassbar werden (im Falle der Existenz eines organisationalen Soll-Prozesses wird diese durch ein die Organisation repräsentierendes Individuum eingebracht). Im zweiten Schritt erfolgt eine kooperative Abstimmung der individuellen Beiträge, im Rahmen derer der globale Ablauf ausgehandelt wird bzw. potentielle Konfliktstellen identifiziert bzw. beseitigt werden.

Das Szenario ist grundsätzlich kooperativ und baut im ersten Teil auf den beiden zuvor beschriebenen Szenarien auf. Dies bedeutet konkret, dass die Externalisierung der individuellen Beiträge wie in Szenario 2 geschildert, zwar jeweils von den einzelnen Teilnehmern separat durchgeführt wird, dass zum Zwecke der Verständlichkeit die anderen beteiligten Personen beobachtend teilnehmen können. Die individuellen Beiträge müssen dabei nur soweit offengelegt werden, wie sie die möglichen Schnittstellen im zu entwickelnden gemeinsamen Arbeitsablauf betreffen – nicht jedes teilnehmende Individuum muss ein detailliertes mentales Modell der gesamten durchzuführenden Arbeit haben bzw. entwickeln. In Arbeitsabläufen, in denen die möglichen Kooperations-Stellen nicht abschätzbar sind, kann eine selektive Externalisierung jedoch problematisch sein. In diesem Fall müssen die individuellen Beiträge iterativ bei der kooperativen Zusammenführung soweit detailliert werden, dass eine Festlegung der Zusammenarbeit möglich wird.

Nach der Externalisierung der individuellen Beiträge folgt im zweiten Teil eine kooperative Phase, in der aufbauend auf den individuellen Beiträgen die Konzeptsammlung und -strukturierung auf globaler Ebene durchgeführt wird. Sofern sichergestellt ist, dass die teilnehmenden Individuen in der ersten Phase ein Verständnis über die sie betreffenden Arbeitsbeiträge entwickelt haben, kann diese Abstimmung auf abstrakterer Ebene erfolgen. Dies bedeutet, dass die gemeinsame Externalisierung nicht auch die gesammel-

ten individuellen Beiträge enthält, sondern sich lediglich auf diese bezieht und in der Repräsentation vorrangig die Schnittstellen und Interaktionsabläufe abgebildet werden. In dieser Phase können Sammlung, Strukturierung und Restrukturierung ggf. ineinander fließen bzw. nicht klar abgegrenzt werden. Durch die bereits gegebenen Repräsentationen der individuellen Beiträge ist eine Ausgangsbasis vorhanden, die im Rahmen der Abstimmung einen raschen Wechsel zwischen den einzelnen Aktivitäten ermöglicht.

Der Prozess ist abgeschlossen, wenn alle teilnehmenden Individuen ihre Sichtweisen auf den gesamten Arbeitsablauf soweit abgestimmt haben, dass eine Durchführung desselben möglich ist. Unmittelbar kann dies nur durch die Rückmeldung der persönlichen Wahrnehmung und Eindrücke der Teilnehmer überprüft werden. Die tatsächlichen Auswirkungen auf die Arbeitspraxis – im konkreten Fall die Etablierung oder Veränderung eines kooperativen Arbeitsablaufs – kann wiederum nur während der Durchführung im Rahmen der „Production Work“ beurteilt werden.

4.3.4. Aushandlung mentaler Modelle

Im Gegensatz zu den übrigen Szenarien geht das hier beschriebene Szenario nicht von etablierten, gefestigten mentalen Modellen oder existierenden Arbeitsabläufen aus. Vielmehr werden hier von Beginn an kooperativ mentale Modelle zu einer gegebenen Fragestellung entwickelt und reflektiert. Im Rahmen von „Articulation Work“ treten diese Situationen vor allem dann auf, wenn ein kooperativer Arbeitsablauf neu geplant werden muss, ohne dass dieser zuvor von den beteiligten Personen als Ganzes oder in Teilen durchgeführt wurde (siehe dazu die Ausprägung „working out original arrangements“ in der Beschreibung des Ansatzes von Corbin und Strauss (1993) in Abschnitt 2.2).

Ziel ist es, auf Basis der individuellen Vorkenntnisse und Erfahrungen einen kooperativen Arbeitsablauf bzw. dessen Durchführungskontext auszuhandeln. Die Aufgabenstellung lautet dementsprechend, eine Externalisierung zu entwickeln, die den kooperativen Ablauf, die benötigten Rahmenbedingungen und ggf. den Aspekt der Arbeitsteilung abbildet.

Dieses Szenario ist in der Durchführung der Methodik flexibel. Im Vergleich zu den anderen beschriebenen Szenarien sind individuelle Externalisierungsphasen nicht notwendigerweise durchzuführen. Die gesamte Entwicklung beginnend mit der Festlegung der Konzeptklassen über die Sammlung der Konzepte sowie deren Strukturierung und Restrukturierung erfolgt kooperativ. Jede Aktivität kann dabei iterativ während des Prozesses mehrfach zum Einsatz kommen. Während in Szenario 3 ein „bottom-up“-Ansatz zur Entwicklung der gemeinsamen Sicht verwendet wird (ausgehend von den individuellen Beiträgen wird ein übergreifender, globaler Ablauf auf abstrakterer Ebene entwickelt), kommt hier tendenziell ein „top-down“-Ansatz zum Einsatz, bei dem zuerst im Überblick der kooperative Arbeitsablauf ausgehandelt wird und erst in einem

fakultativen zweiten Schritt die individuellen Beiträge detailliert externalisiert werden können (wobei dies nicht unmittelbar und nicht kooperativ erfolgen muss).

Wie in Szenario 3 ist die Durchführung der Methodik dann abgeschlossen, wenn alle beteiligten Personen ihre Sichtweise auf den globalen Arbeitsablauf bzw. dessen Kontext als ausreichend repräsentiert wahrnehmen. Wiederum zeigt sich die Adäquatheit der erstellten Externalisierung zur realen Welt erst in der praktischen Anwendung der durch die Aushandlung entwickelten mentalen Modelle.

4.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Methodik zur Externalisierung von mentalen Modellen im Rahmen von „Articulation Work“ entwickelt. Als Grundlage dafür dienen die in Kapitel 3 beschriebenen Methoden „Concept Mapping“ und „Strukturlegetechniken“. Diese wurden hinsichtlich ihrer Eignung für „Articulation Work“ beschrieben und beurteilt. Unter Berücksichtigung der dadurch festgelegten Rahmenbedingungen (kooperative Umgebung, geringe zur Verfügung stehende Einarbeitungszeit, ggf. stark heterogene mentale Modelle der teilnehmenden Individuen) wurden aus beiden Methoden jene Aspekte extrahiert und kombiniert, die zur Unterstützung geeignet erschienen. Die Ableitung der Methodik mündet in der Beschreibung der notwendigen Rahmenbedingungen sowie der im Rahmen der Durchführung auftretenden Aktivitäten.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen von „Articulation Work“ ist die Beschreibung eines idealtypischen Ablaufs der Methodik nicht möglich. Deshalb wurden exemplarisch vier mögliche Ausprägungen herangezogen und hinsichtlich ihrer Durchführung beschrieben. Diese Ausprägungen bilden auch die Grundlage für die Ableitung jener Anwendungen, die der Evaluierung zugrunde liegen (siehe Kapitel 11). Das Anwendungsszenario „Abstimmung mentaler Modelle“ ist dabei jenes, das das ursprüngliche, von (Strauss, 1985) vorgeschlagene Verständnis von „Articulation Work“ („*resolving contingencies*“) am ehesten abbildet. Dieses Szenario wurde deshalb im Rahmen der Evaluierung am häufigsten in Aufgabenstellungen abgebildet (siehe Abschnitt 11.2).

4.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

In diesem Kapitel wurde auf Basis der in den Kapiteln 2 und 3 erfolgten Beantwortung der Fragestellung 3 der erste Schritt zur Beantwortung der Fragestellung 4 („Wie kann ein Instrument zur Unterstützung von expliziter Articulation Work umgesetzt werden?“) durchgeführt. In dieser Arbeit wird unter einem „Instrument“ die Gesamtheit aller Maßnahmen verstanden, die zur Unterstützung notwendig sind. Insbesondere umfasst die Festlegung einer zur Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ geeigneten Methodik sowie die Konzeption und Umsetzung eines die Durchführung dieser Methodik

unterstützenden Werkzeugs. Der methodische Aspekt der Konzeption des Instruments wurde in diesem Kapitel beschrieben.

Mit der Festlegung der Methodik einher geht ein Beitrag zur Beantwortung der Fragestellung 5 („Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter Articulation Work beurteilt werden?“). Abschnitt 4.3 führt Anwendungsszenarien an, die darlegen, wie die vorgestellte Methodik im Rahmen unterschiedlicher Ausprägungen expliziter „Articulation Work“ angewandt werden kann. Für die Prüfung der Effektivität der Unterstützung ist das Instrument in konkreten Ausprägungen dieser Anwendungsszenarien zu verwenden.

4.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die hier beschriebene Methodik bedingt eine technische Unterstützung der Durchführung. Basierend auf den hier beschriebenen Aktivitäten, die im Rahmen der Methodik auftreten, werden im nächsten Kapitel die Anforderungen an ein den Externalisierungsprozess unterstützendes Werkzeug abgeleitet. Diese bilden die Grundlage für die Umsetzung des Werkzeugs, die in den Kapiteln 7 bis 9 beschrieben ist.

Teil II.

Interaktive Externalisierung und Abstimmung

Einleitung

Basierend auf den dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsgebieten und der daraus abgeleiteten Methodik, die in den letzten Kapiteln beschrieben wurden, wird in diesem Teil auf die konkreten Unterstützungsmöglichkeiten von „Articulation Work“ durch technische Werkzeuge eingegangen. Ziel dieses Teils ist es, sowohl das hier vorgeschlagene Vorgehen bei der Unterstützung expliziter „Articulation Work“ als auch die Unterstützung, die ein Werkzeug dabei leisten kann, umfassend darzustellen. Dies entspricht Vervollständigung der Beantwortung des ersten Teils der zweiten in Kapitel 1 formulierten Forschungsfrage („Wie kann explizite Articulation Work effektiv unterstützt werden?“). Die Beurteilung der Effektivität bleibt in diesem Teil noch außen vor, es werden lediglich weitere Meßkriterien identifiziert, anhand derer die Effektivität der Unterstützung geprüft werden kann. Der methodische Aspekt der Unterstützung wurde bereits in Teil I behandelt.

Auf Grundlage der Methodik, die im Kontext von Concept Mapping und Strukturlegetechniken vorgeschlagen wird und unter Berücksichtigung der Anforderungen, die aus dem inhärent kooperativen Anwendungsszenario abgeleitet werden können, muss das Vorgehen zur Durchführung von expliziter „Articulation Work“ festgelegt werden.

In Rahmen der Festlegung des Vorgehens werden auch jene Aspekte identifiziert, in denen Unterstützung durch technische Werkzeuge sinnvoll und notwendig ist. Die Anforderungen, die sich aus diesen Aspekten ableiten lassen, bilden die Grundlage für die Konzeption und Umsetzung eines Werkzeugs, das diese Unterstützung bietet. Die technischen Details der Implementierung dieses Werkzeugs und die zugrunde liegenden konzeptuellen und technologischen Grundlagen bilden den Kern dieser Arbeit.

Der Aufbau dieses Teils folgt dem eben umrissenen inhaltlichen Vorgehen. Am Ende des Kapitels 3 wurde die Methodik zur Unterstützung expliziter Artikulation Work beschrieben. Aus diesem werden im folgenden Kapitel 5 jene Bereiche identifiziert, in denen eine technologische Unterstützung notwendig ist und die Anforderungen an ein Werkzeug abgeleitet, das diese Unterstützung bietet. Die vier folgenden Kapitel beschäftigen sich mit der Umsetzung des Werkzeugs. Dabei wurde der Implementierungsstand beschrieben, mit dem das Werkzeug im Großteil der Evaluierungen eingesetzt wurde. Jene Weiterentwicklungen, die in den letzten Phasen der Evaluierung umgesetzt wurden, betreffen ausschließlich die Interaktion mit dem Werkzeug und hatten keinen Einfluss auf die technische Realisierung. Die Veränderungen gründeten jeweils auf aus vorhergehenden Anwendungen gebildeten Hypothesen und wurde zur Überprüfung derselben prototypisch umgesetzt. Die Beschreibung der Veränderung zum in der Folge beschriebenen Referenzstand wird dementsprechend im Rahmen der Beschreibung der Evaluierungsergebnisse in den Kapiteln 12 bis 14 vorgenommen.

Kapitel 6 beschäftigt sich mit den konzeptuellen Grundlagen des Forschungsgebiets „Tangible Interfaces“, das die Basis für die technische Umsetzung bildet. Kapitel 7

beschäftigt sich mit jenen Technologien und Softwarekomponenten, die für die Informationseingabe in das technische System verwendet werden. Dabei wird auch auf die konkrete Interaktion der Benutzer mit dem System eingegangen. Kapitel 8 beschreibt die Ausgabeseite des technischen Systems und behandelt die Umsetzung des Informationsflusses vom System zu den Benutzern. Letztendlich wird in Kapitel 9 beschrieben, welche Maßnahmen zu Sicherung der Ergebnisse der expliziten „Articulation Work“ getroffen werden müssen und welche Möglichkeiten der technischen Umsetzung bestehen bzw. gewählt wurden.

5. Anforderungen an ein Werkzeug

Dieses Kapitel dient der Überleitung von den bislang auf konzeptueller Ebene beschriebenen Überlegungen hin zur tatsächlichen Umsetzung der Werkzeugunterstützung für „Articulation Work“ mittels der Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle. Basierend auf den Erkenntnissen aus den Kapiteln 2 und 3 sowie der in Kapitel 4 entwickelten Methodik werden hier die funktionalen Anforderungen an das Werkzeug beschrieben. Abbildung 5.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

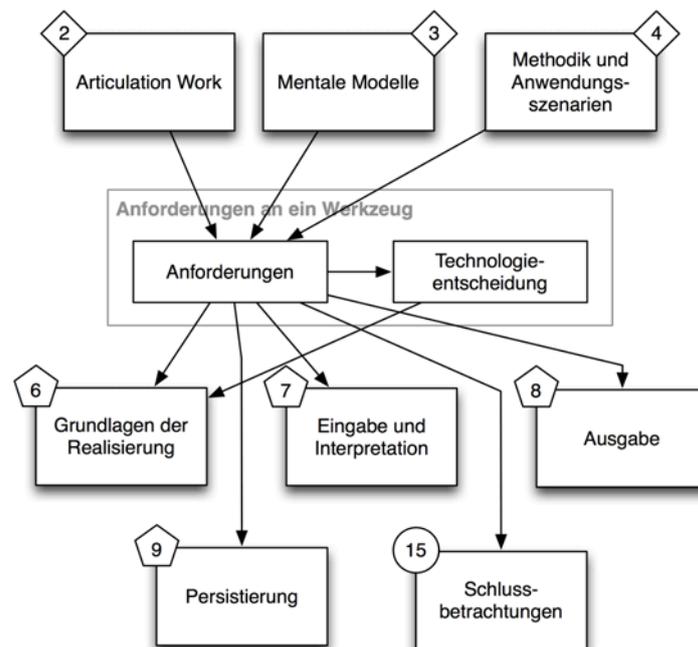


Abbildung 5.1.: Kapitel „Anforderungen an ein Werkzeug“ im Gesamtzusammenhang

Die Anforderungen lassen sich jeweils auf einen von drei dieser Arbeit zugrunde liegenden Ansätzen zurückführen, die in den Kapiteln 2 und 3 beschrieben sind. Größtenteils sind sie direkte Konsequenzen auf den Vorgaben hinsichtlich Struktur und Vorgehen, die von Strukturlegetechniken oder Concept Mapping gemacht werden. Es ist jedoch zu-

sätzlich notwendig, auf die zur Durchführung expliziter „Articulation Work“ selbst zurückzugreifen, um die Eignung des Werkzeugs nicht nur für generische Externalisierung von mentalen Modellen selbst sicherzustellen. Vielmehr muss auch die Berücksichtigung der speziellen Anwendungsbedingungen und Betrachtungsgegenstände im Rahmen von „Articulation Work“ gewährleistet werden.

5.1. Anforderungen aus Strukturlegetechniken

Anforderung 1 *Physische Abbildung beliebiger diagrammatischer Modelle*

Ein Werkzeug zur Unterstützung von Strukturlegetechniken muss das grundlegende Konzept der Methodik vollständig unterstützen. Es muss möglich sein, Konzepte auf einer Modellierungs-Oberfläche zu platzieren und zueinander in Beziehung zu setzen. Der gesamte Modellstatus muss visuell auf der Oberfläche erkennbar sein.

Anforderung 2 *Unterstützung der iterativen Aushandlung des Modells*

Im Sinne der Unterstützung der Dialog-Konsens-Methodik sind ist der Austausch über das Modell durch das Werkzeug zu unterstützen. Vor allem muss es möglich sein, Anmerkungen über Konsens oder Dissens über einzelnen Modellteile oder das gesamte Modell explizit mit in die Repräsentation aufzunehmen.

Anforderung 3 *Ermöglichung experimenteller Veränderungen am Modell*

Es muss möglich sein, das Modell experimentell zu verändern und ggf. zu einem früheren stabilen Modellzustand zurückzukehren. Dies erlaubt eine konsequenzlose Erkundung von Lösungsräumen und unterstützt damit den Dialog-Konsens-Prozess. Das Werkzeug muss also stabile Modellzustände erfassen und deren Rekonstruktion unterstützen.

5.2. Anforderungen aus Concept Mapping

Anforderung 4 *Nicht vorgegebene Semantik der Modellierungselemente*

Wie oben bereits argumentiert und auch aus Seel (1991)¹ abzuleiten, sind zur Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ vor allem Varianten von Strukturlegetechniken geeignet, die im Sinne von Concept Mapping keine Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Konzepte und Verknüpfungen machen. Das Werkzeug muss dementsprechend die Offenheit bieten, beliebige Klassen von Konzepten und Verknüpfungen

¹siehe Seite 85 in dieser Arbeit

zu definieren (z.B. Klasse „organisationale Rolle“) und von diesen beliebige Instanzen zu bilden und zu benennen (z.B. Instanz „Geschäftsführer“). Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass die festgelegte Semantik im Modell mit abgebildet wird und nicht verloren geht.

Anforderung 5 *Verknüpfung mit digitalen Ressourcen*

Die Einbindung von digitalen Ressourcen (Dateien, Hyperlinks, . . .) ermöglicht die Einbindung des Modells in den organisationalen Kontext und erleichtert so einerseits die Verständnisbildung und ermöglicht andererseits die Verwendung der Repräsentation als unmittelbare Handlungsanleitung mit Verknüpfungen zu den betroffenen Arbeitsgegenständen (siehe dazu auch die Beschreibung von (Jørgensen, 2004) auf Seite 68 in dieser Arbeit).

Anforderung 6 *Bearbeitung von beliebig umfangreicher Modellen*

Umfangreiche Modelle enthalten oft eine große Anzahl von Konzepten und viele Verknüpfungen. Das Werkzeug muss das Modell in einer Form darstellen, die dessen Erfassung und Manipulation ermöglicht, ohne die Repräsentierenden kognitiv zu sehr zu belasten.

5.3. Anforderungen aus Articulation Work

Anforderung 7 *Kooperative und unmittelbare Manipulierbarkeit des Modells*

Zur Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ muss das Werkzeug kooperative Strukturlege-Prozesse erlauben. Es muss möglich sein, das gelegte Modell simultan zu erweitern oder zu verändern.

Anforderung 8 *Persistente Ablage des Modells und Möglichkeit zur Rekonstruktion*

Die persistente Ablage eines Modells (z.B. als digitale Repräsentation) und Werkzeugunterstützung zur Rekonstruktion eines abgelegten Modells erlaubt die Wiederaufnahme eines unterbrochenen Strukturlegeprozesses bzw. die Reflexion und Anpassung bereits erstellter Modelle zu einem späteren Zeitpunkt. Diese Forderung wird auch von Herrmann et al. (2002) angeführt (siehe Seite 63 in dieser Arbeit) und unter anderem von Shipman und Hsieh (2000) zur Nachvollziehbarkeit bei Erstellung und Konsum von vernetzten Inhalten (dort: Hypertext) vorgeschlagen².

²„By recording and replaying the authoring process, navigable history can re-situate an author after a gap in the authoring process. Similarly, in a collaborative authoring process, an author can play

5.4. Grundlegende Technologieentscheidung

Basierend auf den oben identifizierten Anforderungen kann nun eine grundlegende Entscheidung hinsichtlich der Technologie zur Umsetzung der Werkzeugunterstützung getroffen werden. Aufgrund der Anforderungen, die aus dem Bereich der „Strukturlegetechniken“ sowie „Articulation Work“ selbst abgeleitet wurden, ist die Unterstützung durch ein Werkzeug notwendig, das die Erstellung und Repräsentation der Modelle im physischen Raum ermöglicht.

Ein Teil der Anforderungen, die im Bereich des „Concept Mapping“ und ebenfalls wieder der „Articulation Work“ identifiziert werden konnten, können hingegen nur realisiert werden, wenn das Werkzeug mit rechner-unterstützter Funktionalität angereichert wird.

Einerseits ist es nun also notwendig, das Modell physisch abzubilden, was der Verwendung eines Werkzeugs mit bildschirmbasierter Benutzungsschnittstelle entgegensteht. Andererseits ist zur Umsetzung mancher Anforderungen die Verwendung eines Rechners notwendig, so dass das Modell auch digital erfasst und repräsentiert werden muss.

Ein Ansatz der Mensch-Maschine-Interaktion, der die Verwendung von interaktiven Systemen mit nicht-traditionellen Benutzungsschnittstellen untersucht, ist jener der „*Tangible Interfaces*“. Als „Tangible Interfaces“ werden im Allgemeinen Benutzungsschnittstellen bezeichnet, die ein Computersystem mit auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmten physischen Artefakten kontrollierbar machen, die gleichzeitig zur Informationsausgabe durch das Computersystem verwendet werden.

Für den hier vorliegenden Anwendungsfall – der interaktiven kooperativen Erstellung von diagrammatischen Modellen – bietet sich die Verwendung eines „*Tangible Tabletop Interface*“ an. Als Spezialfall eines „Tangible Interface“ wird hier eine Tischoberfläche als Ein- und Ausgabekanal verwendet, auf dem physische Artefakte zur Interaktion mit dem System verwendet werden. Die Ähnlichkeit dieses Ansatzes mit dem Anwendungsszenario im Falle von „Strukturlegetechniken“ spricht für eine Verwendung von „Tangible Tabletop Interfaces“ zur Umsetzung des in dieser Arbeit zu entwickelnden Werkzeugs.

through the events since his/her last authoring session to quickly determine the activity of the other authors. Finally, in many situations, information becomes harder to interpret as its context changes over time. By returning to the state of the information space at the time of authoring, disambiguation of the information may become possible. For the reader who is not also the writer of the hypertext there are additional uses of navigable history. A reader replaying the author's writing process can gain insight into the motivation of the author and have a greater understanding of the author's writing style. Such an understanding is important in collaborative work and in other contexts, like education and literary analysis.“ (Shipman und Hsieh, 2000)

5.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Anforderungen an das zu entwickelnde Werkzeug aus den Ergebnissen der Kapitel 2, 3 und 4 abgeleitet. Insgesamt konnten 8 Anforderungen identifiziert werden, die hier – unabhängig von der konkreten Umsetzung – rein aus Sicht der konzeptuell zu unterstützenden Tätigkeit beschrieben wurden.

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels wurde auf Basis der Ergebnisse der Anforderungserhebung jene Klasse von Systemen identifiziert, deren Verwendung die grundlegende Forderung nach physischer Modellbildung und gleichzeitiger Unterstützung durch computerbasierte Werkzeuge erfüllen kann. „Tangible Interfaces“ sind hier mit ihrem Anspruch, konkrete, physische Benutzungsschnittstellen für interaktive Computersysteme zur Verfügung zu stellen, durch die Ähnlichkeiten zu „Strukturlegetechniken“ bei der gleichzeitigen Möglichkeit zur Umsetzung von rechnergestützten Funktionen einsetzbar.

5.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Die in diesem Kapitel formulierten Anforderungen bilden die Brücke zwischen Methodik und Werkzeug im Rahmen der Beantwortung der in Kapitel 1 formulierten Fragestellung 4 („Wie kann ein Instrument zur Unterstützung von expliziter Articulation Work umgesetzt werden?“).

Am Ende von Teil I beschriebene Methodik ist Teil des zur Unterstützung von „Articulation Work“ konzipierten Instruments. Dieses wird durch das durch die hier formulierten Anforderungen hinsichtlich seiner Funktionalität festgelegte Werkzeug zu jene Instrument ergänzt, das Gegenstand der Fragestellung 4 ist.

Die hier formulierten Anforderungen repräsentieren gleichzeitig die aus methodischer Sicht notwendigen Funktionen zur Unterstützung des kooperativen Externalisierungs- und Abstimmungsprozesses und damit der Durchführung von „Articulation Work“ ab. Die Erfüllung der Anforderungen ist damit eine Voraussetzung zur effektiven Unterstützung von „Articulation Work“. In diesem Sinne sind sie auch ein Beitrag zur Beantwortung der Fragestellung 5 („Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter Articulation Work beurteilt werden?“) und müssen als Beurteilungskriterien herangezogen werden.

5.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln wird nun aufbauend auf der Grundsatzentscheidung für die Entwicklung eines „Tangible Interfaces“ das Werkzeug in allen in den Anforderungen angesprochenen Aspekten spezifiziert. Zusätzlich sind auch jeweils die konkrete technische Umsetzung sowie allfällige Einschränkungen, die diese Umsetzung mit sich brachte, beschrieben.

Kapitel 6 geht – noch unabhängig von dem konkreten hier entwickelten Werkzeug – auf die Eigenschaften von Tangible Interfaces und deren Spezifikation ein. Daneben wird in diesem Kapitel auch die „Related Qork“ aus konzeptueller und technischer Sicht aufgearbeitet. In den Kapiteln 7, 8 und 9 werden die Implementierungsalternativen und die konkrete Umsetzung des Werkzeugs getrennt für die Eingabe von Information (also die Modellbildung selbst), die Ausgabe von Information sowie die Sicherstellung der Persistierung der Modelle beschrieben. Die Überprüfung der Erfüllung der hier spezifizierten Anforderungen ist Gegenstand der Kapitel 12 und 13, die Teil der Beschreibung der Evaluierung des hier entwickelten Systems sind.

6. Grundlagen der Realisierung und verwandte Arbeiten

Zur Umsetzung des Werkzeugs wurde – wie in Kapitel 5 gefordert – ein „Tangible Tabletop Interface“ verwendet. Tabletop Interfaces zeichnen sich im Generellen dadurch aus, dass im Gegensatz zu handelsüblichen Rechnern nicht nur die Software sondern auch die Hardware applikationsspezifisch ist und nicht für beliebige Anwendungen eingesetzt werden kann. Die Hardware bildet dabei einen Teil oder die gesamte Benutzungsschnittstelle sowohl ein- als auch ausgabeseitig ab. Im speziellen Fall eines „Tangible Tabletop Interfaces“ basiert der Benutzerinteraktion auf der Verwendung physischer Bausteine („Tokens“), die auf der physischen Oberfläche des Interfaces manipuliert werden. Diese Interaktionsform wird von Tabletop Interfaces ergänzt, die die Benutzerinteraktion ausschließlich auf Gesten bzw. Berührungen der Oberfläche abbilden (horizontal verbaute „Touch-“ bzw. „Multi-Touch-Displays“).

Tabletop Interfaces wurden Mitte der 1990er-Jahren in den Arbeiten von Ishii & Ullmer erstmals vorgestellt. Auch die erste Anwendung, die sich mit Modellierung auf Tabletop Interfaces beschäftigt, stammt aus dieser Zeit. Mit dem Fortschreiten der technologischen Entwicklung ist heute ein Status erreicht, in dem mit Hilfe generischer Identifikations-Frameworks schnell und ohne großen Aufwand Applikationen mit „tangiblen“ Eingabekanälen erstellt werden können. Zur Zeit noch im Prototypenstatus befinden sich Systeme, die sich mit Möglichkeiten des tangiblen Informationsoutputs beschäftigt. Der Rückkanal vom Rechner zum Benutzer wird heute zumeist durch die Projektion von Inhalten auf die Arbeitsoberfläche umgesetzt.

In den folgenden Abschnitten wird die historische Entwicklung von Tabletop Interfaces sowie der aktuelle Stand der Entwicklung im Anwendungsbereich dieser Arbeit betrachtet. Es werden dabei die grundlegenden Konzepte und Eigenschaften der jeweiligen Arbeiten betrachtet und das Potential hinsichtlich der Umsetzung von in Kapitel 5 identifizierten Anforderungen an das hier entwickelte Werkzeug betrachtet. Abbildung 6.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

6.1. Historischer Überblick

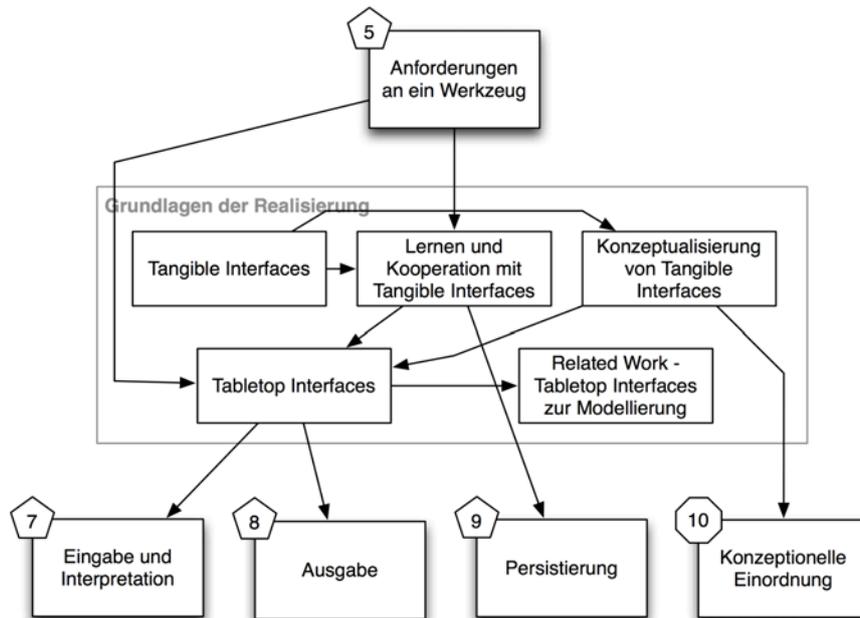


Abbildung 6.1.: Kapitel „Grundlagen der Realisierung und verwandte Arbeiten“ im Gesamtzusammenhang

Wellner (1993) und Suzuki und Kato (1995) werden als jene Arbeiten angesehen, die die Vision von alternativen Benutzungsschnittstellen für Computer maßgeblich geprägt haben. „Alternativ“ bedeutet in diesem Zusammenhang die Verwendung von Ein- und Ausgabekanälen, die sich von den herkömmlichen Werkzeugen wie Tastatur und Maus bzw. Bildschirmen insofern unterscheiden, als dass sie eine unmittelbare Interaktion mit der digital repräsentierten Information ermöglichen und deren Zustand in der realen Welt widerspiegeln.

Der Begriff der „Tangible“ bzw. „Graspable Interfaces“ – also der „berührbaren“ oder „begreifbaren“ Benutzungsschnittstellen – stammt ebenfalls aus der Mitte der neunziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts. Fitzmaurice et al. (1995) werden im Allgemeinen als die Ersten betrachtet, die den Begriff des „Graspable User Interfaces“ prägen und damit die Manipulierbarkeit digitaler Information durch physische Mittel beschreiben. Fitzmaurice (1996) präzisiert später den Begriff durch die Abgrenzung zwischen (herkömmlichen, maus-, tastatur- und bildschirmbasierenden) zeitlich gemultiplexten Schnittstellen, bei denen der Informationsaustausch zwischen Benutzer und System über einen Kanal zeitlich hintereinander erfolgt und den (neuartigen, berührbaren) räumlich gemultiplexten Schnittstellen, bei denen mehrere Kanäle gleichzeitig zur Interaktion zwischen Benutzer und System verwendet werden können.

Der Begriff des „Tangible User Interfaces“ (TUI) wurde kurz danach bzw. parallel dazu von Ishii und Ullmer (1997) eingeführt. Ishii und Ullmer verfolgen dabei bei der Definition den umgekehrten Weg und sprechen von einer „Augmentation der realen Welt durch eine Kopplung von digitaler Information and physische Objekte“¹.

Die erwähnte Kopplung wurde von Beginn an bidirektional verstanden. Dies bedeutet, dass sowohl der Zustand der realen Welt die digitale Welt beeinflusst als auch umgekehrt die digitale Welt auf die reale Welt zurück wirkt. Der Fokus der Entwicklung lag in den ersten zehn Jahren der Entwicklung des Feldes klar auf den erstgenannten Aspekt. Erforscht wurde im Wesentlichen die Manipulation von digitaler Information mittels physischer Werkzeuge, der Zustand der digitalen Welt wurde zumeist ausschließlich dargestellt, beeinflusste aber die reale Welt nicht weiter. Die Kopplung des physischen Zustands der realen Welt an digitale Information (etwa die Veränderung der Form oder Position von physischen Interface-Objekten durch die Ergebnisse einer im Rechner durchgeführten Berechnung) wurde nur in Ausnahmefällen angesprochen (zumeist unter der Bezeichnung „Ambient Interface“ (Gross, 2003)), strukturiert untersucht wurde dieser Aspekt erstmals von Patten und Ishii (2007). Nach wie vor verzichtet ein Großteil der vorgeschlagenen Systeme auf die automatisierte Manipulation der realen Welt und beschränkt sich auf die Ausgabe der Information über einen optischen Kanal.

Technologisch gründet sich das Gebiet der Tangible Interfaces auf den Entwicklungen im Bereich des Ubiquitous Computing (Weiser, 1991) und der Augmented Reality (Azuma, 1997). Auch heute ist die Abgrenzung noch eher konzeptuell zu sehen. Die technischen Mittel der Umsetzung sind vor allem hardwareseitig nach wie vor nicht spezifisch den einzelnen Gebieten zuzuordnen, lediglich softwareseitig ist eine Spezialisierung durch die Entwicklung dedizierter Software-Frameworks zu erkennen.

6.2. Lernprozesse und Tangible Interfaces

Die Anwendungsbereiche von Tangible Interfaces sind historisch breit gestreut, lassen jedoch eine Fokussierung auf die Unterstützung von kreativen und planenden Prozessen erkennen. Ein wichtiger Anwendungsbereich war schon in den ersten Jahren aktiver Forschung das Gebiet der Unterstützung von Lernprozessen (Resnick et al., 1998). Zurückgreifend auf die Ideen Pestalozzis, Montessoris (Montessori, 2005) und Piagets (Piaget, 1976) bzw. Papert (Papert, 2000) schlagen Resnick et al. (1998) physische Objekte mit Mitteln der IT anzureichern um Spielzeuge („*digital manipulatives*“) zu schaffen, mit denen Kinder interagieren können und sich so physikalische bzw. systemtheoretische Konzepte spielerisch zu erschließen. Die Objekte fungieren dabei einerseits als Baumaterialien und „Eingabekanal“ für den Rechner, andererseits gleichzeitig auch als „Ausgabe“- bzw. Feedbackkanal über die Wirkung die in der digitalen Welt (etwa

¹“*augment the real physical world by coupling digital information to everyday physical objects and environments*”(Ishii und Ullmer, 1997)

in einer Simulation) mit der Eingabekonstellation erzielt wurde. In einer empirischen Studie untersuchen Price et al. (2003) die Verwendung von „Tangibles“ in spielerischen Lernsituationen. Sie identifizieren mehrere positive Effekte, darunter hohe Motivation bei der Interaktion mit dem System und umfassende kooperative Aktivitäten, die durch das System ermöglicht bzw. unterstützt werden. Als prominentes Ergebnis stellen die Autoren die stark ausgeprägte Tendenz zur Reflexion des Spielprozesses und der Erklärung der eigenen Tätigkeiten heraus. Sie setzen dieses Verhalten mit dem von Schön (1984) im Kontext von organisationalem Lernen beschriebene Phänomen der „*reflection in action*“ gleich.

Die Erkenntnisse der Entwicklungen und empirischen Untersuchungen in diesem Bereich wurden sowohl in der frühkindlichen Bildung (Zuckerman et al., 2005) als auch in organisationalen Lernprozessen zur Erhebung und Abstimmung von Strukturen und Abläufen in Unternehmen (The LEGO Group, 2002) eingesetzt. Die dort verfolgten Konzepte sind für diese Arbeit insofern von Interesse, als dass Tangible Interfaces dabei zur Modellbildung im engeren Sinne und – im Falle der organisationalen Anwendung – auch für „Articulation Work“ im Allgemeinen eingesetzt wurden.

Marshall (2007) versucht die möglichen Einflussfaktoren und Wirkungen von Tangible Interfaces auf Lernprozesse zu strukturieren und in einem analytischen Framework zu beschreiben. Er identifiziert sechs Perspektiven und exemplarisch mögliche Ausprägungen, die es erlauben, die Verwendung eines Tangible Interfaces in Lernprozessen strukturiert zu betrachten (siehe Abbildung 6.2).

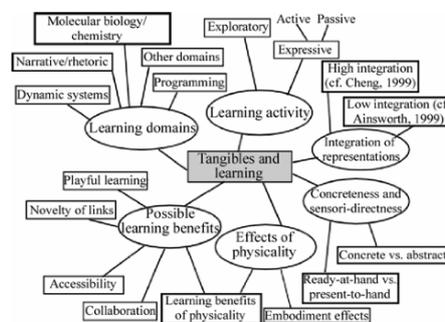


Abbildung 6.2.: Tangible Interfaces in Lernprozessen (entnommen aus Marshall (2007))

Die Perspektive „Learning Domains“ bezieht sich hier auf den Anwendungsbereich des TUI². Im konkreten Fall ist diese mit der Arbeits-Domäne, in der die „Articulation Work“ durchgeführt wird, gleichzusetzen und ändert sich deshalb je nach Anwendungsfall.

In der Perspektive „Possible Learning Benefits“ betonen die Autoren mit Bezugnahme auf Arbeiten aus den Kognitionswissenschaften die potentiell positiven Aspekte von

²Tangible User Interface

physischen Repräsentationen, die durch die haptische Wahrnehmbarkeit verständlicher als rein visuelle Repräsentationen sind. In diesem Zusammenhang erwähnen die Autoren auch die Eignung von Tangible Interfaces in kooperativen Lernsituationen, in denen das Interface durch seine physische Präsenz einen „shared space“ erzeugt, in dem Kommunikation und Interaktion erleichtert werden.

Relevant im Kontext von „Articulation Work“ bzw. der Externalisierung und Abstimmung von mentalen Modellen sind die beiden Lernformen, die in der Perspektive „Learning Activity“ identifiziert wurden. Demnach ermöglichen Tangible Interfaces besonders explorative und expressive Aktivitäten. Erstere beziehen sich auf eine Erforschung einer existierenden physischen Repräsentation, die experimentell verändert werden kann und die Entwicklung eines tiefergehenden Verständnisses für das repräsentierte Phänomen ermöglicht. Zweitere beziehen sich auf Erzeugung von Repräsentationen mit dem Tangible Interface. Dabei kann die Abbildung direkt erfolgen, alternativ kann aus der Interaktion mit dem Interface eine Repräsentation (etwa eines Arbeitsablaufs) vom System automatisiert abgeleitet werden.

Die übrigen Perspektiven sind für den hier betrachteten Anwendungsfall nur bedingt relevant („Concreteness and sensori-directness“) oder werden in späteren Abschnitten noch detaillierter behandelt („Integration of representations“ bzw. „Effects of physicality“). Auf sie wird hier deshalb nicht näher eingegangen.

6.3. Kooperation und Tangible Interfaces

„Articulation Work“ wird in einem Großteil der Anwendungen kooperativ durchgeführt. Die hier zu unterstützende „explizite Articulation Work“ zur Abstimmung mentaler Modelle mittels Externalisierung findet immer unter Beteiligung mehrerer Individuen statt, die simultan versuchen, ihre individuellen Sichtweisen auf einen Arbeitsablauf abzustimmen. In Kapitel 3 wurde auf die Nützlichkeit von physischen Repräsentationen bei der Externalisierung mentaler Modelle verwiesen. Auch in der Domäne der Tangible Interfaces wurde die Wirkung der dedizierten, physischen Schnittstelle auf die Kooperation der beteiligten Individuen untersucht (erstmalig in (Hornecker, 2001)). Die dort gezogenen Schlüsse sind Gegenstand dieses Abschnitts.

Tangible Interfaces bieten durch die physische Ausgestaltung der Benutzungsschnittstelle oft die Möglichkeit, nicht exklusiven Zugriff auf die Funktionen des Systems und so eine kooperative Verwendung zu ermöglichen. Hornecker (2004) geht über die rein simultane Zugreifbarkeit auf das System hinaus und attestiert Tangible Interfaces eine inhärent kooperationsunterstützende Wirkung. Sie identifiziert im Kern vier sozial Effekte von Tangible Interfaces:

- Intuitive und simultane Manipulierbarkeit
- Fokus-stärkende Wirkung

- Awareness, Gestik und performative Bedeutung der Handlungen
- Externalisierungsfunktion und Rolle als Boundary Object

Diese Effekte werden in den folgenden Abschnitten kurz auf Basis der Ausführungen der Autorin zusammengefasst und in den Kontext der Unterstützung von „Articulation Work“ gesetzt. Für eine detaillierte Beschreibung sei hier auf (Hornecker, 2004, S. 147-212) verwiesen. Auch die Referenzen zu den einzelnen hier wiedergegebenen Hypothesen sind dort zu finden – in dieser Arbeit wurde auf deren Angabe verzichtet.

6.3.1. Intuitive und simultane Manipulierbarkeit

Tangible Interfaces wird eine intuitive Manipulierbarkeit zugeschrieben. Dies bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Zugang zum System spielerisch und erfahrungsorientiert erfolgen kann und keine Übersetzung der intendierten Handlungen auf am Rechner ausführbare Aktivitäten erfolgen muss. Dies ist vor allem für Personen eine Erleichterung, denen der abstahierende Zugang schwerfällt. Konkret zeigt sich das unter anderem bei der Externalisierung von Handlungswissen, das an bestimmte Situationen gebunden ist und von den handelnden Personen nur schwer bzw. nicht generalisiert werden kann. Kann während der Externalisierung in der realen, physischen Welt verblieben werden, erleichtert dies den Zugang zum System und führt im Allgemeinen zu vollständigeren bzw. stimmigeren Externalisierungen.

Zudem ermöglicht ein einfacher Zugang zum System eine Konzentration auf die eigentliche Arbeitsaufgabe – das Werkzeug tritt in den Hintergrund. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Anforderung, Änderung einfach rückgängig machen zu können, so dass inhaltliche Experimente einfach und ohne Aufwand korrigiert werden können, wenn sie sich als nicht zielführend erweisen (Klemmer et al., 2002).

Die simultane Manipulierbarkeit vieler Tangible Interfaces fördert ebenfalls die Kooperation bei der Benutzung des Systems. Der nicht-exklusive Zugang zur Benutzungsschnittstelle ermöglicht erst eine unmittelbare Zusammenarbeit am Arbeitsgegenstand. In Kombination mit der intuitiven Manipulierbarkeit wird der Kooperations-Aspekt noch weiter gestärkt, da Spezialkompetenzen zur Bedienung des Systems nicht notwendig sind. Der Zugang zur Schnittstelle wird damit auch egalitärer und schließt nicht einzelne Benutzergruppen von der Bedienung des Werkzeugs aus. Dies wird vor allem in partizipativen Planungs- und Entwurfsprozessen (wie „expliziter Articulation Work“) deutlich, in denen Personen unterschiedlicher Fach- und Medienkompetenz zusammenarbeiten müssen.

Der physische Interaktionsraum führt neben der simultanen Manipulierbarkeit auch zu natürlicheren Interaktionsabläufen zwischen den beteiligten Individuen. Im Gegensatz zu Systemen, bei denen im virtuellen Raum interagiert wird, müssen keine expliziten Synchronisationsmechanismen eingeführt werden, die etwa Bearbeitungskonflikte vermeiden. Die Abstimmung erfolgt durch die unmittelbare Manipulation direkt und muss

nicht weiter technisch unterstützt werden. Auch ist im Allgemeineren eine feingranuläre Interaktion als bei bildschirmbasierter Zusammenarbeit zu beobachten. „Feingranular“ bedeutet hier, dass der Aktivitätsfokus („Turn-taking“) öfter wechselt und somit zu gleichmäßigeren Einzelbeiträgen im Gesamtergebnis führt.

6.3.2. Fokus-stärkende Wirkung

Physische Modelle, die mittel Tangible Interfaces erstellt werden oder Gegenstand desselben sind, wirken nicht nur räumlich fokussierend, sondern konkretisieren auch die inhaltliche Interaktion und fördern lösungsorientierte Diskussionen.

Die inhaltlich fokussierende Wirkung ist auf mehrere Aspekte zurückzuführen, die bei unterschiedlichen Ausprägungen von Tangible Interfaces unterschiedlich stark auftreten. Die folgenden Ausführungen sind im Kontext von (den in dieser Arbeit relevanten) tischbasierten Systemen zu sehen, auf die sich auch Hornecker (2004) vorrangig bezieht.

Der erste erwähnenswerte Einflussfaktor ist die fokussierende Wirkung einer physisch im Zentrum stehenden Repräsentation, die von den beteiligten Individuen „umringt“ wird. Diese Konstellation schafft einen gemeinsamen „Transaktionsraum“ und wirkt als „soziales Signal“ für die Kommunikationsaufnahme. Entfernte (etwa auf eine Wand projizierte) Repräsentationen führen nicht zu derartigen Konstellationen.

Die physische Repräsentation wird zu einem gemeinsamen Bezugspunkt und erzeugt sozialen Druck, sich bei der Diskussion auf sie zu beziehen. Zudem erleichtert sie die Durchsetzung der Forderung nach Konkretisierung von artikulierten Gedanken und visualisiert gleichzeitig die Auswirkungen möglicher Entscheidungen.

Die „Öffentlichkeit“ physischer Repräsentationen, deren Veränderung für alle beteiligten Individuen einsehbar ist, fördert die individuelle Reflexion von eingebrachten Ideen und Gedanken und erleichtert gleichzeitig die Konsensfindung und pragmatische Konfliktlösung.

Wesentliche Faktoren für die fokussierende Wirkung von physischen Repräsentationen sind deren Größe, die Sichtbarkeit und Öffentlichkeit sowie deren Materialität. Hinsichtlich der Größe existiert sowohl eine Unter- als auch eine Obergrenze für das Auftreten der fokusfördernden Wirkung. Ist die Repräsentation zu klein, ist sie unter Umständen nur für einen Teil der beteiligten Individuen zu erkennen und verhindert eine nicht-exklusive Manipulation. Ist sie zu groß, kann die Repräsentation unter Umständen nicht in ihrer Gesamtheit erfasst werden.

Neben der Fokuswirkung der Repräsentation ist auch jene der verwendeten Werkzeuge zur Manipulation des Systemzustandes relevant. Im Gegensatz zu generischen Werkzeugen wie Tastatur und Maus schränken physisch für eine bestimmte Aufgabe ausgelegte Werkzeuge den Interaktionsraum auf natürliche Art und Weise ein. Konzeptuell durchdachtes Interaktionsdesign führt so zu einer Fokussierung auf die möglichen Aktionen

und lenken die Aufmerksamkeit der Individuen auf jene Strukturen, die durch diese manipuliert werden.

6.3.3. Awareness, Gestik und performative Bedeutung der Handlungen

Die physische Präsenz einer Benutzungsschnittstelle im realen Raum erlauben, im Gegensatz zu bildschirmbasierten Schnittstellen, die Aufmerksamkeit nicht ausschließlich auf die Interaktion mit dem System zu konzentrieren. Vielmehr ist es möglich durch die periphere Wahrnehmung der Umgebung die „Awareness“ (Dourish und Bellotti, 1992) – also das Bewusstsein über das, was im räumlichen und inhaltlichen Kontext der eigentlichen Aufgabe passiert – zu erhöhen.

Die „Awareness“ umfasst auch bzw. vor allem die Tätigkeiten anderer Individuen, die an der Interaktion beteiligt sind³. Durch die räumliche Nähe sind die Handlungen dieser Individuen nicht nur in ihrer Konsequenz (also der Wirkung auf die Repräsentation) erkennbar, sondern umfassender wahrnehmbar. Handlungen werden schon durch die beginnende Bewegung vor ihrer Durchführung wahrgenommen, auch die eigentliche Handlung erzeugt wahrnehmbare Effekte. Dadurch kommt es zu einer impliziten Abstimmung der Handlungen der einzelnen Personen (gleichzusetzen mit der Durchführung von „implicit Articulation Work“), eine explizite Aushandlung der kooperativen Handhabung der Schnittstelle ist im Normalfall nicht mehr notwendig. Dies korreliert mit der im letzten Abschnitt dargestellten Hypothese, dass physische Benutzungsschnittstellen gegenüber der eigentlichen Arbeitsaufgabe in den Hintergrund treten und eine starke Fokussierung auf diese erlauben.

Das physisch vorhandene Modell fungiert außerdem als Referenzrahmen für non-verbale Kommunikation etwa mittels Gesten. Durch Zeigen auf oder Antippen von Elementen eines TUI wird nicht nur der Fokus der Interaktion auf den durch dieses Element repräsentierten Aspekt gelenkt. Je nach Stärke und Ausprägung der referenzierenden Handlung kann damit auch eine performative Bedeutung verbunden sein. So kann zum Beispiel das Weiterreichen eines Elements die Übergabe der Kontrolle ausdrücken oder starkes Antippen eines Elements mit der Aufforderung verknüpft sein dieses in der Diskussion zu berücksichtigen.

6.3.4. Externalisierungsfunktion und Rolle als Boundary Object

Die Unterstützung von Externalisierung mittels physischer Modelle wurde bereits im Kapitel 3 beschrieben. Tangible Interfaces sind als eben solche Modelle zu verstehen, die

³ „awareness is an understanding of the activities of others, which provides a context for your own activity.“ (Dourish und Bellotti, 1992, S. 1)

eine Schnittstelle zur Manipulation von beliebigen realen oder virtuellen Phänomenen bieten. Wie bereits in Kapitel 3 angeführt, wirken physische Modelle als „Ankerpunkte“ sowohl für individuelle kognitive Vorgänge als auch in der Kommunikation zwischen Individuen.

Die Unterstützung von kognitiven Vorgängen, also der Wirkung von Tangible Interfaces als „Denkhilfe“ ist insofern gegeben, als dass die physische Repräsentation Eingaben dauerhaft abbildet und so verhindert, dass diese im Verlauf der Externalisierung untergehen. Die Repräsentation wirkt so außerdem kummulativ und führt Aspekte zusammen, die in keinem offensichtlichen Zusammenhang stehen. Sie bildet in weiterer Folge auch eine Basis um unter Berücksichtigung aller externalisierten Aspekte Varianten der ursprünglichen Repräsentation zu bilden.

Externalisierte Repräsentationen wirken auch bei der Kommunikation unterstützend, fungieren in diesem Zusammenhang also als „Sprechhilfe“. Eng in Zusammenhang mit dieser Wirkung steht der Begriff der „Boundary Objects“ (Star, 1989). „Boundary Objects“ sind Objekte, die der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses zwischen Individuen aus unterschiedlichen Domänen dienen. Sie bieten im Kern eine fixe, für alle Beteiligten einheitlich verständliche Repräsentation eines beliebigen Phänomens und sind gleichzeitig so flexibel, dass sie in den jeweiligen Domänen mit spezifischer Bedeutung angereichert werden können. Tangible Interfaces wirken – wenn deren Design offen genug angelegt ist – als „Boundary Objects“ und erleichtern so die Herausbildung gegenseitigen Verständnisses. In diesem Zusammenhang ist auch die Entstehungshistorie einer physischen Repräsentation von Interesse. Durch die Nachverfolgbarkeit der Entstehung kann das Verständnis der Repräsentation erleichtert werden, da die Herausbildung der im Ergebnis enthaltenen Strukturen nachvollziehbar wird.

6.3.5. Implikationen

Die hier vorgestellten kooperationsfördernden Aspekte von Tangible User Interfaces wurden von Hornecker (2004) im Rahmen ihrer Dissertation aus der Literatur identifiziert und empirisch überprüft. Bereits aus der obigen Zusammenfassung wird erkennbar, dass ein Großteil der identifizierten Aspekte für „Articulation Work“ im Allgemeinen und die Externalisierung und Abstimmung von mentalen Modellen im Speziellen relevant ist.

Obwohl Hornecker (2004) keine Anforderungen an das Design von Tangible Interfaces identifiziert, deren Beachtung zu einer kooperationsfördernden Wirkung führt, können jedoch aus den theoretischen Ausführungen Hinweise abgeleitet werden, wie ein TUI konzipiert werden muss:

- Die physische Repräsentation muss räumlich und technisch egalitär zugänglich sein. Das Werkzeug darf die Interaktion zwischen den Benutzern nicht einschränken oder behindern.

- Die Größe der Benutzungsschnittstelle muss so ausgelegt sein, dass sowohl eine simultane Manipulierbarkeit der gesamten Repräsentation als auch deren individuelle Erfassbarkeit für alle beteiligten Individuen gegeben ist.
- Die Elemente des Tangible Interfaces müssen so konkret sein, dass die Benutzer ihnen eindeutig Bedeutung zuweisen können, gleichzeitig aber offen, dass sie als „Boundary Objects“ zwischen Benutzern aus unterschiedlichen Fachdomänen fungieren können.
- Änderungen müssen ohne bleibende Konsequenzen durchgeführt werden können bzw. leicht rückgängig gemacht werden können.
- Eine Nachverfolgbarkeit der Entstehungshistorie (ggf. mit Identifikation der individuellen Beiträge) kann zur Verständnisbildung beitragen.

6.4. Konzeptualisierung und Klassifikation von Tangible Interfaces

Die Entwicklung des Forschungsgebiets der „Tangible Interfaces“ wurde von mehreren konzeptuellen Arbeiten maßgeblich beeinflusst. Die dort vorgeschlagenen Erklärungsmodelle definieren das Gebiet und grenzen es gegenüber anderen Forschungsbereichen ab. Sie dienen außerdem als Grundlage für die strukturierte Betrachtung und Konzeption konkreter Tangible Interfaces. Im Folgenden werden diese konzeptuellen Arbeiten beschrieben und auf deren Kontext und Spezifika eingegangen.

Zur strukturierten Betrachtung von Tangible Interfaces ist es außerdem notwendig jene Dimensionen zu identifizieren, an denen sich konkrete Systeme einordnen und unterscheiden lassen. Die Ausprägungen dieser Dimensionen ergeben ein Begriffssystem, das bei der Aufbereitung von unterschiedlichen Tangible Interfaces sowie deren Vergleich helfen kann. Die hier vorgestellten Ansätze tragen verschieden detailliert und von unterschiedlichen Standpunkten aus zu dieser Thematik bei. Sie werden in der Folge strukturiert dargestellt und in Kapitel 10 auf das in dieser Arbeit entwickelte System angewandt um so das System-Design aus konzeptueller Sicht zu reflektieren und potentielle Verbesserungs- und Erweiterungsmöglichkeiten zu identifizieren.

Allgemein ist anzumerken, dass eine Vielzahl von Ausdrücken im sich entwickelnden Forschungsgebiet mehrfach belegt wurden und/oder nicht eindeutig definiert sind. Im Folgenden werden die Ausdrücke der jeweiligen Autoren übernommen. Eine Interpretation bzw. Abbildung auf die Terminologie anderer Autoren wird nur vorgenommen, wo sie im jeweiligen Artikel explizit angeführt wurde. In der Zusammenfassung dieses Abschnitts wird versucht, die unterschiedlichen Terminologien nochmals zusammenzufassen und einen Satz an Ausdrücken festzulegen, der im Folgenden für diese Arbeit Anwendung findet.

Am Ende jeder Beschreibung sind in einer tabellarischen Zusammenfassung jeweils die zentralen Konzepte und Beiträge des Ansatzes angeführt. Die Tabellen weisen einheitlich Einträge zu folgenden Themen auf:

Kategorien von Tangible Interfaces, die im Beitrag identifiziert werden (inkl. Unterscheidungsmerkmal zur Kategoriebildung).

Konzepte , die bei der Betrachtung bzw. beim Design eines Tangible User Interfaces zur Anwendung kommen.

Eigenschaften , die ein Tangible User Interface bzw. dessen Komponenten aufweisen können.

PD-Brücke : Aussagen, die der Beitrag zur Natur oder Ausgestaltung der Brücke zwischen physischer und digitaler Welt macht.

Wird in einem Beitrag keine Aussage zu einem oder mehreren dieser Themen gemacht, so ist dies explizit durch „—“ angeführt.

Die Ansätze, die in dieser Betrachtung berücksichtigt wurden, sind in der Reihenfolge der zeitlichen Entstehung angeordnet. Eine Beschreibung und Visualisierung der kausalen Zusammenhänge und Bezugnahmen erfolgt in der Zusammenfassung der Ergebnisse in Abschnitt 6.4.13. Bei der Beschreibung der Arbeiten wird nicht auf sämtliche vorgestellten Aspekte eingegangen. Es wird vielmehr auf jene Teile eingegangen, die sich mit der Konzeptualisierung oder Klassifikation von Tangible User Interfaces beschäftigen. Die berücksichtigten Ansätze wurden im Rahmen einer umfassenden Literaturstudie identifiziert und sind im Einzelnen:

- Bricks (Fitzmaurice et al., 1995)
- Graspable User Interfaces (Fitzmaurice, 1996)
- Tangible Bits (Ishii und Ullmer, 1997)
- Containers, Tokens und Tools (Holmquist et al., 1999)
- Tangible Object Meaning (Underkoffler und Ishii, 1999)
- Das MCRpd Interaktions-Modell (Ullmer und Ishii, 2000)
- Tokens and Constraints (Ullmer, 2002)
- Degree of Coherence (Koleva et al., 2003)
- Tokens and Constraints zur Spezifikation (Shaer et al., 2004)
- Kategorien von TUI-Anwendungen (Klemmer et al., 2004)
- Tangible User Interfaces Taxonomy (Fishkin, 2004)
- Tangible Bits: Beyond Pixels (Ishii, 2008)

6.4.1. Bricks

Mit „Bricks“ stellen Fitzmaurice et al. (1995) das erste als „Graspable User Interface“ bezeichnete System vor. Dieses bildet die Grundlage für weitere Arbeiten der Autoren (z.B. Fitzmaurice (1996)), die in der Folge noch behandelt werden (siehe Abschnitt 6.4.2).

Konzeptuell spannen die Autoren am Ende der Arbeit einen „Design Space“ auf, der mögliche Eigenschaften und Parameter eines Tangible User Interfaces definiert und auch deren möglichen Ausprägungen festlegt. Dabei werden einerseits technische Aspekte des Interfaces abgedeckt, andererseits wird aber auch der Aufbau und die Verwendung des TUI berücksichtigt. Die Ausprägungen sind dabei rein beschreibender Natur und werden nicht für eine wie auch immer geartete Bewertung oder Klassifikation genutzt. Das Beschreibungsschema ist stark auf auf Interfaces mit aktiv untereinander kommunizierenden Komponenten („Bricks“) abgestellt, die zur Manipulation einer digitalen Anwendung verwendet werden und auf einer physischen Oberfläche bedient werden. Passive bzw. rein informationstragende Elemente ohne Manipulationsfunktion werden nicht berücksichtigt. Dies liegt in der Natur der von den Autoren entwickelten Anwendung und dem zum Zeitpunkt der Erstellung herrschenden Mangel an alternativen Systemen begründet.

Brick's internal ability Haben die physischen Elemente Mechanismen, die zur Darstellung oder Manipulation von Information benutzt werden können? Diese Mechanismen können physischer oder elektronischer Natur sein. (Mögliche Ausprägungen: „inert“ – „simple expressions“ – „smart“)

Input & Output Welche Eigenschaften der physischen Objekte werden zur Eingabe von Information erfasst bzw. zu Ausgabe verwendet? (Keine Ausprägungen, Aufzählung der Eigenschaften für Input und Output)

Spatially aware Kann ein Brick seine Umgebung und/oder andere Bricks wahrnehmen? (Mögliche Ausprägungen: „unaware“ – „mutually aware“ – „aware of surroundings“)

Communication Wie kommunizieren Bricks untereinander bzw. mit einer eventuell vorhandenen Hintergrund-Infrastruktur (Mögliche Ausprägungen: „Wireless“ – „Tethered“ – „Grid board“)

Interaction time span Wie lange dauert eine Interaktion der Benutzer mit dem System bei der Erfüllung einer vorgegebenen Aufgabe? (Mögliche Ausprägungen: „quick (within seconds)“ – „interaction cache (seconds - minutes)“ – „long-term (days, months, years)“)

Bricks in use at same time Wieviele physische Elemente werden simultan verwendet? (Mögliche Ausprägungen (höhere Werte stehen für Größenordnung): „1“ – „2“ – „5-10“ – „50-100“)

Function assignment Wie oft und mittels welchem Vorgehen wird Bricks Funktionalität zugeordnet? (Mögliche Ausprägungen: „permanent“ – „programmable“ – „transient“)

Interaction representations Werden physische und virtuelle Objekte gleichzeitig verwendet, um den Systemzustand darzustellen bzw. zu manipulieren? (Mögliche Ausprägungen: „all physical“ – „mix, physical dominates“ – „balanced mix“ – „mix, virtual dominates“ – „all virtual“)

Physical & Virtual layers Werden physische und virtuelle Interaktions-Schichten separat oder kohärent dargestellt? (Mögliche Ausprägungen: „direct (superimposed)“ – „indirect (separated)“)

Bond between physical & virtual layers Wie stark sind die physischen mit den virtuellen Objekten gekoppelt? (Mögliche Ausprägungen: „tightly coupled (real time sync)“ – „loosely coupled (batch sync)“)

Operating granularity Wie groß ist der Referenzrahmen für die Interaktion mit den physischen Elementen und wie genau werden die Positionen der Elemente aufgelöst? (Mögliche Ausprägungen: „Desktop (fractions of inches accuracy)“ – „Room (inch accuracy)“ – „Building (room accuracy)“)

Operating surface type Werden die physischen Elemente auf einer fix vorgegebenen, unveränderlichen Oberfläche verwendet oder kann sich die Oberfläche dynamisch verändern (z.B. Information anzeigen)? (Mögliche Ausprägungen: „static (e.g. paper)“ – „dynamic (e.g. screen)“)

Operating surface texture Welche Auflösung oder Textur besitzt die Arbeitsoberfläche, auf der die physischen Elemente bewegt werden? (Mögliche Ausprägungen: „discrete (e.g. grid board)“ – „continuous, smooth movement“)

Betrachtungsgegenstand ist bei diesem Ansatz das gesamte TUI, auf spezifische Eigenschaften einzelnen Komponenten wird nicht separat eingegangen. Die physischen Elemente (hier „Bricks“) werden nicht im Detail betrachtet, sondern nur hinsichtlich ihrer Verwendung im Gesamtsystem und ihrer technischen Einbindung berücksichtigt.

Kategorien	—
Konzepte	Brick
Eigenschaften	<i>Gesamtsystem</i> : Brick’s internal ability, Input & Output, Spatially aware, Communication, Interaction time span, Bricks in use at same time, Function assignment, Interaction representations, Physical & virtual layers, Bond between physical & virtual layers, Operating granularity, Operating surface type, Operating surface texture
PD-Brücke	—

6.4.2. Graspable User Interfaces

Fitzmaurice legt in jener Arbeit, in der der Begriff des „Graspable User Interfaces“ erstmals ausführlich eingeführt wird (Fitzmaurice, 1996), auch Eigenschaften fest, anhand derer sich die „Graspability“ einer Benutzungsschnittstelle zeigt und beurteilen lässt. Im wesentlichen handelt es sich dabei um einen auf die für die Beurteilung der „Graspability“ relevanten reduzierten Satz an Eigenschaften, die bereits in (Fitzmaurice et al., 1995) angeführt wurden (siehe Abschnitt 6.4.1). Die Beurteilung erfolgt auf einer generischen Skala mit Ausprägungen von „niedrig“ bis „hoch“, wobei „hohe“ Werte in mehreren Eigenschaften auf eher hohe „Graspability“ hinweisen. Die Eigenschaften beziehen sich auf Tangible User Interfaces, die lediglich Werkzeuge zur Manipulation von digitalen Daten besitzen, jedoch keine physische Repräsentation von Information aufweisen. Diese Einschränkung ist wiederum auf die historische Entwicklung des Gebiets und die ersten Versuche GUI-Paradigmen in den physischen Raum zu übersetzen zurückzuführen.

Space-multiplexing Ändern sich die Zuordnungen zwischen physischen Elementen und digitalen Funktionen über die Zeit oder existiert eine permanente Zuordnung? (Mögliche Ausprägungen: kontinuierlich von „transient, always reassign“ – „permanent, never reassign“)

Concurrency Ist die gleichzeitige Ausführung mehrere Operationen mit mehreren physischen Elementen (abhängig oder unabhängig voneinander) möglich und vorgesehen? (Mögliche Ausprägungen: „1“ – „occasionally 2“ – „2“ – „3“ – „more than 3“)

Physical form Lässt sich aus der physischen Form auf die ausgeführte Funktion schließen oder sind die Werkzeuge generisch für unterschiedliche Funktionen verwendbar? (Mögliche Ausprägungen: „generic“ – „specific“)

Spatially aware Erfasst und berücksichtigt das System die Positionen, Orientierung und/oder Nähe der physischen Objekte bei der Interpretation der Interaktion? (Mögliche Ausprägungen: „unaware“ – „aware“)

Spatial reconfigurability Kann das System in unterschiedlichen physischen Kontexten betrieben werden oder kann es ausschließlich ortsgebunden eingesetzt werden? (Mögliche Ausprägungen (bezogen auf TUIs aus einzelnen, handhabbaren Objekten): „permanent location“ – „stationary“ – „track“ – „tethered“ – „free-ranging (rapid layout)“)

Fitzmaurice stellt mit diesen Eigenschaften ein Framework für die Einordnung eines TUI als Gesamtsystem zur Verfügung und geht nicht auf einzelne Komponenten ein. Die Eigenschaften beziehen sich auf das Design des Systems und ignorieren dessen Verhalten. Die ersten beiden und die letzte Eigenschaft sind mit einer kontinuierlichen Skala hinterlegt, *physical form* und *spatially aware* sind binäre Eigenschaften, die entweder gegeben sein können oder nicht.

Kategorien	—
Konzepte	—
Eigenschaften	<i>Gesamtsystem</i> : Space-multiplexing (transient – permanent), Concurrency (1 – mehr als 3), Physical form (generic, specific), Spatially aware (unaware, aware), Spatial reconfigurability (permanent location – free-ranging)
PD-Brücke	—

6.4.3. Tangible Bits

Ishii und Ullmer (1997) stellen in ihrer Arbeit die Idee der „Tangible Bits“ vor, die die virtuelle Welt mit der realen Umwelt verknüpfen soll. Dabei wird digitale Information mit realen Objekten oder Phänomenen gekoppelt und so „tangibel“ gemacht. Die Autoren unterscheiden drei grundsätzliche Kernkonzepte, mit Hilfe derer die Idee umgesetzt werden kann:

Interactive Surfaces , bei denen beliebige Oberflächen in der realen Welt (etwa Wände oder Schreibtische) zu aktiven Schnittstellen zur virtuellen Welt werden.

Coupling Bits and Atoms , wo physischen Objekten Information zugeordnet wird, so dass die realen Objekte zu Trägern von und Schnittstellen zu digitaler Information werden.

Ambient Media , bei deren Einsatz Information über die Umgebung der Benutzer vermittelt wird (z.B. mittels Veränderung der Beleuchtung) ohne die eigentliche Tätigkeit zu unterbrechen.

Die Autoren ordnen Tangible Bits an die Schnittstelle zwischen den Forschungsgebieten „Ubiquitous Computing“ und „Augmented Reality“ ein. „Ubiquitous Computing“ (Weiser, 1991) beschäftigt sich mit Anwendungen, in denen Computer nicht mehr als solche wahrnehmbare Werkzeuge eingesetzt werden, sondern in der Umgebung integriert sind und von Benutzern nicht mehr bewusst wahrgenommen, sondern nur noch als Teil der Alltagswelt benutzt werden. Tangible Bits erben von dieser Forschungsrichtung die Idee der physischen, natürlichen Interaktion zwischen Benutzern und Rechner, unterscheiden sich aber insofern, dass nach wie vor ein Interface zur virtuellen Welt vorhanden ist, diese also zum Teil noch bewusst wahrgenommen wird. In diesem Aspekt ähneln Tangible Bits den Ideen, die aus der „Augmented Reality“ Forschung stammen. Augmented Reality beschäftigt sich mit Methoden, die die reale Welt mit digitaler Information nahtlos ergänzen bzw. anreichern. Vor allem im Bereich der Ausgabetechnologien werden bei Tangible Bits viele aus dem „Augmented Reality“-Bereich stammende Konzepte eingesetzt.

Nach dieser grundlegenden Begriffsklärung stellen die Autoren Prototypen vor, die sowohl das Konzept der „Interactive Surfaces“ als auch der „Ambient Media“ umsetzen. Erwähnenswert ist im Zusammenhang mit dieser Arbeit der Prototyp „metaDESK“

(Ullmer und Ishii, 1997), eine interaktive Oberfläche in Form eines Tisches, auf der die klassischen Interaktionselemente eines GUI⁴ in die reale Welt transferiert wurden. Dabei wurden die GUI-Elemente auf TUI-Elemente abgebildet⁵:

- Windows werden auf „Lenses“ abgebildet, also Linsen, die Information zu realen, physischen Elementen anzeigen.
- Icons werden in der physischen Welt als „Phicons“ abgebildet und sind im Wesentlichen physische Objekte, die Information repräsentieren.
- Menüs werden durch „Trays“ repräsentiert, in denen Phicons an unterschiedlichen Stellen abgelegt werden können, wobei jeweils eine spezifische Operation an die Ablageposition gebunden ist.
- Handles (Elemente zur Manipulation von GUI-Objekten) werden durch „Phandles“ abgebildet. Dies sind im Wesentlichen Phicons, die zur Eingabe von Information verwendet werden können.
- Widgets (Kontroll- und Steuerelemente) werden durch „Instruments“ abgebildet, welche Phicons sind, die zur Steuerung der jeweiligen Applikation dienen.

Ohne hier weiter auf die Beispiele der Autoren einzugehen, ist doch das den Prototypen zugrunde liegende Designkonzept erwähnenswert, etablierte Metaphern aus der realen oder digitalen Welt für die Benutzerinteraktion zu verwenden. In der Diskussion ihrer Ergebnisse identifizieren die Autoren die Thematik der Metaphern, die die Brücke zwischen realer und virtueller Welt schlagen, als eine der interessantesten offenen Fragen für weitere Forschung auf dem Gebiet. Als Schlussfolgerung ihrer Erfahrungen mit den erstellten Prototypen schlagen sie außerdem vor „optischen“ Metaphern besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da diese für den Brückenschlag besonders geeignet sind.

Als optische Metaphern verwenden die Autoren vor allem Beleuchtung, Schattenwurf und Linsen. Sie bilden diese realen Phänomene auf die Schnittstelle zwischen digitaler und realer Welt ab, so dass z.B. digitale Beleuchtung Information sichtbar macht, die in „unbeleuchteten“ Gebieten fehlt, dass reale Objekte digitale Schatten werfen können und so zusätzliche Information transportieren oder dass eine digitale Linse verwendet wird, um reale Objekte „näher“ zu betrachten und Zusatzinformation einzublenden. Bei der Verwendung von Metaphern wird darauf hingewiesen, dass es wichtig ist, auf ein realitätsgetreues Verhalten der digital augmentierten Artefakte zu achten um eine nahtlose Integration der digitalen Information in die reale Welt zu ermöglichen.

⁴Graphical User Interface

⁵dies stellt im Übrigen die historisch erste Erwähnung des Begriffs „Tangible User Interface“ dar

Kategorien	Interactive Surfaces, Coupling Bits and Atoms, Ambient Media (Einordnung nach Anwendungsfall)
Konzepte	Lenses, Phicons, Tray, Phandles, Instruments
Eigenschaften	—
PD-Brücke	zentraler Aspekt: Verwendung etablierter Metaphern

6.4.4. Containers, Tokens und Tools

Holmquist et al. (1999) legen ihre Arbeit als konzeptuelle Betrachtung von interaktiven Systemen an, in denen physische Objekte verwendet werden, um auf digitale Information zuzugreifen bzw. diese zu manipulieren. Das Einteilungsschema, das die Autoren vorschlagen, basiert auf der Art und Weise, in der Information an diese physischen Objekte gebunden ist. Grundsätzlich unterschieden sie zwischen *Containern*, *Tokens* und *Tools*. Eine exakte Abgrenzung bzw. eindeutige Zuordnung zu einer Kategorie ist dabei nicht immer möglich oder sinnvoll.

Der hier vorgestellte Ansatz fokussiert auf die physische Interaktion als Eingabemedium, auf den Aspekt der Informationsausgabe wird nicht eingegangen. Dies ist für das Verständnis der folgenden Beschreibungen im Kontext der späteren historischen Entwicklung wichtig und muss bei der Anwendung dieses Ansatzes berücksichtigt werden.

Containers

Als Container werden all jene Objekte bezeichnet, an die beliebige digitale Information gebunden werden kann. Ein Container ist also ein unspezifisches physisches Objekt in einem Tangible User Interface. Sein Aussehen oder andere physische Eigenschaften lassen keine Aussage über die Art der angebotenen Information bzw. die Information selbst zu.

Beliebige physische Objekte können als Container agieren, sofern sie die Möglichkeit bieten Information in bzw. auf ihnen abzulegen oder wenn sie durch eine Infrastruktur eindeutig identifizierbar sind, so dass Information an sie gebunden werden kann. Container agieren somit ausschließlich als physische Informationsträger und können verwendet werden um Information zwischen Systemen zu transportieren.

Ein typisches Beispiel ist die Verwendung eines Füllfederhalters als Container, an den beliebige Information gebunden werden kann, um diese von einem Ort zum anderen transportieren zu können. Der Füllfederhalter steht in keinem direkten Zusammenhang mit der angebotenen Information, aus seinem Erscheinungsbild oder seinen Eigenschaften kann nicht auf die angebotene Information geschlossen werden.

Tokens

Tokens sind physische Objekte, deren äußeres Erscheinungsbild bzw. deren Eigenschaften in irgendeiner Weise mit der durch sie repräsentierten Information zusammenhängen. Das physische Objekt und die angebundene Information sind nicht mehr voneinander unabhängig, sondern stehen in einem konzeptuellen Zusammenhang. Die äußere Form oder andere physische Eigenschaften dienen als Hinweis auf die angebundene Informationsart oder stehen sogar in Zusammenhang mit der konkret angebundene Information.

Ein typisches Beispiel für ein Token ist ein Buch, an das über eine eindeutige Identifikation (etwa ein RFID⁶-Tag) der jeweilige Text oder Zusatzmaterial gebunden wird. Das physische Buch steht dabei in direktem Zusammenhang mit der angebundene digitalen Information.

Tools

Tools sind physische Elemente, die nicht Information, sondern Funktionen repräsentieren. Die Anwendung von Tools hat dabei nicht unbedingt physische Auswirkungen, jene digitalen, virtuellen Objekte, auf die das Tool angewandt wird, werden aber entsprechend der Funktion des Tools manipuliert.

Beispiele für Tools sind physische Objekte, die zur Auswahl digitaler Objekte dienen oder Objekte wie Linsen, deren Anwendung zusätzliche Information zu anderen Containern oder Tokens abrufen.

Zugriff auf und Interaktion mit Tokens und Containern

Der Zugriff auf die Information, die an ein Token oder einen Container gebunden ist, erfolgt über *Information Faucets* (also „Informations-Zapfhähne“ oder „-Armaturen“). Diese Faucets sind aktive Komponenten (im Gegensatz zu Tokens und Containern, die im Allgemeinen passive Komponenten sind, also keine dedizierte Elektronik enthalten). Deren Aufgabe besteht darin, aus Tokens oder Containern, die in deren Reichweite gelangen, die angebundene Information zu extrahieren und auszugeben. Faucets können auch dazu verwendet werden, den Zugriff auf Information einzuschränken. So kann die Ausgabe von Information an eine bestimmte Kombination von Tokens oder Containern gebunden werden oder von einem bestimmten Aufenthaltsort abhängig gemacht werden.

Die Anbindung von Information an ein Token oder einen Container kann ebenfalls eingeschränkt sein, bzw. ist im Fall von Tokens per Definition durch den notwendigen Zusammenhang zwischen physischem Element und Information eingeschränkt. Neben dieser konzeptuell notwendigen Einschränkung können auch weitere Regeln geprüft werden oder z.B. die Bindung zwischen Objekt und Information statisch (d.h. unveränder-

⁶Radio Frequency Identification

bar) gespeichert werden.

Kategorien	—
Konzepte	Container, Token, Tool, Faucet
Eigenschaften	—
PD-Brücke	Zugriff auf an physische Elemente gebundene Information nur via Faucets, kein direkter Zugriff vorgesehen

6.4.5. Tangible Objects Meaning

Im Rahmen der Entwicklung einer „Interactive Surface“ zur Stadtplanung („Urp“) stellen Underkoffler und Ishii (1999) ein Kontinuum von möglichen Bedeutungen bzw. Verwendungszwecken der physischen Objekte eines TUI vor. Die Ausprägungen auf der Achse unterscheiden sich in der Stärke der Abstraktion der verwendeten Objekte von ihren Gegenständen in der realen Welt. Im Zentrum der Achse stehen nicht abstrahierte Objekte, die in Struktur und Verhalten ihren realen Entsprechungen ähneln.

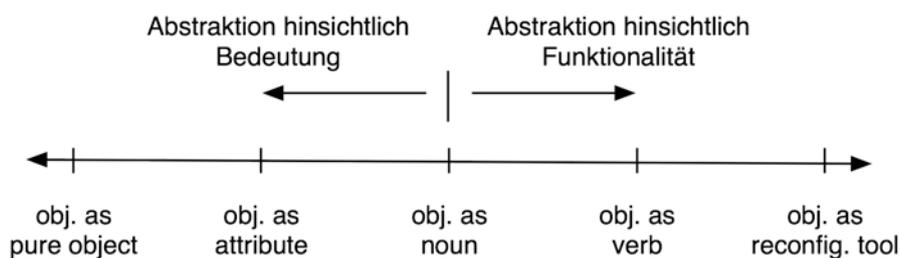


Abbildung 6.3.: Bedeutung von Objekten in TUIs (adaptiert übernommen aus (Underkoffler und Ishii, 1999))

Object as noun Derartige Objekte sind Platzhalter für Objekte der realen Welt, denen sie in Form und Verhalten weitgehend entsprechen. Sie stehen für das reale Objekt und werden in dessen Sinne verwendet.

Object as verb Die Bedeutung betreffender Objekte reduziert sich auf deren Funktionalität, die Objekte sind nicht mehr Teil der Repräsentation des Systemzustandes sondern werden dazu verwendet, diesen (entsprechend ihrer Funktion) zu verändern.

Object as reconfigurable tool Das Objekt wird funktional vollständig von seiner eigentlichen Natur abstrahiert verwendet. Die physischen Eigenschaften stehen nicht mehr in Beziehung zu seiner Verwendung zur Manipulation des Systemzustandes. Die Funktionalität ist dynamisch zuweis- bzw. auswählbar.

Object as attribute Objekte werden auf eine ihrer Eigenschaften reduziert. Nur diese wird verwendet, um den Systemzustand abzubilden. Mögliche Eigenschaften sind z.B. Form, Farbe oder Gewicht des Objekts.

Object as pure Object Das Objekt wird zum reinen Informationsträger, bei dem die Information nicht in Bezug zur physischen Form oder den Eigenschaften des Objekts steht.

Die Achse ist dabei als konzeptueller Ring zu verstehen, der sich an den beiden Enden wieder schließt. Einem Objekt, dessen physischen Eigenschaften keine Rolle im TUI mehr spielen, kann beliebig Inhalt oder Funktionalität zugewiesen werden, wodurch die Grenze zwischen linkem und rechtem Ende der Achse verschwimmt.

Kategorien	—
Konzepte	Object as pure object, Object as attribute, Object as noun, Object as verb, Object as reconfigurable tool
Eigenschaften	—
PD-Brücke	abhängig von der Art der Tokens

6.4.6. Das MCRpd Interaktions-Modell

Basierend auf früheren Arbeiten (siehe Abschnitt 6.4.3) entwickeln Ullmer und Ishii (2000) ein Modell zur Beschreibung der Interaktion mit Tangible User Interfaces. Es handelt sich bei dieser Arbeit um den ersten Ansatz, der sich diesem Bereich aus Sicht der Systemstruktur nähert und nicht ausschließlich eine reine Klassifikation nach bestimmten Merkmalen eines Systems vornimmt.

Die Autoren grenzen TUIs von GUIs insofern ab, als das TUIs über eine nahtlose Integration zwischen Repräsentation des Systemzustandes und dessen Kontrolle aufweisen (im Gegensatz zu GUIs, bei denen der Systemzustand über einen graphischen Kanal ausgegeben wird und über andere Kanäle, etwa Tastatur und Maus, kontrolliert wird). Mit der Forderung nach nahtloser Integration von Repräsentation und Kontrolle – also im Wesentlichen einer Einheit von Eingabe- und Ausgabe-Kanälen – wird ein eher striktes Verständnis von TUIs vorgeschlagen. Als Tangible User Interface kann ein System demnach nur bezeichnet werden, wenn es Ein- und Ausgabe kohärent über einen Kanal führt.

Diese Verständnis setzten die Autoren in der Folge in einem Interaktionsmodell für TUIs um, dass die Struktur eines Tangible User Interfaces konzeptuell beschreibt. Das Modell wird dabei analog zum MVC⁷-Modell konzipiert, in dem „View“ und „Controller“ strikt getrennt betrachtet werden. Entsprechend der engeren Kopplung zwischen

⁷Model-View-Controller

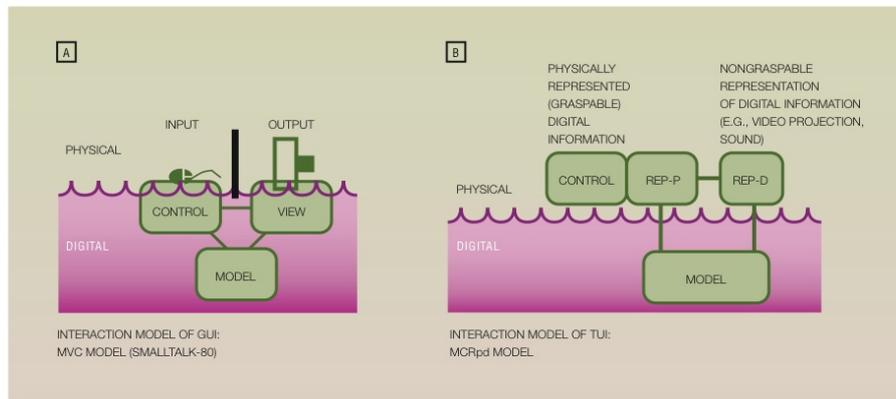


Abbildung 6.4.: Interaktionsmodelle für GUI und TUI (übernommen von Ullmer und Ishii (2000))

Repräsentation und Kontrolle wird die Bezeichnung MCRpd⁸-Modell vorgeschlagen (siehe Abbildung 6.4). Anhand der Gegenüberstellung zwischen MVC- und MCRpd-Modell wird die Unterscheidung zwischen GUI und TUI deutlich. Beiden Ansätzen ist gemein, dass der Systemzustand im Rechner durch ein *Model* dargestellt wird. Unterschiede zeigen sich in der Art der Manipulation und Manifestation dieses *Models*. Bei GUIs ist Eingabe und Ausgabe strikt getrennt. Die Manipulation des Systemzustandes erfolgt durch die Komponente *Control*, in der physische Kontrollgeräte eine Veränderung des Zustandes erlauben. Die Kontrollgeräte sind dabei im Allgemeinen generisch, d.h. unabhängig vom konkreten Anwendungsfall (also etwa Maus oder Tastatur). Erst durch digitale Kontroll-Elemente wird die Ein- und Ausgabe applikationsspezifisch angepasst. Die Ausgabe erfolgt durch die Komponente *View*, wobei auch in diesem Fall ein generisches Ausgabegerät (etwa ein Bildschirm) verwendet wird. Im Falle eines TUI existiert keine Trennung zwischen Ein- und Ausgabe. Das *Model* manifestiert sich durch eine *Representation* in der realen Welt. Diese *Representation* hat eine physische Komponente (*REP-P*) und eine digitale Komponente (*REP-D*), die miteinander verknüpft sind. Die digitale Komponente der Repräsentation umfasst dabei all jene Information, die nicht durch physische, berührbare Elemente dargestellt wird (etwa Projektion, Audio, ...). Sie steht dabei jedoch nicht für sich selbst sondern ist immer von einer physischen Repräsentations-Komponente abhängig bzw. dieser zugeordnet. Die physischen Komponenten (*REP-P*) spielen insofern eine zentrale Rolle, als dass ihnen auch die *Control* zugeordnet ist und über sie damit der Systemzustand manipuliert werden kann. Die physischen Komponenten des Ausgabe-Kanals fungieren also zugleich als Instanzen des Eingabe-Kanals.

Basierend auf diesem Ansatz identifizieren die Autoren vier Kern-Charakteristika von Tangible User Interfaces, die sich jeweils an den physischen Komponenten zeigen:

⁸Model-Control-Representation (physical and digital)

- Physikalische Repräsentationen sind mit digitaler Information gekoppelt
- Physikalische Repräsentationen enthalten Mechanismen zur Kontrolle des Systems
- Physikalische Repräsentationen sind in der Wahrnehmung der Benutzer mit digitalen Repräsentationen gekoppelt
- Der physische Zustand eines Tangible Interfaces stellt die Kernaspekt des Systemzustandes dar

Aufbauend auf diesen Eigenschaften entwickeln die Autoren in der Folge ein Schema, das unterschiedliche Ansätze bei der Konzeption eines Tangible Interfaces abdeckt. Als zentrale Ansätze werden „spatial“ (räumliche), „relational“ (relationale) und „constructive“ (konstruierende) Ansätze unterschieden. Räumliche Ansätze nutzen die Anordnung der physischen Elemente in einem Referenzrahmen um den Systemzustand zu repräsentieren bzw. zu manipulieren. Bei relationalen Ansätzen ist die räumliche Anordnung unwesentlich, lediglich die Beziehungen zwischen den Elementen codieren den Systemzustand. Konstruierende Ansätze sind zwischen den beiden erstgenannten Ansätzen einzuordnen, da sie Beziehungen zwischen Elementen durch eine räumliche Anordnung der Elemente zueinander abbilden. Systeme, in denen Information lediglich in der Zuordnung zu einem physischen Element codiert wird und nicht in der Beziehung zwischen den Elementen, werden in die Kategorie der „associative“ (assoziativen) Ansätze eingeordnet.

Als zusätzliche Gestaltungsdimension führen die Autoren die Konzeption der physischen Repräsentationen an, die bereits von Ullmer und Ishii (1997) eingeführt wurde. Unterschieden wird hier zwischen „iconic“ und „symbolic representations“, wobei ikonische Elemente einen Bezug zu dem jeweils repräsentierten Objekt der realen Welt haben (etwa ein Bild einer Person), während diese Möglichkeit der Zuordnung bei symbolischen Elementen nicht gegeben ist (etwa bei der Repräsentation einer Person durch ein rotes Rechteck). Aus einer umfassenden Betrachtung der zum Zeitpunkt der Erstellung des Artikels verfügbaren Tangible User Interfaces schließen die Autoren, dass ikonische Repräsentationen vorrangig in räumlichen und assoziativen Ansätzen zum Einsatz kommen, während symbolische Repräsentationen eher bei relationen oder konstruierenden Ansätzen anzutreffen sind.

Kategorien	spatial, relational, constructive, associative (Einordnung nach Art der Informationsrepräsentation)
Konzepte	Model, Rep-P, Rep-D, Control
Eigenschaften	<i>Rep-P</i> : iconic, symbolic
PD-Brücke	Informationsrepräsentation immer an ein physisches Objekt gebunden. Manipulation der Information erfolgt mittels dem gleichen Objekt

6.4.7. Tokens und Constraints nach Ullmer

Der Token+Constraint-Ansatz wurde von Ullmer (2002) erstmals vorgestellt und Ullmer et al. (2005) aktualisiert veröffentlicht. Ullmer et al. gehen dabei erstmals von dem Grundsatz aus, dass ein TUI zwei grundlegende Arten von physischen Komponenten enthält: Objekte, die digitale Information repräsentieren und Objekte, die die Interaktion mit Computersystemen bzw. die Manipulation des Systemzustands ermöglichen.

In ihren weiteren Ausführungen identifizieren die Autoren zwei grundlegende Arten von TUIs, die sich historisch herausgebildet hätten. Einerseits existieren „interactive surfaces“, bei denen physische Objekte benutzt werden um Information auf einer aktiven Oberfläche (zumeist projiziert oder durch einen Bildschirm realisiert) zu manipulieren. Andererseits werden „constructive assemblies“ genannt, deren physische Objekte ohne umgebende Infrastruktur ausschließlich durch reale oder logische Verbindungen zwischen ihnen den Systemzustand ausdrücken. Die Autoren definieren nun eine dritte Art von Systemen und platzieren diese konzeptuell zwischen den beiden zuvor genannten Kategorien. Mit „tokens and constraints“ werden Systeme mit zwei unterschiedlichen Arten von physischen Elementen eingeführt. „Tokens“ stehen für Objekte, die digitale Information repräsentieren. „Constraints“ werden verwendet um (digitale) Funktionalität auf diese Tokens anzuwenden (siehe Abbildung 6.5).

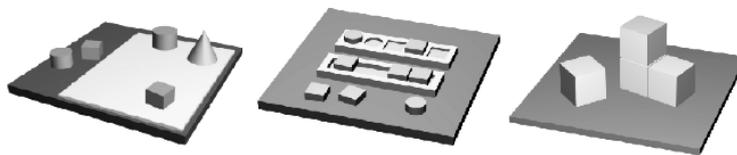


Abbildung 6.5.: Arten von Tangible User Interfaces – von links nach rechts: interactive surfaces, tokens+constraints, constructive assemblies (übernommen aus Ullmer et al. (2005))

In der Folge beschreiben Ullmer et al. die Details des Tokens+Constraints-Ansatzes. Sie gehen dabei zuerst auf die Benutzer-Interaktion in einem Tokens+Constraints-basierenden System ein. Diese ist immer in zwei Phasen unterteilt, wobei in der ersten Phase „associate“ Tokens einem oder mehreren Constraints zugeordnet werden. In der zweiten Phase „manipulate“ werden die Tokens im Kontext der Constraints manipuliert, wodurch die digitalen Daten, die an das Token gebunden sind, geändert werden.

Danach widmen sich die Autoren der Abbildung digitaler Information bzw. deren Manipulation auf physische Elemente und definieren vier grundlegende Arten von Beziehungen, die Information abbilden sein können:

- die absolute Position eines Tokens in Bezug zu einem Constraint
- die relative Position eines Tokens in Bezug zu einem Constraint

- die absolute Position eines Tokens in Bezug zu anderen Tokens
- die relative Position eines Tokens in Bezug zu anderen Tokens

Unter „Position“ sind dabei auch andere spatiale Parameter eines Tokens (wie die Orientierung) zu verstehen.

Nach einer Reihe von Betrachtungen der konzeptuellen Hintergründe und Beispielen kommen die Autoren zu einem weiteren relevanten Punkt, in dem Sie ausführen, wie bzw. warum Tangible Interfaces für Benutzer leichter verständlich sein können als traditionelle GUI-basierte Systeme. Bezugnehmend auf Bellotti et al. (2002) versuchen Sie Antworten auf fünf von diesen Autoren gestellten Fragen zu finden, die für jede Benutzungsschnittstelle geklärt werden müssen. An dieser Stelle stehen nun nicht die Antworten von Ullmer et al. im Mittelpunkt des Interesses, sondern die Fragen, die einen konzeptuellen Rahmen für das Design einer Benutzungsschnittstelle liefern. Die Fragen stammen aus der Arbeit von Bellotti et al. (2002):

Address Wie weiß das System, dass Benutzer mit ihm und nicht mit anderen (Systemen oder Personen) interagiert?

Attention Wie bemerken Benutzer, wenn das System auf eine Interaktionsanforderung reagiert?

Action Wie weiß das System, welchem Objekt der Befehl der Benutzer gilt?

Alignment Wie wissen Benutzer, dass das System ihren Befehl korrekt verstanden und ausgeführt hat?

Accident Wie werden Missverständnisse zwischen den Benutzern und dem System aufgelöst?

Ullmer et al. beantworten diese Fragen für den Tokens+Constraints-Ansatz jeweils aus konzeptueller und technologischer Sicht.

Am Ende des Artikels geben die Autoren Varianten des Token+Constraints-Ansatzes an. Durch die Festlegung auf die notwendige Physikalität von Tokens und Constraints ist der Design-Raum eingeschränkt, obwohl die konzeptuellen Überlegungen auch breitere Anwendung finden können. Aus diesem Grund variieren die Autoren ihren Ansatz und geben Alternativen an, die den Grundüberlegungen entsprechen aber unter Umständen nicht alle Vorteile des Kernansatzes aufweisen:

- Verwendung von visuellen, graphischen Constraints und physischen Tokens
- Verwendung von physischen Constraints für graphische Token
- Verwendung von physischen Constraints für nicht-massive Tokens (z.B. Flüssigkeiten)
- Verwendung von Tokens und Constraints in durch die Benutzer anpassbaren Größen
- Alternative Semantik bei der Abbildung zwischen physischer und digitaler Welt

Abschließend wird betont, dass ausgereifte TUIs selten in „Reinform“ auftreten, d.h. dass sie nicht exakt einer Kategorie wie „interactive surface“ oder „tokens+constraints“ zugeordnet werden können.

Kategorien	interactive surfaces, tokens+constraints, constructive assemblies
Konzepte	Tokens, Constraints
Eigenschaften	<i>Token</i> : Form, absolute und relative Position in Bezug zu Constraints oder anderen Tokens
PD-Brücke	Codiert in Tokens und in den Beziehungen zwischen Tokens und Constraints

6.4.8. Degree of Coherence

Koleva et al. (2003) schlagen ein Framework vor, dass die Klassifikation von Tangible Interfaces ermöglicht und so das Verständnis der möglichen Verknüpfungen zwischen physischer und digitaler Welt vertiefen soll. Im Gegensatz zu dem von Ullmer und Ishii (2000) mit dem MCRpd-Modell vorgeschlagenen relativ strikten Verständnis eines Tangible Interfaces öffnen Koleva et al. den Begriff und definieren eine kontinuierliche Skala von „Tangibility“, die sich am Grad der „Coherence“ (Kohärenz) zwischen realer und digitaler Welt bemisst. Hohe Kohärenz sagt dabei aus, dass das physische Objekt und sein digitales Gegenstück als ein „Ding“ wahrgenommen werden, also nicht voneinander abgrenzbar sind.

Entlang diesem Kontinuum führen die Autoren Kategorien ein, die die typischen Eigenschaften eines Systems im betreffenden Bereich der Skala beschreiben. Diese Kategorien dienen als Einordnungsschema für Elemente von Tangible Interfaces und können als Grundlage einer Gegenüberstellung unterschiedlicher TUIs bzw. deren Komponenten dienen. Entlang der Kohärenz-Skala legen die Autoren folgende Kategorien fest, die sich jeweils auf die Bedeutung des physische Objekt für die Benutzungsschnittstelle beziehen (beginnend mit niedriger Kohärenz):

General-purpose tool Ein Werkzeug, das zur Manipulation verschiedener digitaler Objekte benutzt werden kann und dabei unterschiedliche Operationen auf diesen Objekten auslösen kann.

Specialized tool Ein Werkzeug, das eine bestimmte Operation auslöst, diese aber auf unterschiedliche digitale Objekte anwenden kann.

Identifier Objekte, die als Referenz auf ein digitales Objekt agieren. Die Referenz ist nicht zwangsweise permanent, sondern kann unter Umständen dynamisch verändert werden.

Proxy Objekte, die insofern enger an die digitale Information gekoppelt sind als Identifier, als dass durch sie die digitale Information manipuliert und nicht nur abgerufen werden kann.

Projection Objekte, die so eng an die digitale Repräsentation gebunden sind, dass dessen physische Eigenschaft Information direkt repräsentiert und die Existenz der Information von der Existenz des Objekts abhängig ist.

Illusion of same objects Keine Koppelung im engeren Sinne sondern Identität zwischen realem Objekt und digitaler Information. Ist dann gegeben, wenn beide Komponenten ausschließlich gemeinsam auftreten oder für Benutzer nahtlos von der digitalen in die reale Welt und umgekehrt übergehen.

In der Folge detaillieren die Autoren diese Kategorien und identifizieren Eigenschaften, die eine Verknüpfung zwischen realer und digitaler Welt aufweisen kann und an denen sich der Grad an Kohärenz bemisst bzw. an denen er sichtbar wird:

Transformation Beschreibt, wie Manipulationen am realen Objekt in die virtuelle Welt umgesetzt werden. *Literal Mediation* liegt vor, wenn Manipulationen in realer und virtueller Welt analog umgesetzt werden (wenn z.B. eine Bewegung eines Objekts auch in eine Bewegung dessen realer Repräsentation umgesetzt wird). *Transformed Mediation* liegt vor, wenn eine Manipulation eines realen Objekts eine nicht unmittelbar assoziierbare Reaktion in der digitalen Welt auslöst (bei der Rotation eines Tokens etwa die Lautstärke eines Audiokanals verändert).

Sensing of Interaction Beschreibt, auf welche Parameter eines Objektes der realen Welt die digitale Repräsentation reagiert. Die möglichen Ausprägungen reichen von einer einfachen Reaktion auf die Präsenz eines Objekts bis zur kontinuierlichen Reaktion auf alle sechs Freiheitsgrade des physischen Objekts.

Configurability of Transformations Gibt an, ob die Transformation, die zwischen physischem Objekt und digitaler Repräsentation angewandt wird, vorgegeben oder konfigurierbar ist. Mögliche Ausprägungen sind *konfigurierbar* und *fixiert*.

Lifetime of Link Gibt an, ob die Assoziation zwischen physischem Objekt und digitaler Repräsentation nach der Kopplung permanent ist oder zur Laufzeit verändert werden kann. Mögliche Ausprägungen sind *temporär* und *permanent*.

Autonomy Beschreibt, ob eine Existenzbeziehung zwischen dem realen Objekt und der digitalen Repräsentation besteht, ob also die digitale Ressource unabhängig vom realen Objekt existiert oder bei der Kopplung erzeugt wird. Mögliche Ausprägungen sind *autonom* und *abhängig*.

Cardinality of Link Gibt an, ob die Zuordnung zwischen realem Objekt und digitaler Repräsentation eindeutig ist oder ein mehrdeutige Zuordnung von physischer zu digitaler Welt oder umgekehrt möglich ist. Die vorrangig auftretende Ausprägung ist eine eindeutige Abbildung (*1:1*), aber auch *1:n*- oder *n:1*-Abbildungen sind möglich (wobei *n* unbeschränkt oder beschränkt sein kann).

Link Source Gibt an, ob der Gegenstand der Manipulation das physische Objekt oder die digitale Repräsentation ist. Die digitale Repräsentation ist dann die Quelle der Kopplung, wenn Änderungen an ihr Auswirkungen auf das physische Objekt haben.

Das hier vorgestellte Framework stellt erstmals die Art der Verknüpfung zwischen realer und digitaler Welt in das Zentrum der Betrachtung und klassifiziert Tangible User Interfaces entlang dieser Dimension. Die Idee der Berücksichtigung dieses Aspektes bei der Einordnung von TUIs wird später von Fishkin (2004) (siehe Abschnitt 6.4.11) wieder aufgegriffen und – vereinfacht – in seine mehrdimensionale Taxonomie für Tangible User Interfaces integriert.

Kategorien	—
Konzepte	General-purpose tool, specialized Tool, Identifier, Proxy, Projection, Illusion of same objects
Eigenschaften	<i>PD-Brücke</i> : Transformation, Sensing of Interaction, Configurability of Transformation, Lifetime of Line, Autonomy, Cardinality of Link
PD-Brücke	Zentraler Aspekt: Coherence - Maß für die Enge der Bindung zwischen physischem Objekt und digitaler Information (kann für die einzelnen Teile eines Systems unterschiedlich sein)

6.4.9. Tokens und Constraints nach Shaer et al.

Shaer et al. (2004) haben in ihrer Arbeit den Anspruch einen Satz von Konstrukten zu identifizieren, der eine umfassende Beschreibung der Struktur und Funktionalität von Tangible User Interfaces ermöglicht. Letztendliches Ziel ist es eine konzeptuelle Basis zu schaffen, die die Entwicklung eines Software-Toolkits zur Spezifikation, Simulation und Implementierung von TUIs ermöglicht. Shaer et al. (2004) bauen dabei auf dem „Token & Constraints“-Ansatz von Ullmer (2002) auf und detaillieren das *Constraint*-Konzept, so dass es eine umfassendere Beschreibung eines TUIs erlaubt.

Die grundlegenden Konzepte des Ansatzes orientieren sich an der Annahme, dass die Struktur und Funktion eines TUI an den Beziehungen zwischen physischen Objekten und digitaler Information festgemacht werden kann. Diese Konzepte sind im Einzelnen:

Pyfo Ein physisches Objekt, das als Teil eines TUI eingesetzt wird.

Token Ein Pyfo, das digitale Information oder eine Funktion zur Veränderung von Information repräsentiert.

Constraint Ein Pyfo, das das Verhalten des Tokens, dem es zugeordnet ist, einschränkt. Die physischen Eigenschaften des Constraints weisen auf die Art der Manipulation

des Tokens und die Interpretation der Kombination zwischen Token und Constraint hin. Constraints können auf drei Arten einschränkend wirken:

- Die physischen Eigenschaften des Constraints (Form, Material, Orientierung, ...) weisen auf die möglichen und nicht erwünschten Manipulationen des zugehörigen Tokens hin
- Das Constraint schränkt den physischen Interaktionsraum des Tokens ein
- Das Constraint wirkt als Referenzrahmen für das Token und erlaubt dessen Interpretation

Variable Digitale Information oder eine Funktion zur Veränderung von Information. Können für sich existieren oder an ein Pyfo gekoppelt sein und dadurch ein Token erzeugen.

TAC Ein TAC⁹ repräsentiert die Beziehung zwischen einem Token, dessen zugeordneter Variable und einem oder mehreren Constraints. TACs legen fest, wie Benutzer mit dem System interagieren können.

Basierend auf diesen Konzepten werden fünf Kerneigenschaften identifiziert, die ein Tangible User Interface bzw. dessen Elemente aufweisen können. Diese Kerneigenschaften sind:

Couple Ein Pyfo muss an eine Variable gekoppelt sein um als Token zu gelten.

Relative Definition Jedes Pyfo muss ein Token, ein Constraint oder beides sein.

Association Ein TAC bildet sich aus der physischen Zuordnung eines Tokens zu einem Constraint. Dem TAC können weitere Constraints zugeordnet werden.

Computational Interpretation Physische Manipulation eines Tokens hat eine eindeutig interpretierbare Auswirkung auf die digitale Welt.

Manipulation Jedes TAC kann in der physischen Welt diskret, kontinuierlich oder auf beide Arten manipuliert werden. Das Constraint legt die möglichen Arten der Manipulation fest.

Zur Spezifikation eines Tangible User Interfaces werden nun diese Konzepte zur Anwendung gebracht, um sowohl Struktur als auch Verhalten des TUI festzulegen. Bei der Spezifikation werden die TACs definiert, indem auf Seite der Struktur das betroffene Token und die zugehörigen Constraints angeführt werden. Zur Spezifikation des Verhaltens wird die betroffene Variable, die Aktion, die in der physischen Welt ausgeführt wird und die zu erwartende Reaktion des Systems angeführt.

⁹Token and Constraint

Kategorien	—
Konzepte	Pyfo, Token, Constraint, Variable, TAC
Eigenschaften	Couple, Relative Definition, Association, Computational Interpretation, Manipulation
PD-Brücke	Variables (Elemente der digitalen Welt) machen ein Pyfo (Objekt der realen Welt) zu einem Token

6.4.10. Kategorien von TUI-Anwendungen

Auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche im Bereich von interaktiven Systemen, bei denen physische Objekte zur Interaktion und Informationseingabe benutzt werden, identifizieren Klemmer et al. (2004) vier Kategorien von Ansätzen, die bei der Umsetzung eines TUI verfolgt werden können.

Spatial Applications Applikationen, bei denen die Interaktion auf einer beliebigen Oberfläche (Wände, Tische, Whiteboard, ...) abgewickelt wird und Information über diese Oberfläche dargestellt und manipuliert werden kann. Dazu gehören auch Systeme, die ohne physische Elemente (außer der Oberfläche) arbeiten.

Topological Applications Applikationen, bei denen die Kontrolle des Systems über die Herstellung von Beziehungen zwischen physischen Objekten durchgeführt wird.

Associative Applications Applikationen, bei denen physische Objekte als Referenz auf digitale Information fungieren und diese durch Interaktion mit einer Hintergrund-Infrastruktur abgerufen werden kann.

Forms Applikationen, bei denen papierbasierte Interaktionen zu einem bestimmten Zeitpunkt (nicht kontinuierlich) in die digitale Welt übernommen werden (z.B. durch Scannen und OCR¹⁰-Verarbeitung).

Die Autoren gehen nicht weiter ins Detail und verzichten auf eine Betrachtung der unterschiedlichen Eigenschaften des Systems. Sie geben lediglich an, dass die meisten der betrachteten Applikationen Gemeinsamkeiten über die Grenzen der Applikationskategorien hinweg aufweisen. Dies umfasst die Tatsache, dass das vorherrschende Systemdesign die Verbindung zwischen physikalischer (tangibler) Eingabe und graphischer Ausgabe ist. Die graphische Ausgabe erfolgt dabei entweder kohärent mit der Eingabe (auf der gleichen Oberfläche), auf einem separaten Bildschirm, der sich aber nahe dem Eingabemedium befindet oder entfernt auf von den eingehenden Benutzern nicht unmittelbar zugreifbaren Ausgabemedien. Interfaces, die die Ausgabe auf andere Arten (z.B. haptisch) gestalten, werden von den Autoren explizit vernachlässigt, da sie für die eigene Forschung keine Relevanz haben.

¹⁰Optical Character Recognition

Kategorien	Spatial, Topological, Associative, Forms
Konzepte	—
Eigenschaften	—
PD-Brücke	—

6.4.11. Taxonomie für Tangible User Interfaces

Fishkin (2004) versucht in seiner Arbeit, den Begriff des Tangible User Interfaces zu definieren und ein Kategorienschema zu schaffen, in das sich auf tangibler Interaktion basierende Systeme einordnen lassen. Sein Ziel ist es, ein Framework zur Verfügung zu stellen, auf Basis dessen sich Systeme vergleichen lassen und das das Design von Tangible Interfaces unterstützen kann.

Fishkin fasst den Begriff des Tangible Interfaces sehr breit und definiert ein Interaktives System mit tangiblen Interface als eines, in dem die Eingabe über die Manipulation (im wörtlichen Sinn, also mit den Händen) von physischen Objekten vorgenommen wird und die Ausgabe die physische Natur eines Objektes verändert. Diese Definition umfasst auch Systeme mit „herkömmlichen“ Interfaces.

Nach dieser umfassenden Definition strukturiert Fishkin den Raum möglicher Tangible Interfaces durch die Einführung zweier Analysedimensionen, anhand derer er seine Taxonomie aufspannt. Diese beiden Dimensionen sind „Embodiment“ und „Metaphor“, die orthogonal zueinander stehen. Hohe Werte dieser beiden Dimensionen bezeichnen „tangiblere“ Systeme. „Hohe Tangibilität“ ist jedoch kein Qualitätskriterium, sondern lediglich eine Eigenschaft, die ein System für einen bestimmten Anwendungsfall besser oder schlechter geeignet machen kann.

Embodiment

Die Dimension „Embodiment“ beschreibt, wie eng die Eingabe am Interface mit der Ausgabe gekoppelt ist. Das Kriterium zu Einordnung ist hier der Ort der Wahrnehmbarkeit des Systemzustandes und der Systemaktivität. Je kohärenter die Ausgabe- und Eingabe-Kanäle sind – je näher sich also die Informationsausgabe bei der Eingabe befindet – desto höher ist die Ausprägung dieser Dimension. Fishkin unterscheidet hier vier Ausprägungen:

Full Bei „full Embodiment“ ist das Ausgabegerät gleichzeitig das Eingabegerät. Der Zustand des Geräts ist direkt in seinen physischen Eigenschaften abgebildet.

Nearby „nearby Embodiment“ tritt auf, wenn die Ausgabe nahe dem Eingabeobjekt auftritt und eng an dieses gebunden ist, also in direktem, unmittelbarem Zusammenhang steht.

Environmental „environmental Embodiment“ ist gegeben, wenn die Ausgabe im unmittelbaren Umfeld des auftritt aber sich nicht unmittelbar am tangiblen Eingabeobjekt manifestiert. Typische Vertreter dieser Ausprägung sind akustische Ausgabekanäle.

Distant Von „distant Embodiment“ spricht man, wenn Ein- und Ausgabekanäle vollständig räumlich entkoppelt sind, der Fokus der Aufmerksamkeit der Benutzer also nicht gleichzeitig auf Ein- und Ausgabekanal liegen kann.

Metaphor

Die Dimension „Metaphor“ bildet die Eigenschaft von Tangible Interfaces ab, auf eine Benutzerinteraktion so zu reagieren, wie die reale Welt auf eine entsprechende Aktion reagiert. Die Ausprägung in „Metaphor“ ist also dann hoch, wenn das System analog zu realem, physikalisch begründbarem Verhalten reagiert. Hier sind grundsätzlich zwei Kategorien zu unterscheiden, in denen der Bezugspunkt der „Methaphor“ verschieden ist. „Metaphor“ kann sich entweder auf das Aussehen des jeweiligen Objektes beziehen oder auf die Bewegung des Objektes Bezug nehmen. Im ersten Fall spricht Fishkin von „Metaphor of Noun“, im zweiten Fall von „Metaphor of Verb“. Die Ausprägungen auf der „Metaphor“-Dimension gruppieren sich dann wie Folgt:

None Die Interface-Objekte zeigen weder in Form noch Funktion eine Analogie zur Realität

Noun Diese Analogie ist gegeben, wenn am Interface Objekte existieren, die eine reale Entsprechung haben, aber nicht wie diese manipuliert werden können. Ein klassisches Beispiel aus traditionellen interaktiven Systemen ist die „Fenster“- oder „Schreibtisch“-Metapher (sind analog zu realen Fenstern bzw. Schreibtischen ausgelegt, bieten aber andere Interaktionsmöglichkeiten). Bei Tangible User Interfaces ist diese Zuordnung dann gegeben, wenn ein Eingabeobjekt so aussieht wie ein Objekt der realen Welt, aber keine weiteren Eigenschaften mit diesem teilt.

Verb Eine Zuordnung zu dieser Kategorie erfolgt, wenn die Interaktion mit einem Objekt eine reale Entsprechung hat, dieses jedoch selbst keine Analogie zur realen Welt bildet. Diese Ausprägung tritt bei TUIs unter anderem bei Gestensteuerung von Systemen auf.

Noun and Verb Hier hat das betreffende Objekt selbst eine Entsprechung in der realen Welt und auch dessen Verwendung ist analog zu jener der realen Entsprechung. Die Objekte sind dennoch nach wie vor unterschiedlich, das reale Objekt kann nicht im Tangible Interface eingesetzt werden, umgekehrt bietet das TUI-Objekt nicht die reale Funktionalität des realen Objektes.

Full In der höchsten Ausprägung existiert kein Unterschied zwischen TUI-Objekt und realem Objekt - es gibt keine Analogie mehr, weil die Objekte identisch sind.

Dieser Zustand ist erreicht, wenn Benutzer das TUI-Objekt manipulieren und sich die reale Welt entsprechend verändert. Beispiele für Systeme auf dieser Stufe sind zum Beispiel digital augmentierte Whiteboards, wo mit elektronischen Markern auf eine Oberfläche „geschrieben“ wird, wobei die hinterlassene „Tinte“ simultan projiziert wird.

Anwendung der Taxonomie

Fishkin wendet seine Taxonomie auf die oben bereits beschriebenen Ansätze von (Holmquist et al., 1999) und (Underkoffler und Ishii, 1999) an und zeigt, dass sich diese einordnen lassen. Er ordnet nach einer umfassenden Literaturstudie außerdem über 60 konkrete Tangible Interfaces in seine Taxonomie ein und stellt diese anhand deren Ausprägungen gegenüber. Ein offener Punkt ist die Verbindung zum MCRpd-Framework (Ullmer und Ishii, 2000), das Fishkin als komplementär bezeichnet und das auf einer anderen Abstraktionsstufe operiere.

Kategorien	—
Konzepte	—
Eigenschaften	<i>Embodiment</i> : full, nearby, environmental, distant, <i>Metaphor</i> : none, noun, verb, noun and verb, full
PD-Brücke	wird in Struktur und Verhalten durch die Ausprägungen auf den beiden Dimensionen der Taxonomie charakterisiert (kann für die einzelnen Teile eines Systems unterschiedlich sein)

6.4.12. Tangible Bits: Beyond Pixels

Ishii (2008) fasst die bisherige Entwicklung des Forschungsgebiets der Tangible User Interfaces zusammen und schlägt konzeptuell die Brücke von den wegweisenden *Tangible Bits*-Arbeiten über das MCRpd-Interaktions-Modell bis hin zu heute aktuellen Kategorien von Tangible User Interfaces.

Die Grundlage der Betrachtungen ist das in (Ullmer und Ishii, 2000) MCRpd-Interaktions-Modell, das hier (und bereits in (Ullmer et al., 2005)) als MCRit¹¹-Modell bezeichnet wird. (wobei „it“ für „intangible“ und „tangible“ steht und „pd“ für „physical“ und „digital“ aus der ursprünglichen Abkürzung ersetzt). Basierend auf der Trennung zwischen Input und Output eines interaktiven Systems (oder *Control* und *Representation*) und der auf dieser Trennung aufbauenden Abgrenzung zur GUIs, wird die Struktur eine TUI so konzeptualisiert, das eben diese Trennung nicht mehr vorhanden ist. Die grundlegenden Komponenten des MCRit-Modells sind (angelehnt an das MCRpd-Modell) die *digitale*

¹¹Model-Control-Representation (intangible and tangible)

Information, die repräsentiert und manipuliert werden muss, sowie die *tangible Repräsentation* des Systemzustandes (siehe Abbildung 6.6). An die tangible Repräsentation sind die Eingabekanäle des Systems – die *Control*-Elemente – gekoppelt. Die tangible Repräsentation wird durch die intangible Repräsentation ergänzt, mittels der zusätzliche, dynamisch veränderliche Information abhängig vom Systemzustand ausgegeben werden kann.

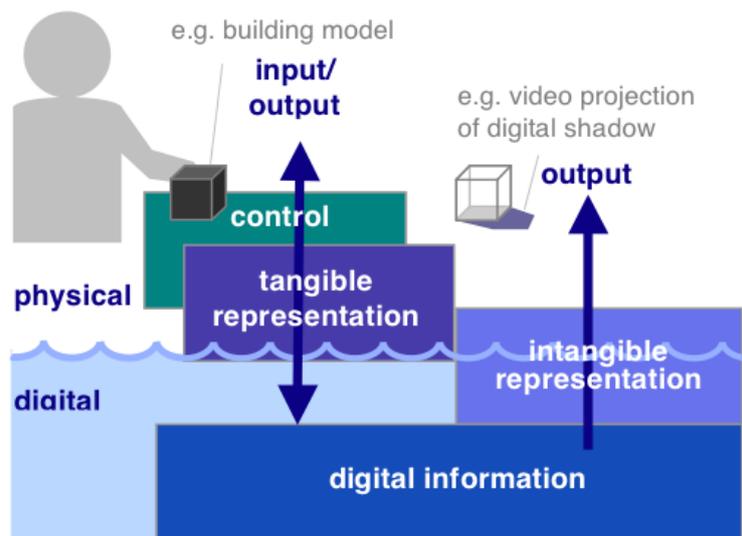


Abbildung 6.6.: Überblick über das MCRit-Modell (entnommen aus Ishii (2008))

Basierend auf der konzeptuellen Grundlage gibt Ishii die grundlegenden Eigenschaften von TUIs an:

Computational Coupling *of tangible representations to underlying digital information and computation.* Der zentrale Aspekt jedes TUI ist die Kopplung von realen Artefakten mit digitaler Information und diese Information manipulierende Funktionen. Zu berücksichtigen ist dabei die Art der Abbildung, also welche Prinzipien der Übersetzung und welche Metaphern (bei Ishii: „Embodiment“) verwendet werden.

Embodiment of mechanisms for interactive control *with tangible representations.* In TUIs werden die physischen Repräsentationen des Systemzustandes gleichzeitig auch zur Steuerung des Systems verwendet. Von Interesse sind hier die Fähigkeiten des Tangibles selbst („inert“, also passive Objekt, die durch Benutzer manipuliert werden müssen oder „actuated“, also aktive Elemente, die selbständig Änderungen des Systemzustandes ausgeben können), die Beschränkung des Interaktionsraums („unconstrained“ – unbeschränkt, „weakly constrained“ – nur schwach eingeschränkt, wie bei der Interaktion auf Oberflächen, oder „tightly constrained“ – stark eingeschränkt, z.B. bei Tokens, die nur entlang einer Achse bewegt werden

können) sowie die durch die physische Form der Tokens und die Constraints vorgegebenen bzw. angedeuteten Interaktionen und deren Kohärenz mit der dadurch manipulierten digitalen Information.

Perceptual Coupling *of tangible representations to dynamic intangible representations.*

Die wahrgenommene Koppelung zwischen dem physischen Anteil des Systemzustandes und dem intangiblen (z.B. projizierten oder akustischen) Anteil ist der dritte wichtige Aspekt, der beim Design von Tangible Interfaces zu berücksichtigen ist. Der kritische Faktor ist dabei nach Ishii die Reaktion des intangiblen Anteil auf Änderung des tangiblen Anteils in Echtzeit. Zwischen der Manipulation von physischen Elementen und eine adäquaten Reaktion des Systems, die sich auch auf die intangible Repräsentation auswirkt, darf nur minimale, idealerweise nicht als solche wahrgenommene Verzögerung liegen.

Je nach Ausprägung dieser Eigenschaften können sich TUIs in unterschiedliche Kategorien von Systemen manifestieren. Basierend auf den bereits von Ullmer et al. (2005) angegebenen Kategorien (siehe Abschnitt 6.4.7) erweitert Ishii das Schema und identifiziert acht Kategorien von TUIs:

Tangible Telepresence Systeme, bei denen entfernte physische Objekte digital miteinander gekoppelt werden, so dass Manipulationen eines Objekts an den gekoppelten Objekten physisches Feedback auslösen können. Durch die Koppelung zwischen entfernter Ein- und Ausgabe können Präsenz-Aspekte auch in dissoziierten Anwendungsfällen übermittelt werden.

Tangibles with kinetic Memory Systeme, die Manipulation physischer Objekte aufnehmen und diese Manipulationen auch wieder physisch wiedergeben können.

Constructive Assembly Entspricht der von Ullmer et al. (2005) angegebenen Kategorie und umfasst Systeme, bei denen der Systemzustand durch die (physische) Verknüpfung von physischen Elementen repräsentiert und manipuliert wird.

Tokens and Constraints Entspricht der von Ullmer et al. (2005) angegebenen Kategorie und umfasst Systeme, die informationstragende physische Elemente zur Repräsentation des Systemzustandes benutzen und die möglichen Interaktionen mittels ebenfalls physischer Constraints beschränken bzw. vorgeben.

Interactive Surfaces – Tabletop UI Entspricht der von Ullmer et al. (2005) angegebenen Kategorie und umfasst Systeme, bei denen physische Objekte auf einer Oberfläche manipuliert werden, um den Systemzustand zu verändern. Dabei wird meist zusätzlich visuelles Feedback auf der Oberfläche ausgegeben, wodurch Eingabe- und Ausgabemedium kohärent sind.

Continuous Plastic TUI Umfasst Systeme, die in der Lage sind, die äußere Form ihrer physischen Repräsentationen zu verändern bzw. auf derartige Formänderungen mit Änderungen des Systemzustandes reagieren.

Augmented Everyday Objects Systeme, bei denen physische Objekte des Alltagslebens mit Technologie ausgestattet werden, die einen wie auch immer gearteten Mehrwert bei der Benutzung bieten kann.

Ambient Media Systeme, bei denen interaktive Systeme durch Zusatzinformation ergänzt werden, die nicht von der eigentlichen Arbeitsaufgabe ablenken. Im engeren Sinne handelt es sich dabei nach Ishii nicht um ein TUI, die Kategorie hat aber insofern Relevanz, als dass nicht die herkömmlichen Ausgabekanäle (wie Bildschirme) benutzt werden um digitale Information zu repräsentieren.

Grundlegend gemein sind jedoch allen Arten von Systemen ein Satz von Merkmalen, die sie in ihrer Eigenschaft als TUIs mitbringen und die sich dem Autor zufolge durchwegs vorteilhaft auf die Interaktion mit den Benutzern auswirken können:

Double Interaction Loop – Immediate Tactile Feedback Tangible User Interfaces verfügen inhärent über zwei Feedbackschleifen, über die den Benutzern Reaktionen auf deren Eingaben rückgespiegelt werden. Die erste, unmittelbare, Feedback-Schleife ist die haptische Erfahrung bei der Manipulation der physischen Element. Die Reaktion ist sofort sichtbar und muss nicht durch das System erfasst, interpretiert und ausgegeben werden. Die zweite Schleife wird über die intangible Repräsentation des Systemzustands realisiert, auf der sich ebenfalls Reaktionen auf Benutzereingaben manifestieren. Dabei muss die Benutzerinteraktion jedoch erfasst und interpretiert werden, bevor eine adäquate Reaktion erstellt und ausgegeben werden kann. Diese Reaktion kann umfassender als in der ersten Schleife ausfallen, benötigt jedoch mehr Zeit.

Persistency of Tangibles Bei TUIs wird ein wesentlicher Anteil des Systemzustandes durch die Konfiguration des physischen Elemente dargestellt. Diese sind ihrer Natur nach persistent, repräsentieren diesen Anteil des Systemzustandes also unabhängig von etwaiger Infrastruktur und sind auch verfügbar, wenn diese abgeschaltet ist.

Coincidence of Input and Output Spaces Ein grundlegendes Designkriterium von TUIs ist die Kohärenz (bei Ishii: Koinzidenz) von Eingabe- und Ausgabekanälen. Dies ermöglicht eine nahtlose Interaktion und Informationsrepräsentation im physischen und digitalen Raum.

Special Purpose vs. General Purpose In Abgrenzung zu GUIs, die im Normalfall zur Interaktion mit beliebigen Applikationen verwendet werden können, sind TUIs eher spezifisch auf einen bestimmten Anwendungsfall hin ausgerichtet und werden dementsprechend konzipiert. Wichtig ist hier vor allem die Berücksichtigung den Benutzern vertrauter Metaphern bei der Konzeption der Informationsrepräsentation und der Manipulations-Werkzeuge.

Space-Multiplexed Input Generell ermöglichen TUIs eine parallele Manipulation mehrerer räumlich verteilter physischer Objekte zur gleichen Zeit. Es ist damit möglich

kollaborative Interaktion zu unterstützen, bei der mehrere Benutzer den Systemzustand simultan beeinflussen. Die Kollaboration kann dabei auch räumlich verteilt stattfinden, wenn Mechanismen existieren, die den Systemzustand der einzelnen TUI-Instanzen synchron hält (z.B. durch Aktuatoren).

Im seinen Schlussbetrachtungen führt Ishii die größten Mängel des noch jungen Forschungsgebiets der Tangible User Interfaces aus: es fehle an „Killer Applications“, an skalierbaren Toolkits und an verlässlichen und validierten Design Prinzipien.

Kategorien	Tangible Telepresence, Tangibles with kinetic Memory, Constructive Assembly, Tokens and Constraints, Interactive Surfaces – Tabletop UI, Continuous Plastic TUI, Augmented Everyday Objects, Ambient Media
Konzepte	Digital Information, Tangible Representation, Control, Intangible Representation
Eigenschaften	<i>Gesamtsystem</i> : Computational Coupling, Embodiment of Control Mechanisms, Perceptual Coupling
PD-Brücke	Abhängig von der Art des Systems, grundsätzlich aber immer Koppelung zwischen tangibler Repräsentation und Control

6.4.13. Zusammenfassung

Die in den vorhergehenden Abschnitten betrachteten Arbeiten sind in Ansatz, Ausgangspunkt und Vorgehensweise höchst unterschiedlich. Ihnen ist jedoch gemein, dass sie sich mit der Konzeptualisierung von Tangible User Interfaces beschäftigen. Die Arbeiten können dabei entlang zweier Dimensionen nach Ziel und Betrachtungsgegenstand klassifiziert werden. Hinsichtlich der Zielsetzung sind Arbeiten, die auf die Spezifikation eines TUI ausgerichtet sind, von solchen zu unterscheiden, die auf die Evaluation existierender Systeme ausgelegt wurden (im Sinne von detailliert angegebenen Merkmalen, die ein System aufweisen muss um eine bestimmte Eigenschaft zu haben). Als dritte Ausprägung sind noch Ansätze zu identifizieren, die eine Einordnung in einen Referenzrahmen ermöglichen sollen, ohne die Eigenschaften des TUI im Detail zu betrachten. Hinsichtlich des Betrachtungsgegenstandes sind unterschiedliche Detaillierungsgrade zu erkennen, wobei hier die beiden Ausprägungen „Gesamtsystem“ und „einzelne physische Elemente“ als Extremwerte zur Klassifikation herangezogen werden. Hinsichtlich des Betrachtungsgegenstandes ist noch zu unterscheiden, ob sich die Arbeit auf die Struktur des TUI konzentriert oder sich darüber hinaus auch explizit mit dessen Verwendung beschäftigt. Ansätze der zweiten Art werden in der Tabelle kursiv gesetzt. Jeder Ansatz verfolgt über diese Einordnung hinaus noch spezifische Zielsetzungen, die der Übersichtlichkeit wegen in dieser ersten Einordnung nicht angegeben werden.

Die Einordnung in die Kategorien (siehe Tabelle 6.1) erfolgt aufgrund der von den jeweiligen Autoren in den Artikeln explizit genannten Zielsetzungen oder – wenn diese nicht vorhanden oder aussagekräftig sind – aufgrund der von Autoren gewählten Schwerpunktsetzungen und unter Berücksichtigung des jeweiligen Gesamtzusammenhangs (übergeordnetes Forschungsvorhaben). Ansätze, die zu mehreren Kategorien Beiträge liefern, werden in allen betreffenden Feldern angeführt.

Tabelle 6.1.: Kategorien von konzeptuellen Arbeiten im Gebiet Tangible User Interfaces (kursiv gesetzte Arbeiten gehen auch auf das Verhalten von TUIs ein)

	Gesamtsystem	einzelne physische Elemente
Spezifikation	Bricks MCRpd-Interaktions-Modell Tangible Bits: Beyond Pixels	Containers, Tokens und Tools Tokens+Constraints <i>Tokens and Constraints nach Shaer et al.</i>
Evaluation	Graspable User Interfaces	<i>Taxonomie für Tangible User Interfaces</i>
Einordnung	Tangible Bits Tokens+Constraints Kategorien von TUI Anwendungen Tangible Bits: Beyond Pixels	Tangible Objects Meaning Degree of Coherence

In dieser Aufstellung ist zu erkennen, dass ein Großteil der Ansätze nicht auf den Interaktionsaspekt des Anwendungsfalls eingeht, für den das betrachtete TUI konzipiert ist, sondern sich auf die strukturellen Aspekte des Systems beschränkt.

Den umfassendsten Ansatz zur Spezifikation bietet die Arbeit „Tokens and Constraints“ von (Shaer et al., 2004), der aufbauend auf der Arbeit von Ullmer (2002) einen modifizierten Token+Constraints-Ansatz vorstellt. Dieser eignet sich durch ein breiteres Verständnis des Constraint-Begriffs für die allgemeine Spezifikation der Struktur eines TUI. Zusätzlich stellt er ein Schema zur Verfügung, in dem – basierend auf der Struktur – auch das Verhalten des Systems spezifiziert werden kann.

Zur detaillierten Evaluation eines TUI bietet sich die Taxonomie von Fishkin (2004) an, der in seiner Arbeit in zwei Dimensionen sowohl die Betrachtung der Struktur als auch der Verwendung der Objekte eines TUI in den spezifizierten Interaktionsabläufen erlaubt.

Ausdrucksstärke der konzeptuellen Ansätze

Grundsätzlich sind jene Ansätze, die sich mit der detaillierten Beschreibung eines TUI befassen, ausdrucksstärker als jene Ansätze, die ein System lediglich global betrachten. Dies bezieht sich jedoch in erster Linie auf die Quantität der generierten Daten, qualitativ gesehen ergänzen beide Sichtweisen einander und sind sowohl bei Spezifikation als auch Evaluation komplementär anzuwenden. Der Fokus der Betrachtung der jeweiligen Ansätze ist in Tabelle 6.1 angeführt und wird hier nicht separat unterschieden.

Einige der vorgestellten Ansätze sind inhaltlich insofern als überholt anzusehen, als dass sie heute gängige Techniken und Interaktionsparadigmen nicht adäquat abbilden können. Dies gilt sowohl in struktureller Hinsicht als auch in Bezug auf das Verhalten eines Systems. Die strukturellen Konzepte haben sich konzeptuell von „werkzeug-zentrierten“ auf „informations-zentrierte“ Sichtweise weiter entwickelt. Ältere, „werkzeug-zentrierte“ Ansätze betrachten die physischen Elemente ausschließlich als Werkzeuge zur Manipulation digitaler Information, die nach wie vor herkömmlich visuell ausgegeben wird und keine physische Manifestation besitzt. Typische Vertreter dieser Sichtweise sind die Arbeiten von Fitzmaurice et al. (1995) und Fitzmaurice (1996). Ab der Arbeit von Ishii und Ullmer (1997) wird der Aspekt der physischen Repräsentation von Information berücksichtigt, womit erstmals eine umfassende Beschreibung von Systemen ermöglicht wird, die heute als TUI bezeichnet werden.

In der Folge wurden unterschiedliche Ansätze vorgestellt, die auf verschiedene Aspekte in der Beschreibung der Struktur eingehen. Ein grundlegendes Unterscheidungsmerkmal der Ansätze ist ihre Herangehensweise an die Unterscheidung zwischen physischen Objekten, die Information repräsentieren und solchen, die Information manipulieren (in wenigen Fällen werden auch Werkzeuge zur Systemsteuerung separat betrachtet). Eine Herangehensweise ist die strikte konzeptuelle Trennung zwischen physischen Objekten, die zur Informationsrepräsentation verwendet werden und solchen, die als Werkzeug zur Manipulation eingesetzt werden. Typische Vertreter sind hier die Arbeiten von Ishii und Ullmer (1997) und Holmquist et al. (1999). Dem hingegen steht die Herangehensweise die Bedeutung eines physischen Objekts für eine bestimmte Anwendung auf einem Kontinuum einzuordnen und Objekte damit als eher „werkzeug-artig“ oder eher „repräsentations-artig“ (oder beides integrierend) einzuordnen. Typische Vertreter für diese Herangehensweise sind die Arbeiten von Underkoffler und Ishii (1999), Koleva et al. (2003) und Fishkin (2004). Einen dritten Weg gehen die Ansätze von Ullmer und Ishii (2000) und darauf aufbauend Ishii (2008), die physische Elemente immer als Kombination eines Repräsentations- und Kontroll-Anteils sehen und diese konzeptuell separat behandeln. Implizit in dieser Tradition stehen auch die Ansätze von Ullmer (2002) und Shaer et al. (2004), die mit dem „Tokens und Constraints“-Konzept einerseits eine dritte Art von physischen Objekten – die Constraints, die den Interaktionsraum beschränken – einführen, andererseits aber bei den eigentlich zur Interaktion verwendeten physischen Elementen nicht zwischen Repräsentationen und Werkzeugen unterscheiden. Funktio-

nalität wird vielmehr durch die Manipulation eines (informationstragenden) Tokens im Kontext von Constraints ausgelöst – Tokens haben somit einen Kontroll-Aspekt im Sinne von Ullmer und Ishii (2000).

Seltener anzutreffen sind Arbeiten, die explizit auf die Beschreibung oder Evaluation der Interaktionsabläufe eines TUI eingehen. Fishkin (2004) behandelt diesen Aspekt im Rahmen der „Metaphor“-Dimension seiner Taxonomie. Er unterscheidet dort zwischen TUIs oder TUI-Komponenten, deren Interaktionsmetaphern eher an Objekten der realen Welt und / oder an Tätigkeiten der realen Welt angelehnt sind. Werden alle Komponenten eines TUI in diese Dimension eingeordnet, so ermöglicht dies die Prüfung, ob die Metaphern konsistent gewählt wurden (Oppl, 2009b). Die Interaktionsabläufe im Detail sind jedoch bei Fishkin (2004) nicht Gegenstand der Betrachtung. Auf detaillierter Ebene gehen lediglich Shaer et al. (2004) auf Interaktionsabläufe im Allgemeinen und der Spezifikation im Speziellen ein. Die Autoren erweitern dazu den Token+Constraints-Ansatzes (Ullmer, 2002) um einen Interaktionsaspekt, der auf Basis der strukturellen Eigenschaften eines TUI deren dynamisches Zusammenspiel untereinander und mit den Benutzern festlegt. Damit wird es möglich, ein TUI sowohl in Struktur als auch Verhalten umfassend zu spezifizieren.

Nomenklatur

Hinsichtlich der Bezeichnung der Elemente eines TUI existiert keine einheitliche Nomenklatur, die konsistent über mehrere Arbeiten hinweg verwendet wird. Die Tabellen 6.2 und 6.3 gibt eine Übersicht über die für die einzelnen konzeptuellen Elemente verwendeten Begriffe.

Diese Arbeit folgt in der Bezeichnung der physischen Elemente dem TAC-Ansatz von (Shaer et al., 2004) und verwendet generell der Begriff des „Tokens“. Zur Abgrenzung wird, wo nötig, von „Modellierungstokens“ (jene Tokens, die Information repräsentieren) und „Werkzeugtokens“ (jene Tokens, die Funktionalität auslösen) unterschieden. Der digitale Aspekt eines TUI wird selten explizit benannt, der von (Shaer et al., 2004) gewählte Begriff der „Variable“ ist im Kontext der Repräsentation von Modellen aber zu spezifisch bzw. aus dem Kontext der Softwareentwicklung heraus unpassend vorbelegt. Deshalb wird im Allgemeinen nach (Ishii, 2008) von „*digitaler Information*“ gesprochen, wenn explizit auf die digitale Repräsentation des Modells Bezug genommen wird, wird der Begriff „*Modell-Elemente*“ verwendet. Eine weitere Ausdifferenzierung der Nomenklatur zur Bezeichnung von anwendungsspezifischen Eigenschaften des hier vorgestellten Werkzeugs erfolgt im Rahmen der folgenden Kapitel.

Die hier vorgestellten Ansätze werden nach der Beschreibung des Werkzeugs in Kapitel 10 wieder aufgegriffen und auf das hier entwickelte System angewandt. Damit werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits soll die praktische Anwendbarkeit der Ansätze und deren

Tabelle 6.2.: Gegenüberstellung der Nomenklatur zur Beschreibung der Elemente eines TUI – Teil 1

Arbeit	physisches Objekt zur Informationsrepräsentation	physisches Werkzeug zur Informationsmanipulation	physische Beschränkung des Interaktionsraums	digitale Objekte
Bricks	—	Brick	—	—
Graspable User Interfaces	—	—	—	—
Tangible Bits	Phicon	Phandle (Informationsmanipulation), Instrument (Systemsteuerung)	Tray	—
Containers, Tokens und Tools	Container (unspezifische Form), Token (spezifische Form)	Tool	—	—
Tangible Objects Meaning	Object as pure object (unspezifische Form), Object as attribute (teilspezifisch), Object as noun (spezifische Form)	Object as verb (fix gebundene Funktionalität), Object as reconfigurable tool (konfigurierbare Funktionalität)	—	—
MCRpd Interaktionsmodell	Rep-P	Control	—	Model, Rep-D (Manifestation)

Tabelle 6.3.: Gegenüberstellung der Nomenklatur zur Beschreibung der Elemente eines TUI – Teil 2

Arbeit	physisches Objekt zur Informationsrepräsentation	physisches Werkzeug zur Informationsmanipulation	physische Beschränkung des Interaktionsraums	digitale Objekte
Tokens + Constraints	Tokens	Tokens + Constraints	Constraints	—
Degree of Coherence	Identifier (unspezifische Form), Proxy (von hier an: spezifische Form, Enge der Bindung ansteigend), Projection, Illusion of same objects	General purpose tools (konfigurierbare Funktionalität), Specialized tools (fix gebundene Funktionalität)	—	—
TAC	Token-Pyfo	Token-Pyfo	Constraint-Pyfo	Variable
TUI-Anwendungskategorien	—	—	—	—
Taxonomie für TUIs	—	—	—	—
Tangible Bits: Beyond Pixels	tangible Representation	Control	—	digital information, intangible representation (Manifestation)

Verwendbarkeit für ein konkretes, im Vergleich zu den in den Artikeln vorgestellten Beispielen komplexes und flexibles System überprüft werden. Andererseits soll versucht werden, aus der theoretisch-konzeptuellen Betrachtung des Werkzeugs Inkonsistenzen im Design zu erkennen und potentiell verbesserungswürdige Aspekte des Werkzeugs zu identifizieren. Eine Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der praktischen Evaluierung erlaubt in der Folge auch die Überprüfung der Aussagekraft derartiger auf theoretischen Konzepten basierenden Betrachtungen bzw. Spezifikationen.

6.5. Tabletop Interfaces

Tabletop Interfaces sind Benutzungsschnittstellen, bei denen die Interaktion mit einem Computersystem über eine (im Allgemeinen horizontal angebrachte) Tischplatte durchgeführt wird. Tabletop Interfaces sind nicht als echte Untermenge von Tangible Interfaces zu sehen. Systeme, bei denen die Interaktion mittels direkter Berührung der Oberfläche mit den Händen („Touch-“ bzw. „Multitouch“-Systeme) durchgeführt wird, werden ebenfalls zu den Tabletop Interfaces gezählt, sind aber aufgrund des fehlenden physischen Repräsentationsaspekts des Systemzustandes nicht als unbedingt als Tangible Interface zu klassifizieren.

Im Sinne einer Aufarbeitung der „Related Work“ beschränkt sich diese Arbeit hier auf jene Systeme, die historisch für die Entwicklung des Feldes der „Tangible Tabletop Interfaces“ wichtig waren bzw. sind und jene Arbeiten, in denen inhaltlich ähnliche Zielsetzungen wie in dieser Arbeit verfolgt wurden, auch wenn das zugrunde liegende Tabletop Interface keine „tangiblen“ Aspekte aufweist.

6.5.1. Historische Entwicklung

Tabletop Interfaces wurden erstmals von Wellner (1993) beschrieben, der damit gemäß der Vision „back to the real world“ Wellner et al. (1993) beabsichtigte, die Trennung zwischen der realen Welt und dem digitalen Informationsraum zu beseitigen und eine nahtlose, natürliche Interaktion mit Computersystemen zu ermöglichen. Im Bereich der Tangible Interfaces wurde bereits mit der Einführung des Begriffs von Ishii und Ullmer (1997) die Geräteklasse der „Interactive Surfaces“ identifiziert, in die Systeme eingeordnet wurden, die eine mit digitaler Information angereicherte physische Oberfläche als Ausgabemedium verwenden, auf der zur Eingabe physische Objekte manipuliert werden. Diese Klasse von Systemen ist nicht auf Tische eingeschränkt, sondern umfasst z.B. auch digital augmentierte Wände. Das MetaDESK-System, das in der gleichen Arbeit als Beispiel für Interactive Surfaces vorgestellt wird, kann als das erste in der Literatur beschriebene Tangible Tabletop Interface bezeichnet werden.

Frühere Arbeiten, wie die von Fitzmaurice (1996) beschriebenen „Bricks“, setzten zur Interaktion physische Bausteine ein, die lediglich einen Bezug zueinander aufweisen, aber keine gemeinsame Oberfläche als Referenzrahmen benötigen und verwenden („relational interfaces“ im Sinne von Ullmer und Ishii (2000)). Fasst man den Begriff der Interactive Surfaces nach Ishii und Ullmer (1997) eng, so fallen derartige Systeme aufgrund des fehlenden gemeinsamen physischen Referenzrahmens nicht in diese Klasse. In jenen Fällen, in denen trotzdem ein räumlich entsprechend begrenztes physisches „Trägermedium“ benötigt wird (also eine klassische, nicht digital augmentierte Tischoberfläche zur Anordnung der Elemente des Interfaces eingesetzt wird), kann trotzdem von einem „Tangible Tabletop Interface“ gesprochen werden.

Anfänge

Das Sensetable-System (Patten et al., 2001) ist die erste in der Literatur beschriebene „Interactive Surface“ Plattform, die breit in unterschiedlichen Anwendungsszenarien eingesetzt wurde. Es steht inhaltlich in der Tradition des MetaDESK-Systems (Ishii und Ullmer, 1997) und basiert technologisch auf eine Tischoberfläche, auf die von oben projiziert wird und mit der mittels auf die Oberfläche aufgesetzten „Pucks“ interagiert werden kann. Die Feststellung der Position der „Pucks“ erfolgt mittels einem magnetischem Positionierungssystem. Die Positionsbestimmung auch mehrerer Objekte gleichzeitig kann damit quasi verzögerungsfrei und mit einer Genauigkeit im mm-Bereich durchgeführt werden.

Das BUILD-IT-System (Fjeld, 2001) ist eines der ersten Systeme, in dem Tabletop Interfaces zur Unterstützung von kooperativen Arbeitsprozessen eingesetzt werden. Fjeld et al. (1997) führen den Begriff des „Natural User Interfaces“ und meinen damit die kohärente Manipulierbarkeit von Objekten auf physischen und digitalen Oberflächen. In der konkreten Implementierung des BUILD-IT-Systems (Fjeld, 2001) steht eine horizontale Oberfläche zur Verfügung, auf der physische Objekte platziert werden können und auf die synchron anwendungsspezifische Information projiziert wird. Zusätzlich steht eine vertikale Oberfläche zur Erweiterung der Darstellungsraums zur Verfügung, auf der lediglich Information angezeigt wird, während eine physische Manipulation nicht möglich ist. Das System wurde in unterschiedlichen Anwendungsszenarien zum Einsatz gebracht, und einer Evaluierung hinsichtlich seiner Benutzbarkeit und seinen Auswirkungen auf die Arbeit der Benutzer unterzogen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sprechen im Wesentlichen für die Nützlichkeit von Tabletop User Interfaces, auch wenn aufgrund technischer Restriktionen die Verwendbarkeit des Systems eingeschränkt war. Die Wirkung des Systems auf kooperative Arbeit wurde explizit nicht untersucht.

6.5.2. Aktuelle Plattformen

Mit dem stärker werdenden Forschungsinteresse im Bereich der Tabletop Interfaces und dem zunehmenden kommerziellen Interesse ist in den letzten Jahren die zunehmende Verfügbarkeit von Applikationsplattformen für Tabletop Interfaces zu beobachten, die sowohl einen definierten Satz von Hardware-Funktionalität (also dem eigentlichen Tabletop Interface) als auch eine Programmierschnittstelle für die Entwicklung eigener Applikationen mit sich bringt. Mit Stand von Ende 2009 werden in der aktuellen Forschung vor allem drei Lösungen eingesetzt, von denen zwei auch die Hardware kommerziell vertreiben und eine lediglich die Software und Bauanleitungen für das Tabletop Interface anbietet. Absehbar ist hier die weitere Diversifizierung des Angebots, wobei auf die neueren Anbieter an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen wird.

ReacTable

Der ReacTable (Kaltenbrunner et al., 2006) ist ein auf einem Tangible Tabletop Interface beruhendes kooperatives Musikinstrument, dessen Hardwarekomponente und Software-Schnittstelle zur visuellen Identifikation von Objekten auf der Oberfläche generisch einsetzbar sind. Die Hardware des ReacTable besteht aus einem Tisch, dessen Oberfläche semitransparent ausgeführt ist. Die Objekte werden durch auf deren Unterseite angebrachten visuellen Markern identifiziert. Zugleich wird von der Unterseite mittels einem Projektor zusätzliche Information auf die Oberfläche projiziert.

Die zur Objektidentifikation verwendeten Marker sind proprietär und bilden einen eindeutigen Code ab, der softwareseitig das entsprechende Element identifiziert. Die Anzahl der Marker ist erweiterbar, wobei deren Form frei gewählt werden kann. Zusätzlich zu Identifikation von Elementen kann die Software auch Fingerberührungen visuell erkennen, wodurch die Oberfläche multi-touch-fähig wird.

Die Software ist plattformübergreifend für Windows, Mac OS X und Linux als Open Source Software verfügbar. Die Analyse des Kamerabilds erfolgt in Quasi-Echtzeit mit 15 bis 20 Bildern pro Sekunde (abhängig vom eingesetzten Rechner). Die Information für auf der Oberfläche erkannte Elemente oder Finger wird über das proprietäre aber mittlerweile auch von anderen Anbietern eingesetzte TUIO-Protokoll über einen UDP¹²-Port ausgegeben und kann so von beliebigen Clients übernommen und verarbeitet werden. In den Softwarepaketen sind vorgefertigte Clients für die Programmiersprachen C und Java enthalten.

¹²User Datagram Protocol

Microsoft Surface

Die Microsoft Surface¹³ ist ein kommerzielles Produkt, das als Paket von Hard- und Software von Microsoft vertrieben wird. Die Hardwarekomponente stellt sich als ein in sich abgeschlossenes System ohne vorgesehene Manipulationsmöglichkeit der Benutzer oder Entwickler dar. Sie besteht dabei aus einer Tischoberfläche, die semitransparent ausgeführt ist und von unten projiziert wird. Die Erfassung von Benutzerinteraktion erfolgt visuell mittels unter der Oberfläche installierten Kameras. Der Fokus liegt dabei auf der Identifikation von Berührungen mit einem oder mehreren Fingern bzw. durch eine oder mehrere Personen. Zusätzlich können Objekte durch ihren Umriss oder durch proprietäre visuelle Codes identifiziert werden. Die Identifikation erfolgt dabei in Quasi-Echtzeit mit mehreren Bildern pro Sekunde (exakte Werte unbekannt). Der Tisch selbst ist in Form und Bauhöhe eher als Besprechungs- bzw. Bartisch denn als Arbeitstisch ausgeführt.

Softwareseitig kommt eine modifizierte bzw. erweiterte Version von Windows Vista zum Einsatz. Die Microsoft Surface bietet neben einer Reihe von vorinstallierten Anwendungen auch die Möglichkeit, mittels einem API¹⁴ auf die Information der Oberfläche identifizierten Objekte und Finger zuzugreifen und diese in eigenen Anwendungen zu verarbeiten. Diese Anwendungen müssen auf Microsoft's .NET-Framework basieren, um an das API angebunden werden zu können.

DiamondTouch

Der DiamondTouch (Dietz und Leigh, 2001) ist ein Projekt von den Mitsubishi Research Labs¹⁵, das mittlerweile kommerziell von dem Unternehmen Circle Twelve¹⁶ vertrieben wird. Im Gegensatz zu den anderen beiden vorgestellten Ansätzen setzt der DiamondTouch kein visuelles Identifikationsverfahren ein, sondern verwendet ein auf kapazitiver Erkennung basierendes Verfahren, das durch seine Ausführung nicht nur die Identifikation mehrerer gleichzeitiger Berührungen sondern auch die eindeutige Identifikation von Benutzern (auch über die Zeit bei nicht ununterbrochener Berührung) ermöglicht. Das System unterstützt jedoch keine Identifikation von Objekten, es können lediglich Berührungen identifiziert werden. Die Hardwareausführung ähnelt jener der Microsoft Surface, allerdings wird im Gegensatz zu den anderen beiden Lösungen von oben auf die Oberfläche projiziert. Um eine eindeutige Identifikation der handelnden Personen gewährleisten zu können, müssen diese außerdem auf je einem von bis zu vier an dem System angeschlossenen Stühlen sitzen.

¹³<http://www.microsoft.com/surface/>

¹⁴Application Interface

¹⁵<http://www.merl.com/projects/DiamondTouch/>

¹⁶<http://www.circltwelve.com/>

Die Identifikations-Software arbeitet unter Windows oder Linux und liefert über ein API die Berührungsinformation an eine vom Entwickler zu erstellende Applikation. Das API kann dabei aus unterschiedlichen gängigen Programmiersprachen (wie C++, Java oder Adobe Flash) angesprochen werden.

6.6. Tabletop Interfaces zur Erstellung diagrammatischer Modelle

In diesem Abschnitt werden Systeme beschrieben, die sich der Erstellung diagrammatischer Modelle auf tischbasierten Benutzungsschnittstellen widmen, also ein zu dieser Arbeit verwandtes Werkzeug mit verwandter Technologie umsetzen. Die eigentliche Zielsetzung unterscheidet sich im Einzelfall, die Verwandtschaft beschränkt sich auf die Unterstützung im Vorgang der Modellbildung.

Nicht betrachtet werden hier Systeme, die sich zwar mit Modellbindung im weiteren Sinne beschäftigen, deren Betrachtungsgegenstand aber nicht diagrammatische Modelle sind. Derartige Systeme haben oft den Anspruch, die Modellbildung weniger abstrakt zu gestalten und vor allem die Modellverwendung durch Simulationen an das Verhalten des dargestellten Phänomens in der realen Welt anzunähern. Ein klassisches Beispiel ist hier Urp (Underkoffler und Ishii, 1999), ein Stadtplanungssystem, bei dem Objekte, die Gebäude repräsentieren, maßstabsgetreu auf einer Oberfläche platziert werden können. Je nach ausgeführter Simulation können in Echtzeit die Lichtverhältnisse bei Sonneneinstrahlung oder die Luftströmungen im arrangierten Gebäude-Ensemble verfolgt werden. Systeme dieser Klasse beschäftigen mit anderen Aspekten von Modellbildung und vernachlässigen explizite Repräsentation der konzeptuellen Beziehungen zwischen Modellelementen. Sie sind deshalb nicht als verwandte Arbeiten zu klassifizieren.

Im ersten Unterabschnitt werden Systeme betrachtet, die sich historisch mit der Thematik der Modellierung mittels Tangible (Tabletop) Interfaces beschäftigen. Der zweite Unterabschnitt stellt zwei Arbeiten vor, die parallel zur vorliegenden Arbeit entwickelt wurden und sich so wie diese mit den konkreten Modellierungsaufgaben im Rahmen von Concept Mapping beschäftigen, das, wie in Kapitel 4 beschrieben, auch eine methodische Grundlage dieser Arbeit darstellt.

6.6.1. Historische Entwicklung

Die Unterstützung der Bildung von diagrammatischen Modellen mittels Tangible Interfaces wird seit der Jahrtausendwende in der Literatur behandelt. Tatsächlich sind jedoch nur drei Arbeiten zu identifizieren, die sich mit der Bildung diagrammatischer Modelle beschäftigen und in der Literatur so ausführlich beschrieben sind, dass eine Berücksichtigung an dieser Stelle möglich ist. Zu diesen Arbeiten existieren jeweils mehrere

Publikationen, als Referenz wurde hier jeweils jene Publikation herangezogen, in der das System am ausführlichsten dokumentiert ist.

Tangible Business Process Analyser

Historisch wurde der Anwendungsfall der Modellbildung mit Tangible Interfaces bereits auf der ersten funktionsfähigen „Interactive Surface“, dem Sensetable (Patten et al., 2001), umgesetzt. Der „Tangible Business Process Analyser“ (Mori et al., 2004) ist eine Anwendung, die auf Basis des Sensetable implementiert wurde und dazu dient, Workflows zu modellieren, deren Parameter einzustellen und in der Folge die Ergebnisse einer Simulation zu visualisieren. Das Modell selbst hat dabei keine physische Ausprägung sondern wird lediglich projiziert. Wie in vielen Systemen aus dieser Generation von Tangible Tabletop Interfaces (z.B. auch (Fitzmaurice et al., 1995)) werden auch in dieser Arbeit nur die Manipulations-Werkzeuge selbst physisch ausgeführt. Die Repräsentation der Information (hier: das Modell) verbleibt digital und wird z.B. durch Projektion auf die Tischoberfläche dargestellt. Die Manipulation der Modellelemente selbst sowie der zur Simulation notwendigen Parameter wird durch Einsatz der „Pucks“ des Sensetable-Systems durchgeführt.

Designer's Outpost

Ein Werkzeug zur kooperativen konzeptuellen Planung von Websites ist der „Designer's Outpost“ (Klemmer et al., 2001). Dabei handelt es sich streng genommen nicht um ein Tabletop Interface, da die interaktive Oberfläche vertikal angebracht ist. Die sonstigen technischen und inhaltlichen Eigenschaften sind jedoch jenen des hier vorgestellten Systems so ähnlich, dass eine Betrachtung im Rahmen der verwandten Arbeiten angemessen ist.

Das „Designer's Outpost“-System ermöglicht es, die Seiten einer Website als Knoten eines Modells auf der interaktiven Oberfläche abzubilden. Dazu werden physisch Haftnotizen beschriftet und platziert. Diese können durch eine Erfassung mittels einer Kamera auch „virtualisiert“ werden. Virtualisierte Haftnotizen ermöglichen in der Folge auch das über mehrere Standorte verteilte Modellieren. Links zwischen den Seiten einer Website können als Beziehungen zwischen den Haftnotizen dargestellt werden. Diese Beziehungen werden mit einem stiftartigen Werkzeug auf die Oberfläche „gezeichnet“ und bleiben auch erhalten, wenn die Haftnotizen anders platziert werden. Zum Entfernen einer Beziehung wird ein „Radiergummi“ verwendet, mit dem diese „ausradiert“ werden kann.

Als wesentlich für die Nachvollziehbarkeit der erstellten Website-Struktur bezeichnen Klemmer et al. (2002) deren Erstellungsgeschichte. Sie unterstützen mit ihrem Werkzeug also die Verfolgung und den Abruf der Entstehungshistorie eines Modells. Durch

die Visualisierbarkeit unterschiedlicher Entwicklungszweige ist auch die Vergleichbarkeit sequentiell entwickelter Modellvarianten möglich.

Digital Montessori-inspired Manipulatives

Die Entwicklung der „Digital Montessori-inspired Manipulatives“ (Zuckerman et al., 2005) basiert auf den pädagogischen Ansätzen von Maria Montessori (Montessori, 2005). Die Autoren beschreiben ein System zur Erschließung physikalischer Zusammenhänge (z.B. Regelkreise) mittels konzeptueller Modelle, die durch die physische Anordnung und Zusammenschaltung von funktionalen Bausteinen erzeugt werden. Entsprechend der Prinzipien von Montessori wird vor allem die physische Unmittelbarkeit der Modellrepräsentation als nützlich für den angestrebten Lernerfolg gesehen. Ein zweiter wesentlicher Aspekt ist die Möglichkeit zur Selbstkontrolle, d.h. der eigenständigen Überprüfbarkeit der Wirkung der modellierten physikalischen Zusammenhänge. Dazu wird durch das System auf Basis des erstellten Modells eine Simulation durchgeführt und deren Ergebnisse direkt auf den Bausteinen visualisiert. Zum Einsatz kommen dabei Miniatur-Displays bzw. Leuchtdioden, die in den Bausteinen integriert sind. Die Struktur des Modells wird aus der Leitfähigkeit der physischen Verbinder zwischen den Bausteinen abgeleitet.

Es ist somit weder externe Infrastruktur zur Erhebung der Modellparameter noch zur Visualisierung von zusätzlicher Information notwendig. Dementsprechend muss die Oberfläche, auf der modelliert wird, keine speziellen Eigenschaften aufweisen oder mit Sensoren und Aktuatoren angereichert werden. Die Klassifikation als „Tabletop Interface“ bezieht sich deshalb hier alleine auf den Nutzungskontext, nicht aber auf die technischen Eigenschaften des Werkzeugs.

6.6.2. Aktuelle verwandte Ansätze

In der aktuellen Literatur sind zwei Ansätze beschrieben, die so wie das vorliegende System ein Tabletop Interface verwenden, um semantisch offene diagrammatische Modelle in der Form von „Concept Maps“ abzubilden. Diese beiden Arbeiten werden im Folgenden kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer technischen Umsetzung betrachtet.

A Tangible Approach to Concept Mapping

Tanenbaum und Antle (2009) schlagen ein System vor, mit dem Concept Maps im Lehr- und Lernkontext erstellt werden können. Sie bedienen sich dazu eines Tabletop Interfaces, bei dem die Concept Map vollständig digital von unten auf die Tischoberfläche projiziert wird. „Vollständig digital“ bedeutet hier, dass sowohl die Knoten der Concept Map als auch deren Kanten und sämtliche Beschriftungen digital dargestellt werden und nicht physisch auf der Oberfläche vorhanden sind.

Die Manipulation der Objekte erfolgt mittels „Pucks“ (Auswahlelemente im Sinne des „Sensetable“-Systems), mit Hilfe derer die Elemente der Concept Map erzeugt und verschoben und gelöscht werden können. Technisch kommt dazu das ReactIVision-System des ReacTable (vgl. Abschnitt 6.5.2) zum Einsatz. Auf der Unterseite der „Pucks“ sind die visuellen Codes des ReactIVision-Systems angebracht, die von unten mit einer Kamera erfasst werden.

Die Autoren beschreiben eine Reihe von während der Evaluierung identifizierten Eigenschaften der Umsetzung des Werkzeugs, deren Berücksichtigung bei der Konzeption des hier behandelten Systems notwendig ist:

- Die Erkennung der „Pucks“ war instabil (zu kleine Codes), dadurch traten Probleme beim Verschieben von Knoten aus (diese wurden „verloren“).
- Die Oberfläche wurde als zu klein wahrgenommen, um sinnvoll eine Concept Map abbilden zu können (max. 6-7 Knoten auf der Oberfläche möglich).
- Das Herstellen von Verbindern durch Zusammenführen zweier „Pucks“, die jeweils ein Element tragen, scheint in der Benutzung verständlich und leicht erlernbar zu sein.
- Das vorliegende System unterstützt lediglich ungerichtete Verbindungen. Benutzer benötigen jedoch gerichtete und ungerichtete Verbindungen, um alle sinnvollen Beziehungen in der Concept Map eindeutig darstellen zu können.
- Das vorliegende System arbeitet mit fest vorgegebenen Knoten und Kanten, die jedoch frei angeordnet und assoziiert werden können. Die festen Vorgaben wurden jedoch von den Benutzern als zu einschränkend wahrgenommen.

Multi-finger interactions with papers on augmented tabletops

Do-Lenh et al. (2009) setzen ihre Anwendung ebenfalls im Zusammenhang mit der Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen ein. Sie verwenden dazu ein portables System, das die Erstellung von Concept Maps auf beliebigen ebenen Oberfläche ermöglicht. Die Knoten der Concept Map werden dabei durch Kärtchen symbolisiert, die mit zweidimensionalen Barcodes versehen sind, um deren Position erkennen zu können. Die Positionserkennung wird mittels einer auf einem Galgen montierten Kamera vorgenommen. Verbindungen werden ausschließlich projiziert, wozu ein neben der Kamera montierter Projektor verwendet wird. Zur Informationseingabe können die Knoten-Kärtchen bereits beschriftet vorliegen oder während der Modellierung mit einer virtuellen Tastatur mit einer Bezeichnung versehen werden, die dann ebenfalls projiziert werden. Verbindungen werden hergestellt, indem die betreffenden Kärtchen zusammengeführt werden oder mittels einem speziellen Steuerkärtchen verbunden werden.

Zusätzlich zu den mit der Kamera erfassbaren Elementen, die mit einem 2D-Barcode versehen sind, können auch die Positionen von Fingerberührungen auf der Oberfläche

erkannt werden. Dazu wird ein Laserstrahl knapp über der Oberfläche ausgestrahlt, der bei auf der Oberfläche aufgesetzten Fingern nach oben abgelenkt wird und so an der Stelle der Berührung einen klar identifizierbaren Punkt auf dem Kamerabild hinterlässt. Es ist so möglich, auch mehrere Berührungen simultan zu erkennen. Lediglich vertikal hintereinander angeordnete Finger können zu Erkennungsproblemen führen.

In der konkreten Anwendung werden die Fingergesten mit den Positionsinformationen der Kärtchen kombiniert, um etwa Verbindungen durch Markieren mit zwei Fingern löschen zu können oder auf der virtuellen Tastatur (die auf einem ebenfalls mit einem Barcode versehenen größeren Kärtchen aufgedruckt ist) Text eingeben zu können.

Zur Evaluation führten die Autoren eine vergleichende Studie unter Berücksichtigung des vorgestellten Werkzeugs und den rein rechnerbasierten CMapTools (Cañas et al., 2004) durch. Sie beschreiben einen Unterschied in der beobachteten Kooperation der Teilnehmer bei der kollaborativen Erstellung einer Concept Map. Konkret ist eine Kooperation der Teilnehmer im Falle des Tabletop Interfaces bereits von Beginn der Modellierung an zu beobachten gewesen, während bei Einsatz der CMapTools eine stärkere Unterteilung in individuelle und kooperative Arbeitsphasen zu erkennen war. Weiters wurde auch in diesem Fall die Oberfläche als zu klein für eine sinnvolle Modellierung der gestellten Aufgabe wahrgenommen. Das Löschen von Verbindungen konnte mittels der bereits beschriebenen Finger-Aktion oder mittels einem Kärtchen ausgeführt werden. Diese Redundanz wurde von Benutzern als nützlich und unterstützend wahrgenommen und auch in der konkreten Anwendung komplementär verwendet.

6.7. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden – noch unabhängig von der konkreten Implementierung des Werkzeugs – die Grundlagen des Forschungsgebiet der Tangible (Tabletop) Interfaces beschrieben. Die Entscheidung, das Werkzeug mittels einer „begreifbaren“ Benutzungsschnittstelle umzusetzen, wurde in Kapitel 5 getroffen und begründet. In den nun folgenden Kapiteln wird auf die Konzeption und Umsetzung des Werkzeugs auf technischer Ebene eingegangen. Dieses Kapitel ist als Brücke zu sehen, die die relevanten Begriffe einführt und den State-of-the-Art zusammenfasst.

Die Schnittstelle zu den Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit werden durch die Abschnitte zu der Wirkung von Tangible Interfaces auf Lernprozesse und Kooperation gebildet. Im Mittelteil des Kapitels wurden konzeptuelle Ansätze beschrieben, die sich mit der Begriffsbildung, Klassifikation und Spezifikation von Tangible Interfaces beschäftigen. Diese dienen in weiterer Folge dazu, die in dieser Arbeit verwendete Nomenklatur festzulegen und mögliche Herangehensweisen zum Design des Werkzeugs zu identifizieren. Auf die hier beschriebenen Arbeiten wird auch in Kapitel 10 zurückgegriffen, um das

hier entwickelte Werkzeug in das Forschungsfeld einzuordnen und mögliche konzeptuell begründbare Schwachstellen und Verbesserungspotential zu identifizieren.

Die letzten Abschnitte in diesem Kapitel bilden die Brücke zu den nun folgenden technologie-orientierten Kapiteln. Sie fokussieren auf Tabletop Interfaces (also Schnittstellen, deren Referenzrahmen Tischoberflächen sind) und Tangible Interfaces, die zur Modellbildung eingesetzt werden. Die beiden Abschnitte stellen dabei die historische Entwicklung und den State-of-the-Art aus Systemsicht dar und bilden so die technische „related work“ zum im Folgenden beschriebenen Werkzeug.

6.7.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel trägt die konzeptuellen Grundlagen zur Bearbeitung des Werkzeug-Aspektes im Rahmen der Beantwortung von Fragestellung 4 („Wie kann ein Instrument zur Unterstützung von expliziter Articulation Work umgesetzt werden?“) bei. Die Beschäftigung mit diesen Grundlagen in den Abschnitten 6.2 und 6.3 ist notwendig, um auf Basis der in Kapitel 5 angeführten Technologieentscheidung für die Verwendung eines „Tabletop Interfaces“ für die Unterstützung der konzipierten Methodik dessen konkrete Ausgestaltung fundiert vornehmen zu können. In Abschnitt 6.6 werden interaktive Systeme vorgestellt, die der vorgeschlagenen Methodik zugrundeliegende oder verwandte Methoden unterstützen, so die aus technischer Sicht unmittelbare „Related Work“ dieser Arbeit darstellen und damit ebenfalls zur Beantwortung der Fragestellung 4 beitragen.

Eine Voraussetzung zur effektiven Unterstützung von „Articulation Work“ ist wie in Kapitel 1 argumentiert eine effektive Verwendbarkeit der konzipierten Instruments. Während für deren Beurteilung notwendigen Messkriterien bereits in Kapitel 5 identifiziert wurden, kann die zu erwartende Verwendbarkeit auch auf Basis konzeptueller Überlegungen zur Gestaltung von „Tangible Interfaces“ bzw. „Tabletop Interfaces“ erfolgen. In diesem Sinne trägt Abschnitt 6.4 insofern zu Fragestellung 5 („Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter Articulation Work beurteilt werden?“) bei, als dass in ihm die existierenden Arbeiten zur konzeptuellen Beschreibung bzw. zur Gestaltung von „Tangible Interfaces“ aufgearbeitet werden und etwaige zu beachtende Gestaltungsrichtlinien identifiziert werden können, deren Einhaltung in weiterer Folge geprüft werden kann.

6.7.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Kapitels bilden die Grundlage für die Durchführung der Konzeption des Werkzeugs und der Benutzerinteraktion mit diesem in den Kapiteln 7 und 8 dar. Während ein Großteil der Ergebnisse das Rahmenwerk für die Konzeption der Werkzeugs bildet, fließen einige Ergebnisse wie die Taxonomie nach Fishkin (2004) direkt in das Design ein.

Die Ergebnisse des Abschnitts 6.4 werden außerdem in Kapitel 10 wieder aufgegriffen und für die Beurteilung des Werkzeugs auf konzeptueller Ebene zur Identifikation von etwaigen Schwachstellen oder Verbesserungspotential eingesetzt.

7. Eingabe und Interpretation

In diesem Kapitel wird jener Teil des Werkzeugs beschrieben, in dem die Interaktion der Benutzer mit dem System erfasst und interpretiert wird. Abbildung 7.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

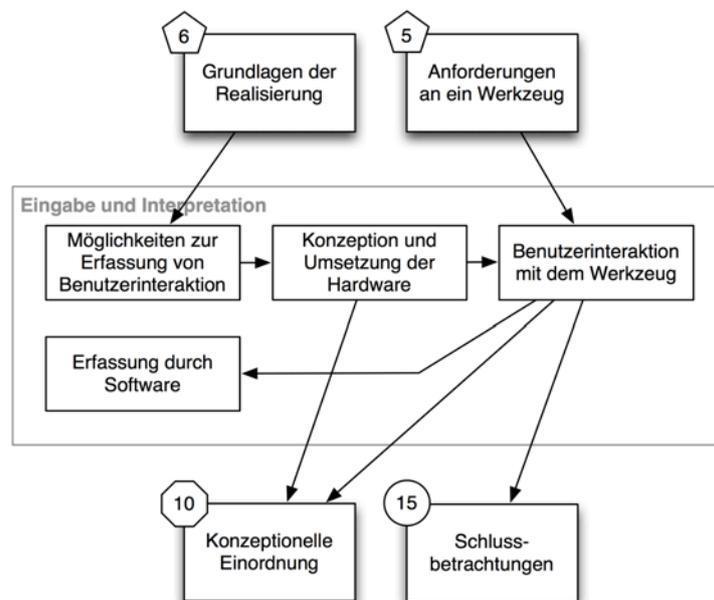


Abbildung 7.1.: Kapitel „Eingabe und Interpretation“ im Gesamtzusammenhang

Der erste Abschnitt behandelt grundlegende Möglichkeiten zur Erfassung der Benutzerinteraktion auf Tablet-Interfaces und endet mit der Identifikation einer für den Anwendungsfall geeigneten Technologie. Diese wird durch die Beschreibung von dafür verfügbaren Frameworks konkretisiert, was letztendlich in der Entscheidung für ein konkretes Produkt mündet.

Basierend auf dieser Entscheidung wird in den darauf folgenden beiden Abschnitten auf das Design der Hard- und Softwarekomponenten eingegangen, die unmittelbar der Eingabe von Information durch Benutzer dienen. Der Ausgabeaspekt wird hier bewusst

ausgeklammert und im nächsten Kapitel beschrieben. Dieses Kapitel endet mit einer Beschreibung der Interpretationsroutinen, die aus den durch das Framework gelieferten Rohdaten höherwertige, anwendungsspezifische Information extrahieren und diese den nachgeordneten Software-Modulen zur Verfügung stellen.

7.1. Möglichkeiten zur Erfassung von Benutzerinteraktion

Im Gegensatz zu Systemen mit dezidierten Eingabegeräten (wie Tastatur oder Maus) ist die Informationseingabe bei Tangible Interfaces unmittelbar an physische Tokens gebunden, die unabhängig voneinander und gegebenenfalls auch simultan manipuliert werden können. Diese Manipulation muss von einer vorhandenen Infrastruktur erfasst und interpretiert werden. Der wesentliche Unterschied zu dezidierten Eingabegeräten besteht darin, dass die Manipulation des physischen Artefakts selbst für den Benutzer bedeutungstragend ist und nicht nur dem Zweck einer Zustandsänderung im digitalen Informationsraum dient. Dies impliziert, dass der Zustand der verwendeten Tokens bzw. der aktuelle Wert der relevanten Parameter (z.B. Position, Rotation, Form, ...) erfasst werden können, ohne die Bedeutung der Tokens oder deren Manipulierbarkeit in der realen Welt zu beeinträchtigen. Je nach Anwendungsfall kommen dafür mehrere unterschiedliche technologische Ansätze in Frage. Die Beurteilungskriterien die dabei zu berücksichtigen sind, umfassen die zu erhebenden Parametern und die notwendige Erfassungsrate des Zustandes der Tokens sowie die Anzahl der simultan zu erfassenden Tokens bzw. Parameter.

Im konkreten System muss – wie aus den Anforderungen in Kapitel 5 ableitbar – die planare Position von mehreren Tokens in Echtzeit (d.h. mehrmals pro Sekunde mit für den Benutzer nicht wahrnehmbaren Verzögerungen) erfasst werden. Neben der Position ist noch die Rotation eines Tokens als Raumparameter von Interesse. Bezüglich des Zustands eines Tokens muss erfasst werden können, ob es geöffnet oder geschlossen ist und ob es eingebettete Objekte enthält oder nicht. Mit diesen Anforderungen wird in den folgenden Unterabschnitten ein technologischer Ansatz zur Umsetzung der Interaktionserkennung ausgewählt.

7.1.1. In Frage kommende technologische Ansätze

Bei der Auswahl möglicher technologischer Ansätze zur Erfassung der Benutzerinteraktion müssen die zu erfassenden Parameter unterschiedlich behandelt werden. Konkret werden hier Ansätze zur Erfassung der Raumparameter (Position, Rotation) und Ansätze, die Zustandsänderungen des Tokens erfassbar machen, unterschieden.

Raumparameter

Zur Erfassung von Raumparametern von Tokens bieten sich mehrere technologische Ansätze an. In Frage kommen für das konkrete Tabletop Interface nur Technologien, die eine Erfassung dieser Parameter mit einer Genauigkeit im Zentimeter- bis Millimeter-Bereich ermöglichen, da eine niedrigere Raumauflösung zu zu großen Ungenauigkeiten in der Positionsbestimmung führt, die einen Einsatz für das hier vorgestellte Werkzeug nicht erlaubt. Im Folgenden werden die in Frage kommenden Technologien in ihren Grundzügen beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung für das konkrete System bewertet.

Optisch Optische Positionsbestimmung erfolgt mit Hilfe von Kamera-Systemen und Methoden der digitalen Bildverarbeitung. Die Kamera erfasst dabei die zu identifizierenden Tokens. Das resultierende Bild wird mit in Software umgesetzten Algorithmen ausgewertet. Dadurch können zumindest Identität und Position, zumeist aber auch weitere Raumparameter (wie Rotation) aller im Erfassungsbereich der Kamera befindlichen Tokens ermittelt werden. Neben dem optischen Erfassungsbereich bestimmen zudem die Auflösung der Kamera sowie die Größe der Tokens die letztendlich erfassbare Fläche. Optische Systeme sind bei schlechten oder wechselnden Lichtverhältnissen generell eher fehleranfällig und nicht robust gegen Verdeckungen von Tokens (etwa durch Gliedmaßen oder andere Tokens).

Hinsichtlich des Identifikationsansatzes können zwei Arten von Systemen unterschieden werden. *Codebasierte* Systeme verwenden zur Identifikation eines Tokens einen von der Kamera erfassbaren Code (etwa einen „Barcode“), der eindeutig einem Token zugeordnet werden kann. *Featurebasierte* Systeme identifizieren ein Token aufgrund seiner äußeren Eigenschaften, zumeist über dessen Form (Schattenriss). Letztere bieten den Vorteil, dass ein Token nicht durch das Anbringen eines zusätzlichen Codes optisch verändert werden muss. Der größte Nachteil besteht in der Eigenschaft, dass nur Token mit unterschiedlichen Formen eindeutig identifiziert werden können. Die eindeutige Identifikation von mehreren Tokens einer Bauart ist bei featurebasierten Systemen nicht möglich. Codebasierte Systeme verwenden zumeist nicht herkömmliche EAN¹-Barcodes sondern robustere Systeme, bei denen eine Erkennung auch unter widrigen Beleuchtungsbedingungen oder niedrigen Bildauflösungen möglich ist und die zum Teil auch die Extraktion zusätzliche Information über weitere Raumparameter (wie Rotation, teilweise auch Parameter der dritten Dimension wie Neigung oder Entfernung) ermöglichen.

Codebasierte Systeme können hinsichtlich der Art der Codierung der Identitätsinformation wiederum in zwei Klassen unterschieden werden. Eine Gruppe von Ansätzen integriert die eigentliche Nutzinformation, also im Wesentlichen die tokenspezifische Identifikationsnummer, direkt in den Code und ermöglicht so ein direktes Auslesen der

¹European Article Number

Information (z.B. bei QRCode (ISO JTC1/SC31, 2006)). Die zweite Gruppe verwendet eine indirekte Zuordnung zwischen Token-ID und Code. Bei derartigen Ansätzen muss die Identität eines Tokens in einem Zwischenschritt über eine Mapping-Tabelle abgebildet werden, im Gegenzug ist die Ausgestaltung des Codes flexibler, im Allgemeinen kann dabei eine höhere Robustheit bei der Erkennung erreicht werden (z.B. ARToolkit (Kato et al., 2000)).

Kapazitiv Kapazitive Ansätze basieren auf der Änderung der Kapazität von Leiterbahnen, die durch deren Berührung mit leitfähigem Material verursacht wird. Ursprünglich wurde die Technologie zur Umsetzung von berührungssensitiven Oberflächen entwickelt, kann jedoch auch zum Tracking von Tokens verwendet werden. Im Gegensatz zu druckempfindlichen Oberflächen (klassischen „Touchscreens“) ist keine Druckausübung zur Erkennung notwendig, es können außerdem auch mehrere Tokens (bzw. Finger) gleichzeitig erkannt werden.

Technologisch bedingt müssen bei kapazitiven Ansätzen alle zu identifizierenden Objekte die Oberfläche des Systems berühren. In dieser Oberfläche ist ein Metallgitter eingebettet, zwischen dessen Adern eine elektrische Kapazität gemessen werden kann. Diese Kapazität verändert sich, sobald die Adern berührt werden (wobei die Tokens in einen entsprechend geeigneten Material ausgeführt sein müssen). Durch die lokale Änderung der Kapazität kann die Position einer Berührung festgestellt werden. Die Genauigkeit ist dabei durch die Rasterweite des Metallgitters beschränkt. Der größte Nachteil eines kapazitiven Ansatzes ist in diesem Kontext aber, dass die Identität eines Tokens nicht direkt festgestellt werden kann (die Kapazitätsänderung ist für alle Token identisch). Zudem ist die Extraktion weiterer Raumparameter (wie Rotation) nicht bzw. nur mit zusätzlichem Aufwand möglich. Die Vorteile von kapazitiven Systemen liegen in der hohen Robustheit der Erkennung auch bei widrigen Umgebungseinflüssen (Lichtverhältnisse, Schmutz) sowie der prinzipiell beliebig großen und beliebig geformten Oberfläche, die zur Erkennung verwendet werden kann.

Kapazitive Systeme eignen sich also zur Positionsbestimmung, nicht aber zur Identifikation von Tokens. Dies macht sie für den konkreten Anwendungsfall nur in Kombination mit einer anderen Technologie geeignet.

Elektromagnetisch Die Ausstattung von Tokens mit elektromagnetisch erfassbaren Einheiten (z.B. RFID-Chips) ermöglicht ebenfalls die Erfassung von Raumparametern. Vorrangig eignet sich diese Technologie jedoch zur Identifikation von Tokens, die Positionsbestimmung kann nur mit erheblichem technischen Aufwand durchgeführt werden.

RFID-Chips (als Beispiel für einen elektromagnetischen Ansatz) sind passive Bauteile, die bei Energieversorgung durch ein elektrisches Feld aktiv werden und ihrerseits eine eindeutige Identifikationsnummer senden (im einfachsten Fall, komplexere Varianten sind möglich, werden hier aber nicht betrachtet). Historisch stammt die Technologie aus

der Logistik und Warenwirtschaft und dient der Identifikation von Gütern und nicht der exakten Positionsbestimmung. Diese ist somit auch nur mittels erweiterter Infrastruktur möglich. Zum Auslesen eines RFID-Chips wird ein Lesegerät mit Antenne benötigt. Aus der Feldstärke, mit der diese Antenne die Antwort des Chips empfängt, kann auf die Entfernung des Chips von der Antenne geschlossen werden. Durch Kreuzpeilung mit mindestens zwei Antennen, deren Position bekannt ist, kann somit auf die ungefähre Position des Chips (und damit des Tokens, in das dieser eingebaut ist) geschlossen werden. Durch den Einsatz von „Antennenarrays“ (matrixförmig angeordneten Antennen) mit geringer Reichweite ist so eine verhältnismäßig exakte (Größenordnung einige cm) Positionsbestimmung möglich. Die Feststellung der Ausrichtung eines Tokens (Rotation) ist auf diesem Wege allerdings nicht möglich. Die Identifikation eines Tokens ist jedoch unabhängig von Sichtkontakt und unmittelbarer Berührung und somit äußerst robust gegen Umgebungseinflüsse.

Elektromagnetische Systeme eignen sich wegen des hohen technischen Aufwandes bei gleichzeitig beschränkter Genauigkeit nur bedingt zur Feststellung von Raumparametern. Durch die Ausrichtung auf Extraktion der Identitätsinformation ist der Ansatz jedoch gut zur Kombination mit anderen Technologien wie kapazitiven Ansätzen geeignet, die ihre Stärken in der Bestimmung der Raumparameter haben.

Akustisch Akustische Ansätze zur Positionsbestimmung basieren im Allgemeinen auf der Laufzeitmessung von Ultraschallwellen im Raum. Mit entsprechender Infrastruktur ist damit in einem begrenzten Bereich eine hochexakte Feststellung der Raumparameter in drei Dimensionen (Genauigkeit im mm-Bereich) sowie die Identifikation von Tokens möglich.

Ultraschallbasierte Techniken zur Positionsbestimmung basieren auf dem Einsatz von Baken sendern an bekannten Positionen. Diese Sender werden zumeist an der Zimmerdecke montiert und senden periodisch einen Ultraschallimpuls aus. Dieser Impuls wird von den Tokens (die in diesem Fall aktive Bauteile mit Stromversorgung sind) empfangen, die daraufhin einen sie identifizierenden Impuls zurücksenden. Aus der Laufzeit zwischen Absetzen des Sendeimpuls und Empfangen des Antwortimpulses bei verschiedenen Baken lässt sich so die Position des Tokens im Raum feststellen. Problematisch ist hierbei jedoch die durch den auf sequentieller Zeitmessung basierenden Ansatz beschränkte Anzahl von verfolgbaren Tokens, wenn Echtzeit-Ansprüche gestellt werden. Zudem ist der Ansatz nicht robust gegen (akustisch) verdeckte Tokens. Eine Anfälligkeit gegenüber anderen Störeinflüssen besteht nicht.

Für die Feststellung von Raumparametern sind ultraschall-basierte Systeme generell ausgezeichnet geeignet. Auch die Identifikation von Tokens ist prinzipiell möglich. Bei der Bewertung hinsichtlich des Einsatzes für Tabletop Interfaces ist jedoch zu bedenken, dass eine drei-dimensionale Positionierung nicht zu den allgemeinen Anforderungen zählt und

nur in speziellen Anwendungsfällen sinnvoll sein kann. Zudem kann die Notwendigkeit von stromversorgten Tokens einen Nachteil bzw. ein Hindernis beim Einsatz darstellen.

Bewertung Im konkreten Anwendungsfall ist die Feststellung der Identität sowie der planaren Position und Rotation von mehreren Tokens in hoher Genauigkeit sowie in Echtzeit gefordert. Aus oben genannten Gründen sind kapazitive und elektromagnetische Systeme im Einzeleinsatz nur bedingt geeignet. Akustische Systeme sind für den Anwendungsfall als zu aufwändig und unflexibel und stoßen außerdem bei der Anzahl der simultan zu verfolgenden Tokens an ihre Grenzen.

Die Kombination von kapazitiven und elektromagnetischen Systemen ist grundsätzlich eine Möglichkeit, die in Betracht gezogen werden könnte. Auch optische Systeme genügen den Anforderungen und kommen damit in Frage. Der kombinierte Ansatz ist im Vergleich mit optischen Systemen als robuster gegen Störeinflüsse aus der Umgebung zu betrachten. Für optische Systeme sprechen hingegen die weitaus geringeren Aufwände für Infrastruktur und Tokens sowohl bei Anschaffung als auch bei Wartung und Betrieb. Durch die geringere Komplexität des Systems sind auch weniger potentielle Fehlerquellen vorhanden, was bei der Erstellung des Werkzeug-Prototypen hilfreich ist. Aufgrund dieser Aspekte und einer vergleichbaren zu erwartenden Erkennungsleistung wurde für den hier vorgestellten Anwendungsfall die Entscheidung getroffen ein optisches System zur Bestimmung der Positionsparameter sowie der Identität der Tokens einzusetzen.

Tokenzustand

Hinsichtlich des Tokenzustands sind im Kontext des hier vorgestellten Anwendungsfalls Informationen zu erheben, die den Inhalt des Tokens betreffen. Wie in Abschnitt 7.2 beschrieben, sind die Modellierungs-Tokens als Container ausgeführt, die geöffnet und geschlossen werden können und in die kleinere Tokens als Trägen von Zusatzinformation hineingelegt werden können. Die Auswahl eines Ansatzes, der die Identifikation des Öffnungs-Zustandes eines Tokens sowie dessen Inhalt erlaubt, ist Gegenstand dieses Abschnitts. Dazu wird grundlegend zwischen dem Einsatz von passiven Tokens und aktiven Tokens unterschieden. Passive Tokens besitzen keine zusätzliche Elektronik, die geforderten Informationen können lediglich durch die bereits vorhandene (optische) Infrastruktur festgestellt werden. Aktive Tokens werden hingegen mit zusätzlicher Elektronik zur Zustandsbestimmung ausgestattet, was allerdings eine Energieversorgung jedes Tokens bedingt.

Passive Token Bei passiven Tokens muss sichergestellt werden, dass die bereits vorhandene Infrastruktur die Zustandsänderungen eines Tokens erfassen kann. Da die vorhandene Infrastruktur auf optischen Technologien basiert, müssen sich alle Zustandsän-

derungen im äußeren – durch die Kamera erfassbaren – Erscheinungsbild eines Tokens widerspiegeln.

Der Öffnungszustand eines Tokens kann durch Kameras einfach erfasst werden, wenn sich – je nach eingesetzter Technologie – durch das Öffnen der Umriss des Tokens verändert oder ein weiterer Code sichtbar wird bzw. der bestehende Code modifiziert wird. Diese Anforderung kann also durch passive Tokens erfüllt werden.

Zur Erfassung des Inhalts eines Container-Tokens sind zwei Ansätze denkbar. Einerseits kann der Inhalt eines Tokens zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst werden, andererseits ist auch eine Erfassung der Änderung des Tokeninhalts möglich (Erfassung des Vorgangs von Hineinlegen und Herausnehmen). Diese beiden Möglichkeiten sind hinsichtlich der Umsetzbarkeit mit passiven Token unterschiedlich zu beurteilen. Eine Erfassung des aktuellen Tokeninhalts ist mit optischen Systemen nur schwer möglich. Die einzige sich bietende Möglichkeit ist die Verwendung von transparenten Teilbereichen der Außenfläche eines Tokens. Damit ist es grundsätzlich möglich, den Inhalt eines Tokens mit einer externen Kamera zu erfassen. Sowohl bei feature- als auch code-basierten Ansätzen sind jedoch Verdeckungen, Verzerrungen oder zu geringe Kameraauflösung potentiell problematisch und machen diesen Ansatz für den praktischen Einsatz ungeeignet.

Die Erfassung der Änderung des Tokeninhalts lässt sich mit optischen Systemen einfach implementieren. So kann der Vorgang des Hineinlegens als auch des Herausnehmens von einer Kamera erfasst werden. Die größte Herausforderung hierbei ist die Identifikation des Tokens, das eingebettet wird. Hier kann es wiederum durch Verdeckungen zu Erkennungsschwierigkeiten führen, was in diesem Fall einen permanent fehlerhaften Modellzustand zur Folge hat, der im Falle wiederholter Fehlerkennungen sogar inkrementell zu größeren Abweichungen führen kann. Diesem Umstand kann lediglich durch eine explizite Aktion des Benutzers Rechnung getragen werden, der das betreffende einzubettende Token ins Sichtfeld der Kamera halten muss, bis das System Feedback über eine erfolgreiche Erkennung gibt. Diese Lösung ist allerdings hinsichtlich der Anforderung, die Technologie für den Benutzer vollkommen in den Hintergrund treten zu lassen, suboptimal.

Aktive Token Aktive Tokens beinhalten zusätzliche Sensorik, die die Erfassung des Tokenzustands ermöglicht. Derartige Tokens benötigen allerdings eine Energieversorgung und müssen über eine Möglichkeit zur Datenübertragung verfügen um den Tokenzustand an das System zu übermitteln. Weiters ist im Allgemeinen eine Steuereinheit notwendig um die Sensoren zu kontrollieren, die Daten zu aggregieren und letztendlich zu übertragen.

Im konkreten Fall einer optisch arbeitenden Infrastruktur bietet sich eine (ggf. aufladbare) Batterie als Energiequelle an, um im Kamerabild Verdeckungen durch ansonsten eventuell zu verwendende Kabel zu vermeiden. Eine Stromversorgung über die Oberfläche

(wie z.B. im Pin & Play System (Van Laerhoven et al., 2003) vorgestellt) scheidet hier aus, da die Blöcke dann mit Krafteinsatz auf die Oberfläche gesetzt werden müssten und nicht verschoben werden können.

Als Steuerungseinheit bieten sich neben selbst auf der Basis von Mikrocontrollern wie dem PIC oder 8051 (James, 1997) konzipierten Systemen auch Plattformen an, die explizit für den Anwendungszweck der Ansteuerung von Sensoren oder Aktuatoren und der Kommunikation mit einem Basissystem gefertigt werden. Exemplarisch kann hier die Smart-ITs-Plattform (Gellersen et al., 2004) angeführt werden, die neben der flexiblen Ansteuerbarkeiten von unterschiedlichen Sensoren bereits Module zur Vernetzung untereinander und mit zentralen Diensten in der Infrastruktur anbietet.

Aus den eben angeführten Gründen ist zur Datenübertragung eine drahtlos arbeitende Technologie am geeignetsten. Aufgrund der geringen benötigten Reichweite und der Anforderung möglichst energieeffizient zu arbeiten, bieten sich die Technologien „Bluetooth“ (Bluetooth SIG, 2007) und „ZigBee“ (ZigBee Alliance, 2007) an. Bluetooth erreicht höhere Übertragungsraten, ist aber in der Anzahl der gleichzeitig verwendbaren Geräte (max. 7) für den hier vorgestellten Anwendungsfall zu beschränkt. Ein ZigBee-Netz kann mit bis zu 255 Geräten gleichzeitig arbeiten und ist außerdem im Einsatz energiesparender. Für den gegebenen Anwendungsfall erschiene also ZigBee als geeignete Technologie (und wurde auch bereits in (Ferscha et al., 2008) in einem ähnlichen Anwendungsfall erfolgreich eingesetzt).

Zur Feststellung des Öffnungsstatus eines Container-Tokens bieten sich bei aktiven Sensortechnologien mehrere Möglichkeiten an. Der Einsatz eines Schaltelements, das beim Öffnen den Kontakt herstellt oder unterbricht, ist eine nahe liegende Lösung. Auch der Einsatz eines Drehelements am Angelpunkt des Öffnungsschaniers, dessen elektrische Eigenschaften (z.B. Widerstand oder Kapazität) sich mit dem Öffnungswinkel ändern, kann angedacht werden. Damit ist nicht nur eine Unterscheidung zwischen den Zuständen „offen“ oder „geschlossen“ sondern auch die Identifikation von Zwischenzuständen möglich.

Der Inhalt eines Container-Tokens kann ebenfalls mit unterschiedlichen Technologien erfasst werden. Die Zielsetzung ist hier nicht der Positionsbestimmung der eingebetteten Tokens sondern lediglich die Feststellung der Identität. Naheliegend ist hierzu der Einsatz von elektromagnetischen Ansätzen wie oben beschrieben. Durch das Anbringen von z.B. RFID-Chips an den einzubettenden Tokens sowie eines Lesegeräts im Container-Token kann die Identifikation robust durchgeführt werden. Alternativ bieten sich Systeme an, die auf Gewichtsmessung basieren. Über einen in das Container-Token eingebauten Sensor wird dabei das Gesamtgewicht der eingebetteten Tokens bestimmt. Bei entsprechender Konzeption der einzubettenden Tokens (unterschiedliche Gewichte) kann aus dem Gesamtgewicht auf die tatsächlich enthaltenen Tokens geschlossen werden. Ein Nachteil dieses Ansatzes ist die beschränkte Anzahl von erfassbaren Tokens und die

notwendige exakte Fertigung jedes einzelnen Tokens, da es bei Gewichtsabweichungen zu Fehlerkennungen kommt.

Bewertung Hinsichtlich der erreichbaren Flexibilität und zu erwartenden Servicequalität ist in diesem Abschnitt eine Entscheidung zugunsten aktiver Tokens zu treffen. Im Gesamtkontext betrachtet und unter Berücksichtigung der Entscheidung für optische Systeme zur Bestimmung der Positionsparameter ist diese Wahl jedoch zu relativieren. Wie oben beschrieben, erlaubt eine auf optischen Systemen beruhende Infrastruktur grundlegend die Umsetzung der geforderten Funktionalität. Gleichzeitig wird die Komplexität des Systems massiv reduziert und die Erstellung zusätzlicher Tokens vereinfacht (da keine zusätzliche Elektronik notwendig ist). Der Wegfall von Energieversorgung und Sensorlogik in den Token reduziert deren Gewicht und ermöglicht gleichzeitig mehr Platz für einzubettende Tokens.

Für den hier beschriebenen Anwendungsfall bzw. die prototypische Umsetzung des Werkzeugs wird deshalb auf aktive Tokens verzichtet und der Einsatz von passiven Tokens bevorzugt. Der Mehraufwand in Erstellung und Wartung des Systems beim Einsatz aktiver Tokens wiegt in der Gesamtheit betrachtet die zu erwartende höhere Erkennungsqualität nicht auf.

7.1.2. In Frage kommende Frameworks

Unter Anbetracht der im vorherigen Abschnitt getroffenen grundlegender Technologieentscheidung zugunsten optischer Erkennungstechnologie mit passiven Tokens werden nun unterschiedliche Frameworks betrachtet, die die Umsetzung dieses Ansatzes erlauben. Dabei sind zwei Klassen von Frameworks zu unterscheiden:

Generische Frameworks für Tangible Interfaces ermöglichen generell die Koordination von Services, die die Kopplung von Sensoren und Aktuatoren mit Interpretations-Logik und letztendlich konkreten Applikationen erlauben. Sie gehen dabei nicht auf konkrete Sensortechnologien (wie die hier verwendeten optischen Ansätze) ein sondern versuchen eine Abstraktionsebene einzuführen, die die Applikationen von der konkreten Technologie entkoppelt und damit flexibler macht.

Frameworks für video-basierten Input für Tangible Interfaces sind spezialisierte Produkte, die konkret für die Umsetzung von optischen Ansätzen zur Eingabe von Daten bei Tangible Interfaces ausgelegt sind. Durch die Spezialisierung auf optische Identifikation liegt ihr Vorteil im geringeren technischen Aufwand bei der Einrichtung und auch während des Betriebs. Echtzeit-Anforderungen sind oft nur mit spezialisierten Frameworks zu erfüllen. Eine Kombinationsmöglichkeit zwischen Produkten der beiden Kategorien ergibt sich beim Einsatz eines spezialisierten Frameworks als Eingabe-Modul für eine generisches Framework. Durch diesen Ansatz kann die einfache Inbetriebnahme spe-

zialisierter Frameworks mit der Flexibilität generischer Frameworks zusammengeführt werden.

Generische Frameworks

Generische Frameworks zur Behandlung von Input und Output bei Tangible Interfaces sind historisch nicht exakt von anderen Frameworks abzugrenzen, die im Umfeld des Ubiquitous bzw. Pervasive Computing (Weiser, 1991) entwickelt wurden. Von konkreter Technologie abstrahierende Frameworks wurden erstmals im Zusammenhang mit „Context-aware Computing“ (Schilit et al., 1994) erwähnt, um Applikationen die Möglichkeit zu bieten Information aus der Umgebung über beliebige Sensoren zu erfassen, diese zu aggregieren und zu interpretieren. Aufbauend auf dieser Interpretation sollen Aussagen über den aktuellen Zustand der Umgebung (den „Kontext“) getroffen werden können, die die Applikationen wiederum zur Adaption benutzen können. Der Rückkanal, also die Ansteuerung von Aktuatoren, wurde erst in späteren Entwicklungen berücksichtigt. Ein Großteil der Systeme dient explizit nicht der Erstellung von markt-reifen Applikationen sondern widmet sich eher der Umsetzung von „Rapid Prototyping“-Ansätzen im Bereich der Tangible Interfaces. Begründet wird dies mit der oft suboptimalen Ressourcen-Ausnutzung, die mit der Generalisierung und Flexibilisierung des Frameworks einhergeht.

Die Aufzählung der hier beschriebenen Frameworks erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, historische bzw. für den konkreten Anwendungsfall geeignete Ansätze aufzunehmen und in ihren wesentlichen Eigenschaften zu beschreiben.

Context Toolkit Das Context Toolkit (Dey et al., 2001) ist das historisch erste Framework, das versucht, die starre Verbindung zwischen Sensoren und Applikationslogik aufzubrechen. Es führt eine konfigurierbare Schicht ein, die eine schnellere, generischere Applikationsentwicklung ermöglicht und die Wiederverwendung einmal entwickelter Komponenten ermöglicht.

Konzeptuell existieren im Framework drei Arten von Komponenten: „Context Widgets“, „Context Interpreters“ und „Context Aggregators“. „Context Widgets“ implementieren die Ansteuerung beliebiger Software- und Hardware Sensoren und sind für das Sammeln von Information über die Umgebung zuständig. Sie vermitteln zwischen der physischen Umgebung und den konzeptuell höher liegenden Komponenten, indem sie die unverarbeiteten Kontextdaten mittels einer geeigneten Schnittstelle kapseln und bestimmte Funktionen zur ersten Auswertung der Rohdaten ausführen. Eine Anwendung kann diese Daten verwenden, ohne dass sie Detailkenntnisse über die zugrunde liegenden Sensortechnologien haben muss. „Context Interpreter“ aggregieren die Sensordaten zu komplexeren Kontextinformationen d.h. sie konvertieren und interpretieren die Daten

mehrerer „Context Widgets“ und versuchen diese zu einheitlichen Clustern zusammenzufassen. „Context Aggregators“ dient der Zusammenführung verschiedener Kontextinformationen, die für bestimmte Anwendungen relevant sind. „Context Aggregators“ bilden damit die Schnittstelle zu den eigentlichen Applikationen.

Das Context Toolkit bietet nicht nur eine Softwareschnittstelle zu physischen Sensoren, es trennt auch die Akquisition und Repräsentation von der Auslieferung der Daten an kontextsensitive Applikationen.

SiLiCon Context Framework Das SiLiCon Context Framework (Beer et al., 2003) ist ein Vertreter jener Klasse von Frameworks, deren Verhalten zur Laufzeit dynamisch konfigurierbar ist. Dies bedeutet im konkreten Fall, dass Applikationen, die auf Basis des SiLiCon Context Framework erstellt wurden, ihr Verhalten und ihren Aufbau aufgrund eintretender Ereignisse verändern können. Dies betrifft sowohl das Aktivieren und Deaktivieren von Input- und Output-Kanälen also auch die Veränderung der Interpretation der eingehenden Information und die Reaktion darauf. Das Framework wurde entworfen um Szenarien beschreiben zu können, in denen interaktive Systeme kontextsensitiv – d.h. abhängig vom aktuellen Zustand ihrer Umwelt – reagieren müssen.

Die grundlegenden Bausteine des SiLiCon Context Framework sind „Entitäten“, die Objekte der realen Welt konzeptuell abbilden. Diese „Entitäten“ besitzen „Attribute“, also Eigenschaften, mit Hilfe derer die Entität näher beschrieben wird. Über „Attribute“ kann die Wahrnehmung einer „Entität“ von deren Umwelt sowie deren Interaktionsmöglichkeiten mit derselben beschrieben werden. Mit Hilfe von ECA-Regeln wird beschrieben, auf welche Wahrnehmung der Umwelt („Event“) eine Entität unter welchen Bedingungen („Condition“, formuliert auf Basis des internen Zustands der Entität) mit welchen Aktivitäten („Acti“on) reagiert. Diese Regeln können zur Laufzeit dynamisch verändert und nachgeladen werden. Außerdem ist es möglich, in „Actions“ das Nachladen von Entitäten oder das Hinzufügen oder Entfernen einzelner Attribute durchzuführen (Oppl, 2004, S. 90).

Das SiLiCon Context Framework abstrahiert durch seine konzeptuelle Struktur mit dem Einsatz von „Entitäten“ und „Attributen“ nicht so stark von der realen Welt wie das zuvor beschriebene Context Toolkit – die Abbildung ist im ersten Schritt „direkter“ und muss erst im zweiten Schritt technisch konkretisiert werden, ein klassischer Softwareengineeringprozess (im Sinne von „Analyse – Design – Implementierung“) wird damit vollständiger (auch in den ersten Phasen) durch das Framework abgebildet und unterstützt.

Papiermaché Papiermaché (Klemmer et al., 2004) ist eines der ersten Rapid Prototyping Frameworks, die dezidiert zur Entwicklung von Tangible Interfaces entworfen wurden. Es fokussiert auf die Anbindung von Inputtechnologien für passive Objekte (RFID oder optische Ansätze) und stellt Applikationen eine abstrahierte Sicht auf die reale Welt

zur Verfügung (in Form einer Repräsentation der erfassten Objekte als „Phobs“ – Physical Objects –, die die für die jeweilige Applikation relevanten Daten kapseln). Andere Eingabekanäle sind in der zur Verfügung stehenden Implementierung nicht vorgesehen – die Einordnung als generisches Framework ist aufgrund der übrigen Architektur trotzdem gerechtfertigt. Der Benachrichtigungsmechanismus erfolgt wie im Context Toolkit ereignisgesteuert – d.h. jede Änderung der erfassten Umgebung generiert ein Ereignis im Framework, das an die weiterverarbeitende Applikation weitergeleitet wird.

Im Sinne des Rapid Prototyping stellt Papiermaché als einziges hier betrachtetes Framework eine Art Entwicklungs- und Laufzeitumgebung für Tangible Interfaces zur Verfügung. Mittels dieser können Applikationsentwickler etwa Eingabekanäle auswählen und die Interpretation der Rohdaten zur Laufzeit konfigurieren. Die Entwicklungsumgebung macht die zugrundeliegende Hardware für den Entwickler dabei transparent, er muss sich also nicht um die Details der technischen Anbindung kümmern, ist dafür aber auf die bereits implementierten Hardware-Schnittstellen beschränkt. Die Interpretation der Daten beschreibt der Entwickler in Source Code, der über definierte Schnittstellen in das Framework eingebunden wird. Über ein Monitoring-Interface kann die Arbeit des Frameworks zur Laufzeit beobachtet werden um so z.B. Fehlverhalten oder ineffiziente Konfigurationen aufzudecken.

Papiermaché versucht mittels der Integration von vorgegebenen Eingabekanälen, die konfiguriert werden können, einen Teil der Komplexität bei der Entwicklung von Tangible Interface abzumildern. Der übrige konzeptuelle Aufbau ähnelt dem Context Toolkit – Interpretation der Daten und Verwendung in einer Applikation sind konzeptuell getrennt. Papiermaché ist in seiner Ausrichtung auf den Einsatz für Tangible Interfaces ausgelegt, die auf der Manipulation von einzelnen physischen Objekten und der Beziehungen zwischen diesen beruht. Es ist damit nicht so flexibel einsetzbar wie die anderen betrachteten Frameworks, ist aber für den hier vorgestellten Anwendungsfall grundsätzlich geeignet.

TUIpist Das TUIpist-Framework (Furtmüller, 2007) wurde im Zusammenhang mit der hier vorgestellten Arbeit entwickelt (Furtmüller und Oppl, 2007). TUIpist verfolgt einen ähnlich modularen Ansatz wie die anderen hier vorgestellten Frameworks, setzt jedoch zur Koordination der Module untereinander einen daten-zentrierten Ansatz – auf dem LINDA-Konzept (Carriero und Gelernter, 1989) beruhende Tuplespaces – ein. Die konzeptuelle Modulstruktur ist ähnlich der Aufteilung, die bereits von Dey et al. (2001) im Context Toolkit vorgeschlagen wurde.

Die grundlegenden Module, die im Framework verwendet werden, sind „Sensoren“, „Aggratoren“ und „Anwendungen / Aktuatoren“ (siehe Abbildung 7.2). „Sensor“-Module binden externe Datenquellen an das Framework an. Sie enthalten dazu eine sensor-spezifische Komponente, die die Schnittstelle zur jeweiligen Hard- bzw. Software bildet. Über diese Schnittstelle gelieferte Daten werden in einer zweiten Komponente vorverar-

beitet und soweit abstrahiert, dass die Datenrepräsentation unabhängig von der die Daten liefernden Sensortechnologie ist (z.B. Abbildung von GPS²-Koordinaten auf logische Positionsinformation, die auch aus anderen Quellen stammen könnte). „Aggregatoren“ fassen die Information mehrerer „Sensor“-Module zusammen und interpretieren ggf. einander ergänzende oder auch widersprechende Information. Sie werden immer aktiv, wenn neue Sensordaten zur Verfügung stehen und aktualisieren dabei die Information über den Gesamtzustand der den Framework bekannten Umwelt. „Anwendungen / Aktuatoren“ bilden letztendlich die Schnittstelle zu konkreten Applikationen, die ihr Verhalten an den aktuellen Umweltzustand anpassen bzw. diesen darstellen oder Aktuatoren, die basierend auf dem aktuellen Umweltzustand Aktionen in dieser setzen. „Anwendungen / Aktuatoren“ filtern dabei wieder den von „Aggregatoren“ gelieferten Gesamtzustand der bekannten Umwelt und liefern nur die für die Applikation relevanten Daten aus. Dabei kann erneut eine Nachverarbeitung der Daten, z.B. im Sinne einer Anpassung an eine externe Schnittstelle, erfolgen.

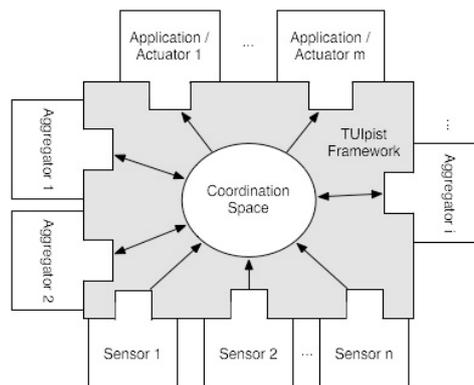


Abbildung 7.2.: Architektur des TUIpist-Framework (eigene Abbildung übernommen aus (Furtmüller und Oppl, 2007))

Die Verbindung der Komponenten erfolgt wie erwähnt datenzentriert. Eine wesentliche Eigenschaft dieses Ansatzes ist, dass keine explizite Verknüpfungen zwischen den Modulen definiert werden. Die Zuordnung erfolgt vielmehr indirekt durch die Daten selbst. Jedes Modul kann Datensätze („Tuple“) in einem definierten Format generieren und in einen gemeinsam genutzten Datenraum – den „Tuplespace“ – stellen. Andere Module können nun Anfragen an den „Tuplespace“ stellen, ob Daten, deren Struktur oder Inhalt gewissen Kriterien entspricht, vorhanden sind. Ist dies der Fall, können diese Daten aus dem „Tuplespace“ entnommen werden und nach erfolgter Verarbeitung in modifizierter Form wieder eingestellt werden (siehe Abbildung 7.3). Das „Tuplespace“-Konzept erlaubt auch eine dynamische Erweiterung bzw. Veränderung sowohl der Ein-

²Global Positioning System

und Ausgabekanäle als auch der internen Datenverarbeitung zur Laufzeit, indem zusätzlich Module am „Tuplespace“ registriert werden. Durch die lose Koppelung der Module muss keine zusätzliche Konfiguration an anderen Modulen oder am „Tuplespace“ selbst vorgenommen werden.

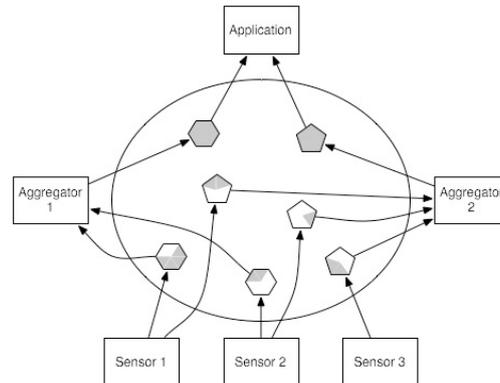


Abbildung 7.3.: Zusammenspiel der Komponenten in TUIpist (eigene Abbildung übernommen aus (Furtmüller und Oppl, 2007))

Die Implementierung von TUIpist auf Basis des Java Jini-Frameworks (Arnold et al., 1999) ermöglicht eine Verteilung der einzelnen Module einer Applikation auf unterschiedliche Rechner (im Sinne eines „verteilten Systems“ (Stary, 1994)) ohne zusätzlich vom Implementierer zu berücksichtigenden Koordinationsaufwand. Es können damit auch (räumlich) entfernte Sensoren oder Webapplikationen angebunden werden und der ggf. auftretende Rechenaufwand zur Aggregation oder Interpretation von Daten auf mehrere Rechner verteilt werden.

Frameworks für video-basierten Input

Im Gegensatz zu den eben beschriebenen generischen Frameworks wurden die hier vorgestellten Frameworks explizit für die Behandlung von video-basiertem Input entwickelt. Wie oben bereits erwähnt, stehen die hier beschriebenen Frameworks mit den eben angeführten generischen Frameworks in Zusammenhang, als dass sie zumeist als Sensor-Komponente in generischen Ansätzen eingesetzt werden können. In ihrer grundlegenden Ausrichtung sind sie jedoch zumeist für den unmittelbaren Einsatz in einer Endanwendung konzipiert.

Die hier vorgestellten Systeme implementieren den Ansatz des code-basierten optischen Trackings. Feature-basierte Ansätze kommen im konkreten Anwendungsfall nicht in Frage, da zur Modellierung eine Vielzahl von gleichartigen Objekten eingesetzt werden, die sich in ihrem äußeren Erscheinungsbild nicht unterscheiden und damit in feature-basierten Ansätzen nicht eindeutig identifiziert werden können.

Wie bereits im letzten Abschnitt erhebt auch die hier angeführte Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Neben der Darstellung der historischen Entwicklung des Feldes und der Beschreibung von in Forschung und Praxis relevanten Ansätzen wurde bei der Auswahl vor allem auf freie Verwendbarkeit und Zugriff auf den Source-Code der Erkennungsroutinen geachtet, da die Notwendigkeit applikationsspezifischer Anpassungen nicht auszuschließen war (etwa um benötigte aber nicht direkt unterstützte Parameter zu extrahieren).

AR Toolkit Das AR Toolkit („Augmented Reality Toolkit“) (Kato et al., 2000) ist historisch das erste in breitem Umfang eingesetzte Framework zur optischen Identifikation von Elementen in der realen Welt. Das AR Toolkit verwendet zur Identifikation Marker, in die selbst keine Information codiert ist, und eine Mapping-Tabelle zur Verknüpfung mit digitaler Information. Die Marker des AR Toolkit (siehe Abbildung 7.4) werden durch Mustererkennung identifiziert und weisen bis auf den schwarzen Rahmen, der einen Marker begrenzt, keine verpflichtenden Elemente auf. Die Form der Marker ist also vorgegeben, ihr Inhalt kann frei gestaltet werden, zur Identifikation ist es aber notwendig, das die zu erkennenden Marker im Vorhinein beim Framework registriert werden.



Abbildung 7.4.: AR Toolkit Marker (Quelle: www.hitl.washington.edu/artoolkit/)

Das AR Toolkit ist auf die Verwendung in Anwendungen im Bereich der Augmented Reality ausgelegt und liefert die aus dem Bild extrahierte Information in einer Form, die eine Weiterverarbeitung mittels Frameworks aus dieser Domäne möglich macht. Konkret werden Raumparameter als Transformationsmatrizen ausgegeben, die eine direkte Umsetzung der Information in eine Darstellung mittels OpenGL ermöglichen. Die Anbindung von Kameras an das Framework wird über plattformspezifische Treiber realisiert, das AR Toolkit selbst empfängt einen Bildstrom, den es auswertet. Die Erkennungssoftware ist in C implementiert, bietet aber Wrapper für andere Programmiersprachen (unter anderem Java). Sie wird als Bibliothek in die eigentliche Applikation eingebunden.

Visual Codes Das Visual Codes System (Rohs, 2005) ist ein Vertreter der direkt codierenden Ansätze, d.h. dass die Nutzinformation ohne Zwischenschritt direkt aus dem Code extrahiert werden kann. Im Gegensatz zu den standardisierten und kommerziell genutzten Code-Formate QR-Code (ISO JTC1/SC31, 2006) oder Datamatrix (GS1,

2008), die eine Kapazität von bis zu einigen hundert Byte haben, bietet das Visual Code System lediglich 83 Bits an Nutzinformation an (siehe Abbildung 7.5), was dazu führt, das in vielen Anwendungsfällen ein Mapping durch die Anwendung durchgeführt wird, um die zu verwaltende Information abbilden zu können.

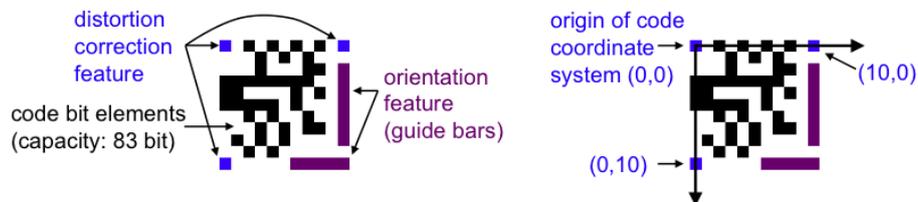


Abbildung 7.5.: Visual Codes – Aufbau und Features (übernommen von Rohs und Gfeller (2004))

Der Vorteil des Visual Code Systems liegt in der Auswertbarkeit einer Vielzahl von Raumparametern bei gleichzeitig geringem Bedarf an Rechenkapazität. In der Standardimplementierung werden neben der Position und der Rotation in der Ebene auch die Neigungsparameter im Raum extrahiert. Der Erkennungsalgorithmus läuft dabei in Echtzeit und kann unverändert sogar auf Java-fähigen Mobiltelefonen ausgeführt werden. Durch die relativ geringe Datendichte der Codes reichen dementsprechend auch verhältnismäßig niedrig auflösende Bilder (z.B. 320 x 240 Bildpunkte) für eine Erkennung aus. Wie alle anderen optischen Ansätzen leidet das Visual Code System unter Erkennungsproblemen bei wechselnden Lichtverhältnissen und insbesondere bei schlechtem Kontrast. Dieses Verhalten kann in der vorliegenden Implementierung auch nicht durch Anpassung der Kameraparameter (Bildverstärkung o.ä.) korrigiert werden.

Das Visual Code System muss von auf ihm aufbauenden Applikationen direkt auf Source-Code-Ebene eingebunden werden, eine vorgegebene externe Schnittstelle existiert nicht. Anbindungsroutinen für Kameras existieren nur für Mobiltelefone und müssen für andere Plattformen ggf. neu erstellt werden.

ReacTIVision ReacTIVision (Kaltenbrunner und Bencina, 2007) ist ein frei verfügbares Framework zur optischen Erkennung von Codes in Echtzeit. ReacTIVision arbeitet mit proprietären Codes (siehe Abbildung 7.6), in denen die Information nicht an bestimmte Positionen sondern im Wesentlichen in die Anzahl und Schachtelung der Schwarz-Weiß-Übergänge codiert ist. Der Umfang der direkt in einem Marker codierbaren Information ist damit beschränkt und nicht direkt auf ein binäres Codierungsschema abbildbar. Deswegen wird ein Mapping-Ansatz verwendet, um die eigentliche Nutzinformation auf Codes abzubilden. Grundsätzlich ist jedoch die direkte Codierung einer beschränkten Anzahl von Bits möglich, ist aber in der aktuellen Implementierung nicht unmittelbar vorgesehen.

Durch die Art der Informationscodierung ist die Erkennungsleistung von ReactIVision auch unter schlechten Lichtbedingungen oder bei verzerrtem Eingangsbildern akzeptabel bis sehr gut. Die Form der Codes ist außerdem nicht vorgegeben, sie kann frei gewählt werden. Sogar händisch gezeichnete Codes können erkannt werden, da ausschließlich eine geschlossene Außenlinie und entsprechende Schwarz-Weiß-Übergänge innerhalb dieser Linie erfassbar sein müssen.



Abbildung 7.6.: ReactIVision Code

Die ReactIVision-Software ist plattformübergreifend für Windows, Linux und Mac OS X verfügbar. Sie greift über plattformspezifische Schnittstellen auf eine angeschlossene Kamera zu und wertet das empfangene Bild in Echtzeit aus. Dabei sind bei einer Kameraauflösung von 1024 x 768 Bildpunkten Bildraten von 15-20 Bildern pro Sekunde erreichbar. Diese Leistung wird auch durch eine höhere Anzahl von gleichzeitig im Bild vorhandenen Codes nicht merklich geringer.

Neben der Position der Codes wird auch deren aktuelle Rotation sowie die erste Ableitung dieser drei Parameter (also ein Maß für die Bewegung) extrahiert. Zudem können Finger, die die Oberfläche berühren, erkannt und deren Position extrahiert werden. Dies ist auch für mehrere Finger möglich, wobei eine eindeutige Zuordnung über die Zeit erhalten bleibt und so rudimentäre Multitouch-Funktionen umgesetzt werden können.

Als problematisch stellt sich wie auch bei allen anderen betrachteten optischen Ansätzen die Abhängigkeit der Erkennungsqualität von der Umgebungsbeleuchtung bzw. deren Änderung über die Zeit dar. ReactIVision arbeitet mit adaptiven Filteralgorithmen zur Aufbereitung des Bildes, was jedoch nur leichte Beleuchtungsschwankungen ausgleichen kann. Die Software kann manuell an die Beleuchtungsverhältnisse angepasst werden (Einstellung der Blendenöffnung und der Bildverstärkung), bei sich ändernden Lichtverhältnissen muss jedoch regelmäßig eine Nachführung der Parameter vorgenommen werden.

Die aus dem Bilderstrom gewonnenen Daten werden im Falle einer Änderung zumindest eines Wertes über eine Netzwerkschnittstelle (UDP-basiert) in einem proprietären Protokoll zur Verfügung gestellt. Zu diesem Protokoll werden Schnittstellen und Referenzimplementierungen in unterschiedlichen Programmiersprachen – unter anderem C(++) und Java – zur Verfügung gestellt. Applikationen können diese Schnittstelle

implementieren und werden mittels sechs zu implementierenden Methoden an die Erkennungsroutinen angebunden (je 3 für Code- und für Fingertracking).

7.1.3. Technologieentscheidung

Auf Basis der Anforderungen, die im Anwendungsfall an das Werkzeug gestellt werden, ist nun nach der grundsätzlichen Entscheidung für ein auf optischen Ansätzen basierendes System die Entscheidung für ein konkretes Framework zu treffen.

Vergleich der Frameworks für videobasierten Input

Für die Anbindung von videobasiertem Input wurde drei Frameworks vorgestellt. Diese Frameworks sind nun hinsichtlich mehrere Aspekte zu vergleichen, die sich aus den Anforderungen der zu erstellenden Applikation sowie der Forderung nach möglichst einfacher (im Sinne von weniger aufwändig) Einbindung des Frameworks ergeben. Im Einzelnen sind dies

- die Unterstützung bei der Einbindung von Kameras und eine Schnittstelle zur Programmiersprache Java,
- eine stabile und in Echtzeit ablaufende Bilderkennung,
- eine ausreichende Anzahl von Codes (Größenordnung 100),
- die Extraktion von Position und Rotationsinformation für Codes im Erfassungsbereich der Kamera,
- die Art der Kopplung von Framework und darauf aufbauender Applikation, sowie
- die technische und lizenzrechtliche Möglichkeit, die Frameworks an die eigenen Anforderungen anzupassen.

ReacTIVision bietet die umfassendste Unterstützung zur Einbindung unterschiedlicher Videoquellen und ist zur Anwendungsseite hin durch die Netzwerkschnittstelle am flexibelsten einsetzbar. Alle drei Ansätze bieten Schnittstellen bzw. Konnektoren für die Programmiersprache Java an. Die Frameworks selbst sind in C(++) oder Java erstellt und können auf den gängigen Plattformen (Windows, Linux, Mac OS x) ausgeführt werden. Eine Verteilung der Applikation auf mehrere Rechner wird nur von ReacTIVision explizit unterstützt.

Hinsichtlich der eigentlichen Bilderkennungs-Routinen sind die Ansätze in ihrer Leistung und Geschwindigkeit vergleichbar, leiden aber alle unter der Abhängigkeit von der Umgebungsbeleuchtung. ReacTIVision bietet hier als einziger Ansatz die Möglichkeit, Kameraparameter zur Laufzeit nachzuführen und so Schwankungen der Umgebungshelligkeit auszugleichen.

Durch den eingesetzten Mapping-Ansatz sind AR Toolkit und ReactIVision hinsichtlich Form und Inhalt der Codes flexibler als direkt codierende Ansätze wie Visual Codes. Dies ist im konkreten Anwendungsfall relevant, da aufgrund der Token-Form und deren beschränkter Größe eine ideale Platzausnutzung erfolgen muss, um ausreichende Erkennungsleistung zu gewährleisten.

Die Extraktion der Raumparameter (Neigungsinformation, ...), die von AR Toolkit und Visual Codes ermöglicht wird, ist bei tisch-basierten Werkzeugen wie dem hier vorgestellten nicht notwendig – die Erhebung planarer Parameter (Position und Rotation) ist ausreichend. AR Toolkit liefert aufgrund seiner Ausrichtung auf Augmented Reality-Anwendung die Parameter in Form einer Transformationsmatrix, die für die Verarbeitung in 3D-Umgebungen wie OpenGL direkt geeignet ist, im hier verfolgten Ansatz jedoch einer zusätzlich Umrechnung auf das benötigte Parameterformat unterzogen werden müsste.

Die Anzahl der verfügbaren und zuverlässig unterscheidbaren Codes muss für die hier vorgeschlagene Anwendung in der Größenordnung 100 liegen. Visual Codes und ReactIVision erfüllen diese Anforderung, AR Toolkit bietet im Lieferumfang weniger Codes an, diese können jedoch erweitert werden und bieten auch in der geforderten Anzahl noch ausreichend Unterscheidungsmerkmale für eine zuverlässige Unterscheidung (Wagner und Schmalstieg, 2003).

Das AR Toolkit und Visual Codes müssen direkt über eine Einbindung von Bibliotheken in die eigene Applikation integriert werden. ReactIVision ist hier flexibler und wird über einen Netzwerkport mit der Zielapplikation verbunden. Dies kommt dem hier verfolgten Ansatz entgegen, da ein verteilter Betrieb aufgrund der hohen Rechenanforderungen oder im Betrieb mit mehreren Ausgabegeräten notwendig werden kann.

Von AR Toolkit und ReactIVision steht der Source-Code zur Verfügung. Lizenzrechtlich erlauben das AR Toolkit und ReactIVision explizit eine Veränderung des Sourcecodes unter der GNU Public Licence³ bzw. der Lesser GNU Public Licence⁴. AR Toolkit verfolgt dabei einen Dual Licensing Ansatz, der einen kommerziellen Einsatz kostenpflichtig macht. Zu Visual Codes sind keine Lizenzinformationen erhältlich, auch der Sourcecode steht nicht zum Download bereit.

Auf Basis der in Tabelle 7.1 angegebenen Gegenüberstellung ist erkennbar, dass das ReactIVision-Framework für den hier verfolgten Ansatz am besten geeignet ist. Betrachtet man die funktionalen Anforderungen, sind zwar alle Frameworks grundsätzlich geeignet, die nicht-funktionalen Anforderungen – vor allem die plattform-übergreifende Einsetzbarkeit, die Möglichkeit zum verteilten Betrieb und die gute Unterstützung beliebiger Kameras sowie deren Konfigurierbarkeit – sprechen für die ReactIVision-Plattform. Diese wird deshalb zur Umsetzung des Werkzeugs verwendet. Der zusätzliche Einsatz

³<http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>

⁴<http://www.gnu.org/licenses/lgpl-3.0.html>

Tabelle 7.1.: Gegenüberstellung der Frameworks für video-basierten Input

	AR Toolkit	Visual Codes	ReacTIVision
Kameraunterstützung	nativ auf allen unterstützten Plattformen (Interfaces & Features treiber-abhängig)	nativ nur für Mobiltelefone	nativ auf allen unterstützten Plattformen
Plattformen	Windows, Linux, Mac OS X	Java-basiert auf allen Plattformen	Windows, Linux, Mac OS X
Schnittstelle zu Java	extern	nativ	ja
Stabilität der Bilderkennung	abhängig von den verwendeten Markern	eher hoch	hoch
Kompensationsmöglichkeit bei schlechten Lichtbedingungen	nein	nein	ja
Geschwindigkeit der Bilderkennung	> 10 fps	> 10 fps	> 10 fps
Anzahl von gleichzeitig erkennbaren Codes	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung
Erkennung von Position	implizit	ja	ja
Erkennung von Rotation	implizit	ja	ja
Kopplung von Framework und Applikation	eng	eng	lose
Source-Code verfügbar	ja	nein	ja
Lizenz	GPL, kommerziell	unbekannt	GPL, LGPL

eines generischen Frameworks zur Flexibilisierung der Applikationsstruktur ist damit nach wie vor möglich und wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

Vergleich der generischen Frameworks

Der Einsatz eines generischen Frameworks ist im konkreten Anwendungsfall für die Modularisierung der Interpretations- und Output-Module denkbar. Eine weitere Anwendung von generischen Frameworks ist die Sicherstellung der Skalierbarkeit der Anzahl der Ausgabemodule ggf. auch während des Betriebs der Applikation (um z.B. weitere Viewer-Module zur Beobachtung des Modellierungsvorganges während der Laufzeit zuschalten zu können). Die Aspekte die beim Vergleich der vorgestellten Ansätze berücksichtigt werden müssen, sind deshalb

- die Unterstützung von modularen funktionalen Einheiten sowie
- die Möglichkeit diese zur Laufzeit zu laden und entfernen und
- die Konfigurierbarkeit der Verknüpfungen dieser Module.

Daneben sind nicht-funktionale Anforderungen wie

- Skalierbarkeit,
- Effizienz bei der Weiterleitung und Verteilung der Anwendungsdaten und
- die Lizenzbestimmungen des Frameworks

zu berücksichtigen.

Die Modularisierung der Applikation wird von allen vier vorgestellten Frameworks unterstützt. Das Context Toolkit, Papiermaché und TUIpist unterscheiden dabei konzeptuell zwischen unterschiedlichen Arten von von Modulen (im Wesentlichen „Input“, „Verarbeitung“ und „Output“), das SiLiCon Context Framework unterscheidet nicht zwischen unterschiedlichen Modultypen, dort wird die Rolle eines Moduls ausschließlich über seine Attribute (also die nach außen sichtbaren funktionalen Einheiten) definiert.

Eine Erweiterbarkeit der Applikation zur Laufzeit ist nur beim SiLiCon Context Framework und bei TUIpist möglich. Das SiLiCon Context Framework arbeitet hier mit eigens erstellten Java-Classloadern, die das Nachladen von Klassen (Modulen) und deren Integration in die Infrastruktur erlauben. TUIpist verwendet die inhärent dynamische Erweiterbarkeit des Java Jini Frameworks (Arnold et al., 1999), auf Basis dessen es implementiert wurde. Das Context Toolkit und Papiermaché erlauben kein Nachladen oder Entfernen funktionaler Einheiten während der Laufzeit.

Die Konfiguration der Verbindungen zwischen den Modulen ist bei allen Frameworks möglich, konzeptuell jedoch unterschiedlich ausgeführt. Im Context Toolkit und in Papiermaché muss die Verbindung direkt im Programmcode codiert werden und wird im wesentlichen auf Methodenaufrufe abgebildet. Das SiLiCon Context Framework verwendet ereignisbasierte Regeln, um Module zu verknüpfen. Ein von einem Modul ausgelöstes

Ereignis kann hier (ggf. durch Bedingungen eingeschränkt) Aktionen in anderen Modulen auslösen. Eine Besonderheit dieses Ansatzes ist, dass Teile der Interpretationslogik (also der Erkennung von Benutzerinteraktion aus den Rohdaten) in die Regeln ausgelagert werden und damit jederzeit dynamisch verändert werden können. So kann zum Beispiel die Interpretation der Nähe zwischen zwei Token in einer Regel codiert werden und so in die Reihe der zulässigen (bzw. erkennbaren) Interaktionen aufgenommen werden. TUIpist benötigt hingegen keinerlei explizite Verbindung der Module, da sämtliche Koordination über den geteilten Datenraum ausgeführt wird. Die Verknüpfungslogik wird hier in die Module verschoben, die selbst wissen müssen, für welche Daten für sie ggf. relevant sind und welche sie deshalb dem Tuplespace entnehmen.

Hinsichtlich der Skalierbarkeit der Frameworks können aufgrund mangelnder Vergleichsdaten keine fundierten Aussagen getroffen werden. Hinzuweisen ist jedoch auf die Unterstützung von verteiltem Betrieb einer Applikation durch das SiLiCon Context Framework (via SOAP-Aufrufe (Curbera et al., 2002) und das TUIpist Framework (via Jini und Java RMI⁵ (Downing, 1998)). Durch diese Verteilbarkeit ist kann die Problematik mangelnder Rechenressourcen umgangen werden, die vor allem bei rechenintensiven Anwendungen wie der eingesetzten Bildanalyse im optischen Tracking auftritt.

Die Beurteilung der Effizienz der Frameworks ist hier in Hinblick auf die geforderte Echtzeit-Interaktion mit dem System als relevant zu erachten. Das Haupt-Kriterium für Effizienz ist dementsprechend die Verzögerung zwischen Eingabe-Ereignissen und dem Feedback auf Applikationsebene, die beim Einsatz der Frameworks auftritt. Eine Beurteilung in absoluten Zahlen kann hier mangels entsprechenden Datenquellen ebenfalls nicht erfolgen, konzeptuell sind aber bei den Frameworks, in denen Module direkt durch Programm-Code verknüpft werden (Context Toolkit und Papiermaché), eher geringe Verzögerungen zu erwarten. Die beiden Frameworks, die mit expliziter und konfigurierbarer Middleware zur Datenvermittlung arbeiten (SiLiCon Context Framework und TUIpist) lassen eher höhere Verzögerungen erwarten, wobei der ereignisbasierte Ansatz des SiLiCon Context Framework dem daten-basierten Ansatz von TUIpist insofern überlegen ist, als bei der datenbasierten Interaktion die Module in regelmäßigen Intervallen nach neuen Daten suchen müssen (Polling, „Information Pull“-Ansatz), während bei ereignisbasierten Ansätzen die Benachrichtigung der betroffenen Module automatisch und zum Zeitpunkt des Auftretens des Ereignisses erfolgt („Information Push“-Ansatz). Der „Information Pull“-Ansatz sorgt dabei einerseits für erhöhten Kommunikationsaufwand und potentiell für Verzögerungen bei Ereignissen, die innerhalb eines Polling-Intervalls auftreten.

Auf Basis der in Tabelle 7.2 angegebenen Gegenüberstellung sind das SiLiCon Context Framework und TUIpist als die beiden am besten geeigneten Kandidaten für den Einsatz als generisches Framework im hier vorgestellten Anwendungsfall. Das Context

⁵Remote Methode Invocation

Tabelle 7.2.: Gegenüberstellung der generischen Frameworks

	Context Toolkit	SiLiCon Context Framework	Papiermaché	TUIpist
Modularität	ja	ja	ja	ja
Erweiterbarkeit zur Laufzeit	nein	ja	nein	ja
dynamisch konfigurierbare Orchestrierung	nein	ja	nein	ja
Skalierbarkeit	schlecht	gut	schlecht	sehr gut
Effizienz bei der Weiterleitung von Daten	sehr gut	gut	sehr gut	ausreichend
Lizenz	unbekannt	unbekannt	Open-Source (nicht näher bestimmt)	Eigenentwicklung

Toolkit und Papiermaché scheiden aus verschiedenen Gründen, vor allem aufgrund der mangelnden Flexibilität aus.

Stellt man die beiden verbleibenden Frameworks gegenüber, so sind hinsichtlich der funktionalen Anforderungen keine Vorteile für einen der beiden Kandidaten zu identifizieren. Hinsichtlich der nichtfunktionalen Anforderungen hat TUIpist hinsichtlich der Skalierbarkeit leichte Vorteile, da das Nachladen von neuen Instanzen weniger Aufwand verursacht als im Fall des SiLiCon Context Framework (lediglich Laden eines Moduls im ersten Fall gegenüber Laden und Einbinden über eine Änderung der Regelbasis im zweiten Fall). Außerdem ist die technologische Basis der Verteilungsarchitektur in TUIpist konzeptuell auf höherer Ebene angesiedelt und mächtiger in der Verwaltung der Applikationsstruktur (unter anderem werden neue Module bei TUIpist automatisch in die Infrastruktur eingebunden, sobald sie angemeldet werden, im SiLiCon Context Framework muss für jeden Kommunikationskanal die IP-Adresse des Empfängers bekannt sein und in die Regelbasis aufgenommen werden).

Hinsichtlich der Effizienz der Kommunikation bietet das SiLiCon Context Framework gegenüber TUIpist aus den oben beschriebenen Gründen (Benachrichtigung über Änderungen gegenüber Polling) Vorteile. Für die hier beschriebene Applikation fällt die Entscheidung trotzdem zugunsten TUIpist. Neben der generell weniger aufwändigen Konfiguration kommt die Struktur von TUIpist einem iterativen Software-Entwicklungsprozess insofern eher entgegen, als dass die Modularisierung von initialen, monolithischen Prototypen (z.B. basierend auf der Struktur des zuvor ausgewählten ReacTIVision-Frameworks) einfacher möglich ist. Dies liegt darin begründet, dass in der modularen und dynamischen Struktur von TUIpist die gesamte Applikationslogik in den Modulen enthalten ist und so Teile aus einer monolithischen Applikation herausgelöst und direkt übernommen werden können, wobei lediglich die Logik der Datenübergabe von direkten Methoden-Aufrufen auf die TUIpist-Routinen zum Zugriff auf den Tuplespace umgearbeitet bzw. erweitert werden muss. Beim korrekten Einsatz des SiLiCon Context Framework wandert wie oben beschrieben ein Teil der Applikationslogik in die Regelbasis, was erhöhten Aufwand bei der iterativen Entwicklung verursacht und außerdem das Zusammenspiel der Applikations-Module unübersichtlicher und schwerer fassbar macht.

7.2. Konzeption und Umsetzung der Hardwarekomponenten

Basierend auf der oben getroffenen Technologieentscheidung zugunsten eines optischen, video-basierten Input-Systems für das hier zu erstellende Tabletop Interface wird in diesem Abschnitt das konkrete Hardware-Design beschrieben. Dies umfasst die Beschreibung des Tabletop Interfaces im Überblick und detaillierte Betrachtungen des Token-

Designs sowie der Tisch-Oberfläche, die als Input-Kanal dient. Weiters werden spezifische Herausforderungen und der jeweilige hier verfolgte Lösungsansatz beschrieben. Nicht Gegenstand dieses Abschnitts sind jene Hardware-Komponenten, die für die Ausgabe von Information eingesetzt werden. Obwohl hier im Überblick angeführt, werden sie detailliert erst in Kapitel 8 über die Visualisierung der Modellierungsinformation beschrieben.

7.2.1. Überblick

Das Tabletop Interface ist als Tisch mit einer Oberfläche von 100 cm x 80 cm ausgeführt. Die Höhe beträgt 110 cm. Die wesentlichen Hardwarekomponenten sind die Tischoberfläche, die in semi-transparentem Acrylglas ausgeführt ist und die Bodenplatte, in die die Kamera zum optischen Tracking der Tokens auf der Oberfläche sowie der Videoprojektor zur Ausgabe von Information auf der Oberfläche (Projektion von unten) eingebaut sind (siehe Abbildung 7.7). Der Tisch ist auf allen Seitenflächen mit Platten aus expandiertem Polystyrol (Styropor) verkleidet, um im Inneren kontrollierte Umgebungslichtbedingungen für die Bilderfassung mit der Kamera zu schaffen. Die kontrollierten Bedingungen werden durch den Einsatz von vier Beleuchtungsmodulen gewährleistet, die ebenfalls in der Bodenplatte integriert sind und über den Seitenflächen eingebaute Streuscheiben für eine einheitliche, diffuse Beleuchtung der Tischinnenraums sowie der Oberfläche sorgen.

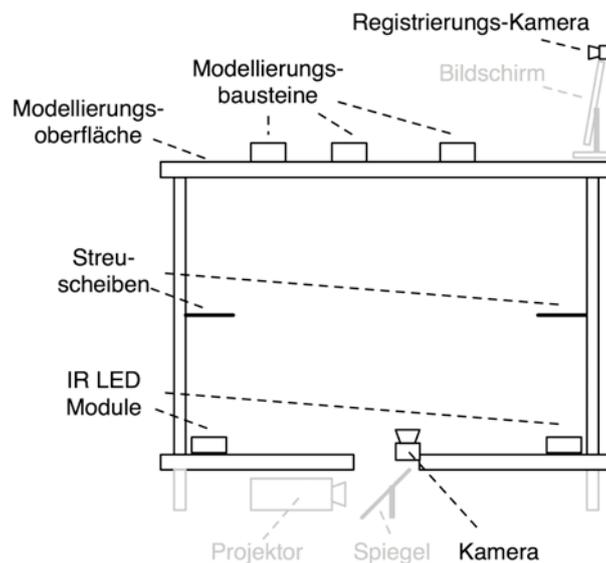


Abbildung 7.7.: Überblick über den Aufbau des Werkzeugs – Eingabekomponenten

Am Tisch befindet sich zusätzlich ein Bildschirm, auf dem entsprechend der Anforderungen zur Unterstützung der Modellierung Zusatzinformation ausgegeben wird. Eine

zweite Kamera, die am Bildschirm sitzt und der unterstützenden Erfassung von Information dient (zum Beispiel der bereits erwähnten Registrierung von geschachtelten Tokens).

Das gesamte System ist so zerlegbar, dass es im Kofferraum eines Mittelklassewagens transportiert werden kann. Es werden dazu die Verkleidungsplatten und Tischbeine entfernt, die Tischplatte kann dann direkt auf die Bodenplatte gesetzt und verbunden werden. Das Volumen reduziert sich dabei auf 100 cm x 80 cm x 20 cm, wobei die Tischbeine, die Verkleidungsplatten und der Videoprojektor separat transportiert werden müssen. Ein Zusammenbau des Systems inklusive Kalibrierung der Eingabe- und Ausgabe-Kanäle ist in etwa 30 Minuten möglich.

7.2.2. Tokens und Input-Werkzeuge

In diesem Abschnitt werden die einzelnen durch die Benutzer manipulierbaren Token-Arten beschrieben. Neben den eigentlichen Modellierungstokens sind dies die Tokens zur Einbettung in Container sowie die Werkzeugtokens, von denen es Ausführungen zur Manipulation des Modells und Tokens zur Auslösung bzw. Kontrolle spezifischer Funktionalitäten gibt.

Modellierungs-Tokens

Die eingesetzten Modellierungs-Tokens sind aus nicht transparentem Acrylglas gefertigt. Ihre Außenmaße betragen in etwa (je nach Form) 10 cm x 6 cm in der Grundfläche und 4 cm in der Höhe. Damit ist einerseits eine ausreichende Größe zur Anbringung der ReactIVision-Codes gewährleistet, andererseits sind noch klein genug, um in einer Hand gehalten und manipuliert werden zu können. Die Codes werden auf der Unterseite der Tokens angebracht und auch von unten erfasst (siehe nächster Abschnitt), um eine Verdeckung der Codes während der Manipulation zu verhindern (siehe Abbildung 7.8).

Die Modellierungs-Tokens wurden in drei Ausführungen gefertigt (siehe Abbildung 7.9). Diese unterscheiden sich in Form und Farbe und können während der Modellierung von den Benutzern frei mit Bedeutung belegt werden. Die Auswahl der Formen und Farben erfolgte inspiriert von den Symbolen gängiger Modellierungsnotationen in Abstimmung mit fertigungstechnischen Einschränkungen. Eine Untersuchung geeigneter Token-Formen und eine auf diesen Ergebnissen basierende Umsetzung wurde nicht vorgenommen. Dies liegt vor allem in der Tatsache begründet, dass sich der Fokus der hier vorgestellten Arbeit im Entwicklungsprozess von einem Werkzeug zur Geschäftsprozessmodellierung (mit vorgegebener Notation) hin zu einem allgemeiner einsetzbaren Werkzeug zur generischen Modellierung konzeptueller Modelle (ohne vorgegebene Notation) entwickelte. Die Auswahl der Token-Formen fiel in die erste Phase, wodurch die



Abbildung 7.8.: An Tokens angebrachte ReactIVision-Codes zur Identifikation

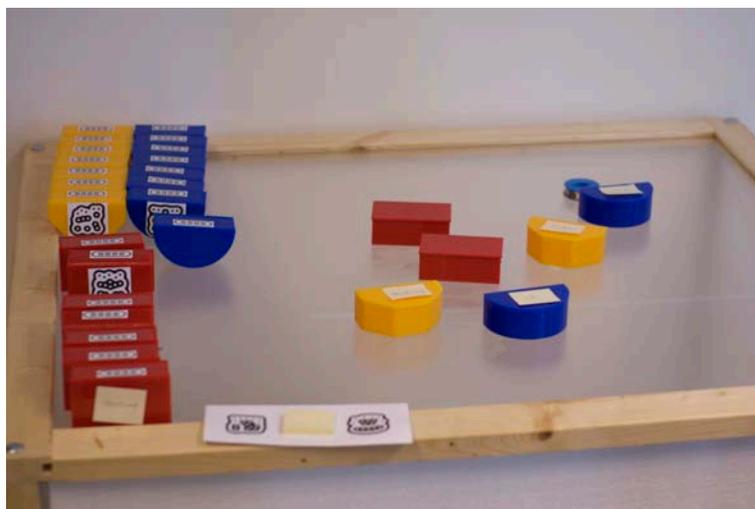


Abbildung 7.9.: Arten von Modellierungstokens

Tokens im äußeren Erscheinungsbild an gängige Notationen zur Ablauf-Modellierung angelehnt sind. Die Token-Form hat aber bei Benutzern ohne Modellierungs-Vorbildung geringen bis keinen Einfluss auf den Modellierungsprozess (siehe Kapitel 12 – Evaluierung des Werkzeugs).

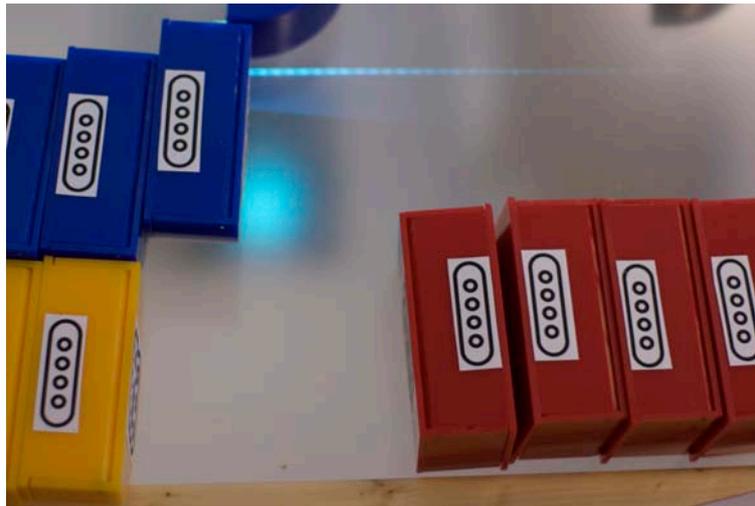


Abbildung 7.10.: Rückwand von Container Tokens

Wie in der Beschreibung der Anforderungen gefordert und oben bereits beschrieben, sind die Modellierungs-Tokens als Container ausgeführt. Im Abschnitt 7.1.1 über die Erkennung des Token-Zustands wurde beschrieben, dass beim Einsatz von optischem Tracking eine Möglichkeit geschaffen werden muss, im Kamerabild zu erkennen, ob ein Token geöffnet ist oder nicht. Um den durchgängigen Einsatz des Erkennungsframeworks (ReactIVision) zu gewährleisten wird zu diesem Zweck ein zweiter Code eingesetzt (siehe Abbildung 7.10), der nur dann für die Kamera sichtbar wird, wenn das Token geöffnet ist. Hardwareseitig ist dies so umgesetzt, dass die Modellierungstokens einen Öffnungsmechanismus besitzen, dessen Scharnier nicht am Deckel sitzt (und damit nur diesen beweglich macht), sondern an der Bodenplatte, wodurch sich beim Öffnen eines Containers nicht nur der Deckel, sondern auch die Hinterwand des Tokens bewegt (siehe Abbildung 7.11). Die Hinterwand kommt im geöffneten Zustand auf der Oberfläche des Tisches zu liegen, wodurch der auf ihr angebrachte zweite Code für die Kamera sichtbar wird. So kann durch das an sich zur Positionsbestimmung eingesetzte optische Tracking-System zuverlässig auch den Öffnungs-Zustand der Tokens auf der Oberfläche erkennen.

Konzeptuell sind bei der Beschreibung der Verwendung dieser Tokens verschiedene Ebenen zu unterscheiden, die klar voneinander abgegrenzt werden müssen und in denen deshalb unterschiedliche Bezeichnungen verwendet werden. Diese Ebenen und die Beziehungen zwischen diesen sind in Abbildung 7.12 in Form einer einfachen Taxonomie



Abbildung 7.11.: Geöffnetes Container Token

dargestellt. Als „*Modellelement*“ wird jenes Konzept bezeichnet, das als Teil des eigentlichen Modells die darzustellenden Inhalte repräsentiert und semantische Bedeutung trägt. Dieses Modellelement wird in Hardware durch das eben beschriebene „*Modellierungs-Token*“ repräsentiert, das in Bezugnahme auf seine Eigenschaft, zusätzliche Information beinhalten zu können auch als „*Container-Token*“ bezeichnet werden kann. Das Modellierungs-Token trägt einen eindeutigen „*(ReactIVision-)Marker*“, welcher wiederum einen eindeutigen „*Code*“ repräsentiert. Softwareseitig wird das Modellelement durch ein „*Objekt*“ (im objektorientierten Sinn, also die Instanz einer Klasse) repräsentiert, das ein Attribut enthält, in dem eine „*ID*“ abgelegt wird. Diese ID entspricht dem Code, der hardwareseitig durch den ReactIVision-Marker repräsentiert wird und ermöglicht so eine eindeutige Zuordnung zwischen Hardware- und Softwarerepräsentation eines Modellelements.

Einbettbare Tokens

Die einbettbaren Token erlauben wie in Abschnitt 7.2 beschrieben die Verschachtelung von Modellen und das Hinzufügen von Zusatzinformation. Sie werden in einem definierten Interaktionsvorgang an Information gebunden und dann in einen Container gelegt. Hinsichtlich des Hardware-Designs sind folgende Anforderungen zu beachten:

- Die Token müssen klein genug sein, um auch mehrere Einheiten in einem Container unterzubringen.
- Sie müssen gleichzeitig groß genug sein, um einen ReactIVision-Code zur eindeutigen Identifikation anzubringen.

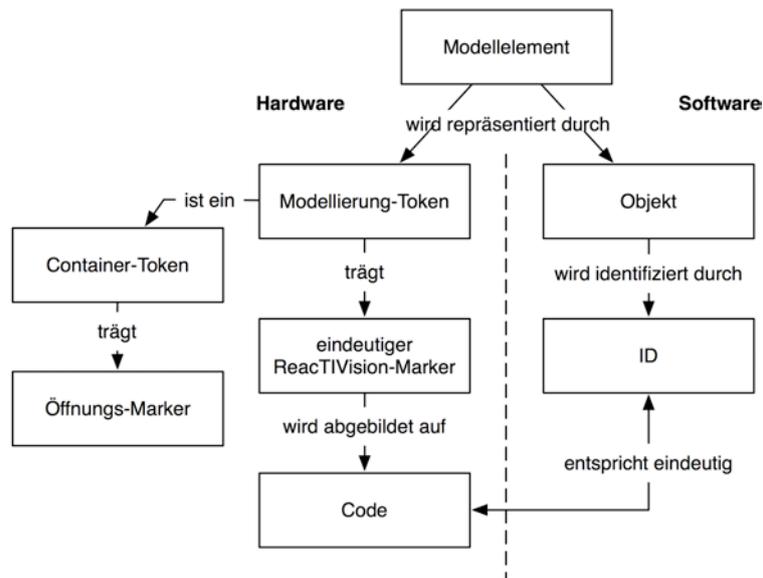


Abbildung 7.12.: Modellelemente – Taxonomie

- Sie müssen so ausgeführt sein, dass haptisch oder akustisch erkennbar ist, ob in einem geschlossenen Container Tokens eingebettet sind oder nicht (z.B. durch Veränderung des Gewichts oder Geräusche beim Schütteln eines Containers).

Die einbettbaren Tokens wurden aus flexiblen Kunststoffmatten gefertigt und mit einem Metallstück versehen (siehe Abbildung 7.13), das einerseits als Griff dient und andererseits sowohl das Gewicht erhöht und akustisches Feedback beim Schütteln eines Container-Tokens verursacht. Die einbettbaren Tokens wurden exemplarisch in drei Ausführungen gefertigt, je nach Art und Anzahl der einzubettenden Information kann eine Definition weiterer Tokens sinnvoll sein. Folgende Tokens wurden für den aktuellen Entwicklungsstand des Werkzeugs angefertigt:

- Einbettung von Teilmodellen (inhärente Kernfunktionalität des Werkzeugs)
- Einbettung von digitalen Ressourcen bzw. Dateien am lokalen Rechner (Erweiterung zur Verknüpfung des Modells mit den realen digitalen Ressourcen aus dem Arbeitskontext)
- Einbettung von Fotos (Erweiterung zur Verknüpfung des Modells mit dem realen Arbeitskontext, z.B. mittels Fotos von Arbeitsmitteln oder Personen)

Alle Tokens sind auf der Unterseite mit einem ReactIVision-Code versehen, der sie eindeutig identifiziert (siehe Abbildung 7.13). Aufgrund der beschränkten Größe der Tokens ist dieser Code von der Kamera, die die Tischoberfläche erfasst, nur in der Mitte der Oberfläche erfassbar (da dort die geringsten Linsen-Verzerrungen auftreten und der Code somit noch erkannt werden kann). Um etwaige Bedienungsprobleme zu vermeiden



Abbildung 7.13.: Einbettbare Tokens

wurde deshalb die Interaktion mit einbettbaren Tokens (Registrierung, Binden von Information) auf die in Abbildung 7.7 dargestellte zweite Kamera (“Registrierungs-Kamera“) verlegt, die durch die physische Nähe zu den Modellierenden die Codes der einbettbaren Tokens problemlos erfassen kann.

Werkzeug-Tokens

Neben den Tokens, die Modellierungsinhalte repräsentieren, wurden auch Tokens angefertigt, die der Interaktion mit dem System an sich und der Steuerung des Modellierungsablaufs dienen. Hier sind zwei Arten zu unterscheiden: einerseits gibt es Werkzeuge, die der Manipulation des Modells dienen (z.B. Herstellung von Verbindungen zwischen Tokens, Benennung von Tokens) und andererseits solche, die der Steuerung von modellierungsunterstützender Zusatzfunktionalität dienen (etwa Tokens, mit denen die Rückverfolgung der Modellierungshistorie gesteuert werden kann). Außerdem sind orthogonal zu dieser Klassifizierung noch Tokens zu unterscheiden, die beim Einsatz ein Ereignis auslösen und solche, die das System solange in einen anderen Zustand versetzen, bis sie wieder entfernt werden (gleich einem Taster). Im Folgenden werden die einzelnen Werkzeuge beschrieben und den eben definierten Kategorien zugeordnet.

Manipulation des Modells Die bei der Verwendung des Systems wichtigsten Werkzeug-Tokens sind jene, die zur Benennung und Verbindung von Modellierungs-Tokens verwendet werden. Diese *Markierungs-Tokens* sind als auf die Oberfläche aufsetzbare Stäbe konzipiert, die unten eine Standfläche aufweisen, welche auch den Code aufnimmt. Am oberen Ende ist eine Verbreiterung angebracht, die eine stabile Handhabung gewährleis-

tet (siehe Abbildung 7.14). Bedingt durch die kleine Standfläche kann nur der einfachste ReactIVision-Code verwendet werden, der lediglich aus einem schwarzen Ring besteht. Das ReactIVision-System erkennt diesen Ring nicht als regulären Code, sondern als „Cursor“, also als Zeiger, der ausschließlich eine Position in der Ebene besitzt, aber keine Rotation aufweist. Für die Verwendung zur Markierung von Modellierungs-Tokens zum Zwecke der Benennung oder Verbindung ist dies auch nicht notwendig.



Abbildung 7.14.: Markierung-Token

Das Modellierungswerkzeug muss zwischen unterschiedlichen Arten von Verbindungen unterscheiden können, da diese bei der vorgestellten Art der Externalisierung zum Einsatz kommen können. Im Wesentlichen ist zwischen ungerichteten und gerichteten Verbindern zu unterscheiden. Im Gegensatz zu ungerichteten Verbindern weisen gerichtete Verbinder Pfeilspitzen an einem Ende oder an beiden Enden auf. Für die Werkzeug-Tokens bedeutet dies, dass neben den bereits beschriebenen, einfachen Markierung-Tokens auch solche zum Einsatz kommen, die anstatt einer runden Grundfläche eine größere, dreieckige Grundfläche aufweisen, die eine Pfeilspitze symbolisiert (siehe Abbildung 7.14). Technisch werden die beiden Arten von Markierung-Tokens durch einen zweiten Cursor-Code unterschieden, der an Tokens mit dreieckiger Grundfläche zusätzlich angebracht ist.

Die Markierung-Tokens sind der Kategorie der ein Ereignis auslösenden Tokens zuzuordnen. Dies bedeutet, dass das System zu jenem Zeitpunkt eine Aktion setzt, an dem das Token auf die Oberfläche aufgesetzt wird. Wird ein Markierung-Token auf der Oberfläche belassen, verursacht es keine weiteren Aktionen, bis es entfernt und erneut aufgesetzt wird.

Dem hingegen ist das nächste hier behandelte Token der Kategorie der den Systemzustand beeinflussenden Tokens zuzuordnen. Es hat also solange Auswirkungen auf den

Modellierungsablauf, solange es auf der Oberfläche belassen wird. Die konkrete Funktion dieses Tokens ist der Wechsel in einen Werkzeugmodus, der ein explizites Entfernen bzw. Löschen von Bestandteilen des Modells, insbesondere Verbindungen, erlaubt. Das Token ist als Radiergummi ausgeführt und codiert so die Metapher des expliziten Löschens von Information aus dem Modell (siehe Abbildung 7.15). An der Unterseite des Tokens ist eine ReactIVision-Code angebracht, um es gegenüber dem System eindeutig zu identifizieren.



Abbildung 7.15.: Lösch-Token

Der Einsatz der *Lösch-Tokens* verändert im System im Wesentlichen die Interpretation des Markierungs-Tokens, das nun anstatt der Herstellung einer Verbindung das Löschen derselben auslöst. Der zugehörige Interaktionsablauf ist im Detail in Abschnitt 7.3.4 dargelegt.

Ein weiteres Werkzeug im Kontext der Manipulation des Modells ist das *Registrierungs-Token* für die Benennung von Blöcken mittels handgeschriebenen Haftnotizen. Wie in Abschnitt 7.3.2 im Detail ausgeführt, gibt es zwei Möglichkeiten um ein Modellierungstoken zu benennen. Einerseits kann der herkömmlich Eingabeweg über die Tastatur gewählt werden, andererseits ist es möglich, die Modellierungstokens mittels aufgeklebten Haftnotizen zu benennen. Um die handgeschriebene Information in die digitale Information übernehmen zu können, wird diese mittels Bildanalyse-Verfahren aus einem Bild extrahiert, das von der oben bereits erwähnten Registrierungskamera (siehe Abbildung 7.7) aufgenommen wird. Die Aufnahme wird durch das erwähnte Registrierungstoken ausgelöst. Dieses fungiert gleichzeitig als Halter für noch unbeschriftete Haftnotizen und weist am linken und rechten Rand jeweils einen ReactIVision-Code auf (siehe Abbildung

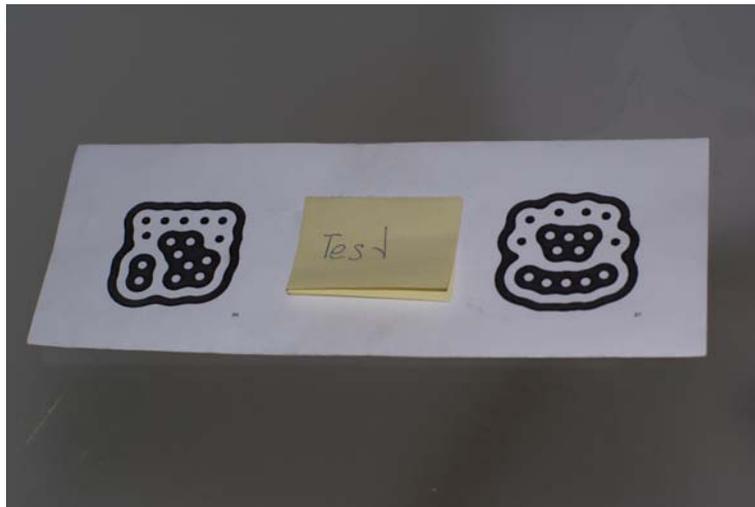


Abbildung 7.16.: Registrierungstoken

7.16). Diese beiden Codes erlauben es im Bild die Position der Haftnotiz und damit die zu extrahierende Information zu identifizieren.

Das Registrierungstoken ist in die Kategorie der Ereignis auslösenden Tokens einzuordnen. Seine Verwendung erwies sich im praktischen Einsatz als wenig intuitiv und technisch instabil bzw. zu langsam, so dass – wie erwähnt – als alternativer Eingabeweg zusätzlich eine Tastatur ins System aufgenommen wurde. Die Interaktionsabläufe sind in beiden Fällen ähnlich und werden im Detail in Abschnitt 7.3.2 dargestellt.

Steuerung von Unterstützungsfunktionen Im Werkzeug wurden entsprechend den Anforderungen aus Kapitel 5 den Modellierungsablauf unterstützende Funktionen implementiert. Diese werden über dezidierte Werkzeug-Tokens gesteuert. Der Anwendungsbereich dieser Art von Tokens ist die Steuerung aller Funktionen, die im Kontext der Verfolgbarkeit der Modellierungs-Historie umgesetzt wurden.

Das *Snapshot-Token* dient der durch die Benutzer ausgelösten Speicherung des aktuellen Systemzustandes. Wie in Abschnitt 7.4 beschrieben, verfolgt das System den Modellierungsablauf und speichert selbsttätig stabile Systemzustände (zur Identifikation dieser Zustände siehe Abschnitt 7.3). Zusätzlich können Benutzer mit eben dem hier beschriebenen Token die explizite Aufnahme des aktuellen Modellzustandes veranlassen, wenn dieser als wesentlich wahrgenommen wird. Das Token ist als ereignis-auslösendes Element konzipiert und wird durch kurzes Aufsetzen des Tokens auf die Modellierungsoberfläche aktiviert. Physisch ist es prototypisch als großes rotes Quadrat ausgeführt, an dessen Oberseite ein Griffstück angebracht ist (siehe Abbildung 7.17). Auf der Unterseite sitzt wiederum ein ReacTIVision-Code zur Identifikation des Tokens.

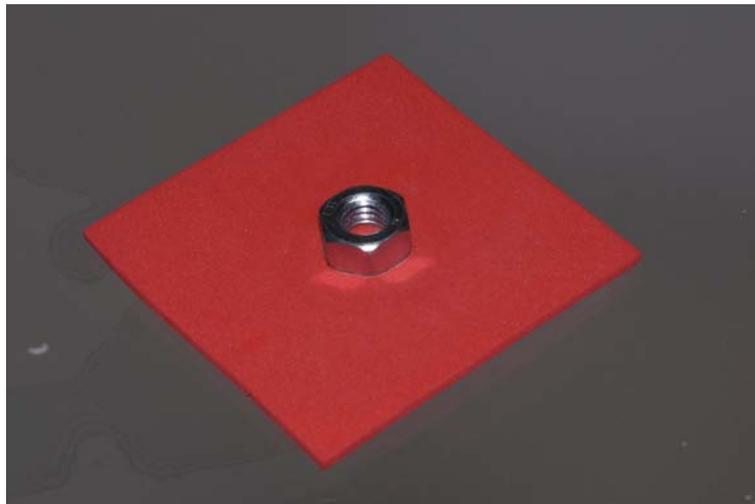


Abbildung 7.17.: Snapshot-Token

Neben der Speicherung von Modellzuständen können diese auch wieder abgerufen und in ihrer zeitlichen Sequenz dargestellt werden. Zur Aktivierung des Historien-Modus und zur Navigation in der Zeitlinie wurde ein weiteres Token eingeführt, das als einziges sowohl der zustandsverändernden als auch der ereignisauslösenden Token-Kategorie zuzuordnen ist. Zustandsverändernd wirkt das *History-Token* insofern, als dass das Aufsetzen auf die Oberfläche das System in den Historienmodus schaltet und ein Entfernen die aktuelle Modell-Ansicht wieder herstellt. Durch Rotation des Token im bzw. gegen den Uhrzeigersinn kann nun durch die in ihrer zeitlichen Abfolge angeordneten gespeicherten Modellzustände navigiert werden. Die Rotation löst dabei jeweils nach einem bestimmten zurückgelegten Drehwinkel ein Ereignis aus, das den entsprechend vorhergehenden bzw. nachfolgenden Systemzustand abrufen. Um die Rotation möglichst natürlich handhabbar zu machen, ist das Token mit runder Grundfläche etwa handflächengroß ausgeführt (siehe Abbildung 7.18). Auf der Unterseite der Grundfläche ist wiederum der ReactIVision-Code angebracht.

Das letzte hier behandelte Token zur Steuerung einer Unterstützungsfunktion ist jenes, das die in Kapitel 5 als Anforderung definierte und in Abschnitt 8.3.4 im Detail beschriebene *Wiederherstellungsunterstützung* auslöst. Die Verwendung dieses Tokens ist identisch mit jener des oben beschriebenen Snapshot-Tokens. Wie dieses ist es der ereignisauslösenden Kategorie zuzuordnen und aktiviert die Wiederherstellungsunterstützung, wenn es bei aktivem Historien-Modus auf der Modellierungsoberfläche aufgesetzt wird. Die eigentliche Wiederherstellungsunterstützung ist dem Ausgabe-Kanal zuzuordnen und in ihrem Ablauf deshalb im Detail in Kapitel 8 (Abschnitt 8.3.4) beschrieben.

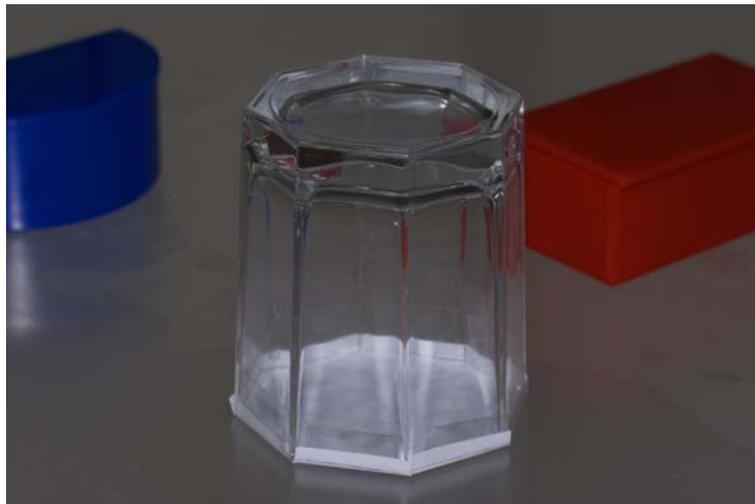


Abbildung 7.18.: History-Token

7.2.3. Eingabe auf der Tischoberfläche

Nachdem nun die Tokens beschrieben wurden, die den Benutzern unmittelbar zur Interaktion mit dem System dienen, liegt der Fokus dieses Abschnitts nun auf der technischen Umsetzung der Erfassung der aktuell auf der Oberfläche sichtbaren ReactIVision-Codes und damit der Tokens.

Wie bereits oben beschrieben, wurde bei der Umsetzung des optischen Tracking-Ansatzes eine Identifikation der Codes von der Unterseite gewählt, um etwaigen Erkennungsproblemen mit Verdeckungen vorzubeugen. Dies bedingt, dass die Modellierungsoberfläche für Kameras möglichst transparent sein muss um den Identifikationsvorgang nicht negativ zu beeinflussen. Grundsätzlich bietet sich dazu der Einsatz einer (Acryl-)Glasplatte an, die keinen Einfluss auf die Erfassung der auf ihr platzierten Codes hat. Der Einsatz einer (Acryl-)Glasplatte bringt jedoch zwei Probleme mit sich. Einerseits kann die Verwendung einer transparenten Oberfläche dazu führen, dass Modellierende durch den Einblick auf den inneren Aufbau des Systems von der Aufgabe abgelenkt bzw. irritiert werden. Andererseits verhindert eine transparente Oberfläche den Einsatz derselben als Rückkanal zur Darstellung von zusätzlicher Information durch einen Videoprojektor. Dies ist im konkreten Fall besonders schwerwiegend, da die a-priori unspezifischen Modellierungs-Tokens erst durch die Projektion der zusätzlichen Information explizit bedeutungstragend werden. Deswegen wurde eine semi-transparente Acrylglas-Oberfläche eingesetzt, die einerseits für die Erfassung der Codes ausreichend durchlässig ist, andererseits aber auch das projizierte Licht soweit bricht, dass die darzustellende Information auf der Oberfläche sichtbar ist.

Die Kamera – eine AVT Guppy F080B (Allied Vision Technologies GmbH, 2008) – sitzt wie in Abbildung 7.7 schematisch dargestellt in der Mitte der Bodenplatte. Sie ist

mit einem Weitwinkel-Objektiv ausgestattet, das es erlaubt, die gesamte Oberfläche zu erfassen, ohne dass der Tisch höher als 100 cm sein muss (Öffnungswinkel etwa 45°). Die Kamera bietet eine Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten und ist über eine Firewire-Schnittstelle (IEEE 1394 (Bloks, 1996)) mit dem Rechner verbunden. Die Kamera kann so bis zu 30 Bilder pro Sekunde an den Rechner senden. Das Weitwinkelobjektiv verursacht Verzerrungen in den Randbereichen, was trotz der Möglichkeit von ReactIVision, das Bild softwareseitig zu entzerren, dazu führt, dass links und rechts etwa 10 cm der Tischoberfläche nicht zur Identifikation von Codes verwendet werden können. Dieser Problematik kann aufgrund der beschränkten Kameraauflösung nur durch größere Codes begegnet werden, was durch die beschränkte Größe der Tokens nicht möglich ist. Im Prototypen wurden deshalb die Randbereiche des Systems ausgespart und können zur Ablage von aktuell nicht eingesetzten Tokens verwendet werden.

Illumination und Umgebungslichtabhängigkeit

Optische Tracking-Systeme leiden generell unter ihrer Abhängigkeit von den Umgebungslichtbedingungen. Probleme, die in diesem Zusammenhang auftreten, hängen nicht nur mit der absoluten Stärke der Einstrahlung von Umgebungslicht zusammen (die zu schwach, aber auch zu stark sein kann), sondern auch mit der Änderung der Lichtbedingungen über die Zeit. Gegenstand dieses Abschnitts ist die genauere Erörterung dieser Problematik und die Darlegung von Möglichkeiten ihr zu begegnen.

Zu geringe Umgebungshelligkeit führt zu Erkennungsproblemen, da der Kamera nicht ausreichen Licht und damit Kontrast zur Verfügung steht, um ein Bild zu liefern, in dem die ReactIVision-Codes zuverlässig identifiziert werden können (dies gilt im Übrigen auch für alle anderen optischen Identifikations-Ansätze). Das Problem wird zusätzlich verschärft, da zur Aufnahme des Bildes nicht das Spektrum des sichtbaren Lichts verwendet wird, sondern in den Infrarot-Bereich ("near infrared", Wellenlänge etwa 550 nm) ausgewichen wird. Dies ist notwendig, da die Kamera andernfalls Reflexionen des auf die Oberfläche projizierten Ausgabe-Kanals (siehe Kapitel 8) erfasst, was eine Identifikation der Codes unmöglich macht. Die meisten Kunstlicht-Quellen strahlen jedoch nicht ausreichend Licht im verwendeten Infrarot-Bereich ab, um eine ausreichende und gleichmäßige Ausleuchtung der Oberfläche zu gewährleisten. Dieser Problematik wurde dadurch begegnet, dass im betreffenden Infrarot-Bereich strahlende Beleuchtungsquellen in den Tisch (konkret in den Ecken der Bodenplatte) eingebaut wurden (siehe Abbildung 7.7). Um eine gleichmäßige, diffuse Ausleuchtung zu erreichen, wurde der Tisch rundum mit weißen Kunststoffplatten mit strukturierter Oberfläche verkleidet, die das vorhandene Licht streuen. Um Reflexionen der Lichtquellen (die nach oben abstrahlen) auf der Oberfläche zu vermeiden, wurden etwa 50 cm über den Lichtquellen Streuscheiben angebracht. So konnte eine diffuse Beleuchtungssituation geschaffen werden, deren Stärke ausreicht, um die Codes auch bei vollkommener Dunkelheit in der Umgebung zuverlässig zu erkennen.

Das zweite Problemfeld betrifft zu starke Lichteinstrahlung aus der Umgebung. Zu hohe Umgebungshelligkeit führt zu einem Überstrahlen des Kamerabildes in manchen Bereichen, womit in Teilen der Oberfläche keine Codes erkannt werden können. Dies liegt in dem von ReactTIVision eingesetzten adaptiven Code-Extraktions-Algorithmus begründet, der bei schwachen oder guten Beleuchtungsverhältnissen leichte Unterschiede in der Ausleuchtung korrigieren kann, bei starken Unterschieden oder großer Helligkeit jedoch nicht mehr zuverlässig funktioniert. Wie bereits erwähnt, arbeitet die Kamera im Infrarot-Bereich. Dies ist dann problematisch, wenn starke Sonneneinstrahlung vorhanden ist, da diese einen hohen Anteil an Licht der relevanten Wellenlänge enthält. Auch bestimmte Kunstlichtquellen wie Leuchtstoffröhren, die unmittelbar über dem Tisch angebracht sind, verursachen Probleme. Während punktuelle Helligkeitszonen („Spotlights“) nicht durch die Software korrigiert werden können und vermieden werden müssen, kann eine generell zu hohe Umgebungshelligkeit durch die Kalibrierung der ReactTIVision-Software bzw. der ihr zugrunde liegenden Kamera-Treiber korrigiert werden. Im Konkreten ermöglicht ReactTIVision bei Firewire-Kameras eine Veränderung der Kamerablende (größere Blende – weniger Licht am Sensor) sowie der Signalverstärkung (weniger Verstärkung – dunkleres Bild). Durch Veränderung dieser beiden Parameter kann nahezu jede Beleuchtungssituation korrigiert werden, sofern sie über die Zeit stabil bleibt.

Bei Umgebungslicht-Bedingungen, die sich über die Zeit verändern (z.B. bei Tageslicht, das sich durch Wolkenbewegungen oder tageszeitabhängig verändert), kann die manuelle Konfiguration des ReactTIVision-Frameworks nicht sinnvoll durchgeführt werden. Leichte Veränderung der Helligkeit kann das ReactTIVision-Framework durch den adaptiven Erkennungs-Algorithmus noch selbst korrigieren, bei größeren Veränderungen funktioniert jedoch die Erkennung nicht mehr stabil. Dies äußert sich darin, dass Codes für einige Sekundenbruchteile von der Kamera nicht mehr erfasst werden, was wiederum zu unerwünschten von Framework gemeldeten Ereignissen führt (z.B. dass ein Container-Token verschwunden wäre, obwohl es sich physisch noch auf der Oberfläche befindet). Da diese Erkennungsausfälle im Grenzbereich gerade noch möglicher Erkennung zwar regelmäßig auftreten, in ihrer zeitlichen Ausdehnung aber eher kurz sind, wurde im Rahmen der Interpretation der vom ReactTIVision-Framework gemeldeten Ereignisse eine Stabilisierungsebene eingezogen, die versucht, Ausfälle und Fehlerkennungen zu identifizieren und dementsprechend nicht an die übergeordneten Software-Ebenen weiterzugeben. Die in dieser Ebene umgesetzten Maßnahmen sind in Abschnitt 7.4.2 beschrieben.

Durch die Kombination aller beschriebenen Maßnahmen ist es möglich, eine sehr weitgehende Einsetzbarkeit des Werkzeugs – unabhängig von den herrschenden Umgebungslichtbedingungen – zu gewährleisten. Lediglich extreme Verhältnisse, wie direkte Einstrahlung von in der Stärke variierenden Lichtquellen, verhindern einen stabilen Einsatz des Systems.

7.3. Benutzerinteraktion mit dem Werkzeug

Bevor nun die Interpretation der Eingabedaten durch die Software beschrieben wird, muss vorab geklärt sein, auf welche Art und Weise Benutzer mit dem System interagieren können. Bisher wurde geklärt, wie die Eingabe technisch funktioniert und welche Elemente den Benutzern zur Interaktion mit dem System zur Verfügung stehen. Im Folgenden werden die einzelnen Aktionen, die Benutzer grundsätzlich im Kontext des Modellierungsablaufs setzen können, identifiziert und deren konkrete Umsetzung durch das vorgestellte System beschrieben.

Ein grundsätzliches Designziel war es die Interaktion mit dem System so „natürlich“ wie technisch möglich zu gestalten. Unter „natürlich“ ist hier zu verstehen, dass

- die Eingabe von Information möglichst ausschließlich über direkte Aktionen der Hände der Benutzer (d.h. ohne Übersetzung in die digitale Welt durch Maus oder Tastatur) gestaltet werden kann, und
- dass diese Aktionen bzw. deren Ablauf nur durch inhaltliche Vorgaben der Modellierungsproblematik, nicht aber durch technische Einschränkungen vorgegeben sind.

Wie bereits im letzten Abschnitt beschrieben, konnten diese Forderungen aufgrund der Eigenschaften des eingesetzten Tracking-Systems nicht vollständig umgesetzt werden. Wo noch Einschränkungen hinsichtlich der oben genannten Forderungen bestehen, wird in den folgenden Abschnitt darauf hingewiesen und ein möglicher Lösungsansatz skizziert.

7.3.1. Hinzufügen und Verändern von Modellelementen

Um Elemente zu einem Modell hinzuzufügen, müssen entsprechende Tokens auf der Modellierungsoberfläche platziert werden. Sofern sich diese im Erfassungsbereich der Kamera befinden, werden sie identifiziert und an der entsprechenden Stelle im Modell identifiziert. Beim erstmaligen Hinzufügen wird das Token den Benutzern gegenüber mittels seiner Nummer (die durch den ReacTIVision-Code vorgegeben ist) dargestellt. Ist das Token bereits benannt und wird erneut hinzugefügt, wird die zuvor vergebene Benennung geladen und angezeigt.

Beim erstmaligen Hinzufügen eines Elementtyps (also eines roten, blauen oder gelben Tokens) fragt das System nach der Bedeutung dieses Elementtyps. Diese kann angegeben werden, darf aber auch un spezifiziert bleiben und kann zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt oder verändert werden. Diese Interaktion zu einem späteren Zeitpunkt muss explizit dadurch ausgelöst werden, indem ein Token des betreffenden Typs vor die Registrierungskamera gehalten wird.

Um die Position und Rotation eines Modellelements zu verändern, muss es entsprechend an einen anderen Ort verschoben oder gedreht werden. Dabei ist es nicht notwendig, dass das Token ständig von der Kamera erfasst wird. Kurze Aussetzer in der Erfassung, die durch schnelles Verschieben oder Abheben des Tokens und Aufsetzen an einem anderen Ort ausgelöst werden, werden von der Software ignoriert, das Element wird so behandelt, als wäre es nicht verschwunden gewesen (hinsichtlich der Auswirkungen des Verschwindens eines Tokens siehe Abschnitt 7.3.4).

Eine simultane Erweiterung oder Veränderung des Modells durch mehrere Benutzer ist möglich, die Software schränkt die Anzahl der möglichen zeitgleich ablaufenden Interaktionen nicht ein. Da alle in diesem Abschnitt beschriebenen Interaktionen eindeutig einem Token zugeordnet werden können und dieses zu jedem Zeitpunkt eindeutig identifiziert werden kann, kann das System mit dieser Art von Eingaben umgehen. Die Erfassungsrage liegt in der derzeitigen Implementierung bei etwa 15 Bildern in der Sekunde, woraus sich ein Auswertintervall von etwa 67 Millisekunden ergibt. In diesem Abstand wird jeweils die gesamte Oberfläche erfasst und etwaige Änderungen an die Applikationsschicht weitergemeldet.

7.3.2. Benennen von Modellelementen

Die Benennung von Modellelementen ist eine der wichtigsten Interaktionsformen im Modellierungsprozess. Modellelementen wird damit ein Name zugewiesen, der zur Identifikation des Elements gegenüber den Benutzern verwendet wird. Um der Anforderung nach möglichst direkter, unmittelbarer Interaktion mit dem System in der realen Welt (d.h. auf der Modellierungsoberfläche) nachzukommen, wurde ein auf der Verwendung von Haftnotizen basierender Interaktionsmodus eingeführt, der zur Benennung von Modellelementen eingesetzt wird. Alternativ kann die Benennung durch Eingabe der Bezeichnung über eine Tastatur erfolgen.

Im Falle der Benennung mittels Haftnotizen wird ein Werkzeugtoken eingesetzt, auf dem die Haftnotizen angebracht sind. Unmittelbar nach der Platzierung eines Elements wird eine neue Haftnotiz beschriftet und mittels der Registrierungskamera erfasst. Während die Haftnotiz nun auf dem Modellelement angebracht werden kann, wird im System das erfasste Bild ausgewertet, der geschriebene Text wird (als Grafik) extrahiert und dem zuletzt auf der Oberfläche platzierten Token zugeordnet. Soll ein Element nachträglich (um)benannt werden – wenn also zwischenzeitlich ein weiteres Element platziert wurde – muss das zu benennende Element mit dem Markierungstoken ausgewählt werden. Das Markierungstoken wird dazu in der Nähe des Elements auf die Oberfläche gesetzt. Visuelles Feedback auf der Oberfläche signalisiert eine erfolgreiche Auswahl. In der Folge kann die neue Benennung mittels des Registrierungstokens erfasst und am Element angebracht werden. Die Benennung mittels Haftnotizen ist insofern problematisch, als dass die Extraktion der handschriftlichen Benennung nur unzuverlässig funktioniert. Dies

liegt vor allem an zu geringem Kontrast zwischen Haftnotiz und Schrift (bei schlechten Lichtverhältnissen) und einer zu geringen Auflösung der Registrierungskamera. Außerdem werden keine Schrifterkennungs-Algorithmen eingesetzt, wodurch der Schriftzug für das System immer lediglich eine Menge von Bildpunkten ohne weitere Bedeutung bleibt.

Um die Nachteile der Benennung mit Haftnotizen zu vermeiden, wurde ein alternativer Interaktionsmodus zur Benennung von Modellelementen eingeführt. Dieser läuft grundsätzlich identisch ab, setzt jedoch anstatt der Haftnotizen eine Tastatur ein, über die die Benutzer die Benennung dem System bekannt geben. Die eingegebene Information wird dann auf der Oberfläche unmittelbar unterhalb des Elements angezeigt (siehe Abschnitt 8.3.3). Die Auswahl des zu benennenden Elements erfolgt wiederum durch das Markierungstoken. Die Vorteile dieses Systems liegen in der geringen Fehlerrate und der hohen Geschwindigkeit der Eingabe (etwa Faktor 10 schneller als die Eingabe mittels Haftnotiz). Der Nachteil dieses Ansatzes ist der exklusive Zugang zum Eingabemedium, der Tastatur. Während es beim Einsatz von Haftnotizen grundsätzlich möglich ist, diese simultan zu erstellen (auch wenn die Registrierung sequentiell erfolgen muss), kann bei der Verwendung der Tastatur zu einem Zeitpunkt immer nur ein Element bearbeitet werden.

Grundsätzlich sind die beiden Interaktionsmodi zur Benennung von Elementen als Ergänzung zueinander zu sehen. Sie können grundsätzlich gleichzeitig eingesetzt werden und bieten den Benutzern eine Wahlmöglichkeit zwischen einer langsameren, dafür aber physisch existenten oder einer schnelleren, dafür nur über die Ausgabekanäle des Systems sichtbaren Benennung. Die Erkennungsprobleme der Haftnotizen-Variante (die zur Einführung des zweiten Interaktionsmodus geführt hatten) können durch eine Verbesserung der technischen Rahmenbedingung ausgemerzt werden, wozu aber bei der Erstellung des hier vorgestellten Prototypen keine Ressourcen vorhanden waren. Im Falle einer Verbesserung könnten den Benutzern zwei gleichwertige Eingabekanäle zur Verfügung gestellt werden. Vorerst bietet der Einsatz der Tastatur jedoch nicht vernachlässigbare Vorteile hinsichtlich der Zuverlässigkeit und der Genauigkeit der Erfassung von Benennungen.

7.3.3. Verbinden von Modellelementen

Das Verbinden von Modellelementen ist neben dem Hinzufügen und Benennen der dritte wesentliche Interaktionsmodus, der zum Aufbau eines Modells benötigt wird. Verbindungen werden nicht physisch gelegt sondern mit Werkzeugtokens erstellt und dann über die Outputkanäle visuell dargestellt. Die Entscheidung gegen eine physische Repräsentation der Verbindungen fiel zugunsten einer leichteren Veränderbarkeit des gesamten Modells – das Verschieben eines Elements verursacht so keinen zusätzlichen Aufwand, wohingegen physische Verbinder nachgeführt werden müssen bzw. eine beliebige Neuordnung verhindern.

Die Erstellung von Verbindern kann wie die Benennung auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen, die sich aber ihrer Ausdrucksmächtigkeit bzw. Flexibilität unterscheiden. Der flexiblere Interaktionsmodus ist jener, der unter Einsatz von zwei Markierungstokens durchgeführt wird. Dabei wird jeweils ein Markierungstoken neben einem der beiden zu verbindenden Modellelemente platziert, wodurch diese ausgewählt und anschließend verbunden werden. Das Verbindungskriterium ist, dass die beiden Modellelemente innerhalb von 3 Sekunden nacheinander ausgewählt werden. Dies erlaubt sowohl eine gleichzeitige Platzierung von zwei Markierungstokens als auch die Arbeit mit nur einem Token, das rasch hintereinander neben die zu verbindenden Elemente gesetzt wird. Die Arbeit mit den herkömmlichen Markierungstokens erzeugt ungerichtete Verbindungen. Werden gerichtete Verbindungen benötigt (deren Richtung mit einer oder im Falle einer bidirektionalen Verbindung mit zwei Pfeilspitzen angezeigt wird), müssen spezielle Markierungstokens verwendet werden, deren Grundfläche die Form einer Pfeilspitze hat und die neben dem entsprechend zu markierenden Modellelemente platziert werden müssen.

Der alternative Interaktionsmodus zur Herstellung einer Verbindung kommt ohne Werkzeugtokens aus und basiert ausschließlich auf der Manipulation der Modellelemente. Werden zwei Modellelemente an ihren Längsseiten nahe zusammengeführt, so erstellt das System zwischen diesen beiden Elementen eine Verbindung. Im Interaktionsablauf bedeutet dies, dass ein Benutzer die beiden zu verbindenden Elemente ergreift und diese auf der Oberfläche von ihrer ursprünglichen Position aus kurz zusammenführt um sie danach sofort wieder an ihre Originalposition zurück zu stellen. Die so erstellten Verbindungen sind immer ungerichtet und werden nach der Erstellung gleich behandelt wie mit den Markierungstokens erstellte Verbindungen. Durch die Vermeidung der Verwendung von Werkzeugtokens ist dieser Weg zur Herstellung von Verbindungen schneller auszuführen als der zuvor beschriebene (etwa um den Faktor 5). Problematisch wird diese Art der Interaktion dann, wenn die Modellierungsoberfläche bereits sehr voll ist, so dass nur noch wenig Platz zur Zusammenführung von zwei Elementen vorhanden ist. Auch bei Bedarf nach gerichteten Verbindern muss auf Markierungstokens zurückgegriffen werden.

Markierungen können unabhängig von ihrem Erstellungsweg auch benannt werden. Da sie keine physische Repräsentation besitzen, kann der Benennungsmodus mit Haftnotizen nicht verwendet werden. Die Eingabe von Bezeichnungen erfolgt demnach ausschließlich über die Tastatur. Zur Benennung einer Verbindung muss unmittelbar nach deren Erstellung die Bezeichnung eingegeben werden, diese wird dann der zuletzt erstellten Verbindung zugewiesen. Um eine Bezeichnung zu ändern oder im Nachhinein zuzuweisen, muss der Verbinder mittels dem Markierungstoken ausgewählt werden. Durch nachträgliches Aufsetzen des Pfeilspitzen-Tokens auf eine existierende Verbindung wird am jeweils näheren Verbindungsende eine Pfeilspitze hinzugefügt oder entfernt werden.

7.3.4. Löschen von Elementen und Verbindungen

Beim Löschen muss zwischen dem Entfernen von Elementen und Verbindungen unterschieden werden. Beide Modellaspekte sind nicht nur hinsichtlich der Interaktion mit dem System unterschiedlich zu behandeln, es besteht vor allem eine Existenzbeziehung zwischen Elementen und Verbindungen, d.h. dass Verbindungen nicht ohne ihre als Endpunkte dienenden Elemente existieren können und beim Entfernen eines Elements ebenfalls gelöscht werden müssen.

Das Löschen eines Modellelements aus dem aktuellen Modell erfolgt durch Entfernen der zugehörigen Tokens auf der Oberfläche. Hier muss zwischen Entfernungsvorgängen unterschieden werden, die vom Benutzer intendiert sind und solchen, die durch die Manipulation des Modells unabsichtlich und kurzzeitig auftreten. Nur in ersterem Fall dürfen die Verbindungen, die an einem Element hängen, ebenfalls gelöscht werden. Die Unterscheidung zwischen den beiden Fällen wurde durch die Einführung eines Zeitintervalls von 5 Sekunden gelöst, nachdem die betroffenen Verbinder ebenfalls entfernt werden. Wird also ein Modellelement nur an eine andere Stelle verschoben (und verschwindet so kurzzeitig aus dem Blickfeld der Kamera), bleiben die Verbindungen erhalten. Wird das Element zur Seite gestellt, wird es und seine abhängigen Verbindungen zwar auf den Ausgabekanälen nicht mehr dargestellt, das tatsächliche Löschen erfolgt aber erst nach 5 Sekunden. Wird das Element innerhalb dieser Zeitspanne wieder auf der Oberfläche platziert, wird es und seine abhängigen Verbindungen so behandelt, als ob es nicht verschwunden gewesen wäre.

Das Löschen von Verbindern ist durch den Einsatz der Lösch-Tokens möglich, das das System in den Lösch-Modus schaltet, sobald es auf der Oberfläche platziert wird (und diesen wieder deaktiviert, wenn es entfernt wird)⁶. Im Lösch-Modus wird der Einsatz von Markierungstokens alternativ interpretiert. Anstatt der Herstellung einer Verbindung wird bei Markierung von zwei Modellelementen eine eventuell zwischen diesen vorhandene Verbindung endgültig entfernt. Dabei ist keine Unterscheidung zwischen gerichteten und ungerichteten Verbindungen notwendig, es können durchgängig die einfachen Markierungstokens eingesetzt werden.

7.3.5. Einbettung von Zusatzinformation

Der Interaktionsablauf zur Einbettung von Zusatzinformation setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die sequentiell abzuarbeiten sind. Der erste Schritt ist der Vorgang des Bindens von Zusatzinformation an ein einbettbares Token. Im zweiten Schritt muss dieses

⁶Diese Verhalten wurde aufgrund von Erkenntnissen in der empirischen Untersuchung später modifiziert. Das Löschtoken fungierte dann nicht mehr als Schalter zum Aktivieren eines Löschmodus, sondern ermöglichte ein unmittelbares Entfernen der Verbinder, auf dem es aufgesetzt wird. Details zu dieser Veränderung und deren Auswirkungen sind in den Abschnitten 10.11, 12.1.2 sowie 12.3.8 angeführt.

Token in einem Container-Token eingebettet werden. Ein dritter Interaktionsablauf in diesem Zusammenhang ist das Abrufen bzw. die Manipulation der eingebetteten Information, der in der Folge ebenfalls im Detail beschrieben wird.

Das Binden von Information an ein einbettbares Token ist ein Vorgang, der nicht ausschließlich in der physischen Welt durchgeführt werden kann. Die anzubindende Information liegt im Regelfall digital vor und muss damit am Rechner selektiert werden. Der zugehörige Informationsablauf beginnt mit der Auswahl eines einbettbaren Tokens, dessen Form die Art der einzubettenden Information bestimmt. Im konkreten Fall wurden drei Arten von einbettbaren Tokens erstellt, von denen eines der Umsetzung der Abstraktion von Modellen (also der Einbettung von Teilmodellen in ein Containerelement) dient und die anderen beiden exemplarisch die Anbindung von digitalen Ressourcen aus der Arbeitsumgebung demonstrieren. Im Sinne des Interaktionsablaufs sind diese Arten zum Teil unterschiedlich zu behandeln. Bei allen Token startet die Interaktion mit der Registrierung des Tokens mittels der Registrierungskamera. Handelt es sich dabei um ein Token, das der Einbettung von Teilmodellen dient, wird der aktuelle Modellzustand auf der Modellierungsoberfläche erfasst, gespeichert und an das Token gebunden. Der Vorgang der Informationsanbindung ist in diesem Fall abgeschlossen. Daneben existieren Tokens, an die beliebige digitale Ressourcen in der Form von Dateien gebunden werden können. Die Registrierung eines derartigen Tokens öffnet in diesem Fall eine Dialogbox am Rechner, in der die digitale Ressource ausgewählt werden kann. Die gewählte Datei wird dann über eine Referenz an das Token gebunden. Die dritte Art von einbettbaren Tokens demonstriert die Anbindung von spezialisierterer Information, die in einem Anwendungsfall sinnvoll sein können und ggf. auch gesondert behandelt werden müssen. Im konkreten Fall wurde die Anbindung von unmittelbar aufgenommenen Bildern implementiert, die so z.B. eine Abbildung eines Ausschnittes der realen Arbeitsumgebung in das Modell ermöglichen. Im Interaktionsablauf löst die Registrierung eines derartigen Tokens die Speicherung eines Bildes, das aktuell von der Registrierungskamera erfasst wird, aus. Dieses Bild wird an das Token gebunden, der Interaktionsablauf ist damit ebenfalls wieder beendet.

Im zweiten Schritt, der zur Einbettung von Information notwendig ist, muss das einbettbare Token einem Containertoken zugeordnet werden. Dazu muss das betreffende Container-Token geöffnet werden. Das einbettbare Token, an das bereits Information gebunden wurde, wird erneut mit der Registrierungskamera erfasst, was eine Zuordnung zwischen diesem Token und dem offenen Container auslöst. Visuelles Feedback über die Ausgabekanäle zeigt eine erfolgreiche Zuordnung an. Das einbettbare Token kann nun auch physisch in den Container gelegt werden und ist diesem damit auch in der realen Welt zugeordnet. Der Interaktionsvorgang endet mit dem Schließen des Containertokens. Der hier beschriebene Vorgang ist insofern als Hilfskonstrukt zu sehen, als das er nicht notwendig ist, wenn die Containertoken in der Lage wären, ihren Inhalt selbst zu identifizieren. Wie in Abschnitt 7.1.1 argumentiert, wurde aber auf diese Funktionalität verzichtet. Dies ist für den prototypischen Einsatz akzeptabel, im Realbetrieb jedoch

insofern problematisch, als dass durch den indirekten, mehrstufigen Zuordnungsprozess ein inkonsistenter Zustand zwischen physischer und digitaler Modellrepräsentation nicht ausgeschlossen werden kann.

Um eingebettete Information wieder abrufen zu können, wurde ebenfalls ein Interaktionsablauf definiert. Dieser beginnt mit dem Öffnen des entsprechenden Container-Tokens. Durch Herausnehmen des informationstragenden Tokens und eine Erfassung desselben mit der Registrierungskamera wird die angebundene Information abgerufen. Handelt es sich um ein Token mit angebundenem Teilmodell, so wird dieses über die Output-Kanäle dargestellt. Angebundene digitale Ressourcen werden am Rechner geöffnet und dargestellt. Das eingebettete Token bleibt dem Container-Token zugeordnet, es muss also zur Konsistenzsicherung nach dem Abrufen der Information wieder in den Container gelegt werden. Um ein eingebettetes Token aus einem Container zu entfernen, muss bei der Erfassung dieses Tokens das Radierer-Werkzeug-Token eingesetzt werden und das System so in den Lösch-Modus versetzt werden. Die Information bleibt dabei an das einbettbare Token gebunden. Eine Veränderung der angebundenen Information während eines Modellierungsvorgangs ist nicht vorgesehen, es muss ggf. ein weiteres, noch unbelegtes einbettbares Token verwendet werden.

7.3.6. Kontrolle der Modellierungshistorie

Die Kontrolle der Modellierungshistorie umfasst im Wesentlichen drei Interaktionsblöcke, die im Folgenden beschrieben werden. Der erste Block behandelt die Erfassung von Modellzuständen, im zweiten Block wird die Navigation durch die Modellierungshistorie behandelt und der dritte Block beschäftigt sich mit der Unterstützung der Wiederherstellung von gespeicherten Modellzuständen.

Die Erfassung von Modellzuständen erfolgt im Normalfall implizit und muss von den Benutzern nicht explizit ausgelöst werden. Wenn sich das Modell auf der Modellierungsoberfläche länger als 5 Sekunden in einem stabilen Zustand befinden (wenn also weder die Position, noch die Rotation oder die Benennung der Tokens geändert wurden und auch keine Verbindungen oder Einbettungen erstellt wurden), wird der aktuelle Modellzustand gespeichert. Sollen bestimmte Modellzustände aber aufgrund ihrer Relevanz für den Modellierungsverlauf explizit gespeichert und auch entsprechend gekennzeichnet werden, so kann das Snapshot-Token eingesetzt werden. Dieses löst, sobald es auf der Modellierungsoberfläche aufgesetzt wird, die Speicherung des aktuellen Modellzustandes aus. Das System quittiert die Speicherung mit visuellem Feedback über die Ausgabekanäle. Explizit erfasste Zustände werden im Gegensatz zu automatisch gespeicherten gekennzeichnet und in den weiterverarbeitenden Modulen (vor allem bei der Persistierung) speziell behandelt.

Die Navigation durch die Modellierungshistorie erfolgt mittels einem runden Werkzeug-Token, dass diese Navigation durch Rotation im oder entgegen dem Uhrzeigersinn er-

möglichst. Das System wird durch das Aufsetzen dieses Tokens auf die Modellierungsoberfläche in den Historien-Modus geschaltet, was Auswirkungen auf die Darstellung des Modells in den Outputkanälen (siehe Abschnitt 8.3.3) hat. Bei Aktivierung des Historien-Modus wird der aktuellste gespeicherte Modellzustand geladen. Durch Drehen des Tokens gegen den Uhrzeigersinn kann in der Zeit zurück navigiert werden. Das Laden der nächstälteren Modellzustands erfolgt dabei in regelmäßigen Intervallen von jeweils 45 Grad (8 Modellzustände pro voller Umdrehung). Der absolute zeitliche Abstand zwischen den gespeicherten Modellzuständen, der sich aus dem Auftreten stabiler Modellzustände ergibt, wird bei der Navigation nicht berücksichtigt – der zurückzulegende Winkel ist immer gleich groß. Gleiches gilt sinngemäß für das Drehen des Tokens im Uhrzeigersinn – dabei wird in regelmäßigen Abständen der nächstjüngere Modellzustand geladen. Wird das Token entfernt, wird der Historien-Modus deaktiviert und wieder in der aktuelle Systemzustand an die Output-Kanäle übergeben.

Soll ein gespeicherter Modellzustand wiederhergestellt werden, so bietet das System Unterstützung für die dazu notwendige Interaktion. Da weder die Tokens noch der Tisch selbst über durch den Rechner steuerbare bewegliche Komponenten verfügen, die eine automatisierten Wiederherstellung eines Modellzustandes ermöglichen, kommt die Aufgabe der eigentlichen Wiederherstellung den Benutzern zu. Das System unterstützt dabei insofern, als das über die Ausgabekanäle Information an die Benutzer weitergegeben wird, die die korrekte Platzierung der Elemente anleitet (Details dazu sind in Abschnitt 8.3.4 nachzulesen). Gespeicherte Modellzustände können dabei entweder aus dem Historienmodus oder aus an eingebettete Tokens gebundene Teilmodelle bezogen werden. Im ersten Fall wird die Wiederherstellungsunterstützung durch ein spezielles Token aktiviert, das auf die Oberfläche aufgesetzt wird während der alte Systemzustand über die Outputkanäle dargestellt wird. Im zweiten Fall muss das Teilmodell, das an das eingebettete Token gebunden ist, über die Registrierungskamera abgerufen werden, wodurch es ebenfalls über die Outputkanäle dargestellt wird. Während der Darstellung wird die Wiederherstellungsunterstützung wiederum durch Aufsetzen des betreffenden Werkzeug-Tokens auf die Oberfläche aktiviert. In beiden Fällen läuft dann die Wiederherstellungsunterstützung durch das System angeleitet automatisiert ab. Nach Abschluss der Wiederherstellung werden die Benutzer aufgefordert eventuell noch vorhandene Werkzeug-Tokens (wie das Historien-Navigations-Token) zu entfernen, wodurch das System wieder den aktuellen Modellzustand als Grundlage der Darstellung verwendet.

7.4. Erfassung der Benutzerinteraktion durch Software

Das Software-System, das die Benutzereingaben von der Hardwareschnittstelle bis hin zur abstrahierten Modellierungsinformation aufbereitet, ist Gegenstand dieses Abschnitts. Die darüber hinausgehenden Komponenten sind Gegenstand der Kapitel 8 und 9. Die hier behandelten Software-Komponenten umfassen

- jene Komponente, die die Rohdaten von ReactIVision empfängt und sie hinsichtlich der Modellierungsinformation auswertet und interpretiert,
- die Komponente, die für die Stabilisierung der Erkennungsleistung sorgt, wenn Fehlererkennung oder Erkennungsausfälle auftreten, sowie
- jene Komponente, die für das Tracking des Modellzustandes und damit für die Nachvollziehbarkeit des Modellierungsablaufs zuständig ist.

Wie in Abschnitt 7.1.3 ausgeführt, soll zur Verknüpfung dieser Komponenten das TUIpist-Framework zum Einsatz kommen. Im vorliegenden Prototypen wurde das System jedoch zwar modular aber ohne Einsatz des TUIpist-Frameworks implementiert. Eine erste Umsetzung der Architektur auf die TUIpist-Strukturen liegt vor, ist jedoch noch nicht im produktiven Einsatz. An dieser Stelle wird deshalb der Aufbau der Komponenten in ihrer derzeitigen Implementierung beschrieben, da diese auch bei der Evaluierung des Werkzeugs eingesetzt wurde. Erste Umsetzungserfahrungen deuten darauf hin, dass der Aufwand zur Einbindung von TUIpist sich wie erwartet in Grenzen hält.

Die Systemarchitektur, wie sie sich in der derzeitigen Implementierung darstellt, ist in Abbildung 7.19 dargestellt. Die Komponenten des Interpretations-Moduls leiten sich aus den umzusetzenden Funktionen und zu erkennenden Interaktionsabläufen (siehe Abschnitt 7.3) ab. Die Komponenten sowie die Verknüpfungen untereinander werden in den folgenden Abschnitten im Detail beschrieben, wobei die Struktur der Beschreibung im Gegensatz zum vorangegangenen Abschnitt nicht an der Funktionalität sondern an den involvierten Technologien orientiert ist und damit einen weiteren Detaillierungsschritt in der Beschreibung der Benutzereingabe im hier vorgestellten System darstellt.

7.4.1. Interpretation der Rohdaten

Das ReactIVision-Framework liefert, wie in Abschnitt 7.1.2 beschrieben, die aus dem Kamerabild extrahierten Informationen über die auf der Oberfläche vorhandenen Modellierungselemente und Werkzeuge. Für jeden erkennbaren Code wird eine separate Nachricht gesandt, sobald sich zumindest ein Parameter (also Position oder Rotation) verändert. Diese Nachrichten treffen über die UDP-Schnittstelle bei einem von ReactIVision bereitgestellten Java-Objekt ein, das die Auswertung der Nachricht übernimmt und über einen Callback-Mechanismus⁷ vom Anwendungsentwickler implementierte Methoden aufruft, die auf das jeweilige Ereignis reagieren. Die Ereignisse, die auftreten können, beschränken sich auf das Erscheinen eines Tokens, die Änderung der Parameter eines Tokens und das Verschwinden eines Tokens sowie die gleichen drei Ereignisse für die Behandlung eines Cursors (wie das Markierungs-Werkzeugtoken). Dazu werden jeweils die relevanten

⁷entsprechend dem in (Gamma et al., 1995) beschriebenen Beobachter-Muster (Observer), das bei der Entwicklung wiederverwendbarer objektorientierter Software als Entwurfsmuster zum Einsatz kommt

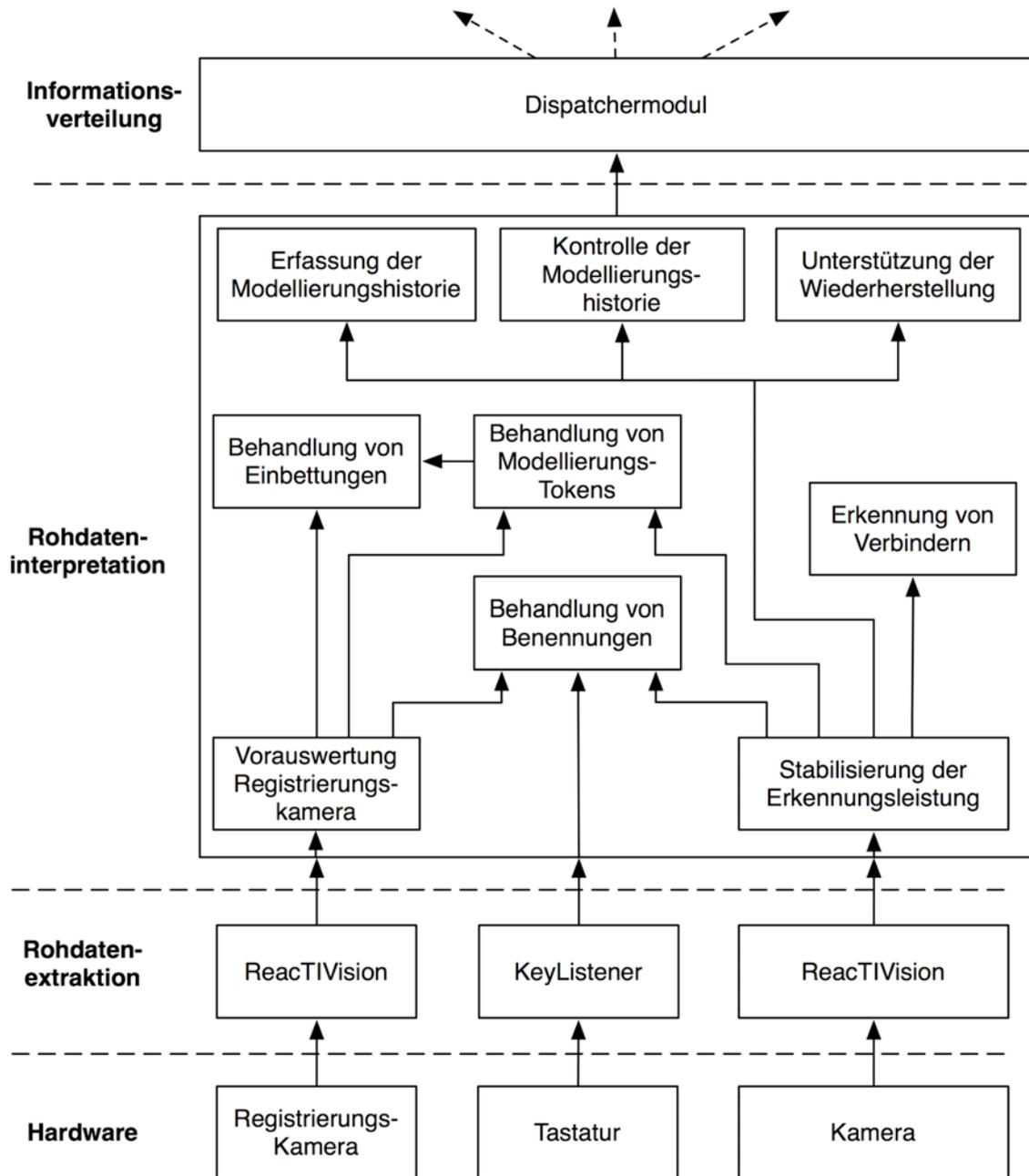


Abbildung 7.19.: Softwarearchitektur zur Erkennung von Benutzerinteraktion

Parameter zur Verfügung gestellt (im Wesentlichen die ID des Tokens, seine Position, seine Rotation und einige weitere abgeleitete Parameter, die in der konkreten Anwendung nicht eingesetzt werden).

In den betreffenden Methoden wird im ersten Schritt ausgewertet, ob das identifizierte Token ein Modellierungs-Element oder ein Werkzeug ist. Im Falle eines Modellierungs-Elements wird im nächsten Schritt festgestellt, um welche Art von Token es sich handelt und ob es im aktuellen Modellierungsvorgang bereits im Einsatz war (ob z.B. bereits Information über die Benennung des Tokens oder dessen Inhalt vorhanden ist). Diese Information wird ggf. geladen und den weiterverarbeitenden Komponenten zu Verfügung gestellt. Im Falle eines Werkzeug-Tokens wird dieses identifiziert und an die für die Behandlung zuständige Methode weitergeleitet. Diese Methoden schalten das System je nach Art des eingesetzten Tokens in einen alternativen Zustand oder lösen eine Aktion auf den übergeordneten Ebenen aus.

Ist für die Interpretation einer Benutzerinteraktion mehr als ein Token notwendig (z.B. beim Ziehen von Verbindungen), werden die Kandidaten, die möglicherweise den Beginn einer derartigen Interaktionssequenz darstellen, in einen Buffer geschrieben. Beim Auftreten eines Tokens, das möglicherweise den zweiten Teil dieser Interaktion darstellt, wird dieser Buffer geprüft und die Interpretation ggf. auf Basis der gespeicherten und aktuellen Token-Daten durchgeführt.

Manche Benutzereingaben müssen – um eine komfortable Erstellung des Modells zu ermöglichen – ggf. auch nach Entfernen eines Tokens für einen bestimmten Zeitraum gespeichert werden. Beispiele hierfür sind Markierungen, die auch nach Entfernen des Markierungstokens aktiv bleiben, um Zeit für die Benennung oder die Herstellung einer Verbindung zu geben oder auch Modellierungstoken, die durch Manipulation temporär aus dem Erkennungsbereich der Kamera geraten und in diesem Fall nicht sofort als „entfernt“ interpretiert werden sollen. Auch in diesem Fall werden Buffer eingesetzt, die die entsprechende Information mit einem Zeitstempel versehen aufnehmen. Zur Sicherstellung der Modellkonsistenz (also der Übereinstimmung zwischen physischem und digitalem Modell) prüfen speziell dazu konzipiert Methoden, die von einem Timer in regelmäßigen Abständen aufgerufen werden, ob die vorgegebene Gültigkeitsdauer der Information bereits abgelaufen ist und entfernen diese ggf. endgültig aus dem Buffer und dem Modell (löschen also konkret eine Markierung oder entfernen ein Modellelement und alle abhängigen Verbindungen aus dem Modell). Die Zeitintervalle dieser Prüfungen sind auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt und bewegen sich im Bereich zwischen drei und fünf Sekunden.

7.4.2. Stabilisierung der Erkennungsleistung

Da wie bereits beschrieben beim Einsatz von ReactIVision bei grenzwertigen Beleuchtungsbedingungen zu Erkennungsproblemen oder Fehlerkennungen neigt, wurden im

Programmcode des Interpretationsmoduls Mechanismen verankert, die potentielle Fehlerkennungen und Erkennungsprobleme identifizieren und deren Auswirkungen ignorieren sollen. Im Folgenden werden häufige Fehlerquellen benannt und der jeweilige Lösungsansatz beschrieben.

Bildrauschen

Bei wenig vorhandenem Umgebungsumgebungslicht müssen die Kameraparameter wie oben bereits beschrieben soweit nachgeführt werden, bis wieder ausreichender Bildkontrast vorhanden ist. Zur Nachführung eignen sich die Blende der Kamera und die Signalverstärkung. Eine offene Blende erhöht den Lichteinfall auf den Sensor und verbessert damit die Bildhelligkeit und den Kontrast. Je weiter offen die Blende eingestellt ist, desto geringer ist jedoch auch die Tiefenschärfe des Kamerabilds, d.h. dass die Kamera sehr exakt auf die Modellierungsoberfläche fokussiert werden muss. Da der Abstand von der Kamera zu Mitte des Tisches geringer ist als zu den Randbereichen, kann bei offener Blende nie die gesamte Oberfläche scharf eingestellt werden. Da ein unscharfes Bild die Erkennungsleistung massiv mindert, sind der Nachführung des Blenden-Parameters Grenzen gesetzt. Die Signalverstärkung wirkt demhingegen nicht direkt auf die Kamera sondern auf das von ihr gelieferte Bild und ist deswegen keine physikalischen Beschränkungen unterworfen. Bei der Erhöhung der Signalverstärkung werden helle Bereiche im Bild heller, dunkle bleiben eher dunkel, der Kontrast wird also erhöht. Problematisch ist in diesem Kontext, dass nicht nur das Nutzsignal (also das eigentliche Bild) verstärkt wird, sondern auch das im Bild enthaltene Rauschen. Das Rauschen ist wiederum ein physikalisches Phänomen der digitalen Bilderfassung und hat seinen Ursprung im bildaufnehmenden Chip. Während das Rauschen bei guten Lichtverhältnissen im Vergleich zum Nutzsignal vernachlässigbar ist, wirkt es bei schlechten Lichtverhältnissen und dementsprechend starker Signalverstärkung störend. Generell ist die Kamera deshalb so zu kalibrieren, dass der Spielraum bei der Blendeneinstellung maximal ausgenutzt wird (so dass die gesamte Oberfläche noch scharf abgebildet werden kann) und erst danach die zu einer stabilen Erkennung notwendige Signalverstärkung eingestellt wird.

Ist trotz maximaler Blendenöffnung so wenig Licht vorhanden, dass es durch eine hohe notwendige Verstärkung zu Bildrauschen kommt, ergeben sich Probleme bei der Bilderkennung. Diese äußern sich teilweise im temporären Nicht-Erkennen von auf der Oberfläche platzierten Tokens (weil das den Code enthaltende Nutzsignal im Bildrauschen untergeht), vor allem aber im Auftreten von „Cursorflackern“. Mit „Cursorflackern“ wird hier das Phänomen bezeichnet, das der Bilderkennungsalgorithmus vermeintlich auf die Oberfläche aufgesetzte Cursor-Tokens (wie das Markierungstoken) erkennt und an das Interpretationsmodul weiterleitet. Es kann so vorkommen, dass fehlerhafte Markierungen angezeigt werden oder sogar ungewollte Verbindungen entstehen. Diese Cursor haben eine sehr geringe Lebensdauer (im Bereich von unter 500 Millisekunden), da das

Rauschen zufallsverteilt und dynamisch ist und eine als Cursor erkannte Konstellation dementsprechend nicht lange erhalten bleibt.

Um das „Cursorflackern“ zu verhindern, kann einerseits auf Seiten des ReactIVision-Frameworks die Cursor-Größe erhöht werden, was die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkennung durch die größere notwendige Fläche, auf der das Rauschen in der richtigen Form auftreten muss, reduziert. Dementsprechend müssen aber auch etwaige Cursor-Tokens in ihrer Größe angepasst werden, was nur in Grenzen möglich ist. Der alternative Ansatz zur Kompensation von „Cursorflackern“ wurde im Interpretationsmodul implementiert und basiert auf der Messung der Lebensdauer des Cursors. Wird von ReactIVision das Auftreten eines Cursors gemeldet, so wird dieser vom Interpretationsmodul nicht direkt ausgewertet, sondern in einen Buffer geschrieben. Nach 600 Millisekunden wird geprüft, ob der Cursor noch vorhanden ist oder ob er bereits wieder entfernt wurde (ob also eine entsprechende Nachricht von ReactIVision weitergegeben wurde). Im ersteren Fall kann von einem bewusst gesetzten Cursor ausgegangen werden und dieser zur Weiterverarbeitung freigegeben werden. Im zweiten Fall handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um „Cursorflackern“, das ignoriert werden kann.

Technisch ist diese Funktion so umgesetzt, dass eine Meldung über das Auftreten eines Cursors ein entsprechendes Objekt mit Zeitstempel in einen Buffer schreibt. Die Meldung über das Verschwinden eines Cursors entfernt dieses Objekt dementsprechend wieder aus dem Buffer. Ein Timer löst alle 300 Millisekunden eine Prüfung des Buffers aus, bei dem alle Cursor, die älter als 600 Millisekunden sind, zur Weiterverarbeitung frei gegeben werden. Alle jüngeren Cursor werden unverändert im Buffer belassen und – sofern dann noch vorhanden – im nächsten Durchlauf erneut geprüft und ggf. frei gegeben. Durch den potentiell simultanen Zugriff auf den Buffer (durch die Prüfungsroutine und den Cursor hinzufügenden oder entfernenden Methoden) müssen hier synchronisierte, simultaner Veränderung gegenüber stabile Buffer-Klassen eingesetzt werden.

Spotlights

Bei ungleichmäßiger Umgebungsbeleuchtung treten auf der Modellierungsoberfläche häufig kleinere Bereiche auf, in denen die Helligkeit gegenüber der Umgebung erhöht ist. Derartige Bereiche entstehen unter anderem durch einfallendes Sonnenlicht, das durch unzureichende Verdunkelungsmaßnahmen nur zum Teil abgeschirmt wird oder auch durch Reflexionen, die durch die Lampe des Videoprojektors verursacht werden. In beiden Fällen führen diese Bereiche, die im Folgenden als „Spotlights“ bezeichnet werden, zur Fehlerkennung von Cursor auf der Oberfläche. Im Gegensatz zum zuvor beschriebenen „Cursorflattern“ bleiben diese „Spotlights“ jedoch über die Zeit stabil und werden vom ReactIVision-Framework als ständig vorhandene Cursor identifiziert. Bleibt diese Fehlerkennung unkompensiert, so wird ein Token, das im Bereich des „Spotlights“ aufgesetzt oder dorthin bewegt wird, ohne weitere Benutzerinteraktion markiert (als ob es

mit dem Markierungstoken ausgewählt wird). Dies führt wie zuvor zu Problemen bei der Benennungen von Tokens bzw. zu unbeabsichtigten Verbindungen.

Um die Fehlerkennung von Cursors durch Spotlights zu verhindern, kann einerseits wiederum die Möglichkeit der oben bereits beschriebenen Konfiguration der Cursorgröße im ReacTIVision-Framework genutzt werden. Da diese jedoch den ebenfalls erwähnten Einschränkungen unterliegt, ist eine Behandlung im Interpretationsmodul notwendig. Der Lösungsansatz zur Kompensation beruht wiederum auf einer Messung der Lebensdauer des betreffenden Cursors. Im Gegensatz zur Behandlung des „Cursorflackerns“, bei dem eine minimale Lebensdauer festgelegt wurde, wird bei der Behandlung von „Spotlights“ eine maximale Lebensdauer definiert, nach deren Überschreitung ein Cursor ignoriert wird. Diese Grenze ist mit fünf Sekunden festgelegt – jeder Cursor, der länger auf der Oberfläche identifiziert wird, wird ignoriert. Spotlights sind somit maximal fünf Sekunden nach ihrem Auftreten wirksam. Wenn sich in diesem Zeitraum kein Token in der Nähe des Spotlights befindet, bemerken die Benutzer die Fehlerkennung nicht. Befindet sich zum Zeitpunkt der Erkennung ein Token in der Nähe, so wird dieses einmalig markiert, wobei diese Markierung durch den in Abschnitt 7.3.3 beschriebenen Mechanismus zur Begrenzung der Lebensdauer von Markierungen nach spätestens drei Sekunden wieder verschwindet.

Technisch wurde diese Kompensationsmaßnahme als Erweiterung des oben beschriebenen Buffer-Ansatzes umgesetzt. Bei der Prüfung der Gültigkeit eines Cursor im Buffer wird nun neben der minimalen Lebensdauer auch die maximale Lebensdauer miteinbezogen. Ist die maximale Lebensdauer überschritten, so wird der Cursor aus dem Buffer entfernt und damit so behandelt, als ob er von den Oberfläche verschwunden wäre. Diese Maßnahme ist dann wirksam, wenn die „Spotlights“ tatsächlich über die Zeit stabil erkannt werden – setzt die Erkennung eines „Spotlights“ kurzfristig aus, so beginnt mit der Wiedererkennung desselben die oben beschriebene 5-Sekunden-Frist bis zum Ignorieren des erkannten Cursors von neuem. Um diese potentiellen Problematik zu begegnen, werden die Positionen von bereits erkannten Spotlights ebenfalls in einem Buffer abgelegt. Tritt ein neuer Cursor an der Stelle eines bereits bekannten Spotlights auf, wird dieser sofort ignoriert. Dabei kann die Applikation über die Laufzeit theoretisch zu restriktiv bei der Akzeptanz von Cursors umgehen, vor allem, wenn Markierungstoken regelmäßig länger als fünf Sekunden auf der Oberfläche belassen werden und die zugehörigen Cursor dadurch als Spotlights erkannt und deren Positionen gesperrt werden. In der Praxis ist dieses Vorgehen jedoch kein Problem, da manuell platzierte Token kaum oder nur zufällig so positionsstabil auf der Oberfläche platziert werden können, dass exakt die gleiche (und demnach gesperrte) Position getroffen wird. „Spotlights“ sind demhingegen hoch positionsstabil und werden dadurch durch diese Maßnahme erfasst.

Ein weiteres Problem, das durch „Spotlights“ verursacht wird, die von unten auf die Oberfläche geworfen werden (also z.B. durch den Videoprojektor verursacht werden) ist eine potentielle Verdeckung von Teilen eines ReacTIVision-Codes, wodurch das betroffene Token nicht mehr erkannt werden kann. Da die Störung permanent ist, kann diese

durch Software nicht kompensiert werden und muss durch physische Maßnahmen kompensiert werden. Im konkreten Fall wurde das Spotlight, das durch den Videoprojektor verursacht wurde, durch eine punktuelle Abdeckung am Umlenkspiegel (siehe Abbildung 7.7) verhindert. Diese Maßnahme verhindert zwar auch eine Projektion im betroffenen Bereich, diese Beeinträchtigung ist aber insofern akzeptabel, als dass auf der Oberfläche ein Bereich von lediglich 0,5 cm im Durchmesser betroffen ist.

Überstrahlte Bereiche

Überstrahlte Bereiche können auftreten, wenn sich externe Lichtquellen direkt über der Tischoberfläche befinden oder bei internen (im Werkzeug eingebauten) Lichtquellen keine Streuscheiben verwendet werden. Außerdem kann auch durch direkte Sonneneinstrahlung ein Überstrahlen auftreten. In Abgrenzung zu „Spotlights“ sind überstrahlte Bereiche großflächiger (potentiell die gesamte Oberfläche) und werden nicht als Cursor erkannt. Überstrahlte Bereiche verursachen jedoch andere Probleme, die im Folgenden behandelt werden.

Das größte Problem bei überstrahlten Bereichen ist die Verhinderung der Erkennung von Codes im betroffenen Teil der Oberfläche. Überstrahlte Bereiche werden am Kamerabild unabhängig von den aktuell aufgesetzten Tokens rein weiß abgebildet. Dabei ist es unwesentlich, dass externe Lichtquellen von Tokens teilweise verdeckt werden – die Überstrahlungseffekte beeinflussen den adaptiven Erkennungsalgorithmus negativ und verhindern so trotzdem eine Erkennung. Von Seiten der Interpretationsschicht können keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, da auch über die Zeit hinweg im Normalfall keine Daten vorliegen, aus denen der Systemzustand im Falle von Fehlerkennungen extrapoliert werden könnte. Softwareseitig ist damit nur eine Beeinflussung über die Kalibrierungsparameter des ReactIVision-Frameworks möglich. Auch hier ist der Spielraum insofern eingeschränkt, als dass eine Veränderung der Signalverstärkung keine Verbesserung bringt, da überstrahlte Bereiche bereits den Bilderfassungschip der Kamera übersteuern und damit im betroffenen Bereich keine Information vorhanden ist, die durch Reduzierung der Bildverstärkung sichtbar gemacht werden könnte. Der einzige Parameter, dessen Veränderung in diesem Zusammenhang sinnvoll ist, ist die Blendenöffnung der Kamera. Durch Schließen der Blende fällt weniger Licht auf den Sensorchip – das Bild wird dunkler. Jedoch werden auch nicht überstrahlte Bereiche abgedunkelt, was die Erkennung von Codes in diesen Teilen der Oberfläche schwieriger macht. Hier kann wiederum eine Erhöhung der Signalverstärkung Abhilfe schaffen, die aber exakt mit den Grenzwerten der Erkennbarkeit in den ehemals überstrahlten Bereichen abgestimmt werden muss.

Ein zweites Problem, das bei nicht vollkommen überstrahlten Bereichen auftreten kann, ist das zuvor bereits beschriebene „Cursorflackern“. Dessen Auftreten liegt in der Funktionsweise des adaptiven Erkennungsalgorithmus von ReactIVision begründet, der in Bereichen mit geringem Kontrast (wie es nicht vollkommen aber beinahe überstrahlte

Bereiche sind) auf geringe Strukturunterschiede im Bild relativ stark reagiert. Als Gegenmaßnahmen kommt auf Seite von ReacTIVision die wiederum die Veränderung der Blende oder der Signalverstärkung in Frage, auf Seiten des Interpretationsmoduls werden die Maßnahmen wirksam, die auch bei herkömmlichen „Cursorflackern“ zum Einsatz kommen (siehe oben).

Bildverzerrungen

Bildverzerrungen werden durch das eingesetzte Objektiv der Kamera ausgelöst. Je größer der Öffnungswinkel des Objektivs, desto höher sind bei Standardobjektiven die Verzerrungseffekte im Randbereich des erfassten Gebietes. Im konkreten System kommt ein Objektiv mit starkem Weitwinkel zum Einsatz, das die Erfassung der gesamten Oberfläche aus relativ geringem Abstand (und damit geringerer Tischhöhe) ermöglicht. Verzerrungseffekte führen im Normalfall zu einer Fehlpositionierung von Token im Randbereich, da das Kamerabild im Vergleich zur realen Welt gestaucht ist. ReacTIVision bietet dazu die Möglichkeit mit Hilfe eines Kalibrierungs-Musters eine Entzerrungsmatrix zu erfassen, die zur Kompensation dieses Fehlers verwendet werden kann. Da die Bildverzerrung sich zeitlich nicht verändert, ist keine weitergehende Kompensation dieser Fehlererkennung in höheren Softwareebenen (wie dem Interpretationsmodul) notwendig.

Problematischer wird die Bildverzerrung dann, wenn durch sie in den Randbereich soviel Bildinformation (durch die Stauchung des Bildes) verloren geht, dass eine Erkennung von in diesen Randbereichen platzierten Tokens nicht mehr möglich ist. Dies tritt auf, wenn die Stauchung so stark wird, dass die schwarzen und weißen Bereich des Codes nicht mehr trennscharf voneinander zu unterscheiden sind und ineinander fließen. Je kleiner der Code im Bild dargestellt ist (also je weiter entfernt er ist, je kleiner er physisch ist oder je geringer die Kameraauflösung ist), desto eher tritt dieser Effekt auf. Da im gegebenen System sowohl die Entfernung zwischen Kamera und Oberfläche als auch die Kameraauflösung vorgegeben sind, ist der einzige zu variierende Faktor die physische Größe des Codes. Diese wird jedoch von den Dimensionen der Tokens bestimmt, die im konkreten System im Interesse der Handhabbarkeit der Modellierungselemente eher gering gewählt wurden. Der nicht erkennbare Bereich kann nur durch Einsatz einer höher auflösenden Kamera oder durch größere Tokens erschlossen werden. Im ersten Fall würde der Auswertungsaufwand und damit die notwendige Rechenleistung massiv erhöht, im zweiten Fall wird die Handhabbarkeit negativ beeinflusst und die Anzahl der gleichzeitig einsetzbaren Tokens reduziert. Softwareseitig kann aufgrund der fehlenden Information in den Quelldaten keine Kompensation vorgenommen werden.

7.4.3. Erkennung von Markierungen und Verbindungen

Wie in den Abschnitten 7.3.2 und 7.3.3 beschrieben, werden ReacTIVision-Cursor verwendet um eine oder mehrere Elemente auf der Tischoberfläche im Zuge eines Inter-

aktionsablaufs zu markieren. ReactIVision-Cursor sind helle, kreisrunde Bildbereiche eines bestimmten Durchmessers. Diese Bildbereiche können durch Marker erzeugt werden, in dem ein leerer weißer Kreis von einem schwarzen Ring umschlossen wird. Alternativ erzeugt auch das Aufsetzen von Fingern derartige Bereiche auf der Oberfläche, wodurch grundsätzlich die Realisierung eines (Multi-)Touch-Displays möglich ist. Da durch variierende Fingergrößen und verschiedene Arten des Aufsetzens des Fingers (und damit verschiedenen Abdrücken auf der Oberfläche) bei unterschiedlichen Modellierern die Erkennung von Fingern nur teilweise stabil und zuverlässig funktioniert, wurde im konkreten System die Marker-Variante zur Realisierung von Cursors gewählt. Diese ist aufgrund der definierten Größe des hellen Bildbereichs und der damit einhergehenden exakteren Konfigurierbarkeit auch unempfindlicher gegenüber Störungen.

Im Gegensatz zu vollwertigen ReactIVision-Markern, die ein Token zu jedem Zeitpunkt eindeutig identifizieren, können mehrere gleichzeitig eingesetzte Cursor grundsätzlich nicht unterschieden werden (da sie alle den gleichen Code aufweisen). ReactIVision löst dieses Problem, indem für jeden Cursor eine nach der Reihenfolge des Auftretens vergebene eindeutige Session-ID zugeordnet wird, der einen Cursor bis zum Zeitpunkt des Verschwindens eindeutig identifiziert (diese Session-ID wird im übrigen auch vollwertigen Markern zugeordnet, hat aber in der hier vorgestellten Anwendung keine Bedeutung). Potentiell problematisch ist die Zuordnung einer Session-ID zu einem Cursor dann, wenn die Beleuchtungsbedingungen schlecht sind, so dass das Cursor-Token nicht durchgängig erkannt wird. In diesem Fall wird bei jeder (Wieder)-Erkennung des betreffenden Tokens eine neue Session-ID zugeordnet, was gleichbedeutend mit dem Auftreten eines neuen Cursors ist. Zur Kompensation können die bereits beschriebenen Mechanismen eingesetzt werden, vor allem das Ignorieren von zeitnah nach dem Verschwinden eines Cursors auftretenden neuen Cursors an exakt der gleichen Position verhindert derartige Fehlerkennungen weitgehend.

Wird ein Cursor-Token auf der Oberfläche aufgesetzt und von ReactIVision erkannt, werden die in Abschnitt 7.4.2 beschriebenen Prozesse zur Stabilisierung der Erkennungsleistung ausgeführt. Sobald der Cursor entsprechend lange stabil auf der Oberfläche erkannt wird, so dass eine Fehlerkennung weitgehend ausgeschlossen werden kann, wird im Umkreis der Cursorposition (Radius etwa 5 Zentimeter) nach aktuell auf der Oberfläche vorhandenen Modellierungs-Tokens gesucht. Das dem Cursor am nächsten liegende Token wird ausgewählt (insofern es innerhalb der Grenze von 5 Zentimetern liegt). Den Benutzern wird diese Auswahl über die Ausgabekanäle rückgemeldet. Damit ist der Markierungsvorgang grundsätzlich abgeschlossen.

In der Verarbeitung von Cursor sind noch zwei Spezialfälle zu betrachten, die im Kontext der Herstellung von Verbindungen auftreten. Im ersten Fall muss das Auftreten von zwei Cursors erkannt werden, die die zu verbindenden Modellelemente markieren. Eine Verbindung wird dann hergestellt, wenn die beiden Cursor innerhalb von 3 Sekunden jeweils in der Nähe eines Modellierungs-Tokens erkannt werden. Die grundlegende Erkennung einer Markierung läuft für beide Cursor wie im letzten Absatz beschrieben ab.

Zusätzlich wird nach jeder erkannten Markierung geprüft, ob auf der Oberfläche eine weitere aktive Markierung vorhanden ist (also eine, die in den letzten drei Sekunden gesetzt wurde). Ist dies der Fall und wird die andere Markierung nicht bereits für andere Zwecke (z.B. einen gerade laufenden Benennungsvorgang) verwendet, werden beide Markierungen gelöscht und anstelle derer eine Verbindung zwischen den markierten Modellelementen eingefügt. Der zweite Spezialfall ist die Erkennung von gerichteten Verbindungen, also das Auftreten von Werkzeug-Tokens, die einen Verbindungsendpunkt mit Pfeilspitze kennzeichnen. Wie in Abschnitt 7.2.2 beschrieben, unterscheiden sich diese Tokens von den anderen Markierungstokens durch einen zweiten Cursor-Marker, der unmittelbar neben dem ersten angebracht ist. Tritt nun ein zweiter Cursor auf der Oberfläche auf, der sich nahe eines bereits erkannten Cursors befindet (die Benachrichtigung über Erkennung erfolgt ereignisgesteuert und damit sequentiell, auch wenn beide Cursor-Marker gleichzeitig auf der Oberfläche auftreten), muss die bereits erstellte Markierung für das nächstliegende Modellierungs-Token semantisch umgedeutet werden und von einem Endpunkt einer ungerichteten Verbindung auf den einer gerichteten Verbindung konvertiert werden.

Softwareseitig erfolgen die betreffenden Prüfungen in jenem Algorithmus, der auch die Herstellung von Verbindungen prüft. Wenn also ein Cursor auf der Oberfläche auftaucht und gleichzeitig schon ein weiterer aktiver Cursor vorhanden ist, wird neben den oben beschriebenen Prüfungen zur Verbindungsherstellung auch eine Prüfung auf Nähe zu bereits vorhandenen Cursors durchgeführt und ggf. die Markierung des betroffenen Modellelements umgewandelt. Diese Veränderung der Markierung wird auch den Benutzern über die Ausgabekanäle visuell kommuniziert.

7.4.4. Erkennung von geöffneten Tokens

In den Abschnitten 7.2.2 und 7.3.5 wurde bereits die Erkennung des Öffnungszustandes eines Modellierungs-Tokens konzeptuell beschrieben. Diese wird durch das Kamesystem und ReactIVision festgestellt. Dazu ist auf der beweglichen Rückwand der Modellierungs-Tokens ein ReactIVision-Code angebracht, der beim Öffnen auf der Modellierungsoberfläche zu liegen kommt und dadurch von der Kamera erfasst wird. Technisch sind dazu eine strukturelle Maßnahme und die Implementierung einer entsprechenden Interpretationsroutine notwendig.

Die strukturelle Maßnahme betrifft die Erkennung des auf der Rückwand angebrachten ReactIVision-Codes. Aufgrund der geringen Größe der Rückwand (10 cm x 4 cm) kann kein herkömmlicher ReactIVision-Code in ausreichender Größe angebracht werden. ReactIVision erlaubt jedoch wie in Abschnitt 7.1.2 beschrieben die Erstellung von eigenen Codes beliebiger Form. Die abgebildete Code-Topologie muss lediglich im Mapping-File vermerkt werden um eine Abbildung auf einen eindeutigen Identifikationsnummer zu ermöglichen. Wie in Abbildung 7.10 zu erkennen ist, wurde diese Möglichkeit im vorlie-

genden Fall genutzt. Auf den Rückwänden der Modellierungs-Tokens ist ein einfacher, länglicher Code angebracht, dessen Identifikationsnummer im Interpretationsmodul die Routinen zur Beeinflussung des Öffnungszustands eines Tokens aufruft.

Im Interpretationsmodul wird beim Eingehen der Meldung über das Auftauchen eines entsprechenden Markers dessen Position in Relation mit den Positionen der auf der Modellierungsoberfläche vorhandenen Modellierungs-Tokens gesetzt. Da auf allen Tokens die gleichen Marker zur Identifikation des Öffnungszustands angebracht sind, muss das betroffene Token über die Nähe zum erkannten Marker identifiziert werden. Befindet sich also der Marker eines Modellierungstokens in unmittelbarer Nähe zum aufgetauchten Token (Radius etwa 2,5 cm), so wird dessen Zustand auf „offen“ gesetzt. Befinden sich mehrere Modellierungs-Tokens in diesem Radius, was bei sehr eng gesetzten Modellen möglich ist, so wird das nächstliegende ausgewählt (außer in einigen seltenen Ausnahmekonstellationen ist das jenes Token, zu dem der erkannte Öffnungs-Marker gehört). In der Weiterverarbeitung wird das das betreffende Modellelemente repräsentierende Objekt (im objektorientierten Sinn) über die Änderung seines Öffnungszustandes benachrichtigt. Dieses wechselt seinen Zustand und löst visuelles Feedback über die Ausgabekanäle aus. Außerdem reagiert es nun auf Anfragen bezüglich der Einbettung von Zusatzinformation bzw. deren Abruf.

Sobald das Öffnungs-Token wieder von der Oberfläche verschwindet (das zugehörige Modellierungs-Token also geschlossen wurde), wird im Umkreis des verschwundenen Markers nach geöffneten Modellierungs-Tokens gesucht. Das am nächsten liegende Element wird geschlossen, was wiederum durch eine entsprechende Benachrichtigung des das Modellelement repräsentierende Objekt realisiert wird. Grundsätzlich könnte eine Zuordnung zwischen Öffnungs-Marker und Modellierungs-Token auch über die Session-ID des Öffnungs-Markers durchgeführt werden, die im Öffnungsvorgang dem entsprechenden Modellierungs-Token zugeordnet werden könnte. Von dieser Vorgehensweise wurde jedoch Abstand genommen, da im Falle von Fehlerkennungen des Öffnungs-Markers (kurzfristige Ausfälle, die zur Zuweisung einer anderen Session-ID führen) zu Zuordnung nicht mehr korrekt vorgenommen werden kann. Deshalb wurde ein zustandsloser („state-less“) Algorithmus eingesetzt, der durch die erneut durchgeführte Suche nach dem betroffenen Modellierungs-Token nicht von einer früher gespeicherten Session-ID abhängig ist.

Einbetten und Abrufen von zusätzlicher Information

Im Zusammenhang mit der Erkennung von geöffneten Tokens kann auch die softwareseitige Behandlung von eingebetteter Information beschrieben werden. Diese wurde konzeptuell bereits in Abschnitt 7.3.5 beschrieben. Anhand der nun folgenden Beschreibung aus software-technischer Sicht kann nun auch die Einbindung der Registrierungs-Kamera beschrieben werden.

Die Registrierungskamera dient in diesem Kontext der Erkennung von einbettbaren Tokens, wobei bei der Erkennung drei Fälle unterschieden werden müssen (in Klammer jeweils die Bedingungen, die zur Auswahl eines der Fälle führen):

1. Information anbinden (noch keine Information angebunden)
2. Token einbetten (Information angebunden, Token noch nicht eingebettet, Container-Token geöffnet)
3. Information abrufen (Information angebunden, Token noch nicht eingebettet oder Token eingebettet und Container-Token geöffnet)

Technisch können Fall 1 und 2 auch gleichzeitig auftreten, wenn Information an ein Token gebunden wird, während gleichzeitig ein Container-Token geöffnet wird. In diesem Fall erfolgt die Einbettung unmittelbar nach dem Anbinden der Information.

Software-seitig beginnt der Prozess der Behandlung eines einbettbaren Tokens immer gleich mit dem Schritt der Erfassung des einbettbaren Tokens durch die Registrierungskamera. Diese ist konzeptuell als weiterer Eingabekanal zu sehen, die wie die Hauptkamera Daten an das Interpretationsmodul liefert (siehe Abbildung 7.19), die dieses kontextsensitiv (also abhängig vom aktuellen Modellzustand) auswerten muss. Das Signal der Registrierungskamera wird von einer zweiten ReacTIVision-Instanz aufgenommen und ausgewertet. Diese ist mittels eines Brückenobjekts an das Interpretationsmodul angebunden. Dieses Brückenobjekt nimmt eine Vorauswertung statt und liefert bereits höherwertige Information an das Interpretationsmodul. So ist jegliche Benutzerinteraktion, die nicht unmittelbar Information über den aktuellen Modellzustand benötigt, in diesem Objekt gekapselt (z.B. das Anbinden digitaler Information an ein einbettbares Token). Interaktion, die verteilt über die Registrierungskamera und die Tischoberfläche abläuft, wird an definierten Schnittstellen an das die zuständigen Komponenten im Interpretationsmodul übergeben.

Im konkreten Fall bedeutet dies, dass nach der Erfassung des Tokens durch die Registrierungskamera die oben getroffene Fallunterscheidung wirksam wird, die – wie eben angedeutet – je nach Art des einbettbaren Tokens noch zusätzliche Unterscheidungen erfährt. Bei Tokens, an die noch keine Information gebunden wurde, wird diese zusätzliche Unterscheidung wirksam. Bei blauen einbettbaren Tokens wird eine Auswahlbox geöffnet, mittels der eine anzubindende digitale Ressource im lokalen Dateisystem ausgewählt werden kann. Ein gelbes Token löst die Aufnahme eines Fotos aus. Dieses wird wiederum im lokalen Dateisystem gespeichert und an das Token gebunden. Diese beiden Arten werden vollständig im Brückenobjekt abgehandelt, den übrigen Komponenten wird lediglich ein Datenobjekt übergeben, das der Weiterverarbeitung (also z.B. der eigentlichen Einbettung) dient. Die Behandlung eines roten Tokens kann nicht im Brückenobjekt verarbeitet werden, da es der Speicherung von Submodellen dient und dementsprechend auf Information über den aktuellen Modellzustand auf der Modellierungsoberfläche angewiesen ist. Ein rotes Token löst deshalb einen Modellerfassungsvorgang, wie in Abschnitt

7.4.7 weiter unten beschrieben, aus. Das erfasste Submodell wird danach an das rote Token gebunden.

Ist bereits Information an ein Token gebunden, kann die Erfassung durch die Registrierungskamera der Startpunkt für die Fälle 2 oder 3 sein. Fall 2 tritt dann ein, wenn das einbettbare Token noch keinem Container zugeordnet ist und ein Container geöffnet ist. In diesem Fall wird das Objekt, das die einzubettende Information repräsentiert, an das Modell-Objekt des Container-Tokens übergeben und ab diesem Zeitpunkt von diesem verwaltet. Die erfolgreiche Zuordnung wird über die Ausgabekanäle visuell rückgemeldet, das Token kann in der Folge auch physisch eingebettet werden (siehe Abschnitt 7.3.5). Fall 3 tritt ein, wenn entweder kein Container geöffnet ist oder das betreffende Token bereits einem Container zugeordnet ist. Hier tritt wiederum die Unterscheidung nach Art des einbettbaren Tokens in Kraft. Bei roten Token wird der gespeicherte Modellzustand über die Ausgabekanäle dargestellt. Bei gelben oder blauen Tokens wird die angebundene digitale Ressource – wenn möglich – mittels der Standardapplikation des Betriebssystems, die dem betreffenden Dateitypen zugeordnet ist, geöffnet und dargestellt.

7.4.5. Benennung von Modellelementen

Abschnitt 7.3.2 beschreibt die zur Benennung von Modellelementen und Verbindungen notwendige Interaktion. Wie dort angegeben, existieren zwei Eingabemodalitäten für diese Funktionalität, die sich in ihrer technischen Umsetzung stark unterscheiden. Gemeinsam ist beiden, dass sie die angegebene Benennung dem jeweils markierten Element zuweisen. Ist aktuell kein Modellierungs-Token markiert, wird die Benennung dem zuletzt hinzugefügten Token zugeordnet. Die Verwaltung der Benennung obliegt dem Modellobjekt – sie wird jedoch auch im Interpretationsmodul zwischengespeichert, um die letzte Benennung eines zwischenzeitlich von der Modellierungsoberfläche entfernten Objekts (dessen digitale Repräsentation bereits entfernt wurde) wiederherstellen zu können. Dies ist notwendig, um die Wiederherstellung von eingebetteten Submodellen gewährleisten zu können, dessen Modellierungstokens sich während der Modellerstellung auf einer anderen Ebene nicht auf der Oberfläche befinden.

Benennung mittels Tastatur

Die Benennung mittels Tastatur ist die einzige Interaktion mit den Benutzern, die die Verwendung eines herkömmlichen Eingabemediums bedingt. Um die Eingabe trotz des „Medienbruchs“ möglichst nahtlos zu gestalten, wurde die Möglichkeit geschaffen, nach der Auswahl eines Modellierungs-Tokens ohne weitere Interaktion über die graphische Benutzungsschnittstelle des Systems mit der Eingabe beginnen zu können. Mit dem ersten Tastendruck öffnet sich am Bildschirm eine Eingabemaske, mittels der die Benennung durchgeführt werden kann. Eine Bestätigung mit der Eingabe-Taste schließt

die Eingabemaske und weist die Benennung dem ausgewählten Element zu. Beginnt ein Benutzer ohne vorhergehender Auswahl mit der Informationseingabe, so wird diese dem zuletzt hinzugefügten Element (Modellelement oder Verbinder) zugewiesen.

Technisch ist die Eingabe mittels einem KeyListener implementiert, der das Beobachtermuster (Gamma et al., 1995) in Java in Bezug auf Tastatureingaben benachrichtigt. Das Interpretationsmodul wird also über jeden Tastendruck informiert und muss über dessen Auswirkungen entscheiden. Ist der Tastendruck nicht dem Systemkonfigurationsmodus (siehe Abschnitt 8.4.1) zuzuordnen, wird die Eingabemaske aktiviert, die dann alle weiteren Tastatureingaben abfängt, bis sie wieder geschlossen wird. Die Eingabe wird in der Folge an die zuständigen Komponenten bzw. das betroffene Modell-Objekt zur Weiterverarbeitung übergeben.

Benennung mittels Haftnotiz

Die Benennung mittels Haftnotiz ermöglicht die handschriftliche Benennung eines Modellelements oder Verbinders. Technisch wird sie über die Registrierungskamera abgewickelt. Die Haftnotiz muss dazu beschriftet werden und in der Folge mittels dem Registrierungstoken (siehe Abschnitt 7.2.2) der Registrierungskamera zur Verfügung gestellt. Die Erkennung des Registrierungstokens löst die Aufnahme eines Bildes aus, aus dem in weiterer Folge die Beschriftung extrahiert wird. Dazu sind am Registrierungstoken zwei ReacTIVision-Marker angebracht, die an definierten Positionen links und rechts von der Haftnotiz sitzen. Durch diese beiden bekannten Position ist eine Ausrichtung des Bildes möglich, so dass sich die Haftnotiz an einer definierten Position befindet, an der sie schließlich ausgeschnitten wird. Dazu ist es notwendig, das Bild soweit zu rotieren, dass sich die beiden Marker auf einer horizontalen Achse befinden und der physisch linke Marker links im Bild dargestellt wird. Danach wird das Bild soweit skaliert, bis der Abstand der beiden Marker einem vorab definierten Wert entspricht. Damit sind die Ausmaße der Haftnotiz in horizontaler und vertikaler Richtung bekannt. Wird das Bild nun soweit verschoben, dass sich die beiden Marker an vordefinierten Positionen befinden, kann auch die Haftnotiz im Bild lokalisiert werden. Durch einen Ausschneidevorgang wird die Haftnotiz extrahiert. Das Bild wird nun mit einem adaptiven Algorithmus in eine Schwarz-Weiß-Grafik umgewandelt. Der Algorithmus identifiziert dazu die hellsten Bereiche (die Haftnotiz) und die dunkelsten Bereiche (der Schriftzug) im Bild. Die hellsten Bereiche werden weiß, die dunkelsten Bereiche werden schwarz gesetzt. Die dazwischenliegenden Werte mittels einem Schwellwert der bei $2/3$ der Differenz zwischen hellstem und dunkelstem Wert liegt, auf weiß oder schwarz gesetzt. Das Resultat wird den weiterverarbeitenden Komponenten als Pixelgrafik zur Verfügung gestellt (wie bei der Benennung mittels Tastatur). Durch die Bildverarbeitung ist die Position des Registrierungstokens im Bild der Registrierungskamera irrelevant, da diese weitgehend kompensiert werden kann. Durch die adaptive Umrechnung in eine Schwarz-Weiß-Grafik

kann diese Art der Benennung auch bei schlechten Beleuchtungsbedingungen eingesetzt werden.

7.4.6. Festlegung der Bedeutung von Modellelementen

Durch die Möglichkeit der Festlegung der Bedeutung eines bestimmten Modelltyps (siehe Abschnitt 7.3.1) wird die Forderung nach semantisch flexibler Modellierung umgesetzt. Die Arten von Modellelementen sind semantisch nicht vorgelegt, sondern werden während des Modellierungsvorgangs spezifiziert. Die Frage nach der Angabe des Bedeutungstyps wird ausgelöst, wenn eine Tokenart erstmals auf der Oberfläche erkannt wird. Über eine Eingabemaske und die Tastatur kann dann die Bedeutung textuell eingegeben werden. Wird dieser Vorgang von den Benutzern abgebrochen, besteht die Möglichkeit, die aktive Nachfrage bezüglich der Bedeutungszuordnung für den laufenden Modellierungsvorgang auszuschalten um im Erstellungsprozess nicht unterbrochen zu werden. Die Bedeutungszuordnung kann aber immer ausgelöst werden, wenn ein Token in den Erfassungsbereich der Registrierungskamera gehalten wird. Das System fragt dann nach der Zuordnung der Bedeutung zum jeweiligen Elementtyp.

Auf den Modellierungsvorgang selbst hat die Festlegung der Bedeutung technisch keine Auswirkungen. Für die Persistierung des Modells ist sie jedoch von Bedeutung, da neben dem eigentlichen Modell auch das Metamodell (und damit die Arten von verwendeten Modellelementen und deren Bedeutung) gespeichert werden (siehe Kapitel 9).

7.4.7. Tracking des Modellzustandes

Das Tracking des Modellzustandes läuft von den Benutzern unbemerkt immer im Hintergrund, kann jedoch auch explizit mit dem Snapshot-Token ausgelöst werden. Auch die Speicherung von Submodellen auf einbettbare Token greift auf die gleichen Routinen zurück. Die Speicherung von stabilen Modellzuständen basiert auf der Verfolgung des Zeitpunkts der letzten Änderung im Modell. Dazu wird ein Zeitstempel mitgeführt, der bei jeder Modelländerung aktualisiert, also auf die aktuelle Systemzeit gesetzt wird. Änderungen sind das Platzieren, Verschieben oder Entfernen von Modellierungs-Token, das Herstellen oder Löschen einer Verbindung, das Benennen eines Modellelements oder einer Verbindung und das Einbetten von Zusatzinformation. In regelmäßigen Abständen wird (durch einen Timer ausgelöst) geprüft, wieviel Zeit seit der letzten Modelländerung vergangen ist. Sind mehr als fünf Sekunden vergangen, wird der aktuelle Systemzustand gespeichert und die Prüfung gestoppt, bis die nächste Änderung auftritt. Damit wird verhindert, dass in langen Phasen ohne Änderung mehr als eine Aufnahme angefertigt wird.

Bei der Speicherung des Modellzustandes (egal ob automatisiert oder explizit ausgelöst) wird eine Kopie der digitalen Modellrepräsentation angefertigt. Diese beinhaltet

im Sinne einer „Deep Copy“ Kopien aller Informationen, die im Modell abgelegt sind, so dass keine Referenzen mehr auf das aktuelle Modell zeigen. Damit wird sichergestellt, dass laufende Änderungen am Modell keine Auswirkungen auf den gesicherten Zustand haben. Technisch wurde dies gelöst, indem die „clone“-Methode aller datentragenden Objekte (Modellobjekte und Verbindungsobjekte) so überladen wurden, dass sämtliche referenzierten Objekte (etwa Benennungen, eingebettete Objekte, ...) dupliziert werden und im kopierten Objekt Referenzen auf die erstellten Duplikate eingefügt werden. Dieses Vorgehen ist bei großen Modellen und langer Modellierungszeit durchaus speicherintensiv und bedarf einer ausreichenden Größe des Heaps (der ggf. durch Kommandozeilen-Parameter beim Start des Systems angepasst werden muss).

Navigation in der Modellierungshistorie

Die Navigation in der Modellierungshistorie wird mittels des in den Abschnitten 7.2.2 und 7.3.6 beschriebenen runden Tokens durchgeführt. Die Erkennung der Rotation erfolgt durch den von ReacTIVision übergebenen Rotationswert des Tokens, der in Radiant geliefert wird. Das Interpretationsmodul schaltet dementsprechend bei jeweils bei Vielfachen von $\frac{\pi}{4}$ (also alle 45°) einen gespeicherten Schritt weiter oder zurück (je nach Drehrichtung).

Zur Verwaltung der Modellierungshistorie wird ein Objekt benutzt, das alle gespeicherten Zustände in der Reihenfolge ihrer Speicherung referenziert, den aktuell ausgewählten Zustand speichert und den Abruf von gespeicherten Zuständen sowie die Navigation durch diese ermöglicht. Dieses Objekt wird durch das Interpretationsmodul kontrolliert und gesteuert – für übergeordnete Software-Module ist das Umschalten zwischen dem aktuellen Modellzustand und einem gespeicherten Zustand transparent. Das Format, in dem die gespeicherten Zustände ausgeliefert werden, entspricht jenem in dem auch die aktuellen Modell-Daten verwaltet werden – dadurch wird auch das Umschalten auf einen gespeicherten Zustand im Zuge einer Wiederherstellung einer vergangenen Modellversion erleichtert.

Wiederherstellung eines Modellzustandes

Der Ablauf der Wiederherstellungsunterstützung wird – wie in Abschnitt 7.3.6 bereits erwähnt – erst in Kapitel 8 im Detail beschrieben, da er vorrangig die Ausgabekanäle betrifft. Da die Modellierungshistorie konzeptuell jedoch im Interpretationsmodul angesiedelt ist und der Vorgang der Wiederherstellung auch durch dieses ausgelöst wird (nach Erkennung des entsprechenden Tokens), werden die technischen Details hier besprochen.

Im Zuge der Wiederherstellungsunterstützung müssen die Unterschiede zwischen dem aktuellen Modell und dem wiederherzustellenden gespeicherten Zustand erkannt werden, um die Benutzer schrittweise bei der Wiederherstellung anleiten zu können. Da nur die

physischen Bausteine durch den Benutzer manipuliert werden müssen, beschränkt sich die Differenzbildung zwischen den Modellen auf diese. Rein digitale Information – wie die Verbinder – können am Ende des Wiederherstellungsvorgangs geladen und über die Ausgabekanäle dargestellt werden. Bei den physischen Bausteine, also im wesentlichen den Modellierungs-Tokens sind im ersten Schritt drei Fälle zu unterscheiden:

- Tokens, die im aktuellen Modell enthalten sind und im wiederherzustellenden Modell nicht vorhanden waren
- Tokens, die sich im aktuellen Modell an einer anderen Position befinden als im wiederherzustellenden Modell
- Tokens, die im aktuellen Modell nicht vorhanden sind, im wiederherzustellenden Modell aber vorhanden waren

Im ersten und dritten Fall reicht für die Erkennung eine Differenzbildung zwischen den beiden Modellobjekt-Mengen aus, wobei im ersten Fall die Menge der wiederherzustellenden Modellobjekte von der aktuellen Menge der Modellobjekte abgezogen werden muss um die zu entfernenden Tokens zu identifizieren, im dritten Fall umgekehrt die Menge der aktuellen Modellobjekte von der Menge der wiederherzustellenden Modellobjekte abgezogen wird um die hinzuzufügenden Tokens zu identifizieren. Im zweiten Fall muss für jedes Token dessen aktuelle und gespeicherte Position verglichen werden um die zu verschiebenden Tokens zu identifizieren. Zusätzlich muss noch der Inhalt der Tokens (also deren eingebetteten Tokens) abgeglichen werden um auch hier Differenzen identifizieren zu können.

Zur Durchführung der Wiederherstellungsunterstützung wird das System in einen speziellen Zustand geschaltet, in dem es aufgabengesteuert arbeitet. Jede vorzunehmende Änderung im Modell wird auf eine Aufgabe abgebildet. Eine Aufgabe ist ein spezielles Objekt, das neben der vorzunehmenden Änderung auch eine Methode enthält, die prüft, ob die Aufgabe erfolgreich abgeschlossen wurde (wobei die Bedingungen von der konkreten Aufgabe abhängen). Befindet sich das System im Wiederherstellungsmodus, wird bei jeder von ReacTIVision gemeldeten Änderung auf der Modellierungsoberfläche geprüft, ob mit dieser Änderung die Aufgabe erfüllt wurde. Ist dies nicht der Fall, bleibt die Aufgabe aktiv. Wurde die Aufgabe erfüllt, wird durch einen erneuten Vergleich zwischen Ist- und Soll-Zustand die nächste Aufgabe identifiziert und aktiv gesetzt. Dazu wird entsprechendes Feedback auf den Ausgabekanälen ausgegeben. Sobald Ist- und Soll-Zustand gleich sind, werden die rein digitalen Teile des Modells geladen, womit das aktuelle Modell dem gespeicherten Zustand vollständig entspricht.

7.4.8. Verteilung des Modellzustandes

Die Verteilung der darzustellenden Modellinformation an die übergeordneten Softwaremodule ist Gegenstand des letzten Abschnitts in diesem Kapitel. Die interpretierten und aggregierten Informationen werden jenen Softwaremodulen zur Verfügung gestellt,

die bisher in ihrer Gesamtheit als „Ausgabekanäle“ bezeichnet wurden. Diese Ausgabekanäle sind in der vorgestellten Anwendung mehrere grafische Oberflächen, die den Systemzustand visuell wiedergeben (siehe dazu Details in Kapitel 8).

Wichtig im Kontext dieses Kapitels ist dabei, dass die Ausgabekanäle frei definierbar und erweiterbar sein sollen. Um dieser Anforderung auch vor dem Einsatz eines Frameworks wie TUIpist gerecht zu werden, wurde eine Verteilungskomponente implementiert, die auf dem bereits oben mehrmals erwähnten Besuchermuster von Gamma et al. (1995) basiert. Dabei registrieren sich Ausgabekanäle beim Interpretationsmodul und werden danach über eine definierte Schnittstelle mit der entsprechenden Modellinformation versorgt. Die Schnittstelle ist Teil des Interpretationsmoduls und muss von jedem Ausgabekanal vollständig implementiert werden, auch wenn dieser die betreffende Information nicht benötigt (in diesem Fall bleibt die ausgabeseitig aufgerufene Methode leer).

7.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde jener Teil des Werkzeugs im Detail beschrieben, der sich mit der Erfassung und der Interpretation der Benutzereingaben beschäftigt. Im ersten Teil wurden in Frage kommende technologische Ansätze zur Erfassung der Benutzeraktivität betrachtet und einander gegenübergestellt. Nach der Entscheidung für den Einsatz eines optischen Ansatzes wurden für diesen Zweck geeignete Frameworks betrachtet. Dabei wurden Framework zur optischen Identifikation von physischen Tokens sowie generische Frameworks, die als Middleware für Tabletop Interfaces geeignet sind, beschrieben und verglichen. Die Entscheidung fiel hier zugunsten ReacTIVision (Kaltenbrunner und Bencina, 2007) als optisches Erkennungsframework und TUIpist (Furtmüller und Oppl, 2007) als Middleware.

Im zweiten Teil wurde die Umsetzung des Hardwarekomponenten beschrieben, die maßgeblich von den zuvor getroffenen Technologie-Entscheidungen abhängig ist. Dabei wurde die Infrastruktur des Werkzeugs beschrieben (der „Tisch“), wobei in diesem Kapitel der Fokus auf jenen Komponenten lag, die die Erfassung von Benutzerinteraktion dienen. Zusätzlich wurden die eigentlichen Tokens, mit denen die Benutzer mit dem System interagieren, beschrieben. Hier ist zwischen Modellierungs-Tokens und Werkzeug-Tokens zu unterscheiden, wobei erstere der eigentlichen Modellbildung dienen und zweitere das Systemverhalten kontrollieren.

Die eigentliche Interaktion der Benutzer mit dem System ist Gegenstand des dritten Teils. Hier wurde die Verwendung der Tokens bei der Modellbildung und zur Steuerung des Systems skizziert und damit jene Interaktionsabläufe definiert, die vom System erkannt und korrekt interpretiert werden müssen. Die Unterabschnitte dieses Teils

entsprechen im Wesentlichen den Anforderungen, die das Werkzeug erfüllen muss, und beschreiben deren Umsetzung.

Nach der Definition der Interaktionsabläufe konnte im vierten Teil die software-technische Behandlung der durch das ReacTIVision-Framework erkannten Eingabedaten beschrieben werden. Die ersten beiden Abschnitte behandeln allgemein die Systemarchitektur und die Kompensation eventueller Erkennungsprobleme der Tokens auf der Modellierungsoberfläche. Zweiteres ist notwendig, weil optische Frameworks generell sensibel auf Änderung der Beleuchtungsbedingungen reagieren und es dementsprechend zu (temporären) Fehlfunktionen bei der Erkennung kommen kann. Dazu wurden die möglichen Fehlerquellen aufgelistet und die umgesetzten sowie zusätzlich mögliche Kompensationsansätze beschrieben. In den übrigen Abschnitten wird die software-technische Erkennung und Behandlung der im vorhergehenden Teil definierten Interaktionsabläufe beschrieben. Der Fokus lag hier auf den konzeptuellen Implementierungsdetails und der Beschreibung der Lösung spezifischer Herausforderungen, die durch die gewählte Technologiekonstellation auftreten. Im letzten Abschnitt wurde als Brücke zu den weiteren Kapiteln jene Komponente beschrieben, die für die Verteilung der Information an die weiterverarbeitenden Software-Module zuständig ist.

7.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

In diesem Kapitel wird die konkrete Umsetzung des Werkzeugs behandelt. Hinsichtlich der globalen Zielsetzung tragen die hier dargestellten Inhalte also zur Beantwortung der Fragestellung 4 bei.

7.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die in diesem Kapitel getroffenen Technologieentscheidungen beeinflussen die Umsetzung der in Kapitel 8 beschriebenen Ausgabekanäle. Auch die beschriebene Software-Architektur wird in Kapitel 8 fortgeführt. Zusammen mit dem in Kapitel 8 beschriebenen Ausgabekanälen sind die Inhalte dieses Kapitels außerdem Gegenstand der konzeptuellen Prüfung des Werkzeugs in Kapitel 10.

8. Ausgabe

In diesem Kapitel wird die konzeptuelle Ausrichtung und technische Umsetzung jenes Teils des Werkzeugs behandelt, der sich mit der Ausgabe von Information an die Benutzer beschäftigt. Bei Tangible Interfaces erfolgt die Ausgabe von Information zumeist kohärent mit dem Eingabemedium, eine physische Trennung zwischen Eingabe- und Ausgabekanälen wie in der herkömmlichen Mensch-Maschine-Interaktion liegt nicht vor (Ullmer und Ishii, 2000). Fishkin (2004) relativiert die strikte Forderung nach Kohärenz in seiner Taxonomie für Tangible Interfaces (wie in Abschnitt 6.4.11 beschrieben) und klassifiziert Benutzungsschnittstellen unter anderem nach dem Grad der Kohärenz von Ein- und Ausgabe. Dementsprechend sind nicht nur jene Ausgabekanäle Gegenstand dieses Kapitels, die Information in direkter Verbindung mit den Eingabemedien zurückspiegeln, sondern auch jene, die Information auf anderen, nicht-kohärenten Wegen ausgeben. Abbildung 8.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

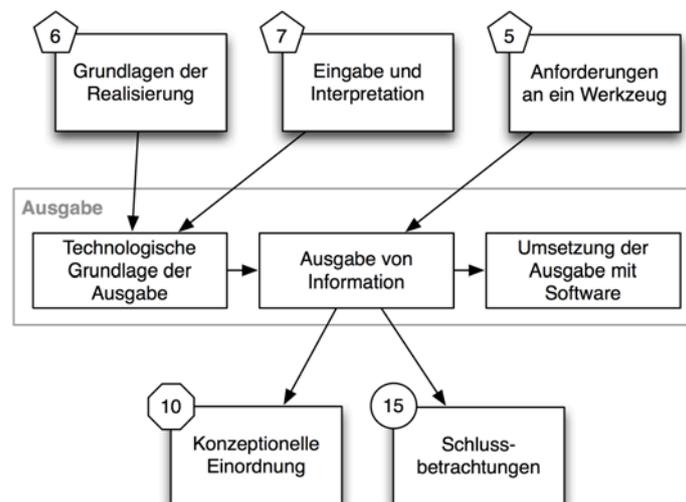


Abbildung 8.1.: Kapitel „Ausgabe“ im Gesamtzusammenhang

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden auf Basis der in Kapitel 5 genannten Anforderung an das Werkzeug die den Benutzern mitzuteilenden Informationen identifi-

ziert, noch ohne konkret auf die technologische Realisierung der Ausgabekanäle einzugehen. Im darauf folgenden Abschnitt werden die technischen Möglichkeiten zur Ausgabe von Information betrachtet. Im Anschluss werden diese Möglichkeiten hinsichtlich ihrer Eignung für die im konkreten Anwendungsfall auszugebende Information bewertet und entsprechend zugeordnet.

Auf Basis der grundsätzlichen Technologieentscheidung werden in der Folge Software-Frameworks beschrieben, die die Realisierung der gewählten Ausgabekanäle ermöglichen. Die Entscheidung für ein konkretes Framework wird auf Basis der funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an die Ausgabe und deren Umsetzung getroffen. Der letzte Abschnitt beschreibt die eigentliche Umsetzung der Ausgabekanäle mittels der gewählten Technologie und geht auf die spezifischen Eigenschaften und Implementierungsentscheidungen der vorgestellten Lösung ein.

8.1. Auszugebende Information

Den Benutzern des Systems müssen während der Modellierung unterschiedliche Information zur Verfügung gestellt werden. Einerseits ist dies Information, die das Modell selbst betrifft, andererseits muss auch Information ausgegeben werden, die Aspekte des Modellierungsablaufs beschreibt oder unterstützt.

Die das Modell betreffende Information umfasst folgende Aspekte:

- Die Modellelemente betreffende Information (Art, Position, Benennung)
- Die Verbinder betreffende Information (Art, Endpunkte, Benennung)
- Eingebettete Elemente betreffende Information (Art, Inhalt, Container)

Zur Unterstützung des Modellierungsablaufs müssen folgende Aspekte zur Verfügung gestellt werden:

- Information über vergangene Modellzustände
- Information zur Wiederherstellung von Modellzuständen

Hier wird bewusst noch nicht auf die technische Umsetzung dieser Ausgabe eingegangen. In den folgenden Abschnitten wird erörtert, welche grundlegenden Technologien in Frage kommen, bevor auf Basis deren Eignung und den Vorgaben aus den Technologieentscheidungen zur Informationseingabe eine konkrete Lösung ausgewählt wird.

8.2. Technologische Grundlage der Ausgabe

Bei der Ausgabe von Information muss im Falle von Tangible Interfaces zwischen Ansätzen mit unterschiedlich stark ausgeprägter Kohärenz mit den Eingabekanälen unterschieden werden. Unter Kohärenz ist hier zu verstehen, dass jene Artefakte, die zur Ein-

gabe verwendet werden, gleichzeitig auch die Reaktion des Systems – also die Ausgabe – widerspiegeln. In der von Fishkin (2004) vorgeschlagenen Taxonomie (siehe Abschnitt 6.4.11) werden in der Dimension „Embodiment“ auch Werkzeuge als Tangible Interfaces klassifiziert, bei denen die Ausgabe vollständig von der Eingabe entkoppelt ist. Diesem Verständnis folgt auch diese Arbeit.

Bei Tabletop Interfaces bietet sich die Tischoberfläche als Ausgabemedium an, um kohärente Informationsausgabe zu gewährleisten. Die Tischoberfläche dient hier wie in Kapitel 7 beschrieben der Eingabe und kann durch unterschiedliche technologische Maßnahme auch zur Ausgabe genutzt werden. Eine weitere Möglichkeit die Ausgabekohärenz bei Tabletop Interfaces sicherzustellen bzw. zu steigern, ist die Verwendung der zur Interaktion mit dem System verwendeten Tokens als Ausgabemedium. Je nach verfolgtem Ansatz (bzw. einer Kombination) sind unterschiedliche technische Maßnahmen zu setzen. In den folgenden Abschnitten werden die erwähnten grundsätzlich in Frage kommenden Ansätze betrachtet und im Anschluss hinsichtlich ihrer Eignung für das hier entwickelte System beurteilt. Basierend auf der grundsätzlichen Technologieentscheidung werden im Anschluss unterschiedliche technische Lösungen zur Erfüllung der Anforderungen beschrieben.

8.2.1. Ansätze zur kohärenten Ausgabe

In diesem Abschnitt werden Ausgabeansätze behandelt, die nach (Fishkin, 2004) in der Embodiment-Dimension den Ausprägungen „full“ oder „nearby“ zuzuordnen sind. Die Ausgabe erfolgt bei den hier vorgestellten Ansätzen also direkt über die Eingabetokens („full“) oder ist räumlich unmittelbar in der Umgebung der Tokens angesiedelt.

Darstellung auf der Tischoberfläche

Bei Tabletop-Interfaces ist die Nutzung der Tischoberfläche ein naheliegender und gängiger Ansatz zur Realisierung der Ausgabekanäle. Die Ausgabe erfolgt hierbei vorrangig visuell, also durch die Darstellung der auszugebenden Information. Ein derart ausgestaltetes Interface ist hinsichtlich seiner Ausprägung in der Embodiment-Dimension als „nearby“ zu klassifizieren. Technologisch kommen zur Darstellung horizontal eingesetzte Bildschirme oder Oberflächen, auf die projiziert werden kann, in Frage.

Bei der Verwendung von Bildschirmen sind die Größe der zur Anzeige verwendbaren Oberfläche sowie die zur Anzeige verfügbare Auflösung (also indirekt die Größe eines Bildpunktes) wesentliche Kriterien. Bei heute verfügbaren LCD¹-Modulen mit Größen bis zu 132 cm in der Diagonale und Auflösungen von 1920 x 1080 Bildpunkten ist die Technologie soweit ausgereift und verfügbar, dass dieser Ansatz grundsätzlich für den Einsatz in Tabletop Interfaces in Frage kommt. Vorteile sind die geringe Bauhöhe der

¹Liquid Crystal Display (Flüssigkristallanzeige)

Ausgabeeinheit (im Vergleich zu den im Folgenden vorgestellten Projektions-Lösungen). Nachteile sind die relative geringe Leuchtstärke, die einen Einsatz bei Tageslichtbedingungen schwierig machen sowie die Blickwinkelabhängigkeit, die bei horizontalem Einbau der Anzeigeeinheit stärker zum Tragen kommt als bei herkömmlicher vertikaler Verwendung.

Als Alternative zur Verwendung von aktiven Anzeigeeinheiten können Projektoren verwendet werden, die die darzustellende Information auf die Tischoberfläche projizieren. Hier ist zwischen Lösungen zu unterscheiden, bei denen die Projektion von oben erfolgt und jenen, bei denen von unten auf eine durchscheinende Tischoberfläche projiziert wird. Bei ersteren muss der Projektor in ausreichender Höhe über der Tischoberfläche angebracht werden, damit das projizierte Bild die notwendige Größe erreicht. Bei beschränkter Höhe nach oben kann ein Projektor mit Weitwinkelobjektiv oder ein Umlenkspiegel benutzt werden, der durch eine Vergrößerung des Abstands zwischen Projektor und Oberfläche auf einer nicht vertikalen Achse die notwendige Bauhöhe reduziert.

Der größte Nachteil eine Projektion von oben ist die Abschattung der projizierten Information bei Manipulationen der Tokens auf der Oberfläche. Dieses Problem tritt nicht auf, wenn von unten auf eine durchscheinende Oberfläche projiziert wird. Bei diesem Lösungsansatz kommt es zu keinerlei Abschattungen, die Information wird wie bei Einsatz eines Bildschirms ständig angezeigt. Nachteilig wirkt sich hier der durch den Einsatz einer durchscheinenden Oberfläche verursachte Leuchtkraftverlust aus. Bei dieser Form der Projektion wird immer ein Teil des durch den Projektor ausgestrahlten Lichts von der Oberfläche nach unten zurück reflektiert. Im Gegensatz zur Projektion von oben ist dadurch der Kontrast der Darstellung wesentlich geringer. Für den Einsatz unter Tageslichtbedingungen ist also der erstgenannte Ansatz generell besser geeignet. Ein kritischer Faktor ist bei der Projektion von unten der notwendige Abstand zwischen Projektor und Tisch, da sich dieser direkt auf die Höhe des Tisches auswirkt. Um eine akzeptable Bauhöhe zu erreichen – also den Tisch durch durchschnittliche große Personen bedienbar zu halten (Höhe nicht mehr als etwa 100 cm) – ist hier der Einsatz eines Umlenkspiegels nahezu unabdingbar. Beiden Projektions-Ansätzen gleich ist, dass die abzudeckende Oberfläche variabel durch den Abstand des Projektors gewählt werden kann. Grenzen sind hier nach unten durch die Fokussierbarkeit des Projektors bei kleinen Abständen und nach oben durch die Abnahme der Projektionshelligkeit bei großen Abständen gegeben. Bei großen Oberflächen ist zudem auf die verfügbare Auflösung des Projektors zu achten, da die Größe eines Bildpunktes mit zunehmendem Abstand so ansteigt, dass eine feinauflösende Projektion der Information auf der Oberfläche nicht mehr möglich ist.

Aktive Anzeige auf Tokens

Alternativ zur Darstellung auf der Tischoberfläche können bei Tabletop-Interfaces auch die Tokens selbst als Ausgabekanal dienen. Da hier das Eingabemedium gleich dem Aus-

gabemedium ist, ist diese Form der Ausgabe hinsichtlich der Embodiment-Dimension in die Ausprägung „full“ einzuordnen. Technologisch können je nach Art der darzustellenden Information Tokens mit Displays ausgestattet werden oder lediglich visuelle Statusanzeigen beinhalten, die Feedback über den aktuellen Zustand des Tokens geben. In beiden Fällen müssen die Tokens generell mit Elektronik und Energieversorgung ausgestattet sein und die Möglichkeit haben, selbst oder über eine Verbindung mit der Infrastruktur ihren Zustand festzustellen.

Um textuelle oder grafische Information auf Tokens darzustellen ist die Verwendung von Displays notwendig. Bei der Verwendung von herkömmlichen LCD-Displays ist durch die benötigte Hintergrundbeleuchtung sowie der zur Aufrechterhaltung der Anzeige notwendigen Stromversorgung der Energieverbrauch verhältnismäßig hoch. Alternativ können neuere Technologien wie OLED²- (Shinar, 2004) oder eInk-Displays (Comiskey et al., 1998) verwendet werden. OLEDs bestehen aus organischen Materialien und benötigen keine Hintergrundbeleuchtung, da das Material selbst Licht emittiert. eInk verwendet eine papierartige Oberfläche zur Anzeige, strahlt selbst kein Licht aus und ist deshalb auf Umgebungshelligkeit zur Verwendung angewiesen. eInk bietet in hellen Umgebungen die besten Kontrastverhältnisse (vergleichbar mit bedrucktem Papier), kann allerdings beim heutigen Stand der Entwicklung keine Farben darstellen. Der größte Vorteil von eInk liegt in der Eigenschaft, dass die Anzeige auch ohne Energieversorgung aufrecht bleibt – Energie ist lediglich zur Änderung des Display-Inhalts notwendig.

Durch das Wegfallen der Hintergrundbeleuchtung sind OLED- und eInk-Displays wesentlich dünner als LCD-Module und können auch auf nicht ebenen Oberflächen angebracht werden. Allen drei Ansätzen gleich ist, dass zur Ansteuerung des Anzeigemoduls Elektronik notwendig ist, die die darzustellende Information auf die zur Verfügung stehenden Bildpunkte abbildet und das Display entsprechend ansteuert.

Neben der Verwendung eines Displays kann der Status eines Tokens auch mit Leuchtanzeigen unter Verwendung von LED³-Einheiten visualisiert werden. Der Nachteil dieses Ansatzes ist die schwierige Realisierbarkeit von komplexen Statusanzeigen - durch die auf zwei Zustände (ein/aus) beschränkte Aussagekraft einer LED sind andere als bipolare Visualisierungen schwer zu realisieren. Möglich ist die Verwendung von mehreren LEDs. Sollen dadurch mehrere voneinander unabhängige Aussagen visualisiert werden, führt diese Variante jedoch rasch zu schwer erfassbaren und kaum unterscheidbaren Visualisierungen. Lediglich die Kopplung mehrerer LEDs zur aussagekräftigen Visualisierung von dynamischen Zuständen hat sich als intuitiv erfassbar und verständlich erwiesen (Zuckerman et al., 2005). So können gekoppelte LEDs z.B. dazu verwendet werden, Flussrichtungen von Ressourcenströmen anzuzeigen, indem eine LED-Reihe entweder von links nach rechts oder von rechts nach links angesteuert wird. Auch beim Einsatz von LEDs ist einer ständige Energieversorgung notwendig. Zur Reduktion des Energie-

²Organic Light Emitting Diode

³Light Emitting Diode (Leuchtdiode)

verbrauchs können wiederum die oben genannten Alternativ-Technologien OLED und eInk zum Einsatz kommen, wobei diese aktuell nicht in den Bauformen herkömmlicher LEDs angeboten werden. eInk-Anzeigen eignen sich aufgrund ihrer langsamen Schalt-dauer außerdem nicht für die Realisierung dynamischer Anzeigen.

Tokens mit Aktuatoren

Neben der Verwendung von Displays zur Realisierung eines „full embodied“ Ausgabekana-
ls können Tokens auch mit Aktuatoren ausgestattet werden, die es erlauben, das Token
bzw. dessen Verhalten selbst ohne direkte Benutzerinteraktion zu beeinflussen. Beispiele
für Aktuatoren sind unter anderem Vibrationsmodule oder mechanische Einheiten zur
Veränderung der äußeren Form des Tokens oder dessen Position (auf der Tischoberflä-
che). Der Einsatz von Aktuatoren ist ob der technologischen und anwendungsspezifischen
Vielfalt nicht generisch beschreibbar wie das bei reinen optischen Anzeigeeinheiten der
Fall war. Aktuatoren müssen auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt sein. Ihr
Einsatz ist im Allgemeinen eher disruptiv, unterbricht durch die vom Benutzer nicht
selbst ausgelöste Interaktion dessen aktuelle Aktivität und zieht die Aufmerksamkeit
auf sich. Dies kann im einzelnen Anwendungsfall erwünscht sein, kann aber zu uner-
wünschten Effekten bei der Verwendbarkeit des Systems führen.

Wie bei Anzeigemodulen müssen auch hier die Tokens mit Energie versorgt werden
und mit Elektronik ausgestattet sein, die für die Ansteuerung der Aktuatoren sorgt.

Im Bereich der Tabletop Interfaces ist die Verwendung von Aktuatoren eher selten
anzutreffen. Im Bereich der Ambient Interfaces kann der Einsatz von Aktuatoren aber
sinnvoll sein, wenn sich das Interface so in die Umgebung seines Einsatzbereichs inte-
grieren kann (Gross, 2003).

8.2.2. Ansätze zur entkoppelten Ausgabe

Ansätze zur entkoppelten Ausgabe werden von Fishkin (2004) in seiner Taxonomie in
der Embodiment-Dimension unter den Ausprägungen „environment“ oder „distant“ ein-
geordnet.

„Environmental Embodiment“ ist dann gegeben, wenn Eingabe- und Ausgabekanäle
räumlich nicht kohärent sind, aber Eingaben trotzdem offensichtlich Reaktionen in der
unmittelbaren Umgebung auslösen. Klassische von Fishkin genannte Ansätze sind hier
Audiokanäle aber auch die Veränderung von Umgebungslicht oder Temperatur. Auch
olfaktorische Interfaces sind in diese Kategorie einzuordnen. In den folgenden Abschnit-
ten werden jedoch ausschließlich audio-basierte Kanäle beschrieben, da diese im Bereich
der Tabletop Interfaces Relevanz besitzen (etwa in (Kaltenbrunner et al., 2006) und
(Pedersen und Hornb, 2009))

Die Ausprägung „distant“ kennzeichnet Ansätze, in denen die Eingabekanäle räumlich von den Ausgabekanälen vollkommen entkoppelt sind bzw. entkoppelt werden können. Ein Kriterium zur Einordnung eines Ansatzes unter „distant“ ist, dass Benutzer zur Beobachtung der Ausgabe nicht mehr die Eingabe im Blickfeld haben können (was bei allen anderen Ausprägungen möglich ist). Klassische Vertreter dieses Ansatzes sind alle Ansätze, die auf der Darstellung von Information auf herkömmlichen Bildschirmen oder Projektionsflächen basieren.

Darstellung auf Monitoren

Bei der Darstellung von Information auf Bildschirmen kommen die auch in der herkömmlichen Desktop-basierten Mensch-Maschine-Interaktion gängigen Anzeigetechnologien zur Anwendung. Im Kontext von Tabletop Interfaces ist bei Monitoren auf die Sichtbarkeit der Information für alle an der Interaktion beteiligten Personen zu achten – diese ist nicht nur von der Entfernung zum Monitor abhängig, sondern bei den heute gängigen LCD-Displays auch vom Blickwinkel. Gegebenenfalls müssen mehrere Monitore verwendet werden, auf denen entweder simultan die gleiche Information dargestellt wird oder – abhängig von der Anwendung – lediglich für die jeweils eingenommene Perspektive relevante Information angezeigt wird. Mit Monitoren kann auch eine vollständig räumlich entkoppelte Darstellung realisiert werden, indem die darzustellende Information auf entfernte Displays übertragen wird. So kann zum Beispiel die Interaktion auf einem Tabletop Interface bzw. deren Auswirkungen auch räumlich entfernt verfolgt werden.

Generell muss bei entkoppelten Ausgabekanälen darauf geachtet werden, dass bei Interaktionen mit den tangiblen Eingabekanälen entsprechend eindeutig zuzuordnendes Feedback über die Ausgabekanäle rückgespiegelt wird. Bei Tabletop Interfaces ist hierbei (wiederum abhängig von der Anwendung) eine schematische Darstellung der Tischoberfläche mit einer Kenntlichmachung des Bereichs, in dem eine Interaktion erkannt wurde, sinnvoll.

Projektion auf entfernte Oberflächen

Bei Ausgabe mittels Projektion auf entfernte Oberfläche (im Sinne von Oberflächen, die nicht dem eigentlichen Interface zuzuordnen sind) sind Aspekte wie die Größe des Bildes oder die Blickwinkelabhängigkeit der Darstellung meist keine Herausforderung. Mit einem Projektor können zumeist alle Benutzer ausreichend mit Information bedient werden. Ansonsten gelten die obigen Ausführungen hinsichtlich eindeutig zuzuordnendem Feedbacks analog.

Bei individueller Nutzung eines Tangible Interfaces ist in der Verwendung von Bildschirm oder Projektor noch ein unterschiedlich hoher Grad an Privatheit der Ausgabekanäle festzustellen. Während Bildschirme eher dem mit dem System interagierenden

Individuum als Ausgabekanal vorbehalten bleiben, sind projizierte Informationen quasi öffentlich verfügbar. Abhängig vom Anwendungsszenario des Tangible Interfaces kann dies erwünscht sein oder nicht.

Audio-basierte Ausgabekanäle

Audio-basierte Ansätze werden hier als Vertreter von Ausgabekanälen vorgestellt, die in die Kategorie „environmental Embodiment“ eingeordnet werden. Audio-Interfaces arbeiten mit akustischer Ausgabe von Information, die im Allgemeinen in Zusammenhang mit den Eingaben am Tangible Interface stehen.

Die ausgegebene Information kann abstrakt, codiert oder natürlichsprachlich sein. Unter „abstrakter“ Information werden hier akustische Ausgaben verstanden, die nicht unmittelbar Bedeutung im sprachlichen Sinn tragen, sondern auf Melodien oder anderen Klangmustern basieren. Derartige Formen der Ausgabe kommen vor allem im künstlerischen Bereich zum Einsatz (z.B. (Kaltenbrunner et al., 2006), (Pedersen und Hornb, 2009)). „Codierter“ akustischer Ausgabe deckt alle Bereiche ab, in denen Klänge verwendet werden, um Information zu transportieren, ohne dass diese selbst in diesen Klängen abgebildet ist. Beispiele hierfür sind Signaltöne, die einen Fehler melden oder anderweitig die Aufmerksamkeit der Benutzer auf sich ziehen sollen. Unter „natürlichsprachlicher“ akustischer Ausgabe werden hier schließlich alle Ansätze eingeordnet, die die Ausgabe der Information direkt in Sprache umgesetzt vornehmen. Dies kann mittels gespeicherter (Teil-)Ansagen oder mittels Sprachsynthese realisiert werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Formen der akustischen Ausgabe ist die natürlichsprachliche Ausgabe abhängig vom Sprachverständnis der Benutzer und deshalb in einer bestimmten Konfiguration nur für einen beschränkten Benutzerkreis nutzbar.

Akustische Ausgabe ist allen ihren Ausprägungen der Embodiment-Dimension „environment“ zuzuordnen. Sie kann im Allgemeinen (ohne den Einsatz von Ohrhörern) von allen sich im Umfeld des Interfaces befindlichen Personen wahrgenommen werden. Bei codierter Ausgabe muss darauf geachtet werden, dass die Interpretation der Signale bekannt ist bzw. durch unterstützende (visuelle oder taktile) Maßnahmen erschließbar wird.

8.2.3. Technologie-Entscheidung

Auf Basis der in Abschnitt 8.1 festgelegten auszugebenden Information und den im letzten Abschnitt beschriebenen technologischen Alternativen zur Realisierung unterschiedlich ausgeprägter Ausgabekanäle können nun grundsätzliche Technologieentscheidungen getroffen werden.

Für die im Kontext der eigentlichen Modellierung auszugebenden Information (Benennungen, ...) ist ein kohärenter Ansatz am besten geeignet, da die Information inhärenter

Bestandteil des Modells ist und deshalb räumlich mit den physischen Elementteilen (den Tokens) in eine einheitliche Modellsicht integriert werden sollte. Mit der bereits in Kapitel 7 argumentierten Entscheidung für passive Tokens ist die Projektion der Information auf die Tischoberfläche der einzig naheliegende Ansatz. Dabei wird im Sinne der kompakteren Bauweise und der nicht vorhandenen Einschränkung bezüglich Verdeckungen der Projektion durch modellierende Personen ein Lösungsansatz mit Projektion auf die Unterseite bevorzugt. Die kompaktere Bauweise ergibt sich aus der Tatsache, dass der Innenraum des Tisches ohnehin bereits für die Erfassung der Tokens durch die Kamera genutzt wird und dass bei gleichzeitiger Nutzung für die Projektion ein Auf- bzw. Überbau des Tisches zur Aufnahme des Projektors entfällt.

Die Ausgabe vergangener Modellzustände ist mit den gegebenen technologischen Rahmenbedingungen hingegen nicht für kohärente Ausgabe geeignet. Passive Tokens können ihre Position nicht selbstständig verändern, weshalb die auf der Tischoberfläche vorhandenen Modellierungstokens immer an den Positionen liegen, an denen sie sich im aktuellen Modellzustand befinden. Eine kohärente Ausgabe von vergangenen Modellzuständen auf der gleichen Oberfläche ist deswegen nicht möglich – es käme zu Überlagerungen der physischen und projizierten Modelldarstellungen. Aus diesem Grund wird ein zweiter Ausgabekanal verwendet, der die Modellierungshistorie nicht kohärent darstellt. Akustische Ansätze sind ob der Komplexität der Modelle und deren inhärent visuell-diagrammatischen Darstellung im Vergleich zu visuellen Ansätzen nicht geeignet. Zu diesem Zweck wird also ein Bildschirm- oder Projektions-basierter Ausgabekanal implementiert. Dies hat auch den Vorteil, dass ins Modell zu integrierende digitale Ressourcen in ihrer „natürlichen“ Umgebung, dem Bildschirm eines Rechners manipuliert und ausgewählt werden können. Letztendlich lässt sich ein derartiger Ausgabekanal beliebig replizieren und auch für entfernte Ausgabe des Modellzustandes nutzen.

Konkret werden für das vorgestellte System zwei Ausgabekanäle genutzt, die beide auf der visuellen Darstellung von Information basieren und sich in ihrer Ausprägung der „Embodiment“-Dimension nach Fishkin (2004) unterscheiden. Der hauptsächliche Ausgabekanal ist die Tischoberfläche, auf ihr wird Information „nearby“ ausgegeben. Für Funktionen, für die diese kohärente Ausgabeform nicht adäquat einsetzbar ist, existiert ein zweiter, „distant“ Ausgabekanal in Form eines Bildschirms oder eines externen Projektors. Dieser Kanal kann in zwei Modi betrieben werden. Wird er nicht benötigt, kann er entweder deaktiviert werden (und so den Fokus auf den primären Ausgabekanal, die Tischoberfläche, lenken) oder synchron mit der Tischoberfläche den aktuellen Modellzustand anzeigen. Zweiteres ist sinnvoll, wenn der Modellierungsprozess auch von Personen verfolgt werden können soll, die sich nicht unmittelbar bei der Modellierungsoberfläche befinden.

Hardwareseitig ergibt sich aus dieser Entscheidung der in Abbildung 8.2 dargestellte Aufbau. Dabei kann der in der Standardkonfiguration vorhandene Bildschirm als Ausga-

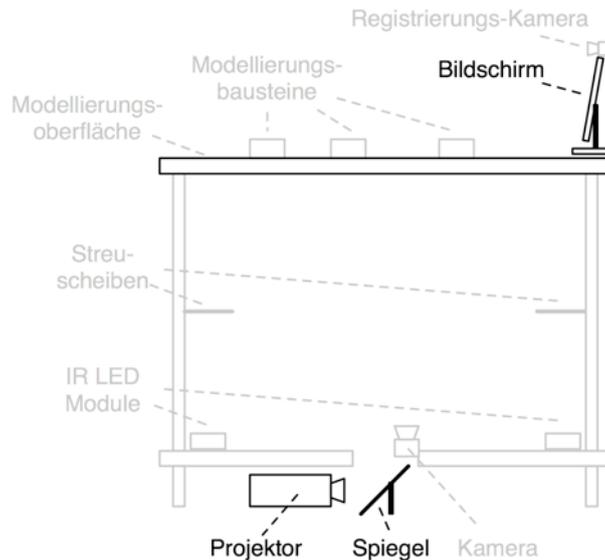


Abbildung 8.2.: Überblick über den Aufbau des Werkzeuges – Ausgabe-Komponenten

bekannt je nach den räumlichen Gegebenheiten und dem konkreten Anwendungsszenario durch einen Projektor ersetzt werden.

8.2.4. Frameworks zur Ausgabe

Im Sinne der eben getroffenen Technologieentscheidung wird nun eine Softwarekomponente benötigt, die die Ansteuerung der Ausgabekanäle erlaubt. Diese Softwarekomponente muss im Wesentlichen die Modellinformation, die über die Eingabekanäle erhoben wurde, visuell ausgeben. Zusätzlich muss sie den Funktionen zur Modellierungsunterstützung einen Kanal zur Kommunikation mit den Benutzern bieten.

Für die graphische Darstellung diagrammatischer Modelle (also vernetzter Strukturen) existieren verschiedene Frameworks, die – basierend auf unterschiedlichen technologischen Ansätzen – die Darstellung von Modellelementen, der Verbindung und der Manipulation des Modells durch bereits implementierte Funktionalität ermöglichen und unterstützen.

In Frage kommende Frameworks

Die Anzahl der Möglichkeiten zur Darstellung graphischer Modelle durch Java ist groß. Die unterschiedlichen Ansätze unterscheiden sich vor allem in der angebotenen Abstraktionsstufe, wobei die Pole durch eine direkte Manipulation der Pixelgrafik in der das Modell dargestellt werden soll einerseits und eine rein logische, von der eigentlichen

Darstellung vollständig entkoppelte Repräsentation des Modells andererseits gebildet werden. Hier wurden nur Frameworks betrachtet, die eine Verwaltung des darzustellenden Modells auf logischer Ebene ermöglichen und die eigentliche Ausgabe auf den Bildschirm übernehmen und kapseln. Kandidaten für Frameworks, die diese Forderung erfüllen⁴, waren zum Zeitpunkt der Technologie-Entscheidung:

- Eclipse GEF (Moore et al., 2004)
- JHotDraw (Gamma und Eggenschwiler, 1996)
- Piccolo (Bederson et al., 2004)

Piccolo stellte sich in der ersten Betrachtung als Framework zur Spezifikation von Benutzungsschnittstellen heraus, das die Erstellung graphischer Modelleditoren zwar erlaubt, in seinem Umfang aber weit über die benötigte Funktionalität und Flexibilität hinausgeht. Dementsprechend umfangreich und komplex ist auch der Anpassungsprozess des Frameworks an eine gegebene Anwendung. Piccolo wurde in der Betrachtung deshalb im ersten Schritt zurückgestellt und wurde später, nachdem fokussiertere Frameworks identifizierte werden konnten, aus der engeren Auswahl entfernt und nicht mehr näher betrachtet. In der engeren Auswahl standen also noch Eclipse GEF und JHotDraw. Diese beiden Frameworks werden in der Folge detaillierter betrachtet und hinsichtlich ihrer Eignung für die zu erstellende Anwendung beurteilt.

Eclipse GEF Das Graphical Editing Framework (Moore et al., 2004) stellt als Teil der Eclipse Plattform (Holzner, 2004) eine Möglichkeit dar, graphische Editoren zu erstellen und diese in einer Eclipse Applikation eingebettet auszuführen. Das GEF⁵ bildet zusammen mit EMF⁶ (Budinsky et al., 2003) auch die Grundlage für das GMF⁷ (Eclipse Foundation, 2009), das die graphische Erstellung von domänen-spezifischen Sprachen mit nachfolgender Generierung von entsprechenden Klassen ermöglicht. Diese Klassen binden sich nahtlos in die Eclipse Infrastruktur ein und werden als Teil eines modellgetriebenen Softwareentwicklungszylus zur Erstellung domänen-spezifischen Applikationen verwendet.

GEF behandelt lediglich die graphische Ausgabe und erlaubt die Darstellung vernetzter Strukturen, die flexibel ausgestaltet werden können. GEF baut dabei konsequent auf dem MVC-Konzept (Krasner und Pope, 1988) auf und trennt strikt zwischen Repräsentation der Daten und deren Darstellung. In dieser Eigenschaft liegt auch der größte Vorteil dieses Ansatzes. Durch die Entkopplung der Visualisierung ist eine flexible Behandlung der Ausgabe möglich. Diese kann entsprechend der Notwendigkeiten des jeweiligen Ausgabekanals angepasst werden und erlaubt auch eine dynamische Veränderung bzw. Erweiterung der Darstellung zur Laufzeit.

⁴identifiziert im Rahmen von (Feiner, 2008) und (Seiringer, 2008)

⁵Graphical Editing Framework (Eclipse-Komponente)

⁶Eclipse Modeling Framework

⁷Graphical Modeling Framework (Eclipse-Komponente)

Der größte Nachteil des GEF-Ansatzes liegt für die hier vorgestellte Anwendung in der engen Verwobenheit mit der Eclipse-Plattform bzw. den starken Abhängigkeiten zu anderen Komponenten wie dem EMF. Durch diese Abhängigkeiten ist zum ersten der konzeptuelle und technische Einarbeitungsaufwand höher als in funktional fokussierteren Frameworks. Zum zweiten bringen GEF-basierte Applikationen eine Vielzahl von Features mit sich, die im konkreten Anwendungsfall nicht benötigt werden. Auf Seiten der Benutzungsschnittstelle kann die damit einhergehende größere Komplexität zwar vermieden werden, indem die überflüssigen Elemente ausgeblendet werden, implementierungsseitig bleibt die Komplexität und die damit einhergehende größere Anzahl von potentiellen Fehlerquellen aber bestehen.

JHotDraw Das JHotDraw-Framework (Gamma und Eggenschwiler, 1996) ist eine Java-Implementierung des Smalltalk-Frameworks HotDraw (Brant, 1995). Dieses wurde entwickelt, um einerseits eine einfache Möglichkeit zur Erstellung graphischer Editoren beliebiger Natur zu bieten und andererseits die Stärken und Möglichkeiten objektorientierter Softwareentwicklung unter Einsatz der von (REF Entwurfsmuster) vorgeschlagenen Entwurfsmuster zu zeigen.

JHotDraw nutzt intensiv objektorientierte Konzepte, vor allem die dynamische Typisierung von Objekten und implementiert einen Großteil seiner Features als Instanzen der eben erwähnten Entwurfsmuster. Dies erleichtert die Adaptierung und Erweiterung des Systems für eigenen Anwendungsfälle und ermöglicht eine rasche, unaufwändige Implementierung anwendungsspezifischer graphischer Editoren.

Ein Vorteil von JHotDraw liegt in der überschaubaren Struktur und im insgesamt für graphische Editoren-Frameworks eher kompakten Aufbau. Dies ist sowohl auf die resultierenden Applikationen bezogen, die wenig Ressourcen benötigen und ohne merkliche Verzögerung starten, als auch auf Framework-Klassen-Struktur zur Erstellung dieser Applikationen, die eine rasche Entwicklung ohne hohen Einarbeitungsaufwand oder weitgehende Parametrisierungen ermöglicht.

Ein weiterer Vorteil von JHotDraw ist die Eigenständigkeit seiner Klassenbibliothek, die von keinen anderen Bibliotheken abhängt. Die einzige zu erfüllende Abhängigkeit besteht zum Fenster-Management-System Java SWING, das ohnehin Teil des JRE⁸ ist. JHotDraw-basierte Applikationen können so ohne weiteren Installations-Aufwand auf allen Rechnern ausgeführt werden, auf denen ein JRE vorhanden ist. Zusätzlich ist SWING auch Teil jener Bibliotheken, die von Java Applets zur Ausführung in Browsern verwendet werden können. Jede JHotDraw-Applikation kann damit ohne Modifikation lediglich durch Austausch der Basisklasse über eine HTTP⁹-Verbindung geladen und im Browser ausgeführt werden.

⁸Java Runtime Environment

⁹Hypertext Transfer Protocol

Framework-Entscheidung

Für das konkret zu implementierende System sind grundsätzlich beide Frameworks geeignet. JHotDraw weist in der Standarddistribution einen geringeren, dafür aber auf die eigentliche Visualisierungsaufgabe fokussierteren Funktionsumfang auf, was sich positiv auf den für die Verwendung notwendigen Lernaufwand auswirkt. Für die Entwicklung des prototypischen Systems wurde neben diesem Grund aufgrund der leichtgewichtigeren Bibliothek und geringeren Abhängigkeiten von externen Bibliotheken sowie des größeren Umfangs von in der Standarddistribution mitgelieferten benötigten Funktionalitäten JHotDraw ausgewählt.

In einer im Kontext der hier vorgestellten Arbeit angefertigten Diplomarbeit (Feiner, 2008) wurde ein auf GEF basierendes System entwickelt, das an die existierenden Eingabekanäle angebunden werden kann und prototypisch zeigt, wie GEF für die Darstellung flexibler Modelle (im Sinne von dynamisch zugewiesener Semantik und Visualisierung) eingesetzt werden kann. Ein zusätzlicher Aspekt dieser Arbeit ist die Möglichkeit zum synchronen verteilten Betrieb mehrerer Instanzen der Applikation, die simultan am gleichen Modell arbeiten. Die Arbeit schafft damit die Voraussetzungen, synchron an mehreren (physischen oder graphischen) Schnittstellen ein Modell kooperativ zu manipulieren. Sie ist außerdem aufgrund der gemeinsamen Basis-Infrastruktur in Instanzen der Eclipse Rich Client Platform (McAffer und Lemieux, 2005) integrierbar und kann so nahtlos in komplexere, auf dieser Plattform basierende Systeme integriert werden.

8.3. Ausgabe von Information

In diesem Abschnitt wird nun auf Basis der eben getroffenen Framework-Entscheidung und unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Entscheidung für zwei Ausgabekanäle, die in Abschnitt 8.2 getroffen wurde, die konkrete Informationsausgabe für das hier vorgestellte Werkzeug beschrieben.

Wie bereits in Kapitel 7 auf abstrakter Ebene beginnend, wird zuerst das Konzept beschrieben, das bei der Umsetzung der Ausgabe verfolgt wird. Aufbauend darauf wird die Architektur der Software beschrieben, die auf den in Kapitel 7 beschriebenen Komponenten aufsetzt und für die Ansteuerung der Ausgabekanäle sorgt. Nach einer detaillierten Beschreibung der konkreten Ausgabeform für alle ausgebenden Informationstypen wird schließlich die Implementierung des hier verfolgten Ansatzes in Software vorgestellt.

8.3.1. Konzept

Wie bereits oben beschrieben wird die auszugebende Information im konkreten Werkzeug auf zwei Ausgabekanäle verteilt. Grundsätzlich wird Information auf einem mit den

Eingabekanälen räumlich kohärenten Kanal (der Tischoberfläche) ausgegeben. Ist dies aufgrund der Art der auszugebenden Information nicht adäquat möglich, wird der zweite Ausgabekanal als primäres Kommunikationsmedium verwendet. In der übrigen Zeit spielt der zweite Ausgabekanal eine untergeordnete Rolle und kann zur unterstützenden simultanen Visualisierung der am primären Kanal ohnehin ausgegebenen Information dienen.

Während eines Modellierungsvorgangs bleibt der Fokus der Ausgabe grundsätzlich am primären Ausgabekanal, der Tischoberfläche. Auf dieser wird Information kohärent mit den vorhandenen Tokens ausgegeben. In lediglich zwei Fällen erhält der zweite Ausgabekanal den Fokus:

- Wenn Information ausgegeben werden muss, die nicht kohärent mit den auf der Oberfläche vorhandenen physischen Tokens dargestellt werden kann (z.B. bei der Ausgabe von gespeicherten Modellzuständen).
- Wenn Interaktion mit den Benutzern einen Fokus auf die digitale Welt, also auf über den Rechner zugreifbare Ressourcen hat (wie bei der Auswahl von Dateien zur Einbettung in Container-Tokens).

In beiden Fällen wird das Modell auf der Oberfläche nicht simultan verändert, den Benutzern ist es möglich, sich auf die Interaktion mit dem sekundären Ausgabekanal zu konzentrieren.

Während der Arbeit mit dem Werkzeug, bei der der zweite Ausgabekanal grundsätzlich nicht benötigt wird, kann mit diesen auf unterschiedliche Arten umgegangen werden. Zum einen kann der zweite Ausgabekanal abgeschaltet werden, also keine Ausgabe über den Bildschirm oder externen Projektor mehr erfolgen. Vorteil dieser Lösung ist, dass ein Fokuswechsel auf den sekundären Ausgabekanal eindeutig erkennbar ist, da dazu die Darstellung explizit aktiviert wird. Während der eigentlichen Modellierung werden Benutzer nicht abgelenkt und können auf die Interaktion auf der Tischoberfläche fokussieren.

Zum anderen ist es möglich, am sekundären Ausgabekanal die Ausgabe des primären Kanals zu spiegeln, auf diesem also synchron die gleiche Information auszugeben wie auf der Tischoberfläche. Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass in dieser Darstellung zusätzlich Information eingeblendet werden kann, die auf der Tischoberfläche in der Überdeckung zwischen physischen Elementen und projizierter Information nicht dargestellt werden kann. So ist unter anderem denkbar, die Abstaktionsstufe, auf der aktuell modelliert wird, am sekundären Ausgabekanal zu visualisieren. Diese Information ist aus dem Modell auf der Tischoberfläche nicht erkennbar (weder eingebettete Teilmodelle noch übergeordnete Modelle sind auf im Modell ohne weitere Interaktion sichtbar). Für den Modellierungsvorgang ist diese Information aber auch zumeist nicht unmittelbar relevant. Ist sie nun auf der sekundären Oberfläche permanent sichtbar, besteht für Benutzer die Möglichkeit, rasch und ohne zusätzlichen Interaktionsaufwand einen Überblick über den Kontext des aktuell bearbeiteten (Teil-)Modells zu erhalten.

Ein zweiter Aspekt der Spiegelung der Ausgabe auf dem sekundären Ausgabekanal ist das unmittelbare Feedback, das Benutzern über die Tätigkeit des Systems zur Verfügung gestellt wird. Wenn ein Modellierungstoken bewegt oder geöffnet wird, erfolgt eine unmittelbare Reaktion in der Modellvisualisierung auf dem sekundären Ausgabekanal. Auch eventuelle Fehlerkennungen werden offensichtlich, wenn z.B. ein Element von der sekundären Visualisierung verschwindet, obwohl es auf der Oberfläche noch vorhanden ist. Für die Benutzer ist damit das Systemverhalten klarer erkennbar, die Bildung eines mentalen Modells zur Erklärung der Funktionsweise des Werkzeugs ist einfacher und lenkt nach der Einarbeitungsphase nicht mehr von der eigentlichen Tätigkeit ab (Norman, 1983). Letztendlich besteht bei der Einbindung mehrerer Benutzer die Möglichkeit, allen Beteiligten einen Überblick über den aktuellen Modellzustand zur Verfügung zu stellen, auch wenn diese im Moment nicht aktiv am Werkzeug arbeiten. Nachteile dieses Ansatzes liegen einerseits in der möglichen Ablenkung der Benutzer von der eigentlichen Modellierungsoberfläche (was insofern weitgehend unkritisch ist, als dass die gesamte Information über den sekundären Informationskanal zur Verfügung gestellt wird), vor allem aber darin, dass der Wechsel des Interaktionsfokus von einem Ausgabekanal zum anderen nicht mehr so explizit sichtbar wird wie im ersten Ansatz. Benutzer sind so unter Umständen desorientiert und können dem Systemverhalten nicht folgen.

Aus den vorangegangenen Ausführungen ist ersichtlich, dass beide Ansätze Vor- und Nachteile bieten, die nicht eindeutig für eine der beiden Lösungen sprechen. Vielmehr muss im einzelnen Anwendungsfall abgewogen werden, welche Lösung eher geeignet ist. Einflussfaktoren sind dabei die Anzahl der an der Modellierung teilnehmenden Benutzer (bessere Verfolgbarkeit des Modellierungsvorgangs bei synchroner Anzeige auf beiden Kanälen), die Modellierungsaufgabe an sich (generelle Notwendigkeit der Nutzung des sekundären Ausgabekanal) sowie das persönliche Modellierungsverhalten der Beteiligten (eher am Bildschirm oder eher an der Tischoberfläche orientiert). Aus diesen Gründen werden beide Formen der Verwendung des sekundären Ausgabekanal unterstützt, wobei die Benutzer durch eine Tastenkombination zwischen den beiden Modi umschalten können – also ggf. auch in unterschiedlichen Phasen eines Modellierungsvorgangs eine unterschiedliche Konfiguration der Ausgabekanäle nutzen können.

8.3.2. Architektur

Wie im letzten Abschnitt beschrieben, unterscheidet sich die Ausgabe von Information auf den beiden Ausgabekanälen nur in einigen Fällen, im synchronen Ausgabemodus wird weitgehend die gleiche Information zum Teil – den unterschiedlichen Ausgabemedien geschuldet – in unterschiedlichen Ausgabeformen dargestellt.

Grundsätzlich wird die Architektur der Ausgabekanal-Verwaltung erweiterbar angelegt um veränderte Anforderungen an das Werkzeug oder erweiterte Funktionalität umsetzen zu können. Basis dieser erweiterbaren Architektur ist das in Abschnitt 7.4.8 bereits

beschriebene Modul zur Verteilung des aktuellen Modellzustandes an die verwendeten Ausgabekanäle. Jeder Ausgabekanal, der über Änderungen am Modell an den Eingabekanälen benachrichtigt werden soll, muss ein definiertes Interface implementieren, das jene Methoden definiert, die zur Datenübermittlung zwischen dem Interpretationsmodul und den Ausgabekanälen notwendig sind. In der konkreten Implementierung sind zur Zeit zwei auf JHotDraw basierende Ausgabekanäle umgesetzt, zusätzlich existiert ein weiteres Modul, das gegenüber dem System als Ausgabekanal agiert, die übermittelte Information selbst jedoch wieder an beliebige via TCP¹⁰/IP¹¹ angebundene Clients verteilt (siehe Abbildung 8.3). Auf diesem Weg können entfernte Ausgabekanäle realisiert werden, die es erlauben den Modellierungsprozess auch ohne räumliche Anwesenheit zur verfolgen. Mittels der gleichen Schnittstelle können auch weitere, nicht auf visuelle Ausgabe beschränkte Kanäle wie z.B. akustische Benachrichtigungen mit Information versorgt werden.

Durch die flexible Architektur von JHotDraw ist es möglich, unterschiedliche Ausgabekanäle mit der gleichen Codebasis durch den Einsatz verschiedener Basisklassen als vollständig eigenständige Applikation auszuführen oder als Applet in Webbrowsern zu starten (siehe Abbildung 8.11). Auf diese Weise ist es möglich die einmal implementierte Visualisierung des Modellzustandes für die lokalen Ausgabekanäle sowie für entfernte Betrachter zu verwenden, die alle über die gleiche Schnittstelle synchron mit Information versorgt werden.

8.3.3. Ausgabe von Information zum Modell

Um im Folgenden auf die Details der Implementierung eingehen zu können, muss an dieser Stelle noch ausgeführt werden, welche Arten von Information in welcher Form über welchen Kanal ausgegeben werden. Grundsätzlich sind konzeptuell zwei Arten von Information zu unterscheiden. Dieser Abschnitt behandelt die Ausgabe von Information zum Modell selbst, im folgenden Abschnitt werden jene Informationen Ausgabekanälen zugeordnet, die der Kontrolle des Systems und der Unterstützung des Modellierungsvorgangs dienen.

Information zu Modellelementen

Information, die im Zusammenhang mit einzelnen Modellelementen ausgegeben wird, wird unmittelbar auf der Modellierungsoberfläche, also am primären Ausgabekanal, dargestellt. Wenn der sekundäre Ausgabekanal für synchrone Modelldarstellung konfiguriert ist oder entfernte Modellbetrachter eingesetzt werden, so wird diese Information auch

¹⁰Transport Control Protocol

¹¹Internet Protocol

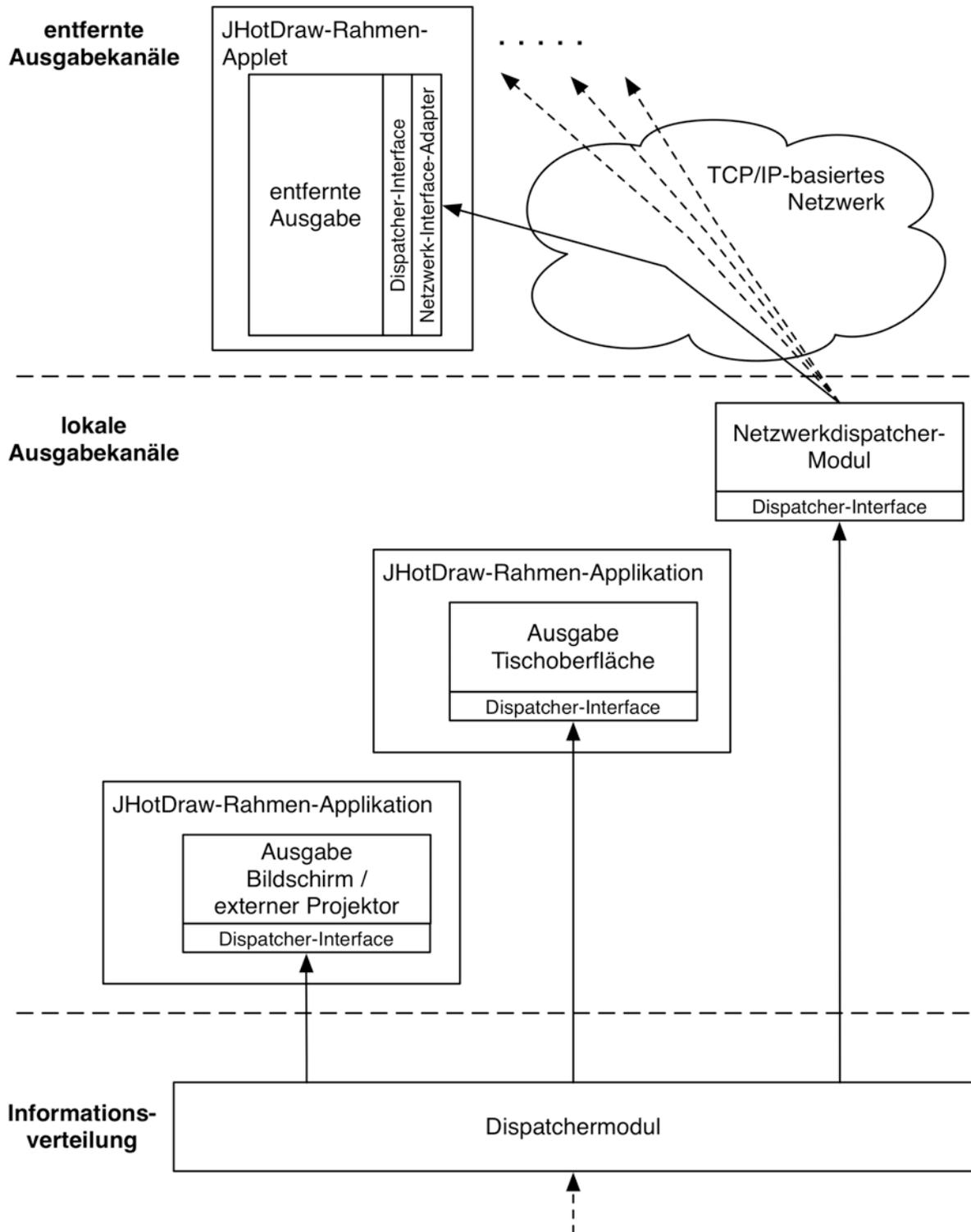


Abbildung 8.3.: Softwarearchitektur zur Verwaltung der Ausgabekanäle

dort dargestellt. Die Ausgabe auf entfernten Ausgabekanälen ist dabei immer identisch mit jener am sekundären Ausgabekanal. Dabei wird das Modellelement selbst graphisch repräsentiert, um eine Zuordnung der Information zu ermöglichen. Auf der Tischoberfläche ist eine separate Darstellung des Modellelements nicht notwendig, das dieses durch die kohärente Eingabe ohnedies durch das entsprechende Modellierungstoken dargestellt wird (siehe Abbildung 8.4)

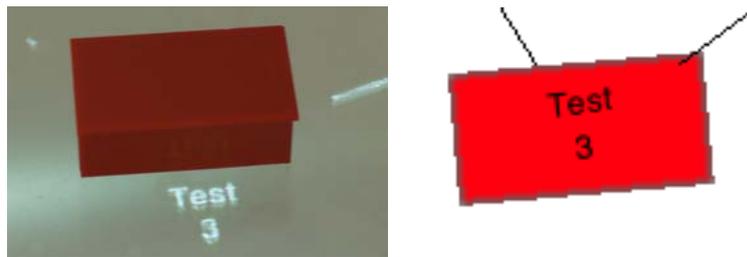


Abbildung 8.4.: Darstellung von Modellelementen
(links: Tischoberfläche, rechts: Bildschirm)

In der aktuellen Implementierung wird lediglich die Bezeichnung des Tokens auf beiden Ausgabekanälen explizit ausgegeben. Der Typ des Tokens ist in der Farb- und Formgebung codiert. Auf dem sekundären Ausgabekanal sind die Elemente in der graphischen Darstellung den physischen Elementen nachempfunden und bilden deren Farbe und Grundriss ab. Zusätzlich wird ein Element, das als Container fungiert, am sekundären Ausgabekanal durch eine Markierung gekennzeichnet.

Ebenfalls nur auf der sekundären Oberfläche explizit ausgegeben wird die Information hinsichtlich der aktuellen Rotation eines Modellierungstokens. Auf der Oberfläche ist diese am physischen Token erkennbar bzw. wird durch diese festgelegt. In der graphischen Repräsentation am sekundären Ausgabekanal muss diese Rotation ebenfalls abgebildet und nachgeführt werden.

Information zu Verbindern

Da Verbinder nicht physisch existieren, sondern immer über die Ausgabekanäle dargestellt werden müssen, gelten die nun folgenden Ausführungen für beide Ausgabekanäle. Wird ein Verbinder hergestellt, so kann neben den beiden Endpunkten (Modellelementen) auch noch die Richtung des Verbinders sowie eine Bezeichnung festgelegt werden.

Ein Verbinder wird auf den Ausgabekanälen als Linie dargestellt, die zwei Modellierungstokens bzw. deren graphische Repräsentation verbindet (siehe Abbildung 8.5). Die Richtung des Verbinders wird über Pfeilspitzen angegeben, die an den Enden der Linien angebracht werden (siehe Abbildung 8.6). Dabei können diese Pfeilspitzen fehlen (unge-

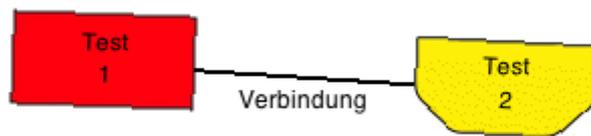
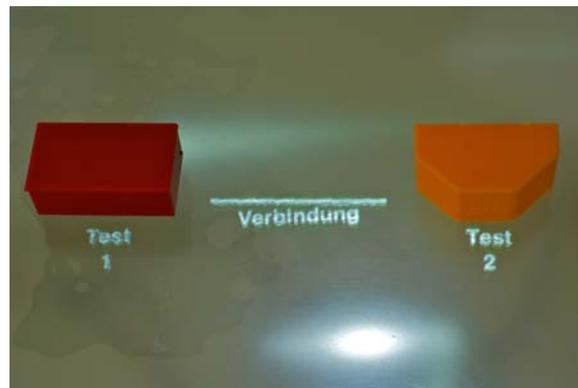


Abbildung 8.5.: Darstellung von Verbindern (oben Tischoberfläche, unten Bildschirm)

richteter Verbinder), an einem Ende angebracht werden (gerichteter Verbinder) oder an beiden Enden dargestellt werden (bidirektionaler Verbinder). Die Ausgabe der Benennung eines Verbinders erfolgt – sofern vorhanden – zentriert auf halbem Weg zwischen den verbundenen Modellelementen unterhalb der Linie.

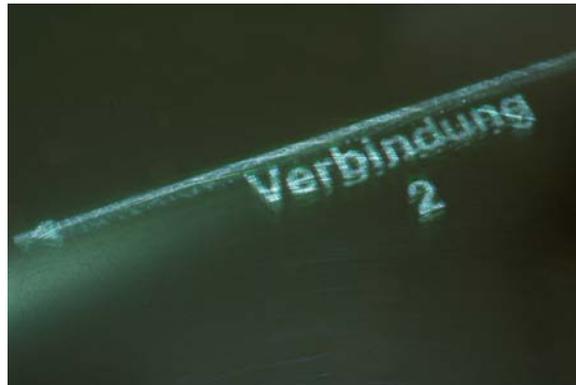


Abbildung 8.6.: Darstellung gerichteter Verbinder

Information zu eingebetteten Elementen

Im Kontext der Ausgabe von Information zu eingebetteten Elementen müssen unterschiedliche Modellaspekte berücksichtigt werden. Im einzelnen sind dies:

- Öffnungszustand von Modellelementen
- Anzahl und Art der eingebetteten Elemente
- Information, welche an eingebettete Elemente gebunden ist

Der Öffnungszustand von Modellelementen ist auf der Tischoberfläche durch den Zustand des jeweiligen Containertokens ersichtlich. Auch die Art und Anzahl der eingebetteten Elemente ist sichtbar, wenn ein Containertoken geöffnet ist. Am sekundären Ausgabekanal, also auf dem Bildschirm wird ein geöffnetes Modellelement vergrößert dargestellt um innerhalb der Fläche des Elements visuelle Repräsentationen der eingebetteten Elemente einblenden zu können. Somit ist auch am sekundären Ausgabekanal erkennbar, wann bzw. dass ein Element geöffnet ist (siehe Abbildung 8.7).

Jene Information, die an die eingebetteten Elemente gebunden ist, wird auf beiden Kanälen nicht ohne explizite Benutzerinteraktion dargestellt. Fordern die Benutzer auf einem Eingabekanal die Darstellung der eingebetteten Information an, so wird diese auf dem sekundären, nicht kohärenten Ausgabekanal dargestellt. Eine Darstellung der angebotenen Information auf der Tischoberfläche kann durch die physisch vorhanden

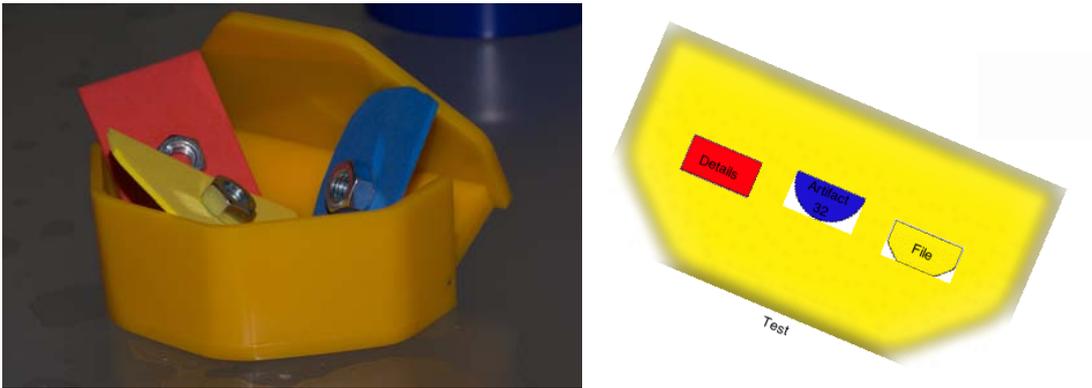


Abbildung 8.7.: Darstellung von Containern und eingebetteten Elementen
(links Tischoberfläche, rechts Bildschirm)

Modellelemente gestört werden. Die eingebetteten Submodelle bzw. die sonstigen digitalen Ressourcen werden also auf dem Bildschirm dargestellt. Die Submodelle ersetzen dabei den aktuellen Modellzustand temporär, andere Ressourcen werden mittels der im Betriebssystem definierten Standardapplikation geöffnet.

8.3.4. Ausgabe zur Kontrolle des Systems

Neben der eigentlichen Modellinformation wird auch Information ausgegeben, die zum Feedback über den Systemzustand oder der Kontrolle desselben notwendig ist. Wo möglich wird auch in diesem Fall die Tischoberfläche als primärer Ausgabekanal genutzt.

Zustands- und Ereignismeldungen

Bei der Verwendung der die Modellierung unterstützenden Werkzeuge muss den Benutzern Feedback über deren Erkennung bzw. den durch diese ausgelösten Änderung des Systemzustandes gegeben werden. Dabei ist zwischen jenen Interaktionen zu unterscheiden, die ein Ereignis auslösen und jenen, die den Systemzustand permanent ändern. Dieser Unterschied muss auch in der Visualisierung den Benutzern kommuniziert werden. Dabei kann es durch die vom System nicht beeinflussbaren physischen Werkzeugtokens zu potentiellen Missverständnissen kommen. Wird ein Werkzeugtoken, das lediglich ein Ereignis auslöst (wie zum Beispiel das Markierungstoken), von den Modellierenden auf der Oberfläche belassen, kann dieses unter Umständen als zustandsverändernd und nicht als ereignisauslösend wahrgenommen werden.

Elementauswahl Wird mittels dem Markierungstoken ein Element ausgewählt, so müssen die Benutzer über die Erkennung der Markierung benachrichtigt werden. Dabei muss

erkenntlich sein, welches Element ausgewählt wurde und wie lange die Auswahl gültig ist. Die Auswahl eines Elements ist grundsätzlich ein Ereignis, ist jedoch immer Teil einer umfassenderen Interaktion, in der die Benutzer das ausgewählte Element verwenden (z.B. dieses benennen).

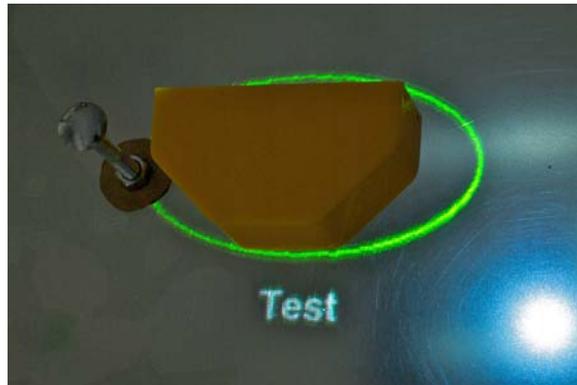


Abbildung 8.8.: Markierung von Modellelementen

Die Anzeige der Auswahl erfolgt auf beiden Ausgabekanälen mittels einer ovalen Markierung, die das ausgewählte Element umschließt (siehe Abbildung 8.8). Diese wird solange angezeigt, bis die Interaktion, der sie zuzuordnen ist, abgeschlossen ist oder ein anderes Element ausgewählt wird. Außerdem ist es möglich, eine Markierung durch explizite Interaktion (erneute Auswahl mit dem Markierungstoken) wieder zu entfernen.

Verbindungsherstellung Die Herstellung von Verbindungen kann auf zwei unterschiedliche Arten durch die Benutzer ausgelöst werden. Wird eine Verbindung durch die Auswahl zweier Modellelemente hergestellt, werden die eben beschriebenen ovalen Markierungen zur Visualisierung der Auswahl verwendet. Dabei kann es zur Auswahl eines Elements als Endpunkt einer gerichteten Verbindung kommen. Die ovale Markierung wechselt in diesem Fall die Farbe um die erfolgreiche Erkennung einer Pfeilspitze rückzumelden. Nachdem beide Endpunkte erkannt und markiert wurden, wird unmittelbar die Verbindung hergestellt. Diese wird initial als eine Linie dargestellt, die in Farbe und Strichstärke hervorsticht und in der Folge in einer Animation durch eine herkömmliche Verbindung ersetzt. Diese Animation dient dazu, das Ereignis der Verbindungsherstellung klar zu visualisieren und die Aufmerksamkeit der Benutzer auf dieses Ereignis zu lenken.

Werden zwei Elemente durch ihre räumliche Nähe zueinander in Beziehung gesetzt und eine Verbindung hergestellt, entfallen die ovalen Markierungen (da keine explizite Auswahl der Elemente erfolgt). Es wird lediglich die Animation zur Verbindungsherstellung dargestellt. Auf diesem Wege ist keine direkte Herstellung von gerichteten Verbindern möglich.

explizite Snapshots Im Zusammenhang mit der Speicherung der Modellierungshistorie (also der über die Zeit veränderten Modellzustände) ist es möglich neben der automatischen Speicherung auch explizit der Aufnahme eines Snapshots auszulösen. Während bei der automatischen Speicherung kein Feedback an die Benutzer gegeben wird (da auch keine Interaktion zum Auslösen derselben stattfindet), wird im Falle einer expliziten Speicherung den Benutzern die erfolgreiche Durchführung der Aktion rückgemeldet. Die Speicherung des Snapshots ist ein Ereignis ohne zeitliche Ausdehnung und wird dementsprechend visualisiert. Dies erfolgt in Form eines kurzen Aufblitzens sowohl der Tischoberfläche als auch des Bildschirms. Die Verwendung der gespeicherten Modellzustände und deren Visualisierung wird in Abschnitt 8.3.4 im Detail behandelt.

Löschmodus Im Gegensatz zu den in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Werkzeugen löst der Einsatz des Lösch-Tokens kein Ereignis aus, sondern schaltet das System in einen anderen Zustand, solange es auf der Oberfläche vorhanden ist. Dies spiegelt sich auch in der Visualisierung wieder. Solange das Lösch-Token von der Kamera erfasst wird, wird auf beiden Ausgabekanälen der Hintergrund des Modells (also die gesamte Tischoberfläche bzw. der gesamte Bildschirm) in roter Farbe dargestellt, während im Vordergrund nach wie vor der aktuelle Modellzustand visualisiert wird. Dies entspricht den Interaktionsmöglichkeiten der Benutzer – das Modell kann nach wie vor manipuliert werden, jene Interaktionen, die aber im Normalfall eine Verbindung herstellen, löschen diese in diesem Modus wieder. Wird das Lösch-Token entfernt, wechselt der Hintergrund wieder auf die Standard-Farbe, das System reagiert auf die betroffenen Interaktionen wieder mit der Herstellung eines Verbinders.

Abruf der Modellierungshistorie

Der Abruf der Modellierungshistorie wird mit dem runden Kontroll-Token ausgelöst und kontrolliert. Hinsichtlich der Darstellung ist die Modellierungshistorie die erste der hier beschriebenen Zustands- und Ereignismeldungen, bei der keine kohärente Darstellung möglich ist. Auf der Tischoberfläche befinden sich zum Zeitpunkt der Aktivierung des Historienmodus alle Tokens, die im Elemente im aktuellen Modellzustand repräsentieren. Da der Historienmodus als Referenz dient, in der die Entstehung des Modells rekapituliert werden kann, die gespeicherten Modellzustände aber im Allgemeinen nicht den aktuellen Zustand ersetzen sollen, verbleiben diese Tokens auch auf der Oberfläche. Damit kann nach Deaktivierung des Historienmodus der Modellierungsvorgang unmittelbar fortgesetzt werden. Die auf der Oberfläche befindlichen Tokens stören aber die Darstellung gespeicherter Modellzustände, da sie Teile verdecken und keinen Bezug zum projizierten historischen Modell haben.

Die Information des Historienmodus wird deshalb ausschließlich auf dem sekundären Ausgabekanal – dem Bildschirm – dargestellt (die Kontrolle verbleibt mit dem runden Kontroll-Token auf der Tischoberfläche). Die gespeicherten Modellzustände ersetzen da-

bei den aktuellen Modellzustand, der im Normalbetrieb synchron zur Tischoberfläche dargestellt wird. Ist das System so konfiguriert, dass der sekundäre Ausgabekanal nicht synchron betrieben wird, so wird er bei Erkennung des Historienmodus aktiviert.

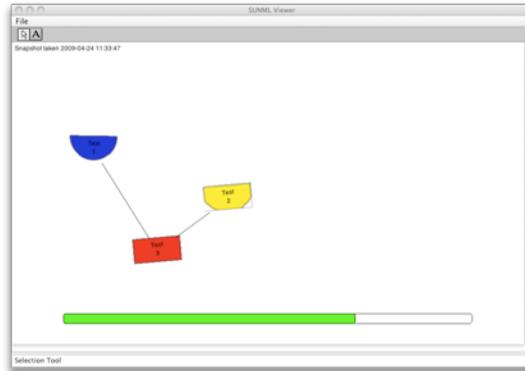


Abbildung 8.9.: Darstellung der Modellierungshistorie

Zusätzlich zur graphischen Darstellung des gespeicherten Modellzustandes wird ein Zeitstempel in der linken oberen Ecke eingeblendet, der den Zeitpunkt der Speicherung angibt. Am unteren Rand des Bildes wird ein Balken eingeblendet, der auf den relativen Zeitpunkt der Aufnahme (bezogen auf die Gesamtzahl der gespeicherten Zustände) angibt (siehe Abbildung 8.9). Die Schrittweite (also die Verlängerung des Balkens, die durch das Umschalten auf einen unmittelbar folgenden Zustand verursacht wird) wird dazu dynamisch an die Anzahl der gespeicherten Modellzustände angepasst.

Ist der erste bzw. letzte Modellzustand erreicht, werden weitere entsprechende Kommandos durch Drehen des Kontroll-Tokens ignoriert. Die Benutzer werden durch einen vollständig leeren bzw. ausgefüllten Balken auf das Erreichen des jeweiligen Endpunktes hingewiesen. Wird das Kontroll-Token von der Tischoberfläche entfernt, so wird der Historienmodus deaktiviert. Die Darstellung auf dem sekundären Ausgabekanal wird wieder auf die synchrone Darstellung des aktuellen Modellzustandes geschaltet bzw. wird diese deaktiviert, falls das System dementsprechend konfiguriert ist.

Wiederherstellungsunterstützung

Im Rahmen des Abrufs der Modellierungshistorie kann von den Benutzern die Wiederherstellungsunterstützung aktiviert werden. Im Rahmen der Wiederherstellungsunterstützung leitet das System die Benutzer bei der Rekonstruktion eines gespeicherten Modellzustandes an. Dazu werden auf der Tischoberfläche und am Bildschirm (sofern aktiviert) – also auf beiden Ausgabekanälen – Hinweise angezeigt, wie der aktuelle Modellzustand verändert werden muss, um den gespeicherten Zustand wieder herzustellen.

Da der aktuelle Modellzustand als Ausgangspunkt dient, kann eine kohärente Visualisierung zum Einsatz kommen.

Bei der Aktivierung der Wiederherstellungsunterstützung werden die im Modell befindlichen Verbinder ausgeblendet, da diese nicht manuell verändert werden müssen. Die notwendige manuelle Intervention der Benutzer zur Wiederherstellung beschränkt sich auf die Platzierung der Modellierungstokens an die dem gespeicherten Modellzustand entsprechenden Orte. In der ersten Phase werden vom System schrittweise alle Tokens markiert, die im aktuellen Modell enthalten sind und im gespeicherten Modellzustand nicht vorhanden sind, also entfernt werden müssen. Schrittweise heißt in diesem Zusammenhang, dass immer nur ein Token markiert wird, sobald dieses entfernt wurde, wird das nächste Token zur Entfernung markiert. Die Markierung ist als rote, ovale Hinterlegung des Tokens umgesetzt.

In der zweiten Phase werden jene Tokens behandelt, die sowohl im aktuellen als auch im gespeicherten Modellzustand enthalten sind, sich aber jeweils an unterschiedlichen Positionen befinden, also verschoben werden müssen. Dazu wird wiederum schrittweise eine Markierung an der Zielposition des Tokens eingeblendet und diese mit einem Pfeil mit der aktuellen Position des betroffenen Tokens verbunden (siehe Abbildung 8.10).

In der letzten Phase werden alle Tokens hinzugefügt, die im aktuellen Modell nicht vorhanden sind, es im gespeicherten Modellzustand aber waren. Diese werden schrittweise durch grüne, ovale Markierungen an den jeweiligen Positionen angezeigt, wobei die Benennung des Tokens in die Markierung eingeblendet wird, um das jeweilige zu platzierende Element identifizieren zu können.

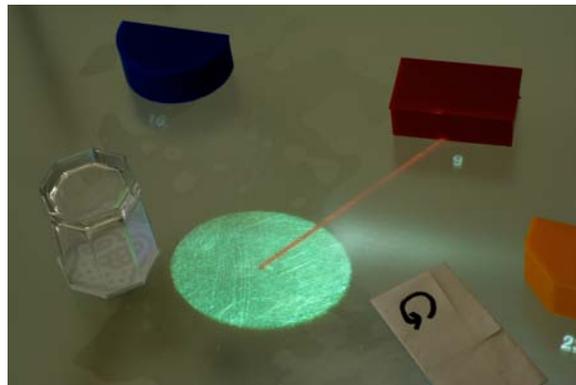


Abbildung 8.10.: Unterstützung der Wiederherstellung von Modellzuständen

Die zur Rekonstruktion des Modellzustandes notwendigen Schritte sind nicht vorberechnet sondern werden vielmehr Schritt für Schritt aus der aktuell auf der Tischoberfläche befindlichen Token-Konstellation extrahiert. Dadurch ist es möglich, auch irrtümlicherweise während der Wiederherstellung entfernte, hinzugefügte oder vor allem

verschobene Tokens zu korrigieren, auch wenn die Rekonstruktion grundsätzlich schon in eine spätere Phase getreten wäre. So greift das System beispielsweise nach Abschluss eines Schrittes in der dritten Phase (Elemente hinzufügen) auf eine Anweisung in der zweiten Phase (Verschieben) zurück, wenn durch das Hinzufügen ein anderes, bereits an der korrekten Position befindliches Element verschoben worden wäre.

Sobald sich die Positionen der Tokens mit jenen des gespeicherten Modellzustandes decken, ist die notwendige Benutzerintervention zur Wiederherstellung abgeschlossen. Die Benutzer werden nun aufgefordert, das Historien-Kontroll-Token und das Wiederherstellung-Token zu entfernen (sofern sich diese noch auf der Oberfläche befinden). Dieser Schritt schließt die Wiederherstellungsunterstützung ab. Das System blendet die Verbinder (nun aus dem gespeicherten Modellzustand) wieder ein und zeigt damit den (neuen) aktuellen Modellzustand an.

8.4. Umsetzung der Ausgabe mit Software

Wie in Abschnitt 8.3.1 bereits beschrieben, basiert die Implementierung der Ausgabekanäle auf dem JHotDraw-Framework. Die Implementierung erfolgt dabei in Modulen, die die Art und Anzahl der Ausgabekanäle flexibel erweiterbar macht. Die Anforderungen an die Ausgabekanäle unterscheiden sich zwar durchaus im Detail, im Allgemeinen ähneln sie sich aber stark. Dies legt die Verwendung einer gemeinsamen Basisklasse nahe, die alle verallgemeinerbaren Aufgaben der Ausgabekanäle umfasst. Von ihr werden die konkreten Implementierungen der Ausgabekanäle mit ihren spezifischen Funktionen abgeleitet werden. So müssen auf dem bildschirmbasierten Ausgabekanal unter anderem die Modellelemente graphisch dargestellt werden, wohingegen diese auf der Tischoberfläche in Form der physischen Modellierungstokens bereits vorhanden sind. Beiden Kanälen gemein ist hingegen zum Beispiel die Behandlung der Verbinder, die hier wie dort dargestellt bzw. projiziert werden müssen. Durch das nur partiell unterschiedliche Verhalten der beiden Ausgabekanäle ist es möglich, diese von einer gemeinsamen Basisklasse abzuleiten und die Spezifika in Subklassen zu implementieren. Dies reduziert auch den Wartungsaufwand der Codebasis und vermindert die Gefahr von Inkonsistenzen.

Konkret wurde die Architektur wie in 8.11 dargestellt auf Klassen abgebildet. Zentrale Schnittstelle zu den informationsliefernden Modulen ist das Interface `DispatcherListener`, das eine Reihe von Methoden definiert, die Ausgabekanäle implementieren müssen, falls sie an die Informationeingabe- und -interpretations-Infrastruktur angebunden werden sollen. Das Interface ist allgemein einsetzbar, kann also auch durch Ausgabekanäle anderer technologischer Ansätze implementiert werden. Als zentrales Element implementiert die Klasse zur Ausgabe von Information auf dem sekundären Ausgabekanal (dem Bildschirm) dieses Interface. Diese Klasse wurde deswegen als zentraler Knotenpunkt gewählt, weil sie im Vergleich mit den anderen Ausgabekanälen den größten Anteil an

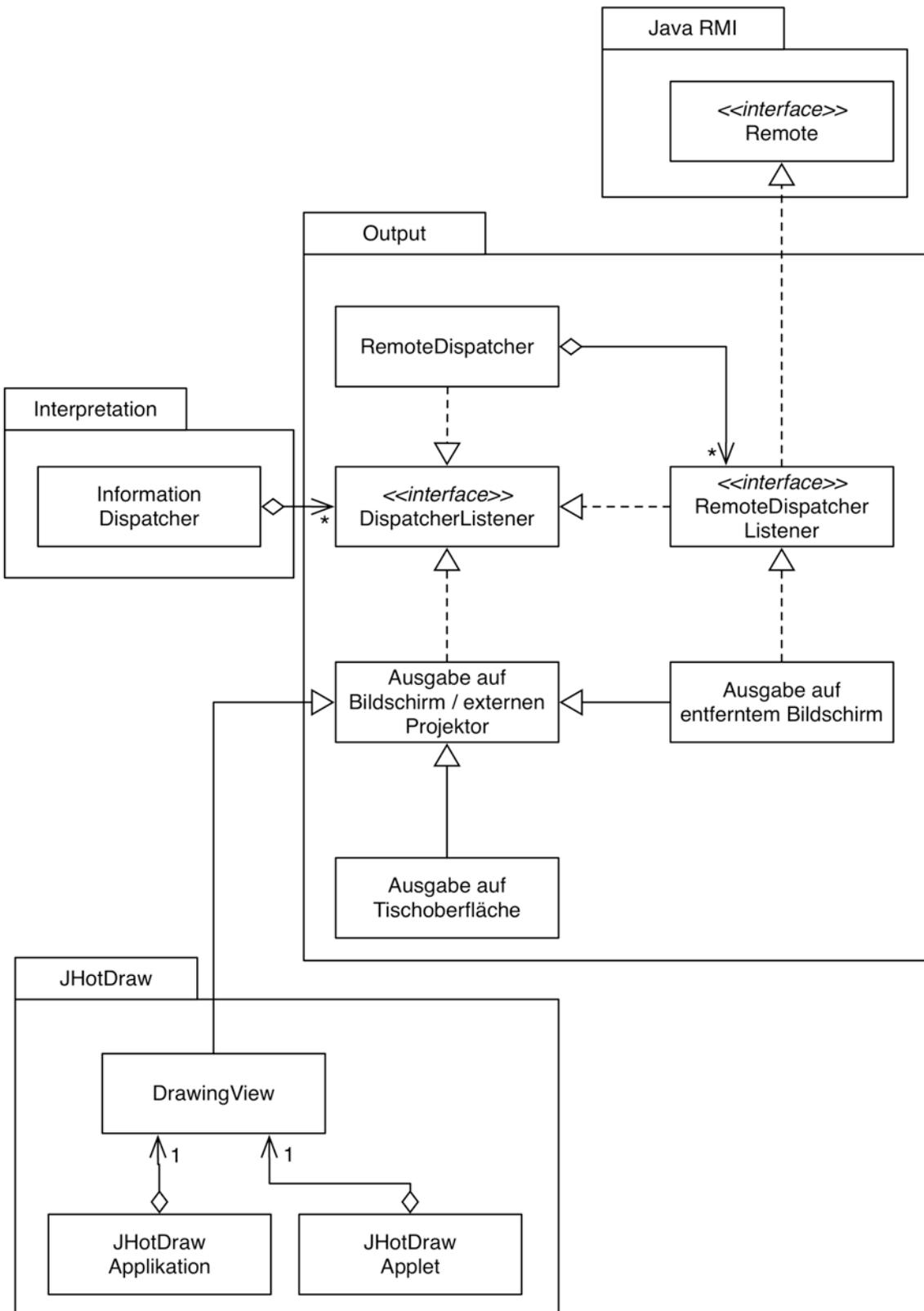


Abbildung 8.11.: Zusammenhänge der Klassen zur Ausgabebehandlung

auszugegebender Information besitzt. Die Klasse zur Ausgabe von Information auf der Tischoberfläche implementiert lediglich ein Subset an Visualisierungs-Methoden (so müssen z.B. die Elemente selbst nicht ausgegeben werden) und wird deshalb von jener zur Behandlung des sekundären Ausgabekanals abgeleitet. Die nicht benötigten Methoden werden mit leeren Methoden überschrieben. Die zur Ausgabe benötigten Methoden werden unverändert übernommen, unterschiedliche Darstellungsformen (etwa die Stichstärke bei Verbindungen) werden durch Parametrisierung der Datenklassen realisiert, die die darzustellende Information kapseln.

Beide lokale Ausgabekanäle betten die eigentliche Visualisierungs-Klasse in einen JHotDraw-Rahmen ein, der die Applikationsinfrastruktur zur Verfügung stellt. In diesem Fall ist dies die Klasse `DrawApplication`, die eine direkt ausführbare Java-Applikation erzeugt. Die Einbindung der eigentlichen Ausgabekanäle erfolgt über die Klasse `DrawingView`, die als Basisklasse für die die Ausgabekanäle bedienenden Klassen fungiert. Zur Anzeige auf der Tischoberfläche wird die JHotDraw-Applikation in den Vollbild-Modus geschaltet und mit schwarzem Hintergrund versehen. Auf der Tischoberfläche ist dadurch keine Projektion zu erkennen, wenn sich keine Modellelemente auf ihr befinden. Die Anzeige am sekundären Ausgabekanal erfolgt in einem regulären Fenster.

Die Ausgabe auf entfernten (visuellen) Kanälen basiert ebenfalls auf der Klasse, die den sekundären Ausgabekanal bedient. Tatsächlich ist die Form der Visualisierung identisch mit einem im Modus synchroner Darstellung betriebenen sekundären Ausgabekanal. Die Implementierung von entfernten Kanälen unterscheidet sich ausschließlich in der Übermittlung der darzustellenden Information über eine Netzwerkverbindung.

8.4.1. Ausgabe des Modellzustands

Die Zustand des Modells, also Art und Parameter der auf der Oberfläche befindlichen Elemente und Verbindungen sind in Objekten der Klassen `BasicBuildingBlock` bzw. `Connector` abgebildet. Diese Klassen kapseln sämtliche Information, die zur Beschreibung des Elementzustandes notwendig ist. Diese Objekte sind außerdem in der Lage, sich durch ihre `clone`-Methode selbst vollständig zu reproduzieren. "Vollständig" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass im Duplikat keine Referenzen mehr auf die Attribute des Originalobjekts vorhanden sind – das Objekt wird im Sinne einer "Deep-Copy" vollständig reproduziert. Dies ist notwendig um gespeicherte Modellzustände vollständig vom aktuellen Modellzustand zu entkoppeln und persistent abzulegen. Die Ausgabe erfolgt mittels einer `CompositeFigure` (eine Komponente des JHotDraw-Frameworks), in die die graphische Repräsentation des Elements, dessen Benennung sowie ggf. die eingebetteten Elemente geschrieben werden. Eventuell vorhandene Markierungen (wie jene, die durch das Auswahltoken verursacht werden oder die im Rahmen der Wiederherstellungsunterstützung als Hinweis zum Entfernen eines Elements hinzugefügt werden) werden ebenfalls direkt in die `CompositeFigure` aufgenommen. Die hat den Vorteil, dass Mar-

kierungen an das Element gebunden bleiben und mit diesem bewegt werden, wenn das betreffende Token verschoben wird.

Eingebettete Elemente enthalten neben ihrer graphischen Repräsentation und ihrer Benennung auch eine Referenz auf die Ressource, die durch sie repräsentiert wird. Ist diese Ressource ein Teilmodell, so wird dieses als gespeicherter Modellzustand referenziert und beim Abruf entsprechend am sekundären Ausgabekanal dargestellt. Sind externe Ressourcen (im Sinne von Dateien im Filesystem) angebunden, so werden diese beim Abruf mittels der durch die Java-Plattform zur Verfügung gestellten Methode `Desktop.open` geöffnet. Diese Methode greift dazu auf die Plattform-spezifischen Dateitypen-Bindungen zu und öffnet die jeweilige Datei mit der zugeordneten Standard-Applikation.

Assoziationen sind von der durch JHotDraw zur Verfügung gestellten Klasse `LineConnection` abgeleitet und werden durch deren Eigenschaften bei der Erstellung explizit an den Endpunkten an zwei `Figures` (in diesem Fall an `BasicBuildingBlocks`) gebunden. Der Verbinder wird dadurch mit jeder Bewegung eines der Elemente mitgeführt und muss nicht manuell an den neuen Endpunkt verlegt werden. Methoden zur Anzeige Pfeilspitzen und Benennung können ebenfalls von der Klasse `LineConnection` übernommen werden.

Kalibrierung der Ausgabe

Der Projektor, der die Information auf die Tischoberfläche projiziert, ist aus Gründen der Transportierbarkeit nicht fix im Boden des Tisches eingebaut. Deswegen ist nach dem Aufbau des Systems im Allgemeinen die projizierte Version des Modells nicht deckungsgleich mit der Position der physischen Tokens. Es kann eine Verschiebung entlang beider Achsen auftreten, die alle zu den physischen Tokens ausgegebene Information von diesen absetzt. Dadurch kann die Information unter Umständen nicht mehr eindeutig zugeordnet werden.

Aus diesem Grund ist die Position der projizierten Modellversion einstellbar, die Kalibrierung muss einmalig nach dem Aufbau des Werkzeugs vorgenommen werden. Aufgrund der Verwendung des Umlenkspiegels kann es nicht nur zu einer Verschiebung der Information auf der X- oder Y-Achse kommen, es können auch Spreizungen oder Stauchungen auftreten, welche den Projektions-Fehler von links nach rechts bzw. von oben nach unten zunehmen lassen. Auch diese Spreizungen oder Stauchungen sind softwareseitig im Rahmen der Kalibrierung korrigierbar.

8.4.2. Ausgabe der Modellierungshistorie

Wird die Modellierungshistorie abgerufen, so wird am sekundären Ausgabekanal der zuletzt gespeicherte Modellzustand angezeigt. Am primären Ausgabekanal kommt weiterhin der aktuelle Modellzustand zur Anzeige. Die Modellierungshistorie wird in Form

von `Snapshot`-Objekten in einem `History`-Objekt gespeichert. Das Objekt der Klasse `History` dient dabei der Verwaltung der gesamten Historie (also aller Snapshots) und ermöglicht die Ablage neuer Snapshots und Navigation durch diese sowie den Abruf der bereits gespeicherten Modellzustände. In den `Snapshot`-Objekten selbst ist neben dem eigentlichen Modellzustand ein Zeitstempel abgelegt, der den Zeitpunkt der Speicherung kennzeichnet. Außerdem gibt ein Flag an, ob die Speicherung automatisch erfolgte oder explizit ausgelöst wurde. Der eigentliche Modellzustand wird als `Collection` von `Figures` gespeichert. Da sowohl `BasicBuildingBlocks` als auch `Connections` von der Klasse `Figure` abgeleitet sind, können diese hier einheitlich verwaltet werden. Auch bei der Darstellung muss nicht zwischen den beiden Klassen unterschieden werden, da dem `DrawingView` (also der Zeichenoberfläche) zur Darstellung auch lediglich `Figures` übergeben werden müssen.

Bei der Navigation durch die Modellierungshistorie wird entsprechend der Drehbewegung des Kontroll-Tokens aus dem `History`-Objekt der vorhergehende bzw. nachfolgende `Snapshot` abgerufen. Der aktuell auf dem sekundären Ausgabekanal dargestellte Modellzustand wird gelöscht und durch die im `Snapshot` gespeicherten Modellelemente und Verbinder ersetzt. Zusätzlich wird der Zeitstempel als Text dargestellt und am unteren Bildschirmrand der Fortschrittsbalken ausgegeben. Dieser zeigt an, wo in der gesamten Historie der aktuell angezeigte Modellzustand zu verorten ist und gibt Feedback darüber, ob eine weitere Navigation nach vor oder zurück möglich ist.

8.4.3. Umsetzung der Wiederherstellungsunterstützung

Wenn die Wiederherstellungsunterstützung ausgelöst wird, werden vor dem Start der Ausgabe der Wiederherstellungsanweisungen alle Verbinder ausgeblendet. Da die Benutzer lediglich die Element (bzw. die diese repräsentierenden Tokens) manipulieren muss, ist die Anzeige der Verbinder nicht notwendig bzw. sogar störend, da sich diese mit den auf der Oberfläche angezeigten Anweisungen zur Wiederherstellung überlappen können.

Die eigentliche Wiederherstellungsunterstützung beginnt mit der Berechnung des ersten Schrittes, der von den Benutzern zu setzen ist. Dabei wird geprüft, ob im aktuell auf der Oberfläche befindlichen Modell ein Element enthalten ist, das im wiederherzustellenden Zustand fehlt. Ist dies der Fall, wird dieses Element markiert und die Benutzer damit aufgefordert, es zu entfernen. Die so gestellte Aufgabe wird in einem Objekt der Klasse `Task` gespeichert. Bei jeder eintreffenden Meldung über Änderungen auf der Modellierungsoberfläche wird nun mit Hilfe der `completed`-Methode der `Task`-Objekts überprüft, ob der erste Schritt damit ausgeführt wurde (ob im konkreten Fall also das Element entfernt wurde). Ist dies der Fall, so wird die Methode zur Berechnung des nächsten Schrittes erneut aufgerufen und ein neues `Task`-Objekt erzeugt, das bei Änderung auf der Oberfläche wiederum zur Prüfung der Durchführung des Schrittes herangezogen

wird. Sind noch Elemente vorhanden, die im Zielzustand nicht enthalten sind, ist der nächste Schritt wiederum eine „Entfernen“-Aufgabe.

Befinden sich keine überflüssigen Elemente mehr auf der Oberfläche, so wird die nächste Aufgaben-Kategorie – „Bewegen“ – geprüft. Hier werden all jene Elemente behandelt, die sowohl im Ausgangs- als auch im Zielzustand enthalten sind, sich jedoch auf unterschiedlichen Positionen befinden. Zur Anzeige dieser Art von Aufgaben wird ein Vektor berechnet, der auf den Ausgabekanälen angezeigt wird und von der aktuellen Position des zu bewegenden Elements auf die Zielposition weißt, die zusätzlich mit einer Markierung gekennzeichnet wird. Auch in dieser Kategorie wird bei jeder Änderung auf der Modellierungsoberfläche geprüft, ob die Aufgabe bereits erfüllt ist.

Wurden auch alle verschobenen Elemente an die korrekte Position bewegt, wird die Prüfung der letzten Kategorie von Aufgaben – „Hinzufügen“ – durchgeführt. Hier werden Aufgaben für all jene Elemente definiert, die im Zielzustand enthalten sind, im Ausgangszustand aber fehlen. Die Zielposition des hinzuzufügenden Tokens wird auf den Ausgabekanälen mittels einer Markierung und der Benennung des Elements angezeigt. Sind auch die Aufgaben dieser Kategorie abgeschlossen, werden die Verbinders des Zielzustandes eingeblendet (indem die gespeicherten `Connector`-Objekte der Zeichenoberfläche einfach hinzugefügt werden) und das System wieder in den Modellierungs-Modus versetzt.

Implementierungstechnisch ist hier noch auf die Entkopplung zwischen Identifikation des nächsten Schrittes und der Prüfung dessen Durchführung mittels Objekten der Klasse `Task` hinzuweisen. Dies ist notwendig, weil Wiederherstellungsaufgaben über mehrere Ereignisse auf der Modellierungsoberfläche (also das Verschieben, Hinzufügen oder Wegnehmen von Elementen) aktuell bleiben können und so der die Erfüllung der Aufgabe unabhängig von deren Erstellung geprüft werden muss. Dies hat mehrere Implikationen für die Implementierung.

Zum einen bringt die Klasse `Task` eine eigene Methode zur Prüfung der Erfüllung der in ihr gekapselten Aufgabe mit – Objekte von `Task` kennen also die Kriterien ihrer Erfüllung und können diese auch überprüfen. Zum anderen ist es nicht sinnvoll bzw. in machen Fällen nicht möglich, die durchzuführenden Aufgaben bei der Aktivierung des Wiederherstellungsmodus vorzuberechnen. Durch den Ablauf der Wiederherstellung kann der Ausgangszustand auch außerhalb der durch die Aufgaben vorgegebenen Modifikation verändert werden. Dadurch können vorberechnete Aufgaben obsolet bzw. falsch sein und können deshalb nicht sinnvoll zur Rekonstruktion eingesetzt werden. Tatsächlich wird nach jeder abgeschlossenen Aufgabe der nächste Schritt so bestimmt, als wäre der Wiederherstellungsmodus eben aktiviert worden. Der aktuelle Zustand auf der Modellierungsoberfläche wird als Ausgangspunkt herangezogen und wie oben beschrieben mit dem Zielzustand verglichen. So ist es auch möglich, dass auf eine Aufgabe der zweiten Kategorie („Verschieben“) wieder ein Aufgabe der ersten Kategorie („Entfernen“) folgt, falls das Modell im vorhergehenden Schritt entsprechend verändert wurde (also etwa ein

nicht benötigtes Element hinzugefügt wurde. Erst wenn in allen drei Kategorien keine Differenzen zwischen aktuellem Zustand und Zielzustand mehr festgestellt werden, ist die Wiederherstellungsunterstützung abgeschlossen.

8.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden alle Aspekte dargestellt, die in Zusammenhang mit der Ausgabe von Information durch das hier entwickelte Werkzeug stehen. Die Struktur des Kapitels wurde dabei analog zu jener des vorhergehenden Kapitels erstellt um eine konsistente Darstellung der technischen Aspekte des Systems zu gewährleisten. Im ersten Teil wurde auf Basis der in Kapitel 5 definierten Anforderungen abgeleitet, welche Arten von Information den Benutzern zur Unterstützung der Modellierung zur Verfügung gestellt werden müssen. Die dort identifizierten Aspekte bilden die Grundlage der Technologieentscheidung und der konkreten Umsetzung des Systems.

Im zweiten Abschnitt wurden die technologischen Grundlagen der Informationsausgabe behandelt. Nach der Identifikation der Kohärenz von Ein- und Ausgabekanälen als wesentliches Designkriterium bei Tangible User Interfaces wurden unterschiedliche technische Lösungen für kohärente und nicht kohärente Informationsausgabe beschrieben. Die Klassifikation der Ansätze erfolgt dabei auf Basis der von (Fishkin, 2004) vorgeschlagenen Taxonomie. Auf Basis der bereits vorhandenen technologischen Einschränkungen durch die Technologie-Entscheidung in Kapitel 7 wurde in der Folge für jede auszugebende Informationsart eine Zuordnung zu kohärenten oder nicht-kohärenten Ausgabeformen getroffen. Daraus resultiert die Entscheidung, mehr als einen Ausgabekanal zu verwenden, da eine durchgängig kohärente Ausgabe nicht möglich ist. Für die Umsetzung der Ausgabekanäle, die auf visuellem Weg realisiert werden, wurden geeignete Software-Frameworks beschrieben und einander gegenübergestellt. Auf Basis der festgelegten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen kommen die Frameworks JHotDraw (Gamma und Eggenschwiler, 1996) und GEF (Moore et al., 2004) in Frage, von denen für die Erstellung des Prototypen JHotDraw als das System mit der fokussierteren Funktionalität und geringerem Einarbeitungsaufwand ausgewählt wurde. Im Rahmen einer Diplomarbeit (Feiner, 2008) wurde jedoch daneben ein auf GEF basierender Ausgabekanal implementiert.

Der dritte Abschnitt widmet sich auf Basis der auszugebenden Information und der zuvor getroffenen Technologieentscheidung der konzeptuellen Architektur der Ausgabekanäle. Hier wurde festgelegt, welche Information in welcher Form auf welchem Ausgabekanal dargestellt wird. Dabei wurde zur besseren Strukturierung in Ausgaben unterschieden, die dem Modell selbst zuzuordnen sind und in solche, die der Unterstützung der Modellbildung dienen.

Die Beschreibung der konkreten Umsetzung der Ausgabekanäle ist Gegenstand des vierten Abschnitts. Anhand eines Klassendiagramms der konkreten Umsetzung wurden die Zusammenhänge zwischen den Implementierungen der Ausgabekanäle gezeigt, die so ausgelegt sind, dass Änderungen mit minimalem Aufwand an nur einer Stelle für beide Ausgabekanäle durchgeführt werden können. Außerdem wurde beschrieben, wie die Anbindung entfernter Ausgabekanäle realisiert wurde. Für jede Art von auszugebender Information (Modellzustand, Modellierungshistorie und Wiederherstellungsunterstützung) ist außerdem angeführt, welche Abläufe innerhalb des Systems letztendlich zur Ausgabe der korrekten Visualisierung führt.

8.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

In diesem Kapitel wird die konkrete Umsetzung des Werkzeugs behandelt. Hinsichtlich der globalen Zielsetzung tragen die hier dargestellten Inhalte also zur Beantwortung der Fragestellung 4 bei.

8.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Mit der Beschreibung der Softwarekomponenten, die für die Ausgabe der Information sorgen, ist die eigentliche Benutzungsschnittstelle vollständig definiert. Auf Basis dieses und des vorhergehenden Kapitels wird in Kapitel 10 das System in die in Kapitel 6 beschriebenen Erklärungs- und Strukturierungsansätze für Tangible Interfaces eingeordnet. Ein weiterer Aspekt der Implementierung, der in dieser Arbeit zu berücksichtigen ist, ist die Persistierung der Modell-Information in einer Form, die eine vollständige Abbildung der Semantik der Modelle und eine Weiterverarbeitung durch externe System erlaubt. Dieser Aspekt ist Gegenstand des folgenden Kapitels.

9. Persistierung

In den beiden vorangegangenen Kapiteln wurde die Umsetzung der Benutzungsschnittstelle des Werkzeugs beschrieben. Neben der Unterstützung des Modellierungsvorgangs ist aber auch die Speicherung der erstellten Modelle zum Zwecke der Weiterverarbeitung eine Anforderung an das Werkzeug. Dieser Themenbereich ist der Betrachtungsgegenstand in diesem Kapitel. Abbildung 9.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

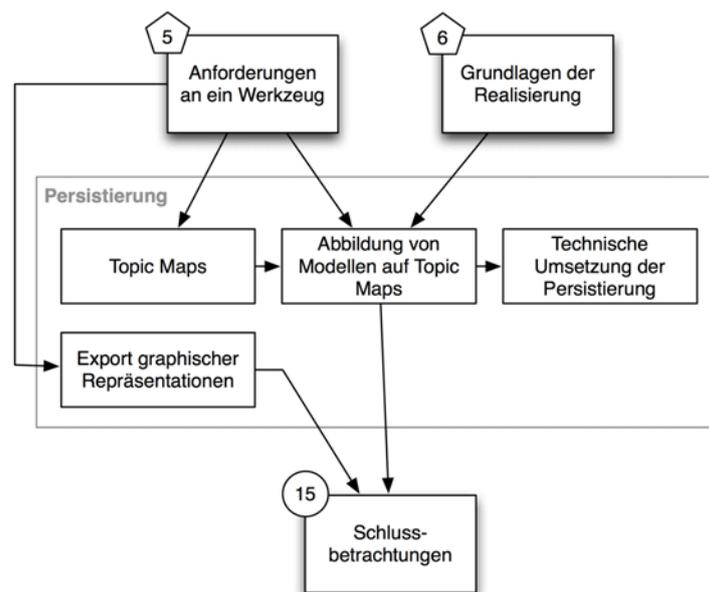


Abbildung 9.1.: Kapitel „Persistierung“ im Gesamtzusammenhang

Auf die Persistierung wirken vor allem zwei der in Kapitel 5 identifizierten Anforderungen ein. Zum Ersten ist die Nachvollziehbarkeit des Modellierungsvorganges sicherzustellen – dies gilt nicht nur während des Vorgangs selbst, sondern auch danach. Dementsprechend ist sämtliche Information zu persistieren, die zur Wiederherstellung nicht nur des Modells selbst, sondern auch der gesamten Modellierungshistorie notwendig ist. Zum Zweiten hat die Forderung nach semantischer Offenheit bei der Modellierung auch unmittelbare Auswirkungen auf die Persistierung. Neben dem Modell selbst muss auf-

grund dieser Anforderung auch die Bedeutung der verwendeten Modellierungselemente miterfasst und persistiert werden, so dass diese bei der Weiterverarbeitung der Modelle verwendet werden kann.

Die Frage nach einem für diese Anforderungen geeigneten Datenformat kann nicht ausschließlich auf Ebene der syntaktischen Strukturierung der Daten behandelt werden. Vielmehr ist es notwendig, Datenformate zu identifizieren, die explizit eine Flexibilisierung und dynamische Festlegung der Semantik der Repräsentation erlauben. Konkret bedeutet dies, dass hier nicht vorrangig die Codierung der Daten (z.B. in einer relationalen Datenbank, in XML¹ oder anderen, proprietären Datenformaten) von Interesse ist, sondern Technologien betrachtet werden müssen, die konzeptuell einen Umgang mit semantisch angereicherten Daten erlauben. Aktuell dafür verfügbare Ansätze sind RDF²/OWL³ sowie ISO Topic Maps. Bei RDF/OWL steht die Angabe von semantischen Metadaten zu einzelnen Informationseinheiten im Zentrum, die Verknüpfung der Information ist implizit in diese Metadaten codiert. Topic Maps behandeln Informationseinheiten und Verknüpfungen gleichrangig und legen stärkeren Fokus auf den Vernetzungsaspekt des gesamten Modells. Sie sind deshalb für die in dieser Arbeit erzeugte Art von Information besser geeignet und werden in der Folge für die Persistierung herangezogen. Eine umfassende Darstellung sowohl von RDF/OWL als auch Topic Maps sowie eine tiefergehende Beschreibung der jeweiligen Vor- und Nachteile im Kontext des hier verfolgten Verwendungszwecks ist in (Oppl, 2007a) verfügbar.

In diesem Kapitel werden nun zu Beginn Topic Maps auf konzeptueller Ebene beschrieben. Die Abbildung der Modelle und der ebenfalls zu persistierenden zusätzlichen Information in ein geeignetes Datenmodell ist Gegenstand des darauf folgenden Abschnitts. Schließlich wird die konkrete technische Umsetzung der Persistierung dargelegt und die dazu notwendigen Software-Infrastruktur im Detail beschrieben.

9.1. Topic Maps

Topic Maps (ISO JTC1/SC34/WG3, 2008) sind wie bereits beschrieben ein Mittel zur Abbildung von semantischen Netzen. In Topic Maps können beliebige Daten strukturiert aufbereitet und zueinander in Beziehung gesetzt werden. Die Art der zu repräsentierenden Daten ist dabei irrelevant, eine Topic Map trifft keine Aussage über ein den repräsentierten Daten zugrundeliegendes Begriffssystem (sie ist „ontology-agnostic“ (Vatant, 2004)).

Historisch stammen Topic Maps aus dem Bereich der technischen Repräsentation von Thesauri und Indizes (Pepper, 2000) (Rath, 2003). Aus diesen Bereichen motivieren

¹Extensible Markup Language

²Ressource Description Framework

³Ontology Web Language

sich auch die Bausteine einer Topic Map, wenngleich deren Verwendung durch diesen Ursprung nicht eingeschränkt wird. Die grundlegenden Elemente einer Topic Map sind „Topics“, „Associations“ und „Occurrences“ (siehe Abbildung 9.2).

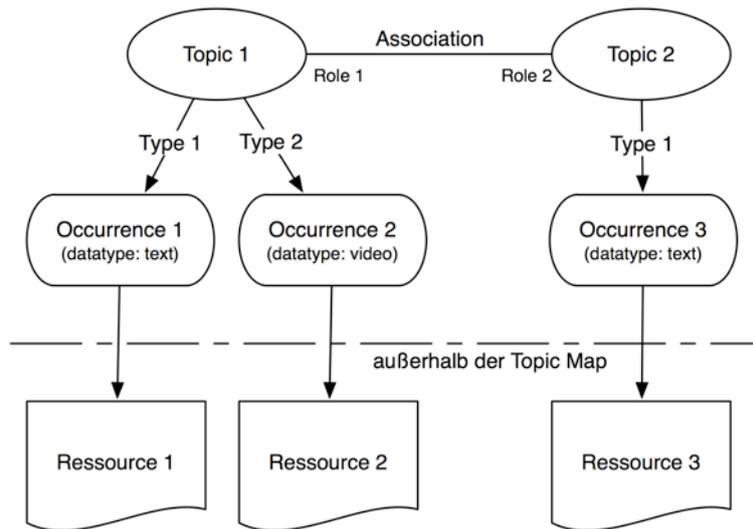


Abbildung 9.2.: Grundlegende Elemente einer Topic Map

„Topics“ stellen Begriffe dar und bilden die Knoten des semantischen Netzes. Ein Topic kann beliebige Information darstellen, repräsentiert aber immer genau ein Phänomen der realen Welt (d.h. zu einem Topic muss es eine Entsprechung außerhalb der Topic Maps geben, die beobachtbar oder beschreibbar ist und auf die die modellierende Person Bezug nehmen will⁴). Eine Topic Map ist damit im Sinne von Stachowiak (1973) ein diagrammatisches Modell, das einen bestimmten, für den Modellersteller relevanten Ausschnitt der Realität abbildet.

„Associations“ bilden die Beziehungen zwischen Topics ab und stellen damit die Kanten des semantischen Netzes dar. Eine Association verknüpft Topics semantisch miteinander und kann frei mit Bedeutung belegt werden. Die Art der Beziehungen ist also nicht festgelegt und kann wie die Bedeutung der Topics frei gewählt werden. Topics und Associations decken historisch den Bereich der Darstellung von Thesauri ab, in denen Begriffe definiert und zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Der zweite historische Ursprung von Topic Maps, die Indizes, werden durch das Konstrukt der „Occurrences“ abgedeckt. Occurrences („Auftreten“) sind Referenzen aus der Topic Map in die reale Welt. Sie setzen die Topics einer Topic Map in Bezug zu beliebiger

⁴„A subject can be anything whatsoever, regardless of whether it exists or has any other specific characteristics, about which anything whatsoever may be asserted by any means whatsoever. In particular, it is anything about which the creator of a topic map chooses to discourse.“ (ISO JTC1/SC34/WG3, 2008, S.8)

referenzierbarer Information (z.B. Dokumente). Im Kontext der eben genannten Indizes kann eine Topic Map als der mit Querverweisen versehene Index eines Buches verstanden werden, in dem durch die Angabe von Seitenzahlen auf den Text des Buches verwiesen wird. Diese Verweise durch Angabe der Seitenzahlen werden in diesem Zusammenhang durch Occurrences dargestellt.

Die Ansammlung von durch Associations verknüpften und mit Occurrences versehenen Topics bilden eine Topic Map. Darüber hinaus kann in Topic Maps jedoch noch weiterführende Information repräsentiert werden (siehe Abbildung 9.3), die Gegenstand der folgenden Abschnitte sein werden.

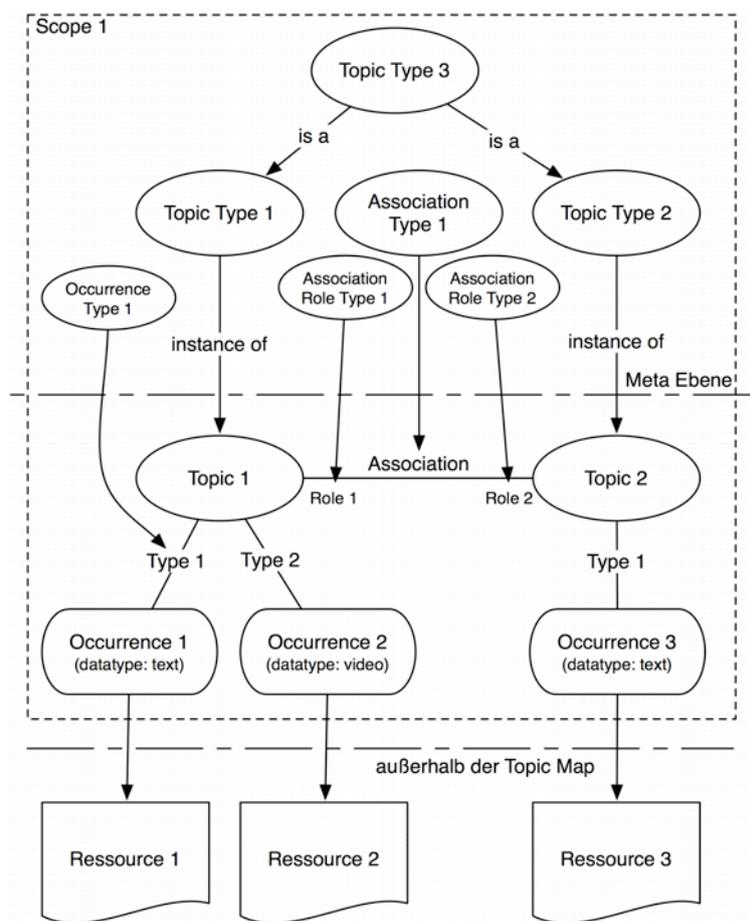


Abbildung 9.3.: Umfassende Darstellung der Elemente einer Topic Map

9.1.1. Topics, Subjects, Topic Names und Variants

Wie oben bereits beschrieben, repräsentiert ein Topic ein Phänomen der realen Welt in einer Topic Map. Dieses Phänomen der realen Welt, das durch das Topic repräsentiert wird, wird als „Subject“ bezeichnet. In einer Topic Map darf es zu einem Subject nur exakt ein Topic geben, umgekehrt kann ein Topic auch nicht mehrere Subjects repräsentieren, die Zuordnung zwischen Subject und Topic ist also eineindeutig (bijektiv). Im Topic wird dazu exakt ein „Subject Identifier“ registriert, der auf eine Informationsressource verweist, die das Subject für Menschen eindeutig identifizierbar macht (diese Ressource wird als „Subject Indicator“ bezeichnet). Zusätzlich kann ein „Subject Locator“ angegeben werden, der auf das tatsächlich in der realen Welt vorhandene Subject verweist. In Abgrenzung dazu kann es bei der anderen Brücke zwischen realer Welt und Topic Map, den Occurrences, für jeder Topic beliebig viele Zuordnungen geben. Eine Occurrence referenziert auch auf die reale Welt, zeigt aber dort nicht auf das Subject selbst, sondern auf ein dieses Subject beschreibendes Objekt in der realen Welt. Beispielhaft ist dazu in Abbildung 9.4 dieser Zusammenhang anhand des Topics „Tasse“ dargestellt. Ein anderes Beispiel ist ein Topic „London“, das als Subject die reale Stadt London repräsentiert und dem eine Occurrence zugeordnet werden könnte, die auf eine Landkarte (als in der Realität vorhandene Beschreibung der realen Stadt London) referenziert.

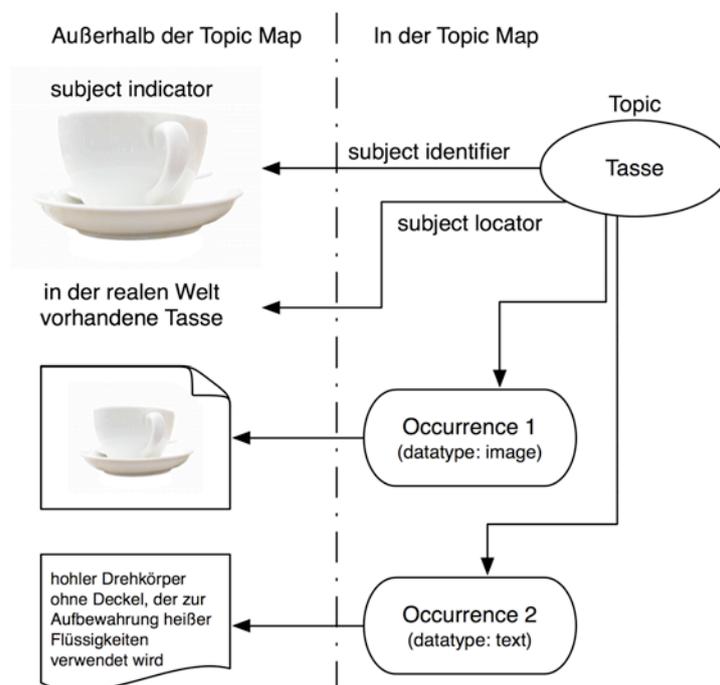


Abbildung 9.4.: Abgrenzung zwischen Subject und Occurrence in Topic Maps

Bislang wurde vereinfacht ein Topic immer mit einem direkt zugeordneten Namen dargestellt. In einer Topic Map besitzt ein Topic jedoch keinen eindeutigen Namen. Es wird vielmehr durch seinen Subject Identifier eindeutig gekennzeichnet. Dieser ist jedoch nicht unbedingt für Menschen les- und/oder interpretierbar – der Subject Identifier hat das Ziel, ein Subject für die Verarbeitung durch Software eindeutig zuordnenbar zu machen. Für die Bezeichnung eines Topics in einer für Menschen interpretierbaren Form ist die Verwendung von „Topic Names“ vorgesehen (siehe Abbildung 9.5). Topic Names werden immer textuell angegeben und beschreiben das Subject, das durch das betreffende Topic referenziert wird. Durch einen Topic Name soll das Subject für Menschen erkennbar sein, wobei die Zuordnung nicht notwendigerweise eindeutig sein muss (Beispiel: der Topic Name „Jaguar“ kann ein Fahrzeug oder eine Großkatze bezeichnen und ist dementsprechend ein zulässiger Name für zwei unterschiedliche Topics). Einem Topic können beliebig viele Topic Names zugewiesen werden – es ist so zum Beispiel möglich, eine Topic Map zu realisieren, in der zu jedem Topic Synonyme als eigene Topic Names angegeben werden.

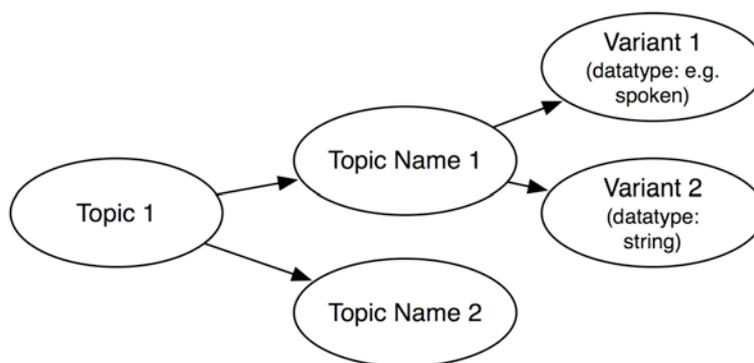


Abbildung 9.5.: Benennung von Topics

Als weitere Detaillierungsstufe können zu jedem Topic Name „Variants“ angegeben werden. Wie durch den Namen angedeutet, handelt es sich dabei um Varianten eines Topic Names, die in bestimmten Zusammenhängen oder für gewisse Anwendungszwecke besser geeignet sein können als der eigentlich Topic Name. Ein Beispiel für eine mögliche Variante ist die Angabe einer gesprochenen Version des Topic Names. Ein weiteres Anwendungsgebiet für Varianten ist die im Standard explizit vorgesehene Angabe eines „Sort Name“ (ISO JTC1/SC34/WG3, 2008, S. 18), der es erlauben soll, Topic Maps in eine durch diesen Namen vorgegebene Ordnung bringen zu können. Varianten werden durch die Angabe eines dezidiert dafür gewidmeten Topics in deren Scope (siehe Abschnitt 9.1.5) als Sort Names gekennzeichnet.

9.1.2. Associations und Roles

„Associations“ stellen Verbindungen zwischen den einzelnen Topics einer Topic Map her. Associations haben beliebig viele Endpunkte, mindestens jedoch einen (sind also nicht von vorneherein immer binär sondern können auch unär sein oder mehr als zwei Topics verknüpfen). Eine Association enthält wie ein Topic nicht unmittelbar einen für Menschen lesbaren Namen. Diese wird durch ein Topic festgelegt, das die Kategorie festlegt, der die Association zuzuordnen sind (siehe Abschnitt 9.1.4). Diesem Topic kann wiederum mindestens ein Topic Name zugeordnet werden, welcher letztendlich die Benennung der Association festlegt.

Associations werden jedoch nicht direkt mit Topics verknüpft. Um ausdrucksstärkere Verknüpfungen realisieren zu können, agieren „Roles“ als Verknüpfung zwischen Associations und den betreffenden Topics. Roles legen die „Rolle“ – also die Bedeutung – eines Topics in exakt der betrachteten Association fest. Diese Bedeutung kann generisch sein und zum Beispiel dazu verwendet werden, die per se ungerichteten Associations unabhängig von ihrer konkreten Bedeutung mit einer Richtung zu versehen (zum Beispiel durch die Zuordnung von Roles „Anfang“ und „Ende“) aber auch um die Beziehung semantisch anzureichern (zum Beispiel durch die Zuordnung von Roles „Verantwortlicher“, „Ausführender“ und „Prozessschritt“ in einer Association „durchzuführen“). Die Anzahl der in einer Association referenzierten Roles gibt damit auch die Kardinalität der Association (also die Anzahl ihrer Endpunkte) an. Aus den konkreten Roles wird dann auf die Topics verwiesen, die diese Roles einnehmen bzw. „spielen“ (tatsächlich heißt die betreffende Eigenschaft einer Role „player“). Wie Associations werden Roles nicht direkt benannt, sondern über ein Topic, das ihre Kategorie bestimmt, mit einer Benennung versehen (Details dazu sind wiederum in Abschnitt 9.1.4 angeführt).

9.1.3. Occurrences und Datatypes

Wie zu Beginn dieses Abschnitts bereits beschrieben und in den Erläuterungen zur Thematik der Subjects (siehe Abschnitt 9.1.1) angedeutet, bilden „Occurrences“ die Brücke aus der Topic Map in die reale Welt, indem sie auf Ressourcen referenzieren, die in einem beliebigen Zusammenhang mit den jeweiligen Topics stehen. Ein Topic kann beliebig viele Occurrences haben. Anders als bei Associations existieren für Occurrences keine Roles (was auch nur bedingt sinnvoll wäre, da jede Occurrence nur zu exakt einem Topic gehören kann). Die Bedeutung der Occurrence für das Topic kann wie bei Associations über die Kategorie der Occurrence festgelegt werden, die wiederum durch ein separates Topic repräsentiert wird (siehe dazu auch Abschnitt 9.1.4). Beispielsweise kann eine Occurrence zur Kategorie „Karte“ gehören und so angeben, dass die derart gekennzeichnete Occurrence zum Topic „London“ auf eine Karte des Stadtgebiets verweist.

Zusätzlich zu der Kategorie wird in einer Occurrence auch der Datentyp der Information angegeben, in dem die referenzierte Information vorliegt. Dabei können beliebige

URIs⁵⁶) verwendet werden. Da URIs beliebigen Inhalt haben können, wäre es in obigen Beispiel möglich, durch den Datentyp einer Occurrence festzulegen, ob es sich bei der Karte um eine Rastergrafik oder eine Vektorgrafik handelt und so Information über deren möglich Einsatzgebiete einzubetten.

9.1.4. Metamodellierung in Topic Maps

Wie oben bereits mehrmals angedeutet, kann in einer Topic Map neben den eigentlichen zu repräsentierenden Informationen (Topics, Associations, Roles und Occurrences) auch Information über die Topic Map selbst eingebettet werden (neben dem Model kann also auch das Meta-Modell abgebildet werden). Die Information umfasst Angaben über die in der jeweiligen Topic Map existierenden Kategorien von Topics, Topic Names, Associations, Roles und Occurrences. Hinsichtlich der Repräsentation dieser Information sind zwei Ansätze zu unterscheiden, von denen der erste bei Kategorieangaben von Topics zum Einsatz kommt, der andere bei Kategorieangaben jeder anderen Art von Information. Allen Kategorien ist gemein, dass sie selbst wiederum als Topics repräsentiert werden und auch als solche verwendet werden können. Es ist also möglich, zu einem Topic, das als Kategorie verwendet wird, selbst wiederum eine Kategorie anzugeben, wodurch die Einführung beliebig vieler Meta-Ebenen möglich ist. Außerdem können als Kategorien verwendete Topics ebenfalls wieder mit Associations verknüpft und mit Occurrences versehen werden. Hinsichtlich der Nomenklatur ist noch darauf hinzuweisen, dass Kategorien im Allgemeinen als „Types“ bezeichnet werden, man also von „Topic Types“, „Topic Name Types“, „Association Types“, „Role Types“ und „Occurrence Types“ spricht.

Topic Types

Topic Types werden in einer Topic Map durch ein spezielle, im Standard festgelegte Association definiert. Soll einem Topic ein Type zugewiesen werden, muss eine Association der Kategorie „type-instance“ eingefügt werden, bei der das Topic selbst die Role „instance“ einnimmt und dem Topic, das die Kategorie repräsentiert, die Role „type“ zugewiesen wird. Diese Beziehung entspricht einer Konkretisierung einer (abstrakten) Kategorie oder Klasse von Topics auf eine bestimmte Instanz, die die Merkmale dieser Klasse trägt. In Abbildung 9.6 besteht eine type-instance-Beziehung (dort als „instance-of“ bezeichnet) zwischen der Kategorie „VW Golf“ und der konkreten Instanz „SR-174 AU“ (also einem Topic, bei dem das amtliche Kennzeichen als Topic Name verwendet wurde). „VW Golf“ fungiert hier also als Topic Type, wobei es selbst ein Topic ist, das sich durch nichts als die eingenommene „type“-Rolle von einem anderen Topic unterscheidet und dementsprechend behandelt werden kann.

⁵Uniform Resource Identifiers

⁶wie in RFC 3986 definiert und unter <http://www.ietf.org/rfc/rfc3986.txt> abzurufen

Einem Topic können beliebig viele Topic Types zugewiesen werden, indem es in mehr als einer Association die Rolle „instance“ einnimmt. Es wird so als mehreren Kategorien zugehörig gekennzeichnet. Umgekehrt kann ein Topic Type mehr als einem Topic zugewiesen werden, indem das betreffende den Topic Type repräsentierende Topic die Rolle „type“ mehrfach einnimmt.

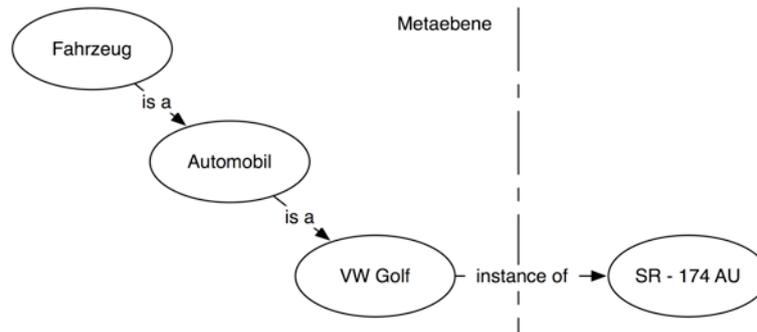


Abbildung 9.6.: Beziehungen in der Metamodellbildung in Topic Maps

Auch ist es möglich, Hierarchien von Types zu bilden, indem einem Topic, das als Topic Type fungiert, selbst wieder ein Topic Type zugewiesen wird. Diese Möglichkeit ist jedoch mit Vorsicht zu gebrauchen, da zur Abbildung der Struktur einer Domäne ein semantisch ähnliches, bei näherer Betrachtung aber eine unterschiedliche Bedeutung tragendes Konstrukt zum Einsatz kommt. Grundsätzlich muss unterschieden werden, ob ein Topic eine konkrete Instanz eines anderen ist oder lediglich eine Spezialisierung darstellt. Im ersteren Fall kommt eine „type-instance“ zum Einsatz, das übergeordnete Topic befindet sich semantisch auf einer anderen, abstrakteren Ebene und stellt eine Kategorie (also einen Topic Type) dar. Im Falle einer Spezialisierung kommt eine „supertype-subtype“-Association zum Einsatz, deren Rollen „supertype“ vom übergeordneten, allgemeineren bzw. „subtype“ vom untergeordneten, spezielleren Topic eingenommen wird. Hier befinden sich beide Topics semantisch auf einer Ebene, keines ist abstrakter als das andere. Der Unterschied liegt vielmehr in der mehr oder weniger konkreten Festlegung der durch die Topics repräsentierten Subjects. So ist – wie in Abbildung 9.6 dargestellt – das Topic „VW Golf“ ein Subtype des Topics „Automobil“ welches wiederum ein Subtype des Topics „Fahrzeug“ ist. Hier ist erkennbar, dass „Automobil“ insofern eine Spezialisierung von „Fahrzeug“ ist, als dass es im Allgemeinen motorisiert ist und vier Räder besitzt. „VW Golf“ ist wiederum eine Spezialisierung von Fahrzeug, die hinsichtlich der Form der Karosserie, der Anzahl der Türen und anderen Merkmalen mehr spezialisiert. Zwischen keinem der Topics findet jedoch eine Konkretisierung in dem Sinne statt, als dass auf der untergeordneten Seite von einem konkreten, real existierenden Fahrzeug die Rede wäre – dazu ist die „type-instance“-Beziehung zu verwenden. Die „subtype-supertype“-Beziehung ist transitiv, d.h. dass ein „VW Golf“ nicht nur ein „Automobil“

ist, sondern auch ein „Fahrzeug“. Für „type-instance“-Beziehungen ist diese Eigenschaft nicht gegeben.

Andere Types

Bei allen anderen Types (konkret also Topic Name Types, Association Types, Role Types und Occurrence Types) wird die Kategorie nicht durch eine separate Association abgebildet, sondern durch eine im jeweiligen Informationselement enthaltene Referenz auf ein Topic, das als Type fungiert. Die Darstellung der Kategorie-Information ist damit nicht so explizit wie bei Topic Types, wo sich direkt in der Repräsentation der eigentlichen Nutzinformation niederschlägt. Auch semantisch sind die hier behandelten Types gegenüber Topic Types insofern eingeschränkt, als dass jedem Element exakt ein Type zugeordnet sein muss (der Type kann also nicht leer sein, auch können nicht mehrere Types zugeordnet werden). Wie oben bereits erwähnt, sind Topic Types hier flexibler, einem Topic können beliebig viele oder auch keine Topic Types zugeordnet werden. Dies ist aber nur vordergründig eine Einschränkung. Topics dürfen wie oben beschrieben für jedes Subjekt nur einmal existieren. Hat aber ein Subject und damit ein Topic in unterschiedlichen Domänen unterschiedliche Bedeutungen, muss dies über mehrere Topic Types (in Verbindung mit Scopes, siehe Abschnitt 9.1.5) abgebildet werden. Alle anderen Informationskategorien in der Topic Map unterliegen nicht dieser Eineindeutigkeitsregel und können bzw. müssen, sollten sie unterschiedlichen Kategorien zuzuordnen sein, auch mehrfach vorhanden sein. Eine Assoziation, die einen anderen Namen trägt (also einer anderen Kategorie angehört) ist beispielsweise nicht identisch mit der ursprünglichen Assoziation, deren Name ebenfalls bereits durch die Zuordnung zu einer Kategorie festgelegt wurde.

Modellieren von Einschränkungen

Der Topic Map Standard erlaubt zwar die Angabe von Metamodellelementen (Types), ermöglicht es aber nicht, Regeln anzugeben, anhand derer der semantisch korrekte Aufbau einer Topic Map geprüft werden. Es ist beispielsweise möglich, einen Association-Type „hat Mitglieder“ zu definieren, der mittels den Roles „Organisationseinheit“ und „Mitarbeiter“ die Zuordnung von Mitarbeitern zu den Organisationseinheiten eines Unternehmens zuzuordnen. Es ist jedoch in der Topic Map nicht möglich zu spezifizieren, dass beispielsweise mindestens drei Mitarbeiter zugeordnet werden müssen oder dass es in dieser Beziehung nur eine Organisationseinheit geben darf. Weiters kann nicht spezifiziert werden, durch Topics welchen Types die jeweiligen Roles eingenommen werden dürfen – beispielsweise ist eine Zuordnung von Produktionsmitteln in der Role „Mitarbeiter“ zulässig bzw. kann sie nicht als unzulässig gekennzeichnet werden.

Ist eine derartige semantische Einschränkung bei der Topic Map Erstellung und die Einführung verbindlicher Strukturvorgaben notwendig, so muss dies außerhalb der To-

pic Map oder durch externe Interpretation spezifischer Topic Map Elemente geschehen. In ersterem Fall kann die noch nicht in finalem Zustand vorliegende TMCL (Topic Map Constraint Language, (ISO JTC1/SC34, 2008)), eine Regelsprache zur Einschränkung der Repräsentationsmöglichkeiten in einer Topic Map, verwendet werden (vgl. dazu Mayrhauser (2010)). Im zweiten Fall können die Metamodell-Elemente (also alle Topics, die als Types verwendet werden) durch zusätzliche Associations verknüpft werden, die semantisch so interpretiert werden, dass sie eine zulässige Kombination von Topics der jeweiligen Kategorie anzeigen (vgl. dazu (Oppl, 2007a) und (Neubauer, 2008)).

9.1.5. Statements und Scopes

Topic Maps bieten die Möglichkeit, Gültigkeitsbereiche für die in ihnen abgebildeten Informationen zu spezifizieren. Ein Gültigkeitsbereich definiert, in welchem Kontext eine Information gültig ist. Außerhalb dieses Kontextes kann über die Gültigkeit keine Aussage getroffen werden. Der Gültigkeitsbereich wird als „Scope“ bezeichnet. Ein Scope kann für jedes „Statement“ in der Topic Map gesetzt werden. Statements sind alle „Aussagen“ über Topics, die in der Topic Map abgebildet werden, nicht aber Topics selbst. Als Statement werden Topic Names, Associations und Occurrences betrachtet. Roles und Variants besitzen keinen Scope, da sie keine direkte Aussage über Topics treffen, sondern nur im Zusammenhang mit Associations bzw. Topic Names existieren, deren Scope sich quasi auf sie vererbt.

Ein Scope für ein Statement wird durch die Angabe eines oder mehrerer Topics festgelegt. Wird kein Topic angegeben, so gilt der „unconstrained scope“, das Statement ist unbeschränkt gültig. Topics zur Abbildung von Scopes können explizit angelegt werden (z.B. Topics „Deutsch“ und „Englisch“, die Sprach-Scopes ermöglichen, Topics „Zoologie“ und „Sozialverhalten“ zur Domänenabgrenzung – siehe Abbildung 9.7), es ist jedoch grundsätzlich auch möglich, die Gesamtheit der Topics einer Domäne zur Definition eines betreffenden Scopes heranzuziehen (also alle in der Topic Map vorhandenen Topics, die Tiere repräsentieren, als Scope zu verwenden, um den Gültigkeitsbereich „Zoologie“ abzubilden). Obwohl der Topic Map Standard hier explizit offen bleibt, ist jedoch erstere Variante wegen der einfacheren Verwaltbarkeit aber auch der semantischen Vollständigkeit wegen besser geeignet (das Konzept „Zoologie“ käme ansonsten z.B. nicht notwendigerweise vor, sondern ist nur implizit vorhanden, was eine Auswertung schwierig macht).

Wird mehr als ein Topic angegeben, so bilden alle Topics gemeinsam den Kontext, indem das Statement gültig ist. Bei der Auswertung des Gültigkeitsbereichs müssen also alle angegebenen Topics relevant sein, damit ein Statement gültig ist. Ein Statement dessen Scope die Topics „Zoologie“ und „Deutsch“ enthält, ist also nur gültig, wenn beide Topics zutreffen (also z.B. zur Filterung ausgewählt wurden). Die gültigen Statements sind also die Schnittmenge jener der Statements, die im Scope „Zoologie“ und im

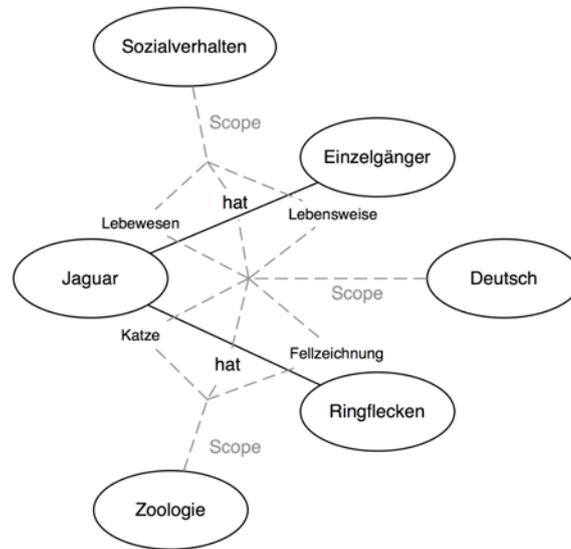


Abbildung 9.7.: Abbildung von Gültigkeitsbereichen durch Scopes

Scope „Deutsch“ gültig sind (siehe Abbildung 9.7). Die Angabe eines Scopes zu einem Statement, das in beiden Scopes (unabhängig voneinander gesehen) gültig sein soll, ist nicht direkt möglich. In diesem Fall muss das Statement zweimal jeweils unter Angabe eines der beiden Scopes eingefügt werden.

Für Topics selbst kann kein Scope angegeben werden. Das ist hinsichtlich des Topic Maps zugrunde liegenden Konzepts auch nicht sinnvoll, da Topics immer ein Phänomen der realen Welt, das Subject, repräsentieren, das selbst immer vorhanden ist und dessen Gültigkeit bzw. Existenz nicht von anderen Rahmenbedingungen, wie anderen Subjects, abhängt. Dementsprechend existiert ein Topic immer, lediglich seine Bezeichnung, die Beziehungen zu anderen Topics oder seine Occurrences können abhängig vom einem Scope unterschiedlich sein.

9.1.6. Reification

Wie bereits zu Beginn angeführt, können in einer Topic Map beliebige Inhalte abgebildet werden, jegliche Phänomene der realen Welt können durch Topics repräsentiert werden. Konsequenterweise können nun auch Elemente der Topic Map selbst oder sogar die Topic Map an sich durch ein Topic dargestellt werden. Eine derartige selbstbezügliche Abbildung wird als „Reification“ bezeichnet. Der Ausgangspunkt für eine Reification kann ein Statement sein oder eine Topic Map selbst. Topics können nicht verwendet werden, da ein sie repräsentierendes Topic semantisch äquivalent mit dem Ausgangspunkt wäre und damit zwei Topics vorhanden wären, die das gleiche Subject referenzieren. Nach-

dem die Abbildung zwischen Subject und Topic eineindeutig sein muss, ist ein derartiges Konstrukt nicht erlaubt.

In Abgrenzung zur Types (Association Types, Occurrence Types, ...) repräsentiert ein reifizierendes Topic nicht die Kategorie eines Elements, sondern das konkrete Element selbst. Es ist so möglich, einem konkreten Element wie einer Association zusätzliche Information hinzuzufügen (etwa eine Occurrence) oder auch eine bestehende Topic Map als Ganzes zu kapseln und durch das sie reifizierende Topic Bezug zu nehmen.

9.1.7. Merging

Unter „Merging“ versteht man die Vereinigung zweier voneinander getrennter Topic Maps zu einer gemeinsamen Map. Dabei ist vor allem die Eineindeutigkeitsregel zu beachten, für ein Subject darf also in der resultierenden Topic Map nur ein Topic existieren. Strukturell nicht kritisch, jedoch die Verwendbarkeit einschränkend, sind mehrfach auftretende semantisch identische Statements. Soweit möglich, sollten auch diese Duplikate im Merging-Prozess entfernt werden.

Der Topic Map Standard definiert für jede Art von Element Regeln, anhand der festgestellt werden kann, ob zwei Elemente dieser Art identisch sind oder nicht. Ausgangspunkt sind immer die Topics, wobei beim Vergleich ausschließlich vom abgebildeten Subject ausgegangen werden muss. Sind die Subjects identisch, sind im Wesentlichen auch die beiden Topics identisch und können durch ein gemeinsames Topic ersetzt werden. Auf Basis der vereinigten Topic Menge werden nun die enthaltenen Statements verglichen. Damit Statements als identisch erkannt werden, müssen nicht nur ihr eigentlicher Inhalt, sondern auch ihre Kategorie (Type), ihr Gültigkeitsbereich (Scope) und das/die ihnen zugeordnete(n) anderen Element(e) identisch sein. Eine Role ist also nur dann mit einer anderen Role identisch, wenn ihr Type, ihr Scope, die Association, der sie angehört und das referenzierte Topic identisch ist. Daraus folgt, dass in der Merging-Reihenfolge zuerst die Topics, dann die eigenständigen Statements wie Topic Names, Associations und Occurrences und letztendlich die abhängigen Statements wie Roles und Variants behandelt werden müssen.

9.2. Abbildung von Modellen auf Topic Maps

Diagrammatische Modelle (siehe etwa Oppl und Stary, 2005) können direkt ohne zusätzliche Transformationen auf Topic Maps abgebildet werden. Derartige Modelle bestehen aus Knoten und Kanten, die Verwendung dieser im konkreten Anwendungskontext ist durch die Modellierungssprache festgelegt. In den folgenden Abschnitten wird nun beschrieben, wie die einzelnen Aspekte eines diagrammatischen Modells auf eine Topic Map abgebildet werden können.

9.2.1. Grundlegende Abbildung

Ein Ansatz, um diagrammatische Modelle auf Topic Maps abzubilden, ist, die Knoten auf Topics, die Kanten auf Associations abzubilden (siehe Abbildung 9.8, Variante 1). Ist in den Kanten mehr Information als die bloße Anzeige der Verbindung von zwei Knoten abgebildet (wie z.B. in UML⁷ State Charts (Rumbaugh et al., 2004), bei denen die zu einem Zustandsübergang führenden Ereignisse inkl. Bedingungen und ablaufende Aktionen in den Kanten repräsentiert werden), so kann es sinnvoll sein, auch die Kanten auf Topics abzubilden, da diesen auf dem Wege der Occurrences zusätzliche Information zugewiesen werden kann (siehe Abbildung 9.8, Variante 2). Associations können in diesem Fall verwendet werden, um die Knoten und Kanten des Modells zu verbinden, spielen also in der Repräsentation der Information nur noch eine untergeordnete Rolle. Ein Weg, die direkte Abbildung beizubehalten (indem Knoten auf Topics und Kanten auf Associations abgebildet werden) ist, zur Repräsentation der zusätzlich in den Kanten liegenden Information die Möglichkeit der Reification zu nutzen, den Associations also Topics zuzuweisen, die genutzt werden können, um diese zusätzliche Information zu verwalten (siehe Abbildung 9.8, Variante 3).

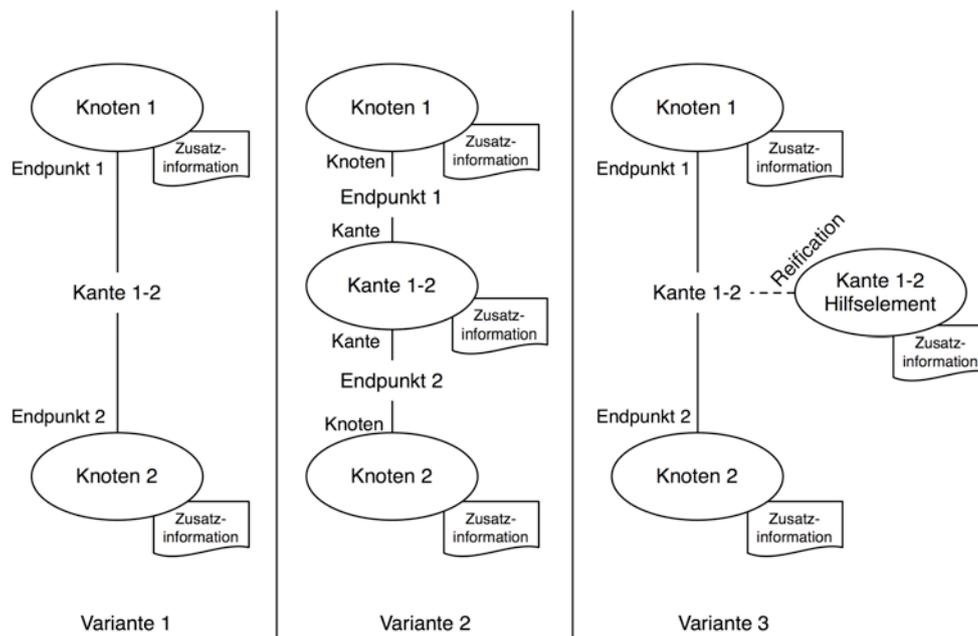


Abbildung 9.8.: Abbildung von Modellinformation in Topic Maps

Die Bedeutung der Knoten des abzubildenden Modells im Kontext einer bestimmten Kante muss in den direkt abbildenden Varianten (in denen Kanten auf Associations

⁷Unified Modelling Language

abgebildet werden) durch Roles dargestellt werden. In der indirekten Abbildung (bei der Kanten auf Topics abgebildet werden) kann diese Information auch in den Associations repräsentiert werden, die die Topics, die Knoten darstellen und jene, die Kanten darstellen, miteinander verbinden.

9.2.2. Abbildung des Metamodells

Da Topic Maps von vorneherein nicht auf eine bestimmte semantische Bedeutung der Topics und Associations festgelegt sind, muss auch das Meta-Model der abgebildeten Modellierungssprache mit eingebettet werden. Dies wird in Topic Maps durch die Einbindung von Types ermöglicht. In den nun folgenden Ausführungen wird nur noch auf die direkt abbildende Variante Bezug genommen, da deren Ausdrucksstärke durch die Möglichkeit zur Reification gegenüber dem indirekt abbildenden Ansatz nicht eingeschränkt ist und die unmittelbare Abbildung zu insgesamt kleineren, einfacher zu verwaltenden Topic Maps führt (für eine Kante wird nur eine Association benötigt, im Gegensatz dazu benötigt der alternative Ansatz ein Topic und mindestens zwei Associations zu Abbildung einer Kante).

Die in der Modellierungssprache festgelegten Arten von Knotentypen (also den eigentlichen Modellierungselementen) werden auf Topic Types abgebildet. Durch die Referenzierung eines einen Knoten repräsentierenden Topics auf diesen Topic Type wird die Bedeutung zugewiesen.

Ebenso wird mit Kanten verfahren. Durch die Einführung von Topics, die als Association Types und Role Types fungieren, kann die Bedeutung einer Kante im abzubildenden Modell definiert werden. Dazu wird ein Association Type festgelegt, der die eigentliche Bedeutung der Kante festlegt, die zugehörigen Role Types definieren, wie viele Endpunkte existieren und welche Bedeutung diese haben. Für eine konkrete Kante wird dann eine Association und eine der Anzahl der Endpunkte entsprechende Nummer an Roles erstellt, denen der jeweilige Association bzw. Role Type zugewiesen wird.

Die Verwendung von Occurrences und dementsprechend die Erstellung von Occurrence Types ist zur reinen Abbildung von diagrammatischen Modellen nicht notwendig. Die Verwendung von Occurrences kann aber sinnvoll sein, wenn aus dem ursprünglichen Modell ebenfalls Ressourcen referenziert werden, die für die weitere Verarbeitung des Modells notwendig sind. Occurrences werden dann im Sinne der Topic Map zur Referenzierung dieser Ressourcen verwendet, wobei sich die zu verwendenden Occurrence Types an der Bedeutung der Ressourcen im abzubildenden Modell orientieren.

Wie in Abschnitt 9.1.4 bereits beschrieben, bietet die Topic Map selbst keine Möglichkeit, eine explizite Zuordnung zwischen Topic Types, Association Types und Role Types zu definieren, so dass ein in einer Topic Map repräsentiertes Modell auf semantische Korrektheit hin überprüft werden könnte. Die einzige ohne zusätzliche Information

überprüfbar sind ist die Prüfung, ob alle Knoten und Kanten (also Topics, Associations und Roles) einer Kategorie (also einem Type) zugewiesen wurden.

Es muss also zusätzlich eine externe Möglichkeit geschaffen werden, semantische Korrektheits-Bedingungen zu formulieren und zu überprüfen. Dies umfasst im Einzelnen:

1. Zulässige Kategorien von Knoten (Topic Types)
2. Zulässige Kategorien von Kanten (Association Types, Role Types und eine Zuordnung zwischen diesen, die eine Aussage über die Anzahl und Bedeutung der Endpunkte der Kante zulässt)
3. Zulässige Verbindungen zwischen Knoten und Kanten (Zuordnung zwischen Endpunkten einer Kantenkategorie und den Knotenkategorien, die diese Endpunkte belegen dürfen – also eine Zuordnung zwischen Role Types und Topic Types)

Wie bereits oben beschrieben, können derartige Bedingungen innerhalb oder außerhalb der Topic Map formuliert werden. Die Interpretation der formulierten Bedingungen und deren Anwendung auf konkrete Anwendungsfälle muss immer von außerhalb der Topic Map durchgeführt werden. In dieser Arbeit wird der Ansatz der Repräsentation der Bedingungen innerhalb der Topic Map verfolgt, um durch die Übermittlung einer Topic Map nicht nur ein Modell an sich zu übertragen, sondern auch jene Information zu liefern, die zur Interpretation derselben notwendig ist.

Die Formulierung der Bedingungen erfolgt auf Ebene der als Types eingesetzten Topics und vervollständigt so das in der Topic Map enthaltene Meta-Modell der Sprache, in der das zu repräsentierende Modell erstellt wurde. Die Information über zulässige Knoten und Kanten wird über die Festlegung von entsprechenden Types definiert. Für jeden Typen wird ein Topic eingeführt, das aus dem auf die Topic Map abgebildeten Modell referenziert werden kann. Alle oben notwendigen Zuordnungen zwischen diesen Types werden über Associations abgebildet, die die als Types verwendeten Topics verbinden (siehe Abbildung 9.9).

Die Definition der Kantentypen erfolgt über eine Association mit mindestens drei Roles. Eine dieser Roles referenziert den Association Type, die anderen Roles verweisen auf die zu verwendenden Role Types, die zur Beschreibung der Endpunkte der Kante verwendet werden (wovon mindestens zwei vorhanden sein müssen). Die Angabe der Kardinalität (d.h. wie oft ein bestimmter Endpunkt im konkreten Modell auftreten darf) wird durch ein die jeweilige Role reifizierendes Topic festgelegt.

Ähnlich wird die Zuordnung zwischen Endpunkten und Knotenkategorien realisiert. Zwischen den entsprechenden Topic Types und Role Types werden Associations erstellt, die festlegen, ob eine bestimmte Knotenkategorie einen Endpunkt einnehmen darf oder nicht. Dazu enthält die betreffende Association mindestens zwei Roles, von denen eine auf den Role Type verweist, der den Endpunkt realisiert und eine entsprechende Anzahl von Roles, an die die zulässigen Topic Types (also Knotenkategorien) angebunden werden.

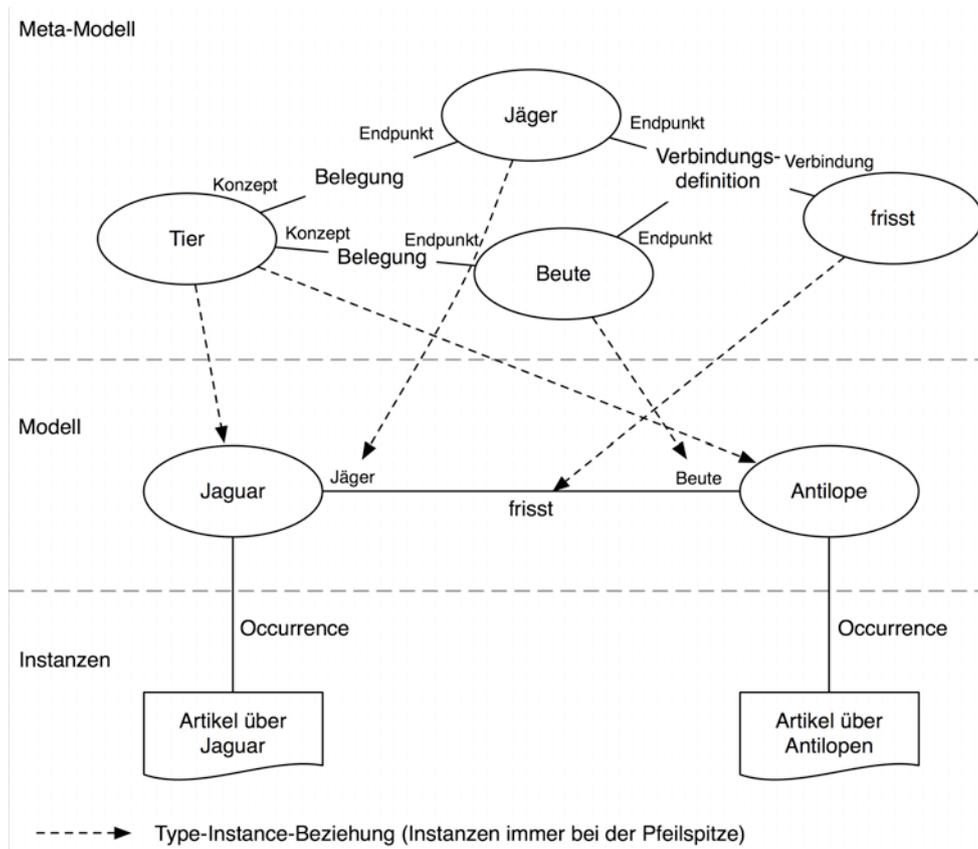


Abbildung 9.9.: Definition des Meta-Models (ohne Kardinalitäten)

Die eben beschriebenen Abbildungsvorschriften selbst werden ebenfalls in der Topic Map abgebildet. Die Topic Map enthält damit auch das Meta-Meta-Modell, das die Elemente festlegt, die zur Festlegung eines Meta-Modells und deren Zusammenspiel notwendig sind. Eine so definierte Topic Map ist also semantisch vollständig definiert und ermöglicht eine Rekonstruktion eines Modells, das in einer im Vorfeld unbekannten Sprache modelliert wurde, sofern lediglich das Meta-Meta-Modell bekannt ist, das zur Interpretation der Sprachbeschreibung (Meta-Modell) notwendig ist (siehe Abbildung 9.10).

9.2.3. Abgrenzung von Submodellen

In einem Modell kann es sinnvoll oder notwendig sein, unterschiedliche Modellbereiche voneinander abzugrenzen. Der Grund für die Abgrenzung kann ein inhaltlicher sein (z.B. eine Partitionierung nach Akteuren bei Aktivitätsdiagrammen (Rumbaugh et al., 2004)) oder aus dem Modellierungsvorgang heraus motiviert sein (etwa bei der Abgrenzung von Teilmodellen, die durch verschiedene Personen erstellt wurden). Außerdem ist es möglich, in einer Topic Map mehrere Modelle zu repräsentieren, die ebenfalls voneinander abgegrenzt werden müssen.

Für diese Abgrenzung bietet sich die Verwendung von Scopes an. Scopes haben zwar keinen Einfluss auf die vorhandenen Topics, wirken jedoch auf die Statements und – hier relevant – vor allem auf die die Topics verbindenden Associations. Werden also Scopes eingesetzt, um Teilmodelle voneinander zu unterscheiden bzw. zu trennen, so können die im Moment nicht relevanten Teilmodelle zwar nicht „ausgeblendet“ werden (im Sinne von „temporär vollkommen entfernt“), durch die Entfernung der nicht relevanten Statements sind jedoch nur noch jene Topics untereinander verbunden, die dem aktuell betrachteten Submodell angehören. Ausgehend von einer beliebigen, im Scope gültigen Association oder einem Topic, das bekannterweise dem aktuellen Teilmodell angehört, kann so der gesamte relevante Teil der Topic Map erschlossen werden.

Die Realisierung der Trennung zwischen Teilmodellen durch das Ausblenden irrelevanter Verbindungen zwischen Topics birgt einen weiteren potentiellen Vorteil. Werden in einer Topic Map mehrere untereinander zusammenhängende Modelle abgebildet, so wird – der Grundforderung einer Topic Map nach Eineindeutigkeit entsprechend – jedes Element nur einmal abgebildet, egal ob es in nur einem Modell verwendet wird oder in mehreren. Durch den Einsatz von Scopes bilden in mehreren Modellen verwendete Elemente automatisch eine Schnittstelle, an der zwischen den Modellen navigiert werden kann. Dieser Vorteil muss in herkömmlichen Modellierungsansätzen, die wie die UML (Rumbaugh et al., 2004) oder ARIS (Scheer, 2003) mit mehreren untereinander verknüpften Modellen arbeiten, technisch durch explizite Verknüpfung bzw. Referenzierung der äquivalenten Modellelemente in den unterschiedlichen Modellen erzeugt werden.

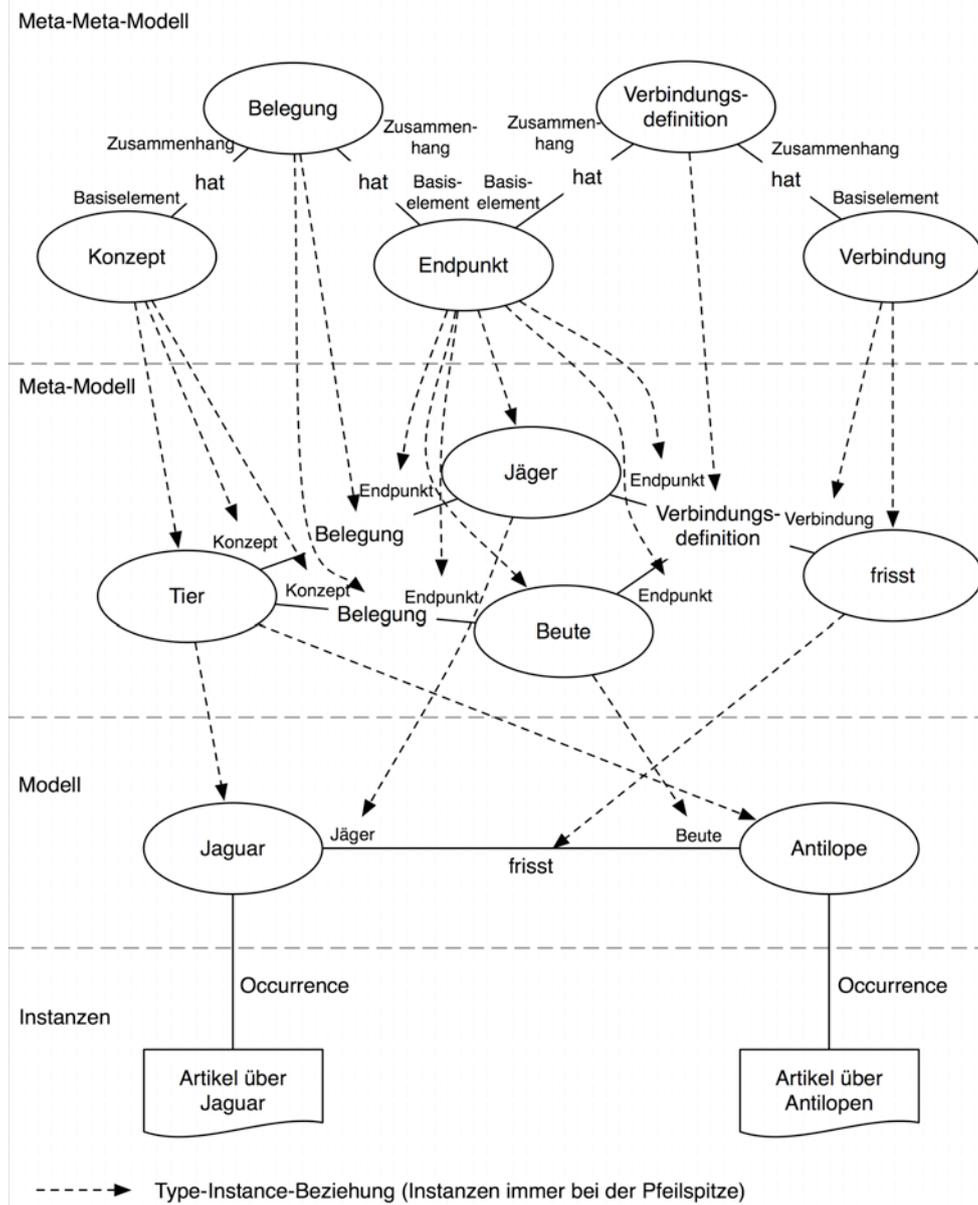


Abbildung 9.10.: Einbindung des Meta-Meta-Modells

Zur Kennzeichnung des Scopes muss zumindest ein Topic verwendet werden. Im Meta-Modell muss festgelegt werden, ob dazu ein Topic eines bestehenden Types verwendet wird oder ein neuer Type eingeführt werden, dessen Topics ausschließlich zum Aufspannen eines Scopes verwendet werden. Dazu wird im Meta-Meta-Modell ein Type „Partition“ eingeführt, der für alle Elemente des Meta-Modells verwendet werden muss, deren konkrete Instanzen einen Scope im Modell kennzeichnen sollen.

9.2.4. Flexibilisierung der Abbildung

Wie in Kapitel 5 beschrieben, ist das Meta-Modell von Modellen, die im vorgestellten Ansatz entstehen, nicht im Vorhinein festgelegt. Die Modellierungssprache – also das Meta-Modell – wird während der Modellbildung semantisch definiert und ist damit erst zur Modellierungszeit bekannt. Das Metamodell kann außerdem während der Modellierung erweitert werden, es ist auch möglich, dass sich die Bedeutung bereits existierender Meta-Modell-Elemente ändert.

Für die Persistierung bedeutet dies, dass das Meta-Modell nicht im Vorhinein, sondern erst zum Zeitpunkt der Speicherung festgeschrieben werden kann. Außerdem kann die Prüfung auf semantische Korrektheit des Modells ebenfalls nur durchgeführt werden, sobald das Modell definiert ist.

Um die geforderte Flexibilität bei der Sprachdefinition in Form und Zeitpunkt zu gewährleisten, wurde von Neubauer (2008) ein System entwickelt, das es erlaubt, dynamisch zur Laufzeit Modellelemente zu definieren, die Regeln zu deren Verwendung festzulegen und diese ohne Unterbrechung des Modellierungsvorgangs unmittelbar zu verwenden (wobei auch die Prüfung der semantischen Korrektheit zur Laufzeit adaptiert wird). Die technische Umsetzung dieses Ansatzes wird in Abschnitt 9.3.2 beschrieben.

9.3. Technische Umsetzung der Persistierung von Modellen

Die oben beschriebenen Konzepte zur Persistierung von Modellen wurden wie die übrigen Software-Komponenten des Systems in Java implementiert. Die Basis der Persistenz-Komponente bildet eine Topic Map Engine, die im Rahmen einer Arbeit über flexible Content-Repräsentation vom Autor entwickelt wurde (Oppl, 2007a). Das von Neubauer (2008) entwickelte System zur Generierung und Verwendung dynamischer Metamodelle, das bereits in Abschnitt 9.2.4 konzeptuell beschrieben wurde, wird in der Folge hinsichtlich seiner technischen Umsetzung betrachtet. Basierend auf diesen beiden Komponenten wurde die eigentlichen Persistierung implementiert. Der dort verfolgte Ansatz ist Thema des letzten Teils dieses Abschnitts.

9.3.1. Topic Map Engine

Als Topic Map Engine bezeichnet man ein Software-Modul, mit dessen Hilfe Topic Maps verwaltet werden können und das oft auch Funktionalität zur Persistierung der Topic Map anbietet. Für den Topic Map Standard (ISO JTC1/SC34/WG3, 2008), der dieser Arbeit zugrunde liegt, war zum Zeitpunkt der Erstellung der Software nur eine derartige Engine vertrieben, die von Ontopia⁸ kommerziell vertrieben wurde und keine offenen Schnittstellen bot⁹. Zu diesem Zeitpunkt noch nicht für den verwendeten Topic Map Standard verfügbar war die Open-Source-Engine TinyTIM¹⁰, die auf Basis der ebenfalls erst seit einigen Monaten verfügbaren Topic Map API eine offene Schnittstelle zur Verwaltung von Topic Maps in Java anbietet und unterschiedliche Formate zur Persistierung und zum Import unterstützt.

Für diese Arbeit wurde mangels verfügbarer Alternativen eine eigene Topic Map Engine erstellt. Deren Funktionalität hier nur kurz umrissen werden soll. Die detaillierte Beschreibung der Implementierung und die allgemeine Verwendung der Engine sind in (Oppl, 2007a) beschrieben.

Die Topic Map Engine bildet die Komponenten einer Topic Map direkt auf Java Klassen ab. Zusätzlich zu den Klassen, die Topics und Statements repräsentieren, wird eine Management-Klasse verwendet, deren Instanzen jeweils für die Verwaltung einer abgeschlossenen Topic Map zuständig sind. Diese Management-Klasse ermöglicht das Hinzufügen und Entfernen von Topics und Statements sowie die Suche nach einzelnen Topics oder definierten Teilstrukturen (z.B. alle Topics die mittels einer bestimmten Assoziation mit einem gegebenen Topic in Beziehung stehen). Um die Suche zu beschleunigen, verwalten Management-Objekte Indizes bestimmter speziell verwendeter Topics, wie etwa Topics, die als Topic Types oder Association Types verwendet wurden.

Die Topic Map Engine bietet zur Persistierung ein Interface an, über welches Topic Maps auf der Engine exportiert werden können bzw. in die Engine geladen werden. Das Interface abstrahiert dabei von der konkreten Persistierungs-Technologie und erlaubt die Einbindung unterschiedlicher Ansätze zur Speicherung von Topic Maps.

Konkret wurden drei Implementierungen des Persistenz-Interfaces erstellt. Die erste Implementierung liest und schreibt Topic Maps von bzw. in im XTM¹¹-Format (ISO JTC1/SC34/WG3, 2006) spezialisierte XML-Dateien. So wird ein standardkonformer Datenaustausch zwischen Topic Map Engines ermöglicht. Die zweite Implementierung bindet die Topic Map Engine via Hibernate (Red Hat Middleware, 2007) an eine relationale Datenbank an. Im Gegensatz zur Speicherung in XML-Files ermöglicht die Ablage der

⁸<http://www.ontopia.com>

⁹mittlerweile wurde Ontopia als Open-Source-Software veröffentlicht, was jedoch für diese Arbeit keine Berücksichtigung mehr fand.

¹⁰<http://tinytim.sourceforge.net/>

¹¹XML Topic Map

Daten in einem RDBMS¹² einen effizienteren, selektiven Zugriff, sodass nicht unter allen Umständen die gesamte Datenbasis einer Topic Map im Arbeitsspeicher gehalten werden muss.

Die dritte Implementierung des Persistenz-Interfaces ermöglicht lediglich den Export einer Topic Map in ein von GraphViz (Ellson et al., 2002) interpretierbares Format, das eine graphische Darstellung der Topic Map mit automatische Anordnung der Topics ermöglicht. Da das GraphViz-Format jedoch nicht so ausdrucksstark ist wie der Topic Map Ansatz, geht beim Export Information verloren. Dadurch ist es nicht möglich, eine Topic Map aus einem GraphViz-File zu rekonstruieren, der Import in die Engine ist also nicht möglich.



Abbildung 9.11.: Ausschnitt einer mittels GraphViz visualisierten Topic Map

Zusätzlich zur Ausgabe der gesamten Topic Map ist das GraphViz-Export-Modul auch in der Lage, eine mittels HTML Imagemaps navigierbare Version der Topic Map zu exportieren, in der jeweils immer nur ein Topic mit dessen Kontext (also allen Topics, die mit dem zentralen Topic verbunden sind) dargestellt wird (siehe Abbildung 9.11). Durch die Imagemap werden die Kontext-Topics mit jenen an sichten verknüpft, wo

¹²Relationales Datenbank Management System

jeweils diese im Fokus der Betrachtung stehen. Damit ist eine schrittweise Navigation durch die Topic Map möglich.

9.3.2. Dynamische Metamodelle

Wie oben bereits beschrieben, ermöglichen Topic Maps die Einführung und Erweiterung von Meta-Modellen ohne besonders dafür ausgezeichnete Elemente. Dies ist einerseits hinsichtlich der Flexibilität der Verwendung ein Vorteil, andererseits ist die Handhabbarkeit von Topic Maps mit integrierten Metamodellen bereits auf Ebene der Softwareentwicklung nur bedingt gegeben, auf Ebene der Benutzer ist die Struktur kaum zu vermitteln.

Aus diesem Grund wurde bereits von (Oppl, 2007a) eine Abstraktionsschicht eingeführt, in der die Elemente des Metamodells auf Java-Klassen abgebildet wurden. Diese Klassen abstrahieren von der darunter liegenden Topic Map und zeigen zum Benutzer hin eine vom Metamodell abhängige, domänenspezifische Schnittstelle (und inkludieren z.B. Methoden, die zur Verknüpfung zweier Konzepte verwendet werden können, die im Metamodell festgelegt wurden). Auch auf dieser Ebene wurde wiederum eine Management-Klasse zur Verwaltung der (nun) domänenspezifischen Modelle eingeführt.

In der vorliegenden Arbeit ist jedoch aufgrund der dynamischen Herausbildung des Metamodells während des Modellierungsvorgangs die Verwendung von statischen Meta-Modellen bzw. deren Java-Repräsentationen nicht möglich. Von Neubauer (2008) wurde das zugrundeliegende System deshalb so erweitert, dass eine Veränderung der Meta-Modelle zur Laufzeit vorgenommen werden kann, wobei die Änderungen direkt und unmittelbar auf die verfügbaren Java-Klassen wirken. Zu diesem Zwecke wurde eine XML-basierte Beschreibungssprache definiert, mit der Meta-Modelle spezifiziert werden können. In einer weiteren Ausbaustufe ist angedacht, diese Repräsentation so in eine graphische Benutzungsschnittstelle zu kapseln, dass sie auch von Endanwendern benutzt werden kann. Aus diese XML-Repräsentation werden mittels Code-Generierung Java-Klassen erzeugt, die jenen entsprechen, die in der zugrunde liegenden Implementierung die Abstraktion auf Metamodell-Elemente abbilden. Diese Klassen werden wiederum zur Laufzeit mittels einem dafür implementierten Java-Classloader geladen und stehen damit der verwendenden Applikation zur Verfügung. Die Managementklassen wurden dementsprechend so erweitert und angepasst, dass sie mit dynamischen Metamodellen betrieben werden können und die zur Verwendung notwendige Meta-Information an höher liegende Software-Module weitergeben können.

9.4. Export graphischer Repräsentationen

Neben der Persistierung der Modelle in Form einer Topic Map ist es auch sinnvoll, die Modelle in deren graphischer Form als Referenz abzulegen. Das hier entwickelte Werkzeug bedient sich der graphischen Ausgabefunktionalitäten, die der Java Klassenbibliothek mit der Version 1.4 hinzugefügt wurden, um das aktuelle Modell in unterschiedlichen Formen als Grafik auszugeben und zur späteren Referenz zu speichern.

9.4.1. Ausgabeformen

Zur Speicherung der graphischen Repräsentation eines Modells wird grundsätzlich die Visualisierung verwendet, die auf dem sekundären Ausgabekanal (also dem Bildschirm) zur Anwendung kommt. Beim Export sind nun unterschiedliche Modellaspekte zu berücksichtigen, die je nach intendiertem Verwendungszweck einzeln oder in Kombination in die Ausgabe eingehen können. Diese Aspekte sind im Einzelnen

- der aktuell auf der Oberfläche befindliche Modellzustand
- die hierarchisch in diesen eingebetteten Submodelle
- die Modellierungshistorie, also die Entwicklung des Modells über die Zeit

Die Darstellung dieser Aspekte in einer graphischen Repräsentation ist (außer im erstgenannten Fall) insofern komplex, als dass eine beliebig lange zeitliche Abfolge bzw. eine beliebig tief verschachtelte Hierarchie in den zweidimensionalen Raum abgebildet werden muss. Im Falle einer Kombination des zweit- und drittgenannten Aspektes müssen zwei Dimensionen zugleich abgebildet werden, was die Darstellung zusätzlich erschwert.

Der aktuell auf der Oberfläche befindliche Modellzustand wird exakt wie am sekundären Ausgabekanal (Bildschirm) dargestellt in eine Grafik transformiert und als Bild abgespeichert. Zur Abbildung der Modellierungshistorie bietet sich an, die einzelnen gespeicherten Modellzustände chronologisch anzuordnen. Der sich so ergebende Zeitstrahl beginnt links oben und setzt sich von links nach rechts und oben nach unten bis in die rechte untere Ecke fort, wo wiederum der aktuelle Modellzustand dargestellt wird. Die zweidimensionale Abbildung des Zeitstrahls erfolgt dabei derart, dass sowohl die horizontale als auch die vertikale Ausdehnung des resultierenden Bildes minimal sind (siehe Abbildung 9.12).

Bei der Darstellung eines Modells mit hierarchisch geschachtelten Teilmodellen bietet sich eine baumartige Darstellung mit dem aktuellen Modellzustand als Wurzelknoten an. Diese ist aufgrund der notwendigen Detaildarstellung der einzelnen Modelle jedoch platzintensiv und kann nur schwer als physisches Dokument abgelegt werden. Deshalb wurde alternativ die hierarchische Struktur auf eine der Darstellung der zeitlichen Modellentwicklung ähnliche Darstellungsform abgebildet. Dabei wird die Hierarchie flach

9.4. Export graphischer Repräsentationen



Abbildung 9.12.: Modellierungshistorie als exportierte Grafik

ausgerollt, die Einbettungen zeigen sich durch einen graduell dunkler werdenden Modellhintergrund für tiefere verschachtelte Ebenen. Zusätzlich wird in jedes Submodell farblich abgesetzt auch das jeweilige Containerelement eingeblendet. Die Abfolge der einzelnen Modelle startet mit dem aktuellen Modellzustand als erstem Knoten. Dahinter wird das erste im aktuellen Modell eingebettete Teilmodell angezeigt. Besitzt dieses Teilmodell wiederum eingebettete Teilmodelle, so werden diese in der Folge mit erneut abgedunkeltem Hintergrund dargestellt. Diese Form der Darstellung wird fortgesetzt bis keine weiteren eingebetteten Modelle mehr vorhanden sind. Es folgt (sofern vorhanden) das zweite Submodelle des aktuellen Modellzustandes (mit dem abgedunkelten Hintergrund der ersten Einbettungsebene). Diese Hierarchie wird wiederum bis zu den Endpunkten nach unten verfolgt, es folgt ggf. das dritte Submodell auf der ersten Einbettungsebene. Die sich so ergebende Linie an Modellzuständen wird wie der chronologischen Darstellung der Modellierungshistorie so umgebrochen, dass sich sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung eine minimale Ausdehnung ergibt (siehe Abbildung 9.13).

In der komplexesten Ausprägung der Darstellung eines Modells als graphische Repräsentation werden sowohl die Historie der Modellentstehung als auch die Hierarchie der eingebetteten Submodelle zugleich dargestellt. Dies erfolgt hier durch die Kombination der beiden eben beschriebenen Ansätze. Die Darstellung der Modellierungshistorie bildet die oberste Ebene der Modelldarstellung. Beginnend mit dem ältesten gespeicherten Modellzustand werden die einzelnen Modelle in der Reihenfolge ihrer Entstehung abgebildet, wobei zu jedem Modellzustand unmittelbar folgend dessen eingebetteten Submodelle ausgegeben werden (deren Entstehung nicht mehr separat dargestellt wird). So ergibt sich eine kombinierte Linie aus chronologischer Modellentwicklung und eingebetteten Teilmodellen. Diese wird wie schon oben mit minimaler Ausdehnung in horizontaler wie vertikaler Richtung auf eine Grafik abgebildet. Die Entwicklung des Modells ist dabei wie gehabt von links oben nach rechts unten zu verfolgen, wobei nur jene Modellzustände mit weißem Hintergrund auf oberster Ebene der Zeitlinie angehören. Alle dunkler hinterlegten Modelle sind Teilmodelle und sind dem nach vorne nächstgelegenen weiß hinterlegten Modell zuzuordnen.

9.4.2. Technische Umsetzung des graphischen Exports

Zur Umsetzung des graphischen Exports wird auf die mit der Java Plattform in der Version 1.4 eingeführten Klassen zur Verarbeitung von Grafikformaten zurückgegriffen. Diese unterstützen standardmäßig gängige Grafikformate wie JPEG¹³, GIF¹⁴ oder PNG¹⁵. Im konkreten Fall wurde ein verlustfrei komprimierendes Format gewählt, verlustbehaftete

¹³Joint Photographic Experts Group (File Interchange Format)

¹⁴Graphics Interchange Format

¹⁵Portable Network Graphics

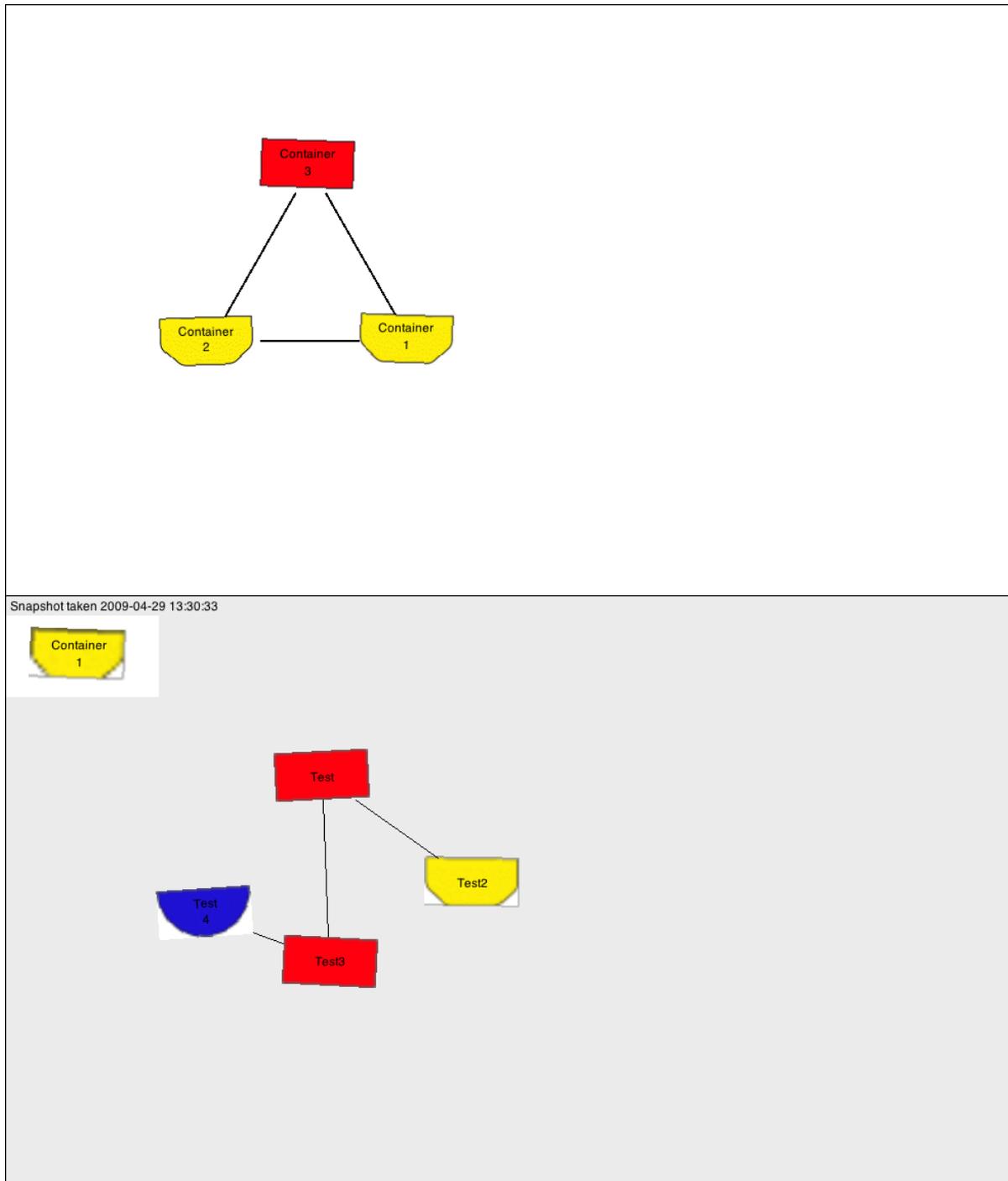


Abbildung 9.13.: Modell-Hierarchie als exportierte Grafik

Verfahren wie JPEG sind für die hier abzubildenden feinen Strukturen nicht geeignet, da es durch Kompressionsartefakte zu Qualitätsminderungen in der Darstellung von Details kommt.

Die Ausgabe einer Datei im gewählten Grafikformat wird vollständig von der Klasse `ImageIO` übernommen. Der Schnittstellen-Methode `write` sind als Parameter der Dateiname, das Grafikformat sowie ein Objekt der Klasse `BufferedImage` (allgemeiner: einer Klasse, die das Interface `RenderedImage` implementiert) zu übergeben, das die eigentlichen Bilddaten enthält.

Das `BufferedImage`-Objekt kann durch einen Methoden-Aufruf mit der graphischen Repräsentation einer Klasse, die von der Java AWT¹⁶-Klasse `Component` abgeleitet ist, befüllt werden. Da alle graphischen Komponenten des JHotDraw-Frameworks Subklassen eben dieser Klasse sind (inklusive der Zeichenoberfläche selbst), können diese durch einen Aufruf ihrer `paint`-Methode in ein ausreichend großes `BufferedImage` (bzw. dessen `Graphics`-Objekt) geschrieben werden.

In den aus mehr als einem Teilmodell bestehenden Ausgaben (also der Historie, der hierarchischen Darstellung der Teilmodelle oder der Kombination dieser beiden Fälle) muss das Bild aus den graphischen Repräsentationen der einzelnen Teilmodelle zusammengesetzt werden. Dazu werden (im Falle der hierarchischen Teilmodelle rekursiv) die logischen Modelle erzeugt und bereits in der korrekten linearisierten Darstellungsform in einem `Vektor` gespeichert. Die einzelnen logischen Modelle werden dann in graphische Repräsentationen umgewandelt und in je einem `BufferedImage` gespeichert. Diese werden in der Folge so zusammengesetzt, dass die horizontale und vertikale Ausdehnung der Gesamtfläche minimal ist.

9.5. Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde auf die Umsetzung der Forderung nach persistenter Ablage der erstellten Modelle eingegangen. Um eine vollständige Abbildung der flexibel strukturierten Information gewährleisten zu können, wurde eine auf ISO Topic Maps basierende Speicherung verwendet. Da sich deren Handhabung bereits bei wenig komplexen Modell-Strukturen als sehr aufwändig erweist, wurden zusätzlich Werkzeuge zur Generierung und Verwaltung implementiert. Diese gehen auch speziell auf die Herausforderung der dynamisch veränderlichen Meta-Modelle ein und lösen diese durch den Einsatz von Codegenerierung und -deployment zur Laufzeit der Modellierungsapplikation.

Zusätzlich zu der vollständigen und automatisiert weiterverarbeitbaren Repräsentation durch Topic Maps kann auch eine graphische, für Anwender erfassbare Darstellung des erstellten Modells bzw. wahlweise auch dessen Entstehungsgeschichte erstellt werden.

¹⁶Abstract Window Toolkit

Diese entspricht im Wesentlichen der Darstellung auf der sekundären Oberfläche und wird als Grafikdatei ausgegeben.

Mittels dieser beiden Werkzeuge ist die weitere Verarbeitbarkeit der erstellten Modelle inklusive der Entstehungsgeschichte und aller zusätzlich festgelegter semantische Information gewährleistet, während gleichzeitig eine unmittelbare Dokumentation des Modellierungsergebnisses und -prozesses für Benutzer erfassbar ausgegeben werden kann.

9.5.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

In diesem Kapitel wird die konkrete Umsetzung des Werkzeugs behandelt. Hinsichtlich der globalen Zielsetzung tragen die hier dargestellten Inhalte also zur Beantwortung der Fragestellung 4 bei.

9.5.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die Inhalte dieses Kapitels werden erst in den Schlussbetrachtungen (Kapitel 15) wieder aufgegriffen. Die Persistierung selbst ist eine Anforderung an das Werkzeug, die erfüllt sein muss, deren Erfüllung aber nicht im Rahmen von Benutzertests, die Gegenstand von Teil III dieser Arbeit sind, geprüft werden muss.

Teil III.

Evaluierung des Instruments

Einleitung

Nach der nun erfolgten Beschreibung der Umsetzung des Werkzeugs wird in diesem Teil die Überprüfung der Verwendbarkeit des entwickelten Instruments und seiner Effekte behandelt. Ziel dieser Arbeit ist es, die effektive Durchführung explizite „Articulation Work“ zu unterstützen. Ziel dieses Teils ist, diese Anforderung hinsichtlich ihrer Erfüllung oder Nicht-Erfüllung zu überprüfen und damit die Beantwortung zweite in Kapitel 1 formulierte Forschungsfrage zu vervollständigen.

Wie in Kapitel 3 argumentiert, führt ein möglicher Weg zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ über die (kollaborative) Externalisierung mentaler Modelle. Die aus dieser Externalisierung resultierenden Strukturen sind ihrerseits diagrammatische Modelle. Die Qualität dieser Modelle ist vielschichtig bewertbar, im Kontext des hier verfolgten Verwendungszwecks sind aber einige Bewertungsdimensionen identifizierbar, die bei der Unterstützung von „Articulation Work“ relevant sind. Diese Dimensionen werden ebenfalls hinsichtlich ihrer Ausprägung im hier vorgestellten Werkzeug zu bewerten sein.

Letztendlich wird die Externalisierung mentaler Modelle technisch durch ein Tabletop Interface unterstützt. Auch die technische Umsetzung bzw. deren Verständlichkeit und Verwendbarkeit hat Auswirkungen auf den Erfolg der Externalisierung und damit der durchgeführten „Articulation Work“. Das Werkzeug selbst und seine Nutzung muss also ebenfalls untersucht und im Kontext der Anforderungen in dieser Arbeit bewertet werden.

Entsprechend dieser Ausführungen wurde die hier beschriebenen Untersuchung durchgeführt. Sie gliedert sich in drei Teile, die sich mit dem Werkzeug selbst, den erstellten Modellen und den Auswirkungen durchgeführten expliziten „Articulation Work“ auseinandersetzen. Die Struktur dieses Teiles spiegelt diese Aufteilung wieder. In Kapitel 10 wird das Werkzeug aus Sicht seiner Eigenschaften als Tabletop Interface theoretisch-konzeptuell betrachtet und aus den in diesen Bereich verfügbaren Analyse- und Beschreibungsframeworks mögliches Verbesserungspotential identifiziert. Kapitel 11 beschreibt die Grundlagen der empirischen Untersuchung, in der das hier entwickelte Werkzeug hinsichtlich seiner Verwendbarkeit und Wirkung untersucht wurde. In Kapitel 12 werden Design und Umsetzung jener Tests beschrieben, in denen die Benutzbarkeit und Verständlichkeit des Werkzeugs überprüft wurden. Die Überprüfung der Effekte des Werkzeugs beginnt im darauf folgenden Kapitel 13, in dem die erstellten Modelle und deren Entstehungsprozess Gegenstand der Betrachtung sind. Letztendlich wird in Kapitel 14 auf die Wirkung des Werkzeugs auf „Articulation Work“ und damit letztendlich auf die im jeweiligen Anwendungsfall zu erzielenden Effekte eingegangen.

10. Konzeptuelle Einordnung des Werkzeugs

An dieser Stelle erfolgt ein Rückgriff auf die in Abschnitt 6.4 beschriebenen konzeptuellen Beschreibungs-Ansätze für Tangible User Interfaces. Das in den letzten drei Kapiteln beschriebene Werkzeug wird hier im Lichte eben dieser Ansätze betrachtet und wo möglich mittels der vorgeschlagenen Schemata beschrieben. Damit werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits soll die Praxistauglichkeit der konzeptuellen Ansätze überprüft werden, indem sie auf ein aktuelles, im Vergleich zu den beispielhaft in den Artikeln angegebenen Systemen komplexes und funktional umfangreiches System angewandt werden. Andererseits soll durch die konzeptuelle Betrachtung des Werkzeugs dessen Design und die Umsetzung auf Inkonsistenzen geprüft werden und Potential für Verbesserungen des Werkzeugs identifiziert werden. Die hier abgeleiteten Potentiale werden in Kapitel 15 den Erkenntnissen aus der praktischen Evaluierung des Systems gegenübergestellt. So wird es möglich, auch die potentiellen Auswirkungen der Anwendung eines der hier vorgestellten konzeptuellen Ansätze bei der Konzeption und Umsetzung eines TUI zu betrachten. Abbildung 10.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

Dieses Kapitel folgt im Aufbau der Struktur des Abschnitts 6.4 und betrachtet in der Folge jeden der vorgestellten Ansätze in einem separaten Abschnitt. Dabei werden jeweils die Konzepte des Ansatzes auf das Werkzeug angewandt (Unterabschnitt „Abbildung“) und in der Folge die Erkenntnisse über die Eignung des Ansatzes und mögliches Verbesserungspotential des Werkzeugs angeführt (Unterabschnitt „Bewertung“). Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse hinsichtlich der beiden oben formulierten Ziele.

10.1. Einordnung in den Bricks-Designraum

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Fitzmaurice et al., 1995), der in Abschnitt 6.4.1 beschrieben wird.

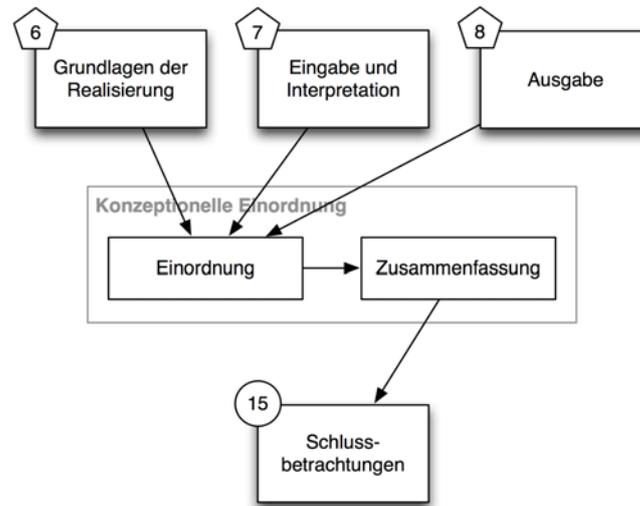


Abbildung 10.1.: Kapitel „Konzeptuelle Einordnung“ im Gesamtzusammenhang

Abbildung

Aus den Erfahrungen mit der Erstellung des „Bricks“-Systems leiten Fitzmaurice et al. (1995) einen „Design Space“ ab, der 13 Merkmale definiert, die bei der Konzeption eines TUI beachtet werden sollten bzw. die sich zum strukturierten Vergleich von TUIs eignen. Neben den Merkmalen geben die Autoren auch mögliche Ausprägungen an, die gemeinsam den Design Raum abstecken. Für das hier vorgestellte Werkzeug ergibt sich folgende Zuordnung:

In der Kategorie *Brick's internal ability* ist das System bzw. die eingesetzten Tokens als „inert“ zu klassifizieren, da die physischen Objekte keine Elektronik aufweisen und somit kein aktives Verhalten zeigen können. Bezieht man die unmittelbare Umgebung der Elemente, auf die Information projiziert werden kann, in die Beurteilung mit ein, so ist die Einstufung „simple expressions“ zu rechtfertigen.

In der Kategorie *Input & Output* werden eingabeseitig in unterschiedlichen Interaktionen folgende Parameter kontinuierlich oder ereignisgesteuert erfasst: X-Y-Position (kont.) , Rotation (kont.) , Tastatureingabe (ereignisgest.) und Kamerabild (ereignisgest.). Ausgabeseitig werden folgende Parameter eingesetzt: Zustand auf der physischen Oberfläche, Projektion und Bildschirm.

In der Kategorie *Spatially aware* ist (bezogen auf die Tokens) die Ausprägung „unaware“ zu wählen, da die physischen Elemente selbst keine Möglichkeit zur Feststellung der Konfiguration ihrer Umgebung haben. Bezogen auf das Gesamtsystem ist die Ausprägung „mutual awareness“ zu wählen, da den softwareseitigen Repräsentationen der

Elemente durch das im Hintergrund arbeitende Lokalisierungssystem durchaus bekannt ist, wo sie sich befinden und welche Elemente sich in ihrer Nähe befinden.

In der Kategorie *Communication* ist keine Einordnung möglich, da die physischen Elemente des Systems nicht untereinander kommunizieren.

In der Kategorie *Interaction time span* sind die Ausprägungen „quick“ und „interaction cache“ zu wählen. Die meisten Interaktionen laufen ereignisbasiert ab und sind mit der Auslösung wieder abgeschlossen („quick“). Manche Interaktionen (z.B. Herstellung einer Verbindung, Kontrolle der Modellierungshistorie, . . .) benötigen jedoch längere Zeit bzw. die Manipulation mehrerer Tokens („interaction cache“).

In der Kategorie *Bricks in use at same time* ist bei Betrachtung des gesamten Systems die Ausprägung (Größenordnung) „5-10“ zu wählen, da potentiell so viele Modellierungselemente gleichzeitig (auch durch mehrere Personen) benutzt werden. Bezogen auf die Werkzeug-Tokens (also die unmittelbar funktionsauslösenden physischen Elemente, die eigentlich von diesem Ansatz eigentlich betrachtet werden) sind die Ausprägungen „1“ oder „2“ (je nach Interaktion) zu wählen.

In der Kategorie *Function assignment* ist bezogen auf die Werkzeug-Tokens die Ausprägung „permanent“ zu wählen, da diesen die durch sie ausgelöste Funktion fix zugeordnet ist.

In der Kategorie *Interaction representations* ist die Ausprägung „balanced“ insofern für das vorliegende Werkzeug passend, als dass die physischen und digitalen Elemente einander in der Repräsentation des Systemzustandes gleichberechtigt ergänzen.

In der Kategorie *Physical & virtual layers* erfüllt das System durch die beiden Ausgabekanäle beide Ausprägungen („direct“ für die Tischoberfläche, „indirect“ für den sekundären Ausgabekanal).

In der Kategorie *Bond between physical & virtual layers* sind physische und virtuelle Ebene im hier vorgestellten System „tightly coupled“, da die Repräsentationen auf beiden Ebenen stets synchron sind.

In der Kategorie *Operating granularity* ist aufgrund der physischen Natur des Systems (Tisch) die Ausprägung „Desktop“ zu wählen, wobei dies auch mit der vorgesehenen Auflösung des Tracking („fraction of inches accuracy“) korreliert.

In der Kategorie *Operating surface type* erfüllt das System die Anforderungen der Ausprägung „dynamic“, da sich die Oberfläche durch die Projektion von Information zur Laufzeit ändert.

In der Kategorie *Operating surface texture* ist die Ausprägung „continuous“ auszuwählen, da die Elemente frei auf der Oberfläche platziert werden können.

Bewertung

Der von Fitzmaurice et al. (1995) aufgespannte Design Raum für Graspable User Interfaces ist aus dem von den Autoren entwickelten System abgeleitet und weist mangels zum Zeitpunkt der Erstellung vorhandenen Alternativen starke Spezifika auf, die den Ansatz zur Einordnung anderer Systeme nur bedingt geeignet machen. Insbesondere die Ableitung mehrerer Eigenschaften aus der Tatsache, dass die physischen Elemente des Systems (die „Bricks“) aktive Bausteine sind und auf einer Oberfläche bewegt werden, schränkt die Verwendbarkeit einiger Kategorien für die Einordnung beliebiger TUIs ein (z.B. *Communication* oder *Spatially aware*). Außerdem ist der Design Raum auf Systeme ausgerichtet, die physische Elemente als Eingabewerkzeuge verwenden und berücksichtigt keine Elemente, die ausschließlich zur Informationsrepräsentation verwendet werden.

Das hier vorgestellte Werkzeug konnte weitgehend in den Design Raum eingeordnet werden, wenn auch die Verwendung passiver Tokens nicht vorgesehen ist und damit einige Kategorien nicht sinnvoll belegt werden können. Ansätze zur Verbesserung des Werkzeugs können nicht abgeleitet werden, da der Designraum für Detailbetrachtungen zu unspezifisch bleibt und seine generelle Ausrichtung nicht vollständig auf die Eigenschaften des Werkzeugs abgebildet werden können.

10.2. Bestimmung der Eigenschaften des Graspable User Interfaces Ansatz

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Fitzmaurice, 1996), der in Abschnitt 6.4.2 beschrieben wird.

Abbildung

Fitzmaurice (1996) definiert fünf Eigenschaften, die ein „Graspable User Interface“ ausmachen und legt mögliche Ausprägungen fest, deren Werte für ein konkretes System eine Aussage über dessen „Graspability“ zulässt. Für das hier vorgestellte Werkzeug können folgende Einstufungen getroffen werden:

In der Kategorie *Space-multiplexing* ist die höchste Ausprägung „permanent, never reassign“ auszuwählen. Dies ist der Fall, weil sämtlichen Werkzeugtokens des Systems eine vorgegebene Funktion zugewiesen ist, die sich während der Laufzeit nicht ändert.

In der Kategorie *Concurrency* ist hinsichtlich der Verwendung von Werkzeugen die Ausprägung „occasionally 2“ zu wählen. Die Eigenschaften beziehen sich ausschließlich auf Werkzeuge zur Manipulation digitaler Information, so dass die Modellierungstokens, die den Systemzustand repräsentieren, außer acht gelassen werden. „Occasionally 2“ trifft dann deswegen zu, weil sowohl bei der Verbindungsherstellung als auch zum

Auslösen der Wiederherstellungsunterstützung jeweils zwei Werkzeugtokens gleichzeitig eingesetzt werden müssen, in allen anderen Fällen aber nur ein Werkzeug zum Einsatz kommt. Berücksichtigt man die Modellierungstokens (als Werkzeuge zur Manipulation des Systemzustandes), ist die höchste Ausprägung „more than 3“ zu wählen.

In der Kategorie *Physical form* ist die höhere Ausprägung „specific“ auszuwählen, da für jede Funktionalität ein spezifisches Werkzeug-Token existiert.

In der Kategorie *Spatially aware* ist hinsichtlich der Werkzeugtokens eine Mischform zwischen „unaware“ und „aware“ zu wählen. Bei einem Teil der Werkzeugtokens ist die konkret ausgeführte Funktion von dessen Position bzw. Nähe zu Modellierungstokens abhängig (bei Markierungstokens) oder wird durch dessen Orientierung beeinflusst (beim Historien-Kontroll-Token). Die übrigen Werkzeug-Tokens sind jedoch insofern „spatially unaware“, als dass ihre Positionierung auf der Oberfläche keinen Einfluss auf deren Funktionalität hat. Die Modellierungstokens und die einbettbaren Tokens sind bei Berücksichtigung als „spatially aware“ zu klassifizieren.

In der Kategorie *Spatial reconfigurability* ist das System in die Ausprägung „track“ einzuordnen, da die einzelnen Werkzeuge nicht unabhängig von der Oberfläche und der in ihr integrierten optischen Tracking-Funktion verwendet werden können.

Bewertung

Die Eigenschaften von Graspable User Interfaces erlauben eine allgemeine Bewertung eines TUI. Sie sind nicht geeignet um eine detailliert Analyse oder Spezifikation durchzuführen. Dieser Aspekt – die Eigenschaften des Gesamtsystems – wird jedoch bei den meisten anderen Frameworks außer acht gelassen, so dass eine Einordnung in das vorgeschlagene Schema durchaus sinnvoll sein kann.

Für das hier vorgestellte Werkzeug wurden durchwegs Ausprägungen identifiziert, die auf eher hohe „Graspability“ hinweisen. Ein Nachteil des Ansatzes liegt in der Fokussierung auf reine „Steuerungs“-TUIs, die zur Kontrolle oder Manipulation digitaler Information verwendet werden. Verbesserungspotential kann ob der allgemeinen und relativ abstrakten Beschreibung des Werkzeugs mit diesem Ansatz nicht abgeleitet werden.

10.3. Betrachtung im Lichte des Tangible Bits Ansatzes

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Ishii und Ullmer, 1997), der in Abschnitt 6.4.3 beschrieben wird.

Abbildung

Das hier vorgestellte Werkzeug kann hinsichtlich seiner Funktion als eine Instanz des Konzepts „Interactive Surface“ betrachtet werden. Die „Surface“ ist hierbei eine Tischoberfläche, auf der interagiert wird. Die im Rahmen der Beschreibung des „metaDESK“ (Ullmer und Ishii, 1997) als Beispiel für eine „Interactive Surface“ eingeführten TUI-Elemente finden zum Teil auch im hier vorgestellten Werkzeug Anwendung.

Die Modellierungstokens und einbettbaren Tokens des Werkzeugs sind *Phicons*, also passive Träger von digitaler Information. Die Werkzeugtokens zur Manipulation des Modells entsprechen *Phandles*, also Elementen, die dazu verwendet werden, digitale Information zu verändern bzw. festzulegen. Jene Werkzeugtokens, die der Steuerung der Systemfunktionen dienen, sind hingegen als *Instruments* zu klassifizieren. *Lenses* und *Trays* kommen im Werkzeug nicht zum Einsatz.

Hinsichtlich der Metaphorik unterscheiden Ullmer und Ishii (1997) zwischen unterschiedlichen Abstraktionsebenen von Phicons (*generic – symbolic – model*), wobei im vorliegenden System ob der offenen Semantik die Modellierungstokens ausschließlich *generic Phicons* sind bzw. sein können. Die Werkzeugtokens sind zumeist als *symbolic Phicons* und im Falle des Löschtokens – dem Radiergummi – eher als *model Phicon* zu klassifizieren.

Bewertung

Für die Bewertung des Werkzeugs ist vor allem dessen Gegenüberstellung zu den vorgeschlagenen Elementen einer „Interactive Surface“ von Interesse. Hier zeigt sich, dass die unterschiedlichen Arten von Tokens, die im Werkzeug eingeführt wurden, feingranular auf die unterschiedlichen Element-Arten von Ishii und Ullmer (1997) abbildbar sind. Insbesondere die explizite Unterscheidung zwischen *Phandles* und *Instruments* ist ein Alleinstellungsmerkmal der hier vorgeschlagenen Systematik.

Eine mögliche Lücke, die Erweiterungspotential für das Werkzeug anzeigen könnte, ist die Abwesenheit von TUI-Elementen, die als *Lenses* oder *Trays* zu klassifizieren sind. Insbesondere *Trays* sind für die explizite Interaktion mit einzelnen Tokens – etwa der Benennung oder der Einbettung von Zusatzinformation – geeignet. Bei entsprechender Spezifikation bilden die dazu notwendigen Interaktionsabläufe den Vorgang der Zuordnung von Information explizit ab und unterscheiden sich dann stärker von anderen Interaktionen, die anderen Zwecken, z.B. der Herstellung von Verbindungen zwischen Modellierungstokens, dienen.

10.4. Einordnung in das Ordnungssystem von Holmquist et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Holmquist et al. (1999), der in Abschnitt 6.4.4 beschrieben wurde.

Abbildung

Die von Holmquist et al. verwendete Terminologie ist direkt auf jene abbildbar, die in dieser Arbeit verwendet wurde. Die Modellierungstokens und einbettbaren Tokens entsprechen im Wesentlichen *Tokens*. Dies ist dadurch begründbar, dass die Art eines Modellierungstokens in einem Modell immer im gleichen Zusammenhang mit der Art der Information steht, die durch dieses repräsentiert wird. Eine Eigenschaft, die eher *Containern* zuzuordnen ist, ist jedoch die dynamische Festlegbarkeit der Bedeutung einer Art von Modellierungstokens - die physischen Elemente an sich sind vor Beginn der Modellbildung generisch (also *Container*), werden aber im Zuge der Modellierung mit Bedeutung belegt (die dann für alle Instanzen dieser Art von Modellierungstokens gilt) und sind dann eher als *Tokens* zu klassifizieren.

Die Werkzeugtokens des hier vorgestellten Systems entsprechen in ihrer Konzeption den *Tools*. Sie manipulieren digitale Information, lösen Aktionen aus oder versetzen das System in einen anderen Zustand und entsprechen damit exakt der Definition von *Tools*, die von den Autoren gegeben wird.

Information Faucets sind im Kontext des hier vorgestellten Systems einerseits die Tischoberfläche, über die Information zu Modellierungstokens abgerufen werden kann, andererseits ist die Registrierungskamera ein klassisches Faucet im Sinne der Definition, da sie dem Abruf oder der Assoziation von Information an ein Token dient, sobald dieses in den Erfassungsbereich der Kamera gerät.

Bewertung

Die konzeptuellen Elemente des hier vorgestellten Systems sind also auf das Ordnungssystem von Holmquist et al. (1999) abbildbar. Die Problematik der nicht eindeutigen Zuordnung von Modellierungstokens zur Kategorie *Tokens* oder *Constraints* ist einerseits auf eine der grundlegenden Design-Paradigmen des hier entwickelten Werkzeugs – der Flexibilität der Abbildung – zurückzuführen, weist aber andererseits auch auf mögliches Verbesserungspotential hin.

Durch die Flexibilisierung nicht nur der Bindung zwischen physischen Elementen und digitaler Repräsentation, sondern auch der Verwendung von unterschiedlichen physischen Elementen selbst könnten Modellierungstokens eher *Token-artiger* werden. Indem Modellierende eigene physische Elemente (auf ihrem Arbeitskontext) einbringen können,

könnte die Erfassbarkeit der Bedeutung der physischen Repräsentation unter Umständen verbessert werden.

10.5. Einordnung in das Object-Meaning-Kontinuum

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Underkoffler und Ishii (1999), der in Abschnitt 6.4.5 beschrieben wurde.

Abbildung

Das Object-Meaning-Kontinuum ist einer der ersten Ansätze, die die physischen Objekte eines TUI nicht strikten Kategorien zuordnen, sondern auf einer kontinuierlichen Skala anordnen. Dabei wird kein kategorischer Unterschied zwischen informationsrepräsentierenden Objekten und Werkzeug-Objekten gemacht – sowohl in der Mitte des Kontinuums als auch an den Enden verschwimmen die Grenzen zwischen dem Verständnis eines Objektes als reine Repräsentation und reinem Werkzeug.

In der Folge werden die Elemente des Werkzeugs in das Kontinuum eingeordnet, wobei zur einfacheren Anwendbarkeit die entlang des Kontinuums von den Autoren definierten Ausprägungen verwendet werden.

Die Ausprägung *object as noun* kommt im Werkzeug nicht zum Einsatz. Keines der physischen Elemente hat eine direkte Entsprechung in der realen Welt – durch die geforderte Flexibilität der Abbildung ist das auch nicht sinnvoll.

Die Elemente, die zur Modellbildung verwendet werden – also Modellierungstokens und einbettbare Tokens – sind der Ausprägung *object as attribute* zuzuordnen, da in die Farbe bzw. Form der Tokens Bedeutung (nämlich die Semantik des jeweiligen Art von Tokens) codiert ist. Bei Modellierungstokens ist zu beachten, dass die Zuordnung der Bedeutung dynamisch zu Laufzeit erfolgt, der physischen Eigenschaft des Objekts also erst durch die Benutzer konkret Bedeutung zugewiesen wird.

Keinem der Objekte des Werkzeugs ist aufgrund seines Designs die Ausprägung *object as pure object* zuzuweisen. Diese Zuordnung kann jedoch dynamisch bei der Modellbildung für Modellierungstokens eintreten, wenn die Benutzer den unterschiedlichen Objektarten keine Bedeutung zuordnen und diese beliebig mit Information belegen.

Die Tokens, die im Werkzeug nicht unmittelbar zur Modellbildung verwendet werden, verteilen sich zwischen den beiden funktional abstrahierten Ausprägungen des Kontinuums. Der Ausprägung *Object as Verb* sind das Historiensteuerungs-Token und das Markierungstoken zur Herstellung einer gerichteten Verbindung zuzuordnen. Für das Historiensteuerungs-Token gilt dies, da dessen Drehbewegung zur zeitliche Navigation auf die Bewegungen eines Uhrzeigers abbildbar ist. Das Markierungstoken zur Herstellung einer gerichteten Verbindung weist eine Pfeilspitze als Grundfläche auf, wodurch

eine physische Eigenschaft Hinweise auf die Funktion des Tokens gibt (hier allerdings grenzwertig, da die dreieckige Grundfläche nicht eindeutig als Pfeilspitze zu erkennen ist). Die übrigen Tokens sind eher im Bereich des *object as reconfigurable tool* anzusiedeln, da ihrer äußere Form oder andere physische Eigenschaften keine Hinweise auf deren Funktionalität geben. Dies gilt für die allgemeinen Markierungstokens, das Snapshot-Token und das Wiederherstellungs-Token.

Einen Spezialfall bildet das Löschtoken, das mit dem Radiergummi als Repräsentation eine *object as verb*-Einordnung suggeriert (Radiergummi zum direkten „Ausradieren“ von Verbindungen), tatsächlich das System aber lediglich in einen Löschmodus versetzt, in dem Verbindungen mittels anderer Interaktionsabläufe gelöscht werden können. Hinsichtlich seiner tatsächlichen Verwendung ist das Löschtoken also als *object as reconfigurable tool* zu klassifizieren.

Bewertung

Das von den Autoren vorgeschlagene Kontinuum eignet sich um die Elemente eines TUI hinsichtlich deren Bedeutung und Verwendung einzuordnen. Diese Einordnung kann nützlich sein um Elemente zu identifizieren, deren tatsächliche Verwendung im TUI nicht mit der wahrgenommenen Bedeutung übereinstimmt. Dazu müssen die Elemente unabhängig von der konkreten Implementierung klassifiziert werden (ggf. von nicht am Design und der Entwicklung beteiligten Personen) und das Ergebnis der umgesetzten Funktionalität gegenübergestellt werden.

Für das hier vorgestellte Werkzeug ist eine derartige Diskrepanz wie oben bereits beschrieben am Löschtoken zu erkennen. Dieses suggeriert eine Verwendbarkeit im Sinne von *object as verb*, setzt aber tatsächlich die augenscheinliche Funktion (Löschen) nicht um (bzw. ist auf eine andere Funktion – Löschmodus aktivieren – abgebildet) und ist deshalb lediglich als *object as reconfigurable tool* einzuordnen. Eine „Aufwertung“ des Löschtokens im Sinne einer Hinterlegung mit der tatsächlichen Lösch-Funktion trägt eine erwartungskonforme Verwendbarkeit eher sicherstellen und so zur Verbesserung des Gesamtsystems bei.

10.6. Betrachtung im Lichte des MCRpd-Modells

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Ullmer und Ishii (2000), der in Abschnitt 6.4.6 beschrieben wurde.

Abbildung

Wird das erstellte Werkzeug in seiner Gesamtheit dem MCRpd-Modell gegenübergestellt, so ist erkennbar, dass die Eigenschaften des Werkzeugs nicht den Anforderungen des MCRpd-Modells an ein Tangible User Interface genügen. Das Werkzeug verfügt über einen Ausgabekanal – den Bildschirm – der nicht an die physische Repräsentation gekoppelt ist. Bei differenzierter Betrachtung ist eine vollständige Einordnung jedoch möglich. All jene Interaktionen, die mit der eigentlichen Modellierung zusammenhängen, genügen den Anforderungen des MCRpd-Modells ohne Einschränkungen. Die Manipulation des *Model* (im MCRpd-Modell) erfolgt über die Tischoberfläche, die gleichzeitig dazu verwendet wird, den Systemzustand zu manifestieren. Dem MCRpd-Modell laufen offenbar jene Interaktionsabläufe entgegen, die den sekundären Ausgabekanal einbeziehen. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Bei der Einbettung von Information in Modellelemente wird die sekundäre Oberfläche zur Auswahl der anzubindenden Ressource und damit als GUI benutzt. Eine Einordnung in das MCRpd-Modell ist hier damit nicht möglich. Bei der Betrachtung der Modellierungshistorie wird die sekundäre Oberfläche als alleiniges Ausgabemedium benutzt, der Systemzustand wird durch das runde Navigationstoken auf der Oberfläche beeinflusst. Dies verletzt grundsätzlich den Aufbau des MCRpd-Modells.

Betrachtet man jedoch die daraus abgeleiteten Kern-Charakteristika von TUIs, so kann festgestellt werden, dass diese dennoch nicht verletzt sind. Das in Frage zu stellende Charakteristikum ist jenes mit der Forderung nach Koppelung zwischen der physischen Repräsentation des *Models* (*REP-P*) und der intangiblen, digitalen Manifestation von Modellaspekten in der realen Welt (*REP-D*). Die Autoren fordern von dem Zusammenhang zwischen *REP-P* und *REP-D* jedoch ausschließlich, dass er „*perceptually coupled*“ sein müsse, die Koppelung also von den Benutzern als solche wahrgenommen werden müsse. Betrachtet man das runde Navigationstoken als *REP-P* und die Ausgabe am sekundären Ausgabekanal als *REP-D*, so ist diese Koppelung feststellbar, da sich *REP-D* immer in direkter Abhängigkeit von *REP-P* verändert. Insofern ist das MCRpd-Modell nicht verletzt, das Werkzeug weist die von den Autoren als Kern-Charakteristika von Tangible User Interfaces bezeichneten Eigenschaften auf.

Hinsichtlich der Kategorien von TUIs, die von den Autoren festgelegt werden, ist das System der Kategorie *relational* zuzuordnen. Das hier vorgestellte Werkzeug ist nicht *spatial*, da die Position der verwendeten Tokens relativ zum Referenzrahmen (der Tischoberfläche) keine spezifische Bedeutung haben. Die Bedeutung ist viel mehr in den Beziehungen der Tokens untereinander codiert, was wiederum für ein *relationales* System spricht. Gleichzeitig kann damit die Kategorie *associative* ausgeschlossen werden, da in Systemen dieser Art keine Beziehungen zwischen Tokens berücksichtigt werden. Da die Beziehungen zwischen Tokens nur digital und nicht physisch abgebildet werden, ist die Bedingung für ein *konstruierendes* System nicht erfüllt. *Constructive* ist das Werkzeug dann, wenn der Modellzustand vollständig durch physische Elemente und Verbindungen abgebildet ist.

Bewertung

Das *MCRpd*-Modell ist ein im Vergleich zu anderen Ansätzen eher abstraktes, konzeptuelles Modell zur Beschreibung eines Tangible User Interfaces. Trotzdem – oder auch deswegen – eignet es sich gut zur Reflexion der Eigenschaften eines TUIs bzw. zur Prüfung der Konsistenz der vorgesehenen Benutzerinteraktionen.

Das Werkzeug konnte in die Logik des Modells eingeordnet werden, wobei bei der Beschreibung der Interaktion zur Steuerung der Modellierungshistorie verstärkter Argumentationsbedarf herrschte. Dies kann auf eine möglicherweise zu schwache Kopplung zwischen *REP-P* und *REP-D* hinweisen. Tatsächlich wird bei der Kontrolle der Modellierungshistorie auf der Tischoberfläche kein Feedback ausgegeben, ob das Steuerungstoken erkannt wurde und in welchem Zustand es sich aktuell befindet. Die Kopplung kann etwa in Form einer Darstellung des aktuell dargestellten Zeitpunkts in der Modellierungshistorie rund um das Kontroll-Token angezeigt werden. Dies würde die Kopplung zwischen den beiden Komponenten der Repräsentation verstärken.

10.7. Einordnung in den Tokens+Constraints Kontext

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Ullmer et al. (2005), der in Abschnitt 6.4.7 beschrieben wurde.

Einordnung

Eine unmittelbare Einordnung des hier vorgestellten Werkzeugs in den Tokens+Constraints-Ansatz ist nicht möglich, da einerseits kein allgemeines Schema zur Betrachtung vorgeschlagen wird und das Werkzeug seiner Konzeption nach nicht dem Verständnis eines Tokens+Constraints-System nach Ullmer et al. (2005) entspricht. Dazu müsste es physische Constraints aufweisen, die den Interaktionsraum der informationstragenden Tokens physisch einschränken. Das einzige nach dieser Definition identifizierbare Constraint des Werkzeugs ist der aktive Bereich der Tischoberfläche, die den Modellierungsraum beschränkt. Diese Einschränkung ist aber im Vergleich zu den Beispielen für Constraints, die die Autoren angeben, eher wenig strikt und lässt viel Interaktionsraum.

Am ehesten ist das vorliegende System als eine „interactive surface“ mit Aspekten einer „constructive assembly“ zu klassifizieren. Die Qualifikation als „interactive surface“ ist ob der Interaktion mit physischen Blöcken auf einer digital augmentierten Oberfläche naheliegend. „Constructive assembly“-Aspekte sind im Bereich der Einbettung von informationstragenden Tokens in Modellierungs-Token zu finden. Die Zuordnung wird dabei durch das Hineinlegen eines Tokens in ein anderes ausgedrückt, wodurch die konkrete Semantik in der Beziehung zwischen den beiden Tokens abgebildet ist. Generell wird die Semantik des abzubildenden Modells in der räumlichen und logischen Konfigurati-

on der Modellierungs-Tokens zueinander abgebildet, was ebenfalls einem „constructive assembly“-Aspekt entspricht.

Nicht unmittelbar in Zusammenhang mit dem Tokens+Constraints-Ansatz stehen die fünf Fragen von Bellotti et al. (2002), die beim Design einer Benutzungsschnittstelle berücksichtigt werden sollten. In Ullmer et al. (2005) werden diese Fragen für den dort vorgestellten Ansatz beantwortet, an dieser Stelle sollen sie im Lichte des hier vorgestellten Systems betrachtet werden.

Address Das System interpretiert alle Interaktionen, die mit Modellierungs- oder Werkzeugtokens unmittelbar auf der Tischoberfläche ausgeführt werden, als an es gerichtet. Andere Interaktionen werden ignoriert und können auch technisch nicht erfasst werden.

Attention Der Einsatz jedes Tokens löst unmittelbar eine Reaktion auf den Ausgabe-kanälen des Systems aus. Benutzer erhalten also direktes Feedback auf erkannte Interaktionen. Eine Verzögerung zwischen Ein- und Ausgabe tritt lediglich bei der Markierung von Elementen auf, die zur Robustheit gegen Fehlerkennungen erst erfasst wird, wenn das Eingabe-Token länger als 500 ms vorhanden ist.

Action Befehle an das System können generell an einem beliebigen Punkt der Oberfläche abgesetzt werden, sofern es sich um allgemeine Kommandos handelt, die das Gesamtsystem betreffen. Befehle, die einem bestimmten Objekt zuzuordnen sind (z.B. Auswahl oder Verbindungsherstellung) werden durch räumliche Nähe zugeordnet.

Alignment Nach Ausführung einer Aktion befindet sich das System immer in einem stabilen Zustand, anhand dessen Visualisierung die Benutzer erkennen können, ob die intendierte Aktion korrekt erkannt und ausgeführt wurde.

Accident Missverständnisse zwischen System und Benutzern können auf unterschiedliche Arten aufgelöst werden. Die erste Möglichkeit ist, Missverständnisse explizit durch die gegenteilige Interaktion rückgängig gemacht werden (z.B. Löschen einer versehentlich hergestellten Verbindung). Mittels der Wiederherstellung eines gespeicherten Systemzustandes kann ein Missverständnis ebenfalls korrigiert werden.

Bewertung

Der Tokens+Constraints-Ansatz ermöglicht in der vorliegenden Form keine direkte Abbildung des Werkzeugs auf seine Konzepte. Wertvoller für die Betrachtung sind an dieser Stelle die Ordnungsschemata und Fragestellungen, die von Ullmer et al. (2005) im Kontext des Ansatzes erarbeitet bzw. beantwortet werden.

Von Interesse sind insbesondere die fünf Fragen für das Design von Benutzungsschnittstellen, die von (Bellotti et al., 2002) gestellt werden. Bei der Beantwortung dieser Fragen

für das vorliegende System ist durchaus Verbesserungspotential zu identifizieren. Am offensichtlichsten zeigt sich das am Beispiel des Feedbacks des Systems an Benutzer über einen erkannten Interaktionswunsch. Hier kommt es beim Einsatz des Markierungstokens technisch bedingt zu Verzögerungen, die – ob der ansonsten unmittelbaren Reaktion des Systems – Unsicherheit bei den Benutzern erzeugen kann. Auch die Auflösung von Missverständnissen ist im Moment sub-optimal gelöst, da in jedem Fall entweder Zeitverlust auftritt oder mindestens zwei Interaktionsschritte zur Korrektur einer Fehlinterpretation notwendig sind. Hier ist unter Umständen die Einführung einer expliziten „Undo“-Funktionalität sinnvoll.

10.8. Einordnung in das Framework nach Koleva et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Koleva et al. (2003), der in Abschnitt 6.4.8 beschrieben wurde.

Abbildung

Das Framework eignet sich zur Einordnung einzelner Aspekte eines Tangible User Interfaces. Aufgrund seiner Ausrichtung auf die Brücke zwischen realer und digitaler Welt ist es insbesondere für die Betrachtung der eingesetzten Tokens und deren Verwendung zur Repräsentation und Manipulation des Systemzustandes geeignet. In Tabelle 10.1 werden die Tokens in die Kategorien entlang des Kohärenz-Kontinuums eingeordnet und hinsichtlich der Eigenschaften ihrer Brückenfunktion in die digitale Welt betrachtet.

Die Kardinalität wurde hier nicht gesondert betrachtet, da diese im vorliegenden System immer 1:1 ist, also eine eindeutige Zuordnung zwischen realem Objekt und digitaler Repräsentation gegeben ist. Im Übrigen verzichten auch Koleva et al. (2003) auf die Einordnung in diese Kategorie, da sie generell nur geringe Unterscheidungskraft aufweist. Hinsichtlich der „Source of Link“, die in der Tabelle ebenfalls nicht angegeben ist (und von den Autoren ebenfalls nicht verwendet wird), ist anzumerken, dass das Werkzeug durchaus einen Aspekt aufweist, bei dem der „Source of Link“ die digitale Welt ist. Im Rahmen der Wiederherstellungsunterstützung gibt das System Anweisungen zur Manipulation der realen Welt, wodurch sich der Informationsfluss umkehrt. Da jedoch kein physisches Element direkt manipuliert wird, ist eine Einordnung in das oben angeführte Schema nicht möglich (der Link ist lediglich indirekt vorhanden).

Bewertung

Das von Koleva et al. (2003) vorgeschlagene Framework ermöglicht die Klassifikation eines Tangible Interface durch die Beurteilung der Stärke der Bindung zwischen digitaler

Tabelle 10.1.: Beurteilung des Werkzeugs hinsichtlich des Degree of Coherence

Element	Kategorie	Transformation	Sensing of Interaction	Konfigurierbarkeit	Lebensdauer	Autonomie
Modellierungstoken	Proxy	lit.	X-Y-Position und Rotation, Öffnungsstatus	fixiert	temp.	abh.
einbettbares Token	Identifizier	transf.	Präsenz, Container	fixiert	temp.	unabh.
Markierungstoken	Specialized Tool	transf.	X-Y-Position	fixiert	temp.	unabh.
Löschtoken	Projection	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.
Snapshottoken	Specialized Tool	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.
Historienavigationstoken	Specialized Tool	transf.	Rotation	fixiert	perm.	unabh.
Wiederherstellungstoken	Specialized Tool	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.

lit. ... literally, transf. ... transformed, konfig. ... konfigurierbar, temp. ... temporär, perm. ... permanent, abh. ... abhängig, unabh. ... unabhängig

und realer Welt. Die Autoren nehmen damit eine zum Zeitpunkt der Publikation neue Perspektive ein, der bis dato noch keine große Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Durch die Vernachlässigung der Interaktion am Tangible User Interface bildet eine Analyse unter Einsatz der im Framework vorgeschlagenen Kategorien nur einen Teilaspekt des Gesamtsystems ab. Trotz dieser Einschränkung bietet das Framework ob seiner detaillierten Betrachtung der Eigenschaften der Verknüpfung von physischen Objekten mit digitaler Information potentiell einen Mehrwert dar beim Design oder der Analyse von TUIs.

Insbesondere ermöglicht das Framework nicht ausgeschöpftes Kohärenz-Potential zu identifizieren. Im konkreten Fall des hier vorgestellten Werkzeugs lässt sich das am Beispiel des Löschtokens zeigen. Dieses physisch durch einen Radiergummi repräsentierte Token wird im Moment lediglich als Schalter verwendet. Das System wird in den Löschmodus versetzt, sobald das Token auf der Oberfläche erkannt wird. Das Token ist als *Projection* einzuordnen, die das Token mit der Information des aktivierten oder deaktivierten Löschmodus verbindet. Obwohl hoch kohärent, ist das Token trotzdem suboptimal eingesetzt, da es in der Praxis als Werkzeug wahrgenommen wird, das zum Löschen einer spezifischen Verbindung verwendet werden kann (*Specialized Tool*). An diesem Beispiel lassen sich zwei Aspekte zeigen, die bei der Verwendung des Frameworks beachtet werden müssen. Zum einen ist hohe Kohärenz nicht für jeden Anwendungsfall erstrebenswert, da bei Werkzeugen im Allgemeinen eine nicht permanente Bindung verwendet wird. Zum anderen zeigt sich die Unvollständigkeit der Analyse mittels dem Framework, da die Metaphorik des physischen Elements, also seine Bedeutung in der Interaktion, nicht berücksichtigt wird. Beide Aspekte – Kohärenz und Metaphorik – berücksichtigt erst Fishkin (2004) in der von ihm vorgeschlagenen Taxonomie (siehe dazu die Abschnitte 6.4.11 und 10.11).

10.9. Spezifikation des TAC-Schemas nach Shaer et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Shaer et al. (2004), der in Abschnitt 6.4.9 beschrieben wurde.

Abbildung

Das „Token and Constraints“-Schema (TAC) erlaubt es, ein Tangible Interface sowohl hinsichtlich dessen Struktur als auch dessen Verwendung zu beschreiben. In den Tabellen 10.2 und 10.3 wird das Schema auf das hier vorgestellte Werkzeug angewandt.

Jene Interaktionsabläufe, bei denen das System die Aktionen der Benutzer anleitet (z.B. bei der Unterstützung der Wiederherstellung) können in diesem Schema nicht ab-

Tabelle 10.2.: Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema – Teil 1

TAC	Struktur		Variable	Verhalten	
	Token	Constraint		Aktion	Feedback
1	Modell- ierungs- token	Oberfläche	Modell- element	Auflegen	Modellelement anzeigen
				Bewegen	Modellelement bewegen
				Entfernen	Modellelement entfernen
2	einbett- bares Token	Modell- ierungs- token	Modell- element	Hinein- legen	Daten einbetten
				Heraus- nehmen	Container- Kopplung aufheben
3	einbett- bares Token	Regist- rierungs- kamera	einbett- bares Modell- element	Vor die Kamera halten	ungebunden: Datenbindung auslösen; gebun- den: Gebundene Daten anzeigen
4	Markierungs- token	Modell- ierungs- token	Modell- element	Neben Modell- ierungs- token platzieren	Markierung an- zeigen
5	Markierungs- token	Modell- ierungs- token, markiertes Modell- ierungs- token	Verbindung	Neben unmar- kiertem Modell- ierungs- token platzieren	Verbindung her- stellen und an- zeigen
6	Tastatur	markiertes Modell- ierungs- token	Modell- element	Tastatur- eingabe	Benennung des markierten Mo- dellelements

Tabelle 10.3.: Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema – Teil 2

TAC	Struktur		Verhalten		
	Token	Constraint	Variable	Aktion	Feedback
7	Tastatur	Verbindungen, kein markiertes Modellierungstoken	zuletzt hergestellte Verbindung	Tastatureingabe	Benennung der zuletzt hergestellten Verbindung
8	Löschtoken	Oberfläche	Modell-element	Auflegen	Löschmodus aktivieren
				Entfernen	Löschmodus deaktivieren
9	Snapshot-token	Oberfläche	Modellierungshistorie	Auflegen	Aktuellen Modellzustand sichern, Blitz anzeigen
10	Historienkontrolltoken	Oberfläche	Modellierungshistorie	Auflegen	Letzten gespeicherten Snapshot anzeigen
				Drehen	Durch die gespeicherten Snapshots navigieren
				Entfernen	Aktuelles Modell anzeigen
11	Wiederherstellungstoken	Oberfläche, vorhandenes Historienkontrolltoken	Modellzustand	Auflegen	Aktuell angezeigten Snapshot wiederherstellen

gebildet werden, da die Constraints keine physischen Objekte sondern lediglich projizierte Information sind.

Bewertung

Das TAC-Schema eignet sich für eine umfassende Spezifikation der Struktur und des Verhaltens eines Tangible User Interfaces. Das vorgeschlagene Schema geht jedoch (wie die meisten anderen Ansätze auch) davon aus, dass das TUI vor allem zur Informationseingabe verwendet wird und dass sich der Systemzustand und dessen Manifestierung am Interface in Abhängigkeit dieser Eingaben ändern. Nicht abbildbar sind Interaktionen, die vom System ausgelöst bzw. kontrolliert werden, bei denen also die *Variable* das aktive und nicht das manipulierte Element ist (im Gegensatz zum zuvor vorgestellten *Degree of Coherence*-Ansatz der mit der *Source of Link*-Eigenschaft explizit auf diesen Aspekt eingeht – siehe Abschnitt 6.4.8).

Mit Ausnahme dieser Einschränkung eignet sich das TAC-Schema weitgehend für die Spezifikation des hier vorgeschlagenen Werkzeuges. Lediglich die Wiederherstellungsunterstützung kann nicht abgebildet werden, da sie vom System gesteuert wird. Beim Einsatz zur Spezifikation eines TUI oder bei der Untersuchung desselben hinsichtlich möglichem Verbesserungspotential ist vor allem auf die möglichen Constraints eines Tokens zu achten. Dabei ist es hilfreich, unterschiedliche Constraints bezüglich der von ihnen vorgegebenen oder durch sie ermöglichten Aktionen zu betrachten. Als Beispiel im konkreten System kann wiederum das Löschtoken verwendet werden. Dieses wird in der aktuellen Implementierung mit dem Constraint „Oberfläche“ verwendet, um den Löschmodus zu aktivieren (wenn es aufgelegt wird) bzw. zu deaktivieren (wenn es entfernt wird). Setzt man das Löschtoken nun in ein TAC mit dem Constraint „Verbindung“, ergeben sich neue Möglichkeiten der Interaktion. Ein Aufsetzen des Löschtokens auf eine Verbindung könnte diese unmittelbar löschen und würde so den notwendigen Interaktionsablauf vereinfachen. Das mit diesem Constraint auch die Metapher des verwendeten Radiergummis sinnbringend verwendet wird, ist ein Nebeneffekt, der jedoch im TAC-Schema nicht repräsentiert wird. Vielmehr ist die Metaphorik Ausgangspunkt für eine sinnvolle und verständliche Auswahl möglicher Constraints für ein Token.

10.10. Einordnung in die Kategorien von TUI-Anwendungen

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Klemmer et al. (2004), der in Abschnitt 6.4.10 beschrieben wurde.

Abbildung

Das Werkzeug weist Aspekte einer *spatial application* auf, da es die Platzierung von physischen Elementen auf einer Oberfläche als Grundlage der Interaktion mit dem System heranzieht. Da aber die Beziehung zwischen den Elementen sowohl für die Informationsrepräsentation als auch für die Steuerung des Systems wesentlich ist, ist auch eine Einordnung in die Kategorie *topological application* möglich. Letzendlich referenzieren manche physische Elemente auch auf digitale Information, was das Kriterium für die Einordnung in die Kategorie *associative application* ist. Lediglich die Kategorie *Forms* trifft nicht auf das hier vorgestellte Werkzeug zu.

Bewertung

Das hier vorgestellte Werkzeug lässt sich nicht eindeutig einer der von Klemmer et al. (2004) identifizierten Applikations-Kategorien zuordnen. Die (von den Autoren als solche bezeichnete) „Taxonomie“ eignet sich demnach nicht, um komplexere Systeme zu klassifizieren, die sowohl Informationsrepräsentation als auch Systemsteuerung durch physische Elemente abwickeln.

10.11. Einordnung in die Taxonomie von Fishkin

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Fishkin (2004), der in Abschnitt 6.4.11 beschrieben wurde.

Abbildung

Das in dieser Arbeit entwickelte Werkzeug überspannt aufgrund seiner vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten mehrere Ausprägungen in beiden von Fishkin vorgeschlagenen Dimensionen zur Klassifikation von Tangible Interfaces. Um eine umfassende und ins Detail gehende Einordnung vornehmen zu können, werden deshalb an dieser Stelle die Einzelaspekte des Systems betrachtet und eingeordnet. Während die Dimension „Embodiment“ bereits in Kapitel 8 betrachtet wurde um eine strukturierte Zuordnung der Ausgabekanäle vornehmen zu können, werden hier die einzelnen Funktionalitäten des Systems (siehe Abschnitt 7.3) jeweils beiden Dimensionen zugeordnet (siehe Tabelle 10.4)

Beim *Platzieren und Benennen von Modellelementen* ist die Benennung auf zwei Arten möglich, die unterschiedlich in die Taxonomie einzuordnen sind. Bei Benennung mittels Auswahl und Tastatur ist durch die Projektion der Benennung die Embodiment-Ausprägung „nearby“ zu wählen. Der Vorgang der Auswahl und Benennung kann als

Tabelle 10.4.: Einordnung des Systems in die Taxonomie nach Fishkin

	Embodiment	Metaphor
Platzieren und Benennen von Modellelementen	distant, nearby (Tastatur), full (Haftnotiz)	verb (Tastatur), verb + noun (Haftnotiz)
Erstellen von Verbindern	nearby	verb bis noun+verb (Werkzeug-tokens), verb (räumliche Nähe)
Löschen von Verbindern	environmental bis nearby	noun
Einbetten von Information	full	noun + verb
Abrufen von Information	distant	verb
Erstellen von Snapshots	environmental bis nearby	none
Navigation in der Modell-Historie	distant	verb
Wiederherstellen eines Modell-Zustandes	nearby	noun + verb

analog zur realen Welt gesehen werden, die eingesetzten Werkzeuge sind aber generischer Natur – Metaphor ist also als „verb“ zu klassifizieren. Bei der Benennung mittels Haftnotiz ist durch die unmittelbar auf den Tokens angebrachten Benennungen Embodiment „full“. Der Vorgang des Beschriftens wird analog zur realen Welt durchgeführt, auch die Informationsträger (Haftnotizen) entsprechen jenen der realen Welt, Metaphor ist also „verb + noun“, wobei der notwendige Vorgang der expliziten Erfassung einer Beschriftung durch das System eine Klassifikation „full“ verhindert und sogar die Einstufung „noun + verb“ etwas abschwächt (keine Analogie des Vorgangs zur realen Welt).

Zur *Herstellung von Verbindern* existieren ebenfalls zwei Möglichkeiten. In beiden Fällen ist durch die Projektion der Verbindung die Ausprägung in Embodiment „nearby“, sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich „Metaphor“. Bei der Verwendung von Werkzeugtokens ist der Vorgang der Auswahl der Endpunkte analog zur realen Welt zu sehen und somit als „verb“ einzustufen. Die Verwendung von spezifischen Werkzeugtokens zur Herstellung gerichteter Verbinder zeigt sogar Züge von „noun + verb“, da die durch das Token dargestellte Pfeilspitze eine Analogie zur realen Welt bildet.

Das *Löschen von Verbindern* wird durch das Lösch-Token vorgenommen. Dieses ist durch einen Radiergummi symbolisiert, der jedoch nicht als solche eingesetzt wird, sondern das System nur in einen Löschmodus versetzt. Die Klassifikation in Metaphor ist demnach „noun“. Die Visualisierung des Löschezustandes erfolgt unspezifisch durch die Umfärbung der gesamten Tischoberfläche, womit ein Embodiment von „nearby“ oder „environmental“ (aufgrund der Unspezifität) gerechtfertigt ist.

Einbetten von Information erfolgt durch die Verwendung der Modellierungstokens als Container und Hineinlegen von kleineren Tokens. Embodiment ist in diesem Fall „full“, da die Einbettung physisch nachvollzogen wird. Metaphor ist durch die Analogie des „Hineinlegens“ von Information in „Container“ in die Ausprägung „noun + verb“ einzuordnen.

Das *Abrufen von Information* wird über den sekundären Ausgabekanal abgewickelt und ist daher in Embodiment als „distant“ einzuordnen. Der Vorgang des Herausnehmens von Information aus einem Container existiert analog zur realen Welt, das bei diesem Vorgang im Zentrum stehende Objekt, das einbettbare Token, ist jedoch generisch und weist nicht auf die Art der eingebetteten Information hin. Die Interaktion ist daher als „verb“ in Metaphor einzuordnen.

Beim *Erstellen von Snapshots* wird die gesamte Tischoberfläche als Feedbackkanal genutzt. Insofern ist Embodiment wie im Falle des Löschens von Verbindern im Bereich „environmental“ bis „nearby“ anzusiedeln. Das Snapshot-Token selbst ist ein generisches Objekt, das keine Analogie zur realen Welt aufweist. Metaphor ist daher „none“.

Die *Navigation in der Modell-Hierarchie* erfolgt mit dem runden Navigations-Token. Zur Ausgabe der gespeicherten Modell-Zustände wird der sekundäre Ausgabekanal verwendet. Embodiment ist deshalb „distant“. Metaphor beschränkt sich auf „verb“, da der

Drehvorgang zur Navigation analog zum Einstellen einer Uhr erfolgt, das Token selbst aber bis auf seine runde Form generisch ist.

Das *Wiederherstellen eines Modellzustandes* erfolgt durch spezifische Anweisungen auf der Modellierungsoberfläche. Embodiment ist also als „nearby“ einzustufen. Der Vorgang der Wiederherstellung erfolgt durch Verschieben der Modellierungstokens, was im Wesentlichen analog zur realen Welt abläuft. Da unmittelbar die Objekte manipuliert werden, kann Metaphor als „noun + verb“ eingestuft werden.

Bewertung

Die Taxonomie nach Fishkin ermöglicht eine strukturierte Erfassung einzelner Aspekte eines Tangible User Interfaces. Die aussagekräftige Einordnung eines Gesamtsystems ist nur bei einfachen TUIs möglich, komplexe, mit vielen Interaktionsmöglichkeiten ausgestattete Systeme tendieren dazu, einen großen Bereich der Taxonomie abzudecken. Für die detaillierte Betrachtung eines komplexen Gesamtsystems ist die Taxonomie dennoch geeignet, da aus den einzelnen Teileinordnungen für den jeweiligen Anwendungsfall ggf. Verbesserungspotentiale abgeleitet werden können. Zudem zeigt die Betrachtung des hier entwickelten Systems, dass ein die Taxonomie breit abdeckendes Gesamtsystem potentiell Inkonsistenzen im Interaktionsdesign aufweist bzw. dass in derartigen Fällen mehrere unterschiedliche Interaktionsparadigmen vermischt wurden. Vor allem „Ausreißer“ aus einem vorwiegend einheitlichen Gesamtbild weisen auf die Notwendigkeit der Betrachtung hinsichtlich eines möglichen Redesigns wert.

Konkret können diese Vermutungen im vorliegenden System vor allem an der Konzeption des Löschtokens und des Snapshot-Tokens festgemacht werden. Der Großteil der Interaktionen mit dem System beinhaltet in der Dimension Metaphor den „verb“-Aspekt (zu etwa gleichen Teilen ausschließlich und in der Kombination mit „noun“). Die Funktionalitäten, die die beiden erwähnten Tokens einbeziehen, laufen diesem Trend entgegen und zeigen in Metaphor die Ausprägung „noun“ bzw. „none“. Tatsächlich zeigt sich in der Praxis, dass die Anwendbarkeit dieser Tokens von Benutzern missverstanden bzw. nicht verstanden wird. Ein Redesign dieser Tokens mit expliziterer bzw. eher aktivitätsorientierter Metaphor ist deshalb untersuchenswert.

Zusammenfassend ist die Taxonomie vor allem im Zusammenhang mit der Sicherung von konsistenter Interaktion an der Benutzungsschnittstelle sinnvoll anwendbar. Der Mehrwert des Ansatzes zeigt sich hier nicht so sehr in den absoluten Ausprägungen auf den beiden Dimensionen, sondern vielmehr in den relativen Unterschieden, die zwischen den einzelnen Teilen des Tangible User Interfaces auftreten.

10.12. Betrachtung im Lichte der Retrospektive von Ishii

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Ishii (2008), der in Abschnitt 6.4.12 beschrieben wurde.

Einordnung

Ishii (2008) spricht in seiner umfassenden Darstellung der Entwicklung des Forschungsgebiets „Tangible User Interfaces“ eine Vielzahl von Aspekten an, die der Konzeptbildung im Gebiet dienlich sind. Er spart jedoch Ansätze aus, die analytisch oder von Seiten der Spezifikation an TUIs herangehen. Trotzdem ist eine Einordnung in die unterschiedlichen angesprochenen Aspekte zum Teil möglich. Ein Großteil der Ergebnisse wurden ob des zusammenfassenden Charakters des Artikels bereits in früheren Abschnitten bearbeitet und argumentiert. Diese werden hier nur noch zusammenfassen erwähnt.

Für die Einordnung des Systems in das MCRit-Framework sei an dieser Stelle auf die bis auf die veränderte Nomenklatur identische Betrachtung des MCRpd-Frameworks in Abschnitt 10.6 verwiesen.

Hinsichtlich der Kategorisierung von TUIs ist das System identisch zu den in Abschnitt 10.7 Kategorien einzuordnen. Die bei Ishii (2008) angegebenen Kategorien stellen lediglich eine Erweiterung (bzw. Verbreiterung des Betrachtungsbereichs) der von Ullmer et al. (2005) identifizierten Kategorien dar. Die zusätzlichen Kategorien haben jedoch für das hier vorgestellte Werkzeug keine Relevanz, so dass eine weiterführende Neubewertung unterbleiben kann.

Die von Ishii angeführten grundlegenden Eigenschaften und Merkmale eines TUI ermöglichen in Ermangelung der Angabe von konkreten Merkmalsausprägungen oder Beurteilungskriterien keine Einordnung des Werkzeugs. Die angegebenen Aspekte überschneiden sich jedoch stark mit den Eigenschaften und Merkmalen der in Abschnitt 10.1 und 10.2 betrachteten Ansätze von Fitzmaurice et al. (1995) und Fitzmaurice (1996).

Bewertung

Die umfassende Retrospektive der Entwicklung des Forschungsgebiets der „Tangible User Interfaces“, die von (Ishii, 2008) vorgenommen wird, ermöglicht einen breiten Blick auf das aktuelle Feld und identifiziert außerdem nach wie vor offene Forschungs-Punkte. Für die Beurteilung eines TUI ist die Arbeit so wie die Ansätze, auf denen sie aufbaut und die sie integriert, nur bedingt geeignet. Dies liegt in der abstrakt-konzeptuell bleibenden Beschreibung der einzelnen Aspekte begründet, die eine Einordnung nicht ermöglicht. Detailspekte eines Systems bleiben unberücksichtigt, Ziel des Artikels ist es nicht, eine

Analyse- oder Spezifikationsframework einzuführen (tatsächlich wird dies als einer der offenen Forschungspunkte genannt).

Für das Werkzeug können aus oben genannten Gründen aus der Betrachtung im Lichte dieses Ansatzes keinerlei Potentiale für Verbesserungen abgeleitet werden. Die mögliche globale Einordnung des Gesamtsystems wurde bereits in anderen Abschnitten auf Basis der diesem Ansatz zugrunde liegenden Arbeiten vorgenommen und bringt an dieser Stelle keine neuen Erkenntnisse.

10.13. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das hier vorgestellte Werkzeug in die in Abschnitt 6.4 beschriebenen Ansätze zur konzeptuellen Betrachtung eines Tangible User Interface eingeordnet. Damit wurden zwei Zielsetzungen verfolgt. Einerseits sollten die vorgestellten Ansätze hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zur und Ausdrucksstärke bei der Beschreibung eines Tangible User Interfaces überprüft werden. Andererseits sollte aus der strukturierter konzeptuellen Betrachtung des Werkzeugs mögliche Inkonsistenzen in Design und Implementierung identifiziert werden und ggf. daraus Maßnahmen zur Verbesserung des Werkzeugs abgeleitet werden. Diese beiden Aspekte werden in den folgenden beiden Abschnitten getrennt betrachtet.

10.13.1. Eignung der konzeptuellen Ansätze zur Beschreibung von TUIs

Ergänzend zu den in Abschnitt 6.4.13 beschriebenen Ausdrucksstärke der vorgestellten konzeptuellen Ansätze wird an dieser Stelle auf deren Eignung zur Beschreibung bzw. Spezifikation von Tangible Interfaces im praktischen Einsatz eingegangen. Auf das Einsatzgebiet des strukturieren Vergleichs von TUIs wird hier nicht eingegangen, da dieser hier mangels verfügbarer Alternativsysteme nicht durchgeführt wurde.

Jene Arbeiten, die in Abschnitt 6.4.13 als „auf das Gesamtsystem fokussierend“ eingeordnet wurden, sind für die Beschreibung bzw. Spezifikation von TUIs nur bedingt geeignet. Sie sind im Allgemeinen nicht dazu geeignet, auf Spezifika des Systems einzugehen und bleiben damit zu abstrakt um konkrete Aussagen hinsichtlich der Implementierung abzuleiten bzw. Verbesserungspotential identifizieren zu können. Einige Arbeiten weisen darüber hinaus aufgrund ihres Alters eine eher eingeschränktes Verständnis von TUIs auf und sind deshalb zur Beschreibung von aktuellen Systemen nur mit Einschränkungen geeignet (z.B. (Fitzmaurice, 1996)).

Manche Arbeiten legen sich hinsichtlich des Referenzrahmens nicht explizit fest, so dass sie sowohl zu Beschreibung eines Gesamtsystems als auch für die Beschreibung

von Teilaspekten komplexerer Systeme eingesetzt werden können. Zu diesen zählen etwa (Koleva et al., 2003) und Fishkin (2004).

Die übrigen betrachteten Arbeiten wählen die einzelnen Elemente eines TUI als Bezugspunkt und beschreiben das Gesamtsystem als Ensemble von Teilaspekten. Diese Sichtweise nehmen explizit lediglich (Ullmer et al., 2005) (Abschnitt 10.7) und (Shaer et al., 2004) (Abschnitt 10.9) ein. Dabei eignet sich der erstgenannte Ansatz nur bedingt zur detaillierten Beschreibung von TUIs, da die vorgeschlagenen Beschreibungsdimensionen zu abstrakt bzw. wenig detailliert ausfallen.

Für die Spezifikation von TUIs ist retrospektiv der TAC-Ansatz von Shaer et al. (2004) am besten geeignet. Dieser vereint die Beschreibung von Struktur und Verhalten des Systems und erlaubt so eine umfassende Spezifikation in einem vorgegebenen Schema.

Zur Beschreibung eines TUI auf Ebene des konzeptuellen Designs bietet sich die Taxonomie für Tangible Interfaces nach Fishkin (2004) an, da diese – basierend auf einem breiten Verständnis von TUIs – umfassend die grundlegend notwendigen Designentscheidungen für TUIs („Embodiment“ und „Metaphor“) anspricht. Die Anwendung der Taxonomie kann so den Designprozess strukturieren und die Erkennung etwaiger Inkonsistenzen in der Konzeption bereits vor der Umsetzung ermöglichen (siehe dazu auch Abschnitt 8 bzw. (Oppl, 2009b)).

10.13.2. Verbesserungspotential für das Werkzeug

Für das Werkzeug selbst konnten im Rahmen der konzeptuellen Einordnung mehrere Aspekte identifiziert werden, die einer Verbesserung bedürfen oder mögliche Erweiterungspunkte aufzeigen. Die konzeptuell begründbaren Schwachpunkte sind:

- die Diskrepanz zwischen durch das verwendete physische Objekt suggerierte Verwendung des Lösch-Tokens und seiner tatsächlichen Funktionalität (begründbar aus (Underkoffler und Ishii, 1999) – siehe Abschnitt 10.5 –, (Koleva et al., 2003) – siehe Abschnitt 10.8) –, (Shaer et al., 2004) – siehe Abschnitt 10.9) – und (Fishkin, 2004) – siehe Abschnitt 10.11)
- die schwache Kopplung zwischen physischem Werkzeug und digitaler Repräsentation bei der Navigation durch die Modellierungshistorie – auf der Oberfläche wird kein Feedback zur physisch durchgeführten Aktion dargestellt, lediglich der sekundäre Ausgabekanal zeigt den Zustand an (aus (Ullmer und Ishii, 2000) – siehe Abschnitt 10.6)
- das Auftreten von Verzögerungen zwischen physischer Aktion und digitalem Feedback (aus (Bellotti et al., 2002) – siehe Abschnitt 10.7)
- das Fehlen einer expliziten, funktional ungebundenen und mittels einer einfachen Interaktion auszulösenden Undo-Funktion (aus (Bellotti et al., 2002) – siehe Abschnitt 10.7)

- die fehlende Verständlichkeit des Snapshot-Tokens, dessen physische Form keinen Hinweis auf dessen Funktion liefert (aus (Fishkin, 2004) – siehe Abschnitt 10.11)

Zusätzlich wurden folgende Erweiterungsmöglichkeiten identifiziert:

- eine Erweiterung um funktional explizit belegte physische Interaktionsbereiche am Werkzeug (trays) um etwa das Anbinden von Information komfortabler zu gestalten („trays“ im Sinne von (Ishii und Ullmer, 1997) – siehe Abschnitt 10.3)
- die Verwendbarkeit frei wählbarer Tokens auch aus der Domäne der Benutzer zusätzlich zu den vorhandenen abstrakten Modellierungs-Tokens (aus (Holmquist et al., 1999) – siehe Abschnitt 10.4)

Die identifizierten Schwachpunkte wurden auch im Rahmen der in den folgenden Abschnitten beschriebenen empirischen Evaluierung berücksichtigt und hinsichtlich ihres tatsächlichen Auftretens überprüft. Tatsächlich auftretende Schwachstellen wurden zum Teil auch überarbeitet und einer erneuten Evaluierung unterzogen. Bei diesen Überarbeitungen wurden jeweils die aus den konzeptuellen Arbeiten ableitbaren Verbesserungsmaßnahmen als Grundlage herangezogen, so dass auch deren Eignung für die Spezifikation von TUIs einer Beurteilung unterzogen werden kann.

10.13.3. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt den ersten Schritt zur Prüfung der Effektivität der Unterstützung von „Articulation Work“ dar und trägt somit zur Beantwortung der Fragestellung 6 („Ermöglicht das Instrument die effektive Durchführung von expliziter Articulation Work?“) bei, indem es die zu erwartende Verwendbarkeit des Werkzeugs zur Umsetzung der Methodik im Kontext von „Articulation Work“ auf Basis konzeptueller Überlegungen aus der Literatur prüft. Die konzeptuelle Basis wurde im Rahmen der Bearbeitung von Fragestellung 5 bereits in Kapitel 6 erfasst.

10.13.4. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die identifizierten Schwachstellen wurden auch im Rahmen der in den folgenden Abschnitten beschriebenen empirischen Evaluierung berücksichtigt und hinsichtlich ihres tatsächlichen Auftretens überprüft. Tatsächlich auftretende Schwachstellen wurden zum Teil auch überarbeitet und einer erneuten Evaluierung unterzogen. Bei diesen Überarbeitungen wurden jeweils die aus den konzeptuellen Arbeiten ableitbaren Verbesserungsmaßnahmen als Grundlage herangezogen. Diese werden in Schlussbetrachtungen nochmals den empirisch identifizierten verbesserungswürdigen Aspekten des Werkzeugs gegenüber gestellt. Neben einem Beitrag zur Prüfung der Effizienz ermöglicht diese Arbeit dadurch auch eine Einschätzung der Eignung der erfassten konzeptuellen Ansätze zur Spezifikation bzw. Prüfung von Tangible Interfaces.

11. Überblick über die empirische Untersuchung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die in dieser Arbeit durchgeführte empirische Untersuchung gegeben. Dabei wird auf die einzelnen zu untersuchenden Aspekte, deren theoretische Grundlagen und die Durchführung der Untersuchung eingegangen. Abbildung 11.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

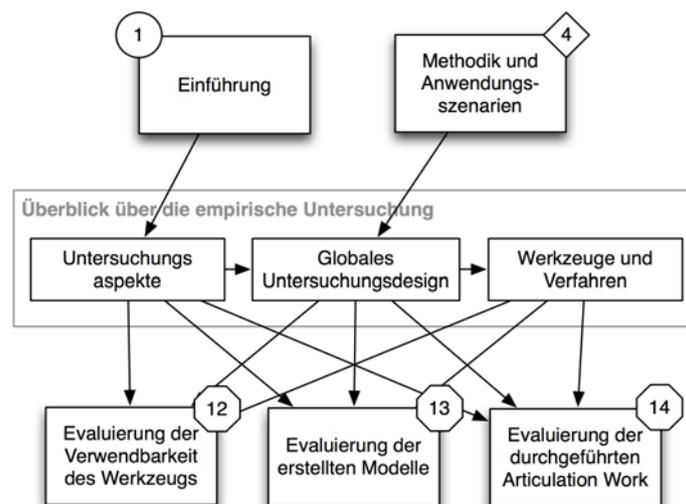


Abbildung 11.1.: Kapitel „Überblick über die empirische Untersuchung“ im Gesamtzusammenhang

Die im Rahmen der empirischen Evaluierung zu untersuchenden Aspekte sind Gegenstand des ersten Abschnitts. Neben einer wiederholenden grundlegenden Betrachtung werden hier die jeweiligen Untersuchungsfragen festgelegt. Eine nähere Betrachtung der einzelnen Aspekte, die Festlegung der Methodik und deren Operationalisierung im Rahmen des konkreten Untersuchungsdesigns erfolgt im Rahmen der übrigen Kapitel in diesem Teil der Arbeit.

Im zweiten Abschnitt wird ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign gegeben. Auf Basis der zu evaluierenden Aspekte werden die konkret durchgeführten Teile der Evaluation (im Folgenden: „Evaluierungsblöcke“) beschrieben und den Aspekten zugeordnet. Diese Evaluierungsblöcke werden überblicksweise hinsichtlich der intendierten Ziele, der Aufgabenstellung und der jeweiligen Anzahl der Teilnehmer beschrieben. Die Beschreibung bildet die Grundlage für die Beschreibung der Evaluierung der zu prüfenden Aspekte in den folgenden Kapiteln.

11.1. Zu untersuchende Aspekte

Die Untersuchung der effektiven Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ bedingt die Konkretisierung des Effektivitäts-Begriff. Grundsätzlich wird Articulation Work immer im Zusammenhang mit einem konkreten Arbeitsprozess (der „Production Work“) bzw. mit einer in diesem aufgetretenen problematischen Situation durchgeführt. Die Wirkung von „Articulation Work“ zeigt sich an damit unmittelbar an der „Production Work“ und an den in diesem beteiligten Individuen. „Articulation Work“ ist dann effektiv, wenn die beteiligten Personen die Situation nicht mehr als problematisch wahrnehmen und die „Production Work“ (wieder) ohne Hindernisse durchgeführt werden kann. Eine Voraussetzung zur Durchführung effektiver expliziter „Articulation Work“ ist aus methodischer Sicht die Durchführung der kooperativen Modellbildung, die zur Abstimmung der individuellen mentalen Modelle über die Production Work verwendet wird. Hinsichtlich der kooperativen Modellbildung ist als Voraussetzung der effektiven Unterstützung expliziter „Articulation Work“ die Fähigkeit des Instruments zu sehen, die zur Durchführung der Modellbildung notwendigen Schritte für die beteiligten Individuen verständlich und benutzbar zu unterstützen.

An dieser Konkretisierung des Begriffs der Effektivität zeigt sich, dass zur Bestätigung der effektiven Wirkung des Instruments an mehreren Stellen erfolgen muss. Im Zuge der Evaluation der Ergebnisse dieser Arbeit müssen einerseits die Erfüllung der Voraussetzungen zur effektiven Unterstützung expliziter „Articulation Work“ einzeln betrachtet werden; andererseits muss die Effektivität anhand der Wirkung der „Articulation Work“ selbst bestätigt werden. Die drei zu untersuchenden Aspekte werden durch folgende Untersuchungsfragen abgedeckt:

- Sind das Werkzeug und dessen Komponenten verständlich und wie intendiert einsetzbar? (Aspekt: Verwendbarkeit des Instruments)
- Unterstützt das Instrument die kooperative Modellbildung? (Aspekt: Kooperative Modellbildung)
- Unterstützt das Instrument Articulation Work? (Aspekt: Wirkung)

Die Detaillierung der Fragestellungen ist in den folgenden Abschnitten beschrieben. Die Beschreibung der zu prüfenden Hypothesen sowie die Operationalisierung der Untersuchungsfragen erfolgt in den Kapitel 12 bis 14.

11.1.1. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs

Die Evaluierung des Werkzeugs an sich beschäftigt sich mit der Beantwortung der ersten Untersuchungsfrage. Diese zielt auf die Verständlichkeit des Werkzeugs im weiteren Sinn ab. Unter „Verständlichkeit im weiteren Sinn“ ist hier zu verstehen, dass einerseits geprüft werden muss, ob die Bedeutung und grundlegende Verwendung der Komponenten des Werkzeugs von Benutzern erfasst und verstanden werden und ob andererseits die Interaktionsabläufe, die zur Auslösung bzw. Abwicklung einer Funktion des Werkzeugs führen, für Benutzer verständlich und nachvollziehbar sind.

Neben der quantitativen Bewertung anhand dieser Metriken ist bei der Untersuchung dieses Aspektes vor allem auch das qualitative Feedback der Benutzer notwendig, um Ansatzpunkte zur Verbesserung der Verwendbarkeit des Werkzeugs zu erhalten. Diese Anregungen können im Sinne eines iterativen Designprozesses umgesetzt und deren Auswirkungen erneut einer Evaluierung unterzogen werden. Neben der Erhebung dieser zusätzlich funktionalen Anforderungen für einen iterativen Designprozess sind in diesem Zusammenhang auch Hinweise hinsichtlich nicht-funktionaler Aspekte des Systems zu berücksichtigen, die der Verwendbarkeit negativ beeinflussen bzw. auch unkritisch sein können.

Die Verwendbarkeit des Werkzeugs kann nicht entkoppelt von der Anwendungsdomäne betrachtet werden, muss also im Kontext der Aufgabe, für die es eingesetzt wird, gesehen werden. Das Werkzeug ist zwar grundsätzlich für die Repräsentation beliebiger diagrammatischer Modelle ausgelegt, eignet sich aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen jedoch nicht gleich gut für alle möglichen Anwendungsfälle (so sind z.B. ausschließlich Verbindungen mit zwei Endpunkten erstellbar, Verbindungen mit mehr Endpunkten werden nicht unterstützt). Die Prüfung der Verwendbarkeit des Werkzeugs kann hier fokussiert auf die in dieser Arbeit verfolgten Anwendungsfälle durchgeführt werden, die im Bereich der konzeptuellen Netze (im Wesentlichen Varianten von Concept Maps) und im Bereich der Abbildung von Arbeitsvorgängen (im Wesentlichen kausale Zusammenhänge mit Kontextinformation) zu finden sind. Die Unterstützung anderer Anwendungsfälle ist möglich und unter Umständen erstrebenswert, stellt jedoch kein Beurteilungskriterium dar.

11.1.2. Evaluierung der Modellbildung

Der zweite zu evaluierende Aspekt sind die mit dem Werkzeug erstellten Modelle, die als Mittel zur Durchführung expliziter „Articulation Work“ dienen. Die Untersuchung

dieser Frage trägt damit unmittelbar zur Klärung der in der Detaillierung der Zielsetzung (siehe Abschnitt 1.1) formulierten Frage „Welche Auswirkungen hat die Verwendung des Werkzeugs während der Durchführung der Articulation Work?“ bei.

Eine wesentliche Eigenschaft, die Modelle als Mittel zur Durchführung expliziter „Articulation Work“ aufweisen müssen, ist die Adäquatheit der Modellierungssprache hinsichtlich der durch die Benutzer zu repräsentierenden Information. Diese Eigenschaft wird in der vorliegenden Arbeit durch die in Kapitel 3 beschriebene Anforderung der semantischen Offenheit abgedeckt, der jedoch vor allem hinsichtlich der intersubjektiven Verständlichkeit der Modelle und deren Eindeutigkeit nicht nur Vorteile bringt. Grundlegend ist in dieser Phase zu evaluieren, ob die erstellten Modelle den im Rahmen des Einsatzes zur Unterstützung von „Articulation Work“ intendierten Zweck erfüllen. Dabei sind sowohl das Modell als auch das (hier von den Benutzern festgelegte) Metamodell zu betrachten. Anhaltspunkte zur Identifikation der zu evaluierenden Objekte sowie zum Vorgehen bieten hier der Ansatz der „Interactive Process Models“ (Jørgensen, 2004) und die „Grundsätze der ordnungsgemäßen Modellierung“ (Becker et al., 2000) sowie von diesen Arbeiten abgeleitete Ansätze.

Die eben beschriebenen Ansatzpunkte erlauben eine Evaluierung der erstellten Modelle hinsichtlich der Abbildbarkeit der Kernaspekte von „Articulation Work“ im engeren Sinne (Strauss’ „salient dimensions“: „*who, where, when, what and how*“ (Fjuk et al., 1997)), decken also im Wesentlichen eine an organisationalen Abläufen orientierten Sicht auf Modelle ab. Im Sinne der Offenheit der Abbildung müssen aber auch Modelle berücksichtigt werden, die nicht diese „salient dimensions“ zur Grundlage haben, also „Concept Maps“ (Novak und Cañas, 2006) im allgemeinen Sinn sind und damit die Abbildung mentaler Modelle nicht nur über unmittelbare Arbeitsaspekte sondern über beliebige Sachverhalte erlauben (Ifenthaler, 2006). Dabei sind Metriken notwendig, die die erstellten Modelle selbst betrachten und deren Eigenschaften und Verwendung beim Concept Mapping bzw. im Rahmen von Strukturlegetechniken berücksichtigen.

Wie bereits im letzten Abschnitt angeführt, ist auch bei diesem Aspekt der Evaluierung der in dieser Arbeit verfolgte Anwendungszweck des Werkzeugs (bzw. hier: der Modelle) zu berücksichtigen. Dies ist insofern ein einschränkender Faktor, als dass hier Modelle lediglich im Kontext der Externalisierung mentaler Modelle und zur Unterstützung von „Articulation Work“ berücksichtigt werden. Das Werkzeug selbst erlaubt auch die Erstellung von Modellen zu anderen Anwendungszwecken, die jedoch hier nicht weiter berücksichtigt werden.

11.1.3. Evaluierung der Effekte der Articulation Work

Letztendlich muss auch die durchgeführte „Articulation Work“ selbst beurteilt werden. Dabei wird entsprechend der in Abschnitt 1.1 formulierten Frage „Welche Auswirkungen hat die Verwendung des Werkzeugs auf die beteiligten Personen in der Production

Work?“ die Wirkung der durchgeführten „Articulation Work“ auf die beteiligten Personen im Kontext ihrer Arbeitstätigkeit untersucht.

In der Literatur zum Thema „Articulation Work“ werden zumeist lediglich das Phänomen „Articulation Work“ und dessen konkrete Ausprägungen beschrieben (siehe Kapitel 2), Ansätze zur Bewertung des Erfolgs von „Articulation Work“ sind jedoch selten zu finden. Aus der Verschränkung zwischen „Articulation Work“ und „Production Work“, also jenem Anteil der Arbeit, der unmittelbar der Zielerreichung dient, die von mehreren Autoren, unter anderem Fujimura (1987) und Strauss (1993), erwähnt wird, lassen sich jedoch Ansatzpunkte ableiten.

„Articulation Work“ tritt immer dann auf, wenn eine Zielerreichung in der „Production Work“ aufgrund von Unklarheiten oder Problemen zwischen den beteiligten Individuen nicht möglich ist. Ein erfolgreicher Abschluss der „Production Work“ bei am Beginn oder während der Arbeit bestehenden Unklarheiten weist also auf erfolgreich durchgeführte „Articulation Work“ hin. „Articulation Work“ manifestiert sich im Arbeitsprozess auf unterschiedliche Arten, so dass bei der Evaluierung hinsichtlich der Auswirkungen des Werkzeugs diese von den übrigen Einflussfaktoren (also auf anderen Wegen durchgeführte „Articulation Work“) getrennt werden muss. Dazu ist eine Betrachtung des gesamten Arbeitsablaufs unter Berücksichtigung von Production und „Articulation Work“ notwendig. Metriken, die bei der Bewertung des Erfolgs von „Articulation Work“ zu berücksichtigen sind, sind also einerseits im Ergebnis des Arbeitsprozesses, andererseits auch im Arbeitsprozess selbst zu finden.

Ein zweiter Ansatzpunkt zur Bewertung des Erfolgs von „Articulation Work“ liegt in den Aussagen von Strauss (1993) hinsichtlich der wahrgenommenen „Problematik“ einer Arbeitssituation, die „Articulation Work“ notwendig macht. Diese Wahrnehmung ist individueller Natur, d.h. „Articulation Work“ ist dann notwendig, wenn zumindest einer am Arbeitsablauf beteiligten Person Aspekte der Arbeit unklar sind oder als problematisch wahrgenommen werden. Im Gegenzug ist keine „Articulation Work“ notwendig bzw. diese abgeschlossen, wenn alle beteiligten Personen die Situation als unproblematisch empfinden bzw. mit den im Rahmen der (expliziten) „Articulation Work“ erzielten Ergebnissen zufrieden sind. Hier liegt der Ansatzpunkt für eine Evaluierung des Erfolgs der durchgeführten „Articulation Work“, der diese auf Basis der individuellen Wahrnehmungen der beteiligten Personen beurteilt.

11.2. Globales Untersuchungsdesign

Die oben beschriebenen Aspekte müssen nun im Rahmen einer empirischen Untersuchung geprüft werden. Während das detaillierte Untersuchungsdesigns in den folgenden Kapiteln, die sich jeweils einem der drei zu evaluierenden Aspekte widmen, beschrieben

wird, wird an dieser Stelle ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign und die im Rahmen der Evaluierung durchgeführten Anwendungen des Werkzeugs gegeben.

Im ursprünglichen globalen Untersuchungsdesign war vorgesehen, jedem der zu untersuchenden Aspekte einen Block an Anwendungen des Werkzeugs mit einer auf den jeweiligen Aspekt abgestimmten Aufgabenstellung zuzuordnen. Nach Durchführung der ersten beiden Blöcke wurde offensichtlich, dass sich aus der Anwendung des Werkzeugs heraus zusätzliche Hypothesen ableiten ließen, die – um sie in der Evaluierung berücksichtigen zu können – in einem späteren Block geprüft werden mussten. Außerdem wurde offensichtlich, dass vor allem zur Evaluierung des Werkzeugs in allen Blöcken Verbesserungspotential identifiziert werden konnte bzw. Anregungen der Anwender rückgemeldet wurden, die zum Teil im Rahmen des iterativen Entwicklungsprozesses in das Werkzeug einfließen und deren Wirkung in einem späteren Block erneut geprüft werden musste.

Letztendlich wurden die Blöcke für die Evaluierung mehrerer bzw. aller Aspekte herangezogen, sofern die jeweilige Aufgabenstellung geeignet war. Bei der nun folgenden Beschreibung der Anwendungs-Blöcke wird deshalb jeweils angegeben und begründet, inwieweit diese in die Evaluierung welcher Aspekte einfließen. Ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign mit einer überblicksweisen Zuordnung zwischen den zu evaluierenden Aspekten und den Anwendungsblöcken wird in Abschnitt 11.4 gegeben.

11.2.1. Block 1: Technische Evaluierung

Die Intention von Block 1 war die grundlegende Verständlichkeit und Verwendbarkeit des Werkzeugs zu prüfen. Fokus dieses Blocks an Anwendungen des Werkzeugs war also die Untersuchung der Eigenschaften des Werkzeugs selbst. Zusätzlich wurde hier explorativ die Wirkung des Werkzeugs auf die Modellierungstätigkeit und Kooperation der Anwender untersucht.

Kontext

Die Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt (Bohninger (2010)), wobei die Untersuchungen in keinen einheitlichen realen Arbeitskontext eingebettet waren. Allerdings war die Aufgabenstellung so formuliert, dass die erstellten Modelle aus den Arbeitskontexten der jeweiligen Teilnehmer stammten.

Aufgabenstellung und Ablauf

Den modellierenden Teilnehmern wurde mitgeteilt, dass sie einen Aspekt aus ihrem täglichen Arbeits- oder Privatleben abbilden sollten, der regelmäßig auftritt oder bereits mehrmals für Probleme sorgte. Die bewusste Offenheit der Aufgabenstellung sollte dabei bewirken, dass sich die Teilnehmer nicht zu sehr auf den abzubildenden Sachverhalt,

sondern eher auf den Abbildungsprozess selbst fokussierten. Die Modellbildung erfolgte jeweils individuell.

Nur die Hälfte der Teilnehmer erstellte tatsächlich Modelle. Die zweite Hälfte wurde zur Überprüfung der Verständlichkeit der Modelle sowie der Verwendbarkeit des Werkzeugs zur kooperativen Modellierung herangezogen. Dazu wurde nach Abschluss einer Modellbildung jeweils ein nicht modellierender Teilnehmer an die Modellierungsoberfläche gebeten und aufgefordert, die Abbildung zu interpretieren. Die Beurteilung der Adäquatheit dieser Interpretation erfolgte durch den ursprünglich modellierenden Teilnehmer.

In einer dritten Phase wurden beide Teilnehmer aufgefordert, das Modell gemeinsam zu reflektieren und gegebenenfalls zu verändern, um es den Ergebnissen der Reflexion anzupassen. In dieser Phase war das vorrangige Ziel, die Verwendung des Werkzeugs bei der Veränderung von Modellen und dessen kollaborativer Anwendung zu testen.

Entsprechend dieser Beschreibung ist die Phase 1 dieses Blocks dem Anwendungsszenario „Verfeinerung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.1) zuzuordnen. Die Phasen 2 und 3 sind dem Anwendungsszenario „Wissenstransfer“ (siehe Abschnitt 4.3.2) zuzuordnen.

Anwendungen und Teilnehmer

Insgesamt wurden neun Anwendungen des Werkzeugs wie oben beschrieben durchgeführt. Zusätzlich wurde das Untersuchungsdesign im Rahmen von drei Anwendungen getestet (Pretest), woraus hinsichtlich der technischen Eigenschaften des Werkzeugs ebenfalls bereits Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Insgesamt nahmen also 24 Personen an diesem Block von Anwendungen teil, 6 davon in der Pretest-Phase.

Die Teilnehmer (exkl. Pretest) stammten aus unterschiedlichen beruflichen Hintergründen und unterschieden sich auch in der Art der höchsten abgeschlossenen Ausbildung (7 Universität/FH, 7 Matura, 4 Lehrabschluss). Die Altersspanne lag zwischen 19 und 43 Jahren, 13 Teilnehmer waren weiblich, 11 männlich.

Die Modellierungsphasen (exkl. Pretest) dauerten im Schnitt 8 Minuten ($SD = 2m13s$), die kürzeste Modellbildung dauerte 5 Minuten, die längste 12 Minuten. Die Interpretations- und Reflexionsphasen (nicht separat aufschlüsselbar, da zum Großteil ineinander übergehend) dauerten im Schnitt 5 Minuten ($SD = 1m45s$).

Verwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Blocks flossen in die Evaluierung des Werkzeugs und in die Hypothesenbildung hinsichtlich der erstellten Modelle ein. Für die Evaluierung der Modelle konnten erste Erkenntnisse hinsichtlich der Verständlichkeit der mit offener Semantik

gewonnen werden. Keine Ergebnisse brachte dieser Block für die Evaluierung der durchgeführten „Articulation Work“.

11.2.2. Block 2: Aushandlung von Zusammenarbeit 1

In Block 2 lag der Fokus der Evaluation erstmals auf der Unterstützung von „Articulation Work“. In diesem Rahmen wurden auch die Verwendbarkeit des Werkzeugs im praktischen Anwendungskontext und die Eigenschaften der erstellten Modelle sowie deren Rolle im Prozess der expliziten „Articulation Work“ untersucht.

Kontext

Block 2 wurde im Rahmen eines Seminars aus Wirtschaftsinformatik mit Studierenden dieser Studienrichtung durchgeführt. Die im Seminar zu erstellenden wissenschaftlichen Arbeiten wurden von den Studierenden in Gruppen zu 2-3 Personen ausgearbeitet. Die Gruppen wurden so gebildet, dass sich die Teilnehmer nicht persönlich kannten oder zumindest nicht bereits in anderen Kontexten zusammengearbeitet hatten. Ziel dieser Maßnahme war die Vermeidung der Verfälschung der Untersuchungsergebnisse durch bereits eingespielte Gruppen (Erfahrungen in Seminaren der Vorjahre zeigen tendentiell schlechtere Ergebnisse bei der Zusammenarbeit von einander nicht persönlich bekannten bzw. nicht eingespielten Teilnehmern).

Im Rahmen des Seminars wurden sechs Forschungsgebiete ausgewählt, die in Zusammenhang mit der Erstellung und Verwendung sozio-technischer Systeme stehen (konkret: Organisationales Lernen, eLearning, CSCW, Mentale Modelle, „Articulation Work“ und semantische Contentanreicherung). Den Gruppen wurden jeweils zufällig zwei dieser Themen zugewiesen, die Aufgabe für die wissenschaftliche Arbeit war das Finden und Beschreiben einer möglichen Verknüpfung oder eines möglichen Zusammenhanges zwischen diesen Themen. Dieser Zusammenhang sollte im Zentrum der Seminararbeit stehen und aus beiden Grundlagen-Themen argumentiert sein. Ziel dieser Maßnahme war es, die Seminararbeit so offen wie möglich zu gestalten und einen Themenfindungs- bzw. Konkretisierungsprozess in den Ablauf zu integrieren. Außerdem wurde so ein Szenario geschaffen, in dem sich eine strikte Arbeitsteilung der Gruppenteilnehmer ohne weitere Zusammenarbeit während der Ausarbeitung der Inhalte („Production Work“) potentiell auf das Ergebnis auswirkt und sich konkret der fehlenden oder schwachen Verknüpfung der Grundlagen-Themen zeigt.

Aufgabenstellung und Ablauf

Das Werkzeug wurde im Rahmen des Seminars für jede Gruppe zweimal eingesetzt. Die erste Anwendung fand zu Beginn des Seminars nach der Themenzuteilung statt. Die Auf-

gabe war die Aushandlung der Modalitäten der Zusammenarbeit mit der Zielsetzung, dass an der resultierenden wissenschaftlichen Arbeit die Ko-Autorenschaft nicht mehr zu erkennen sein sollte (etwa durch plötzlich wechselnde Schreibstile oder Brüche in der Argumentationskette). Den Teilnehmern wurde das Werkzeug und dessen Funktionen vorgestellt und ohne weitere Vorgaben zur Verfügung gestellt (insbesondere wurden weder Vorgaben hinsichtlich der Topologie des zu erstellenden Modells oder der Bedeutung der Modellierungselemente gemacht).

In der zweiten Anwendung wurde der Zusammenarbeitsprozess reflektiert und gegebenenfalls eine Adaption vereinbart. Die zweite Anwendung fand in der Mitte des Semesters nach Abschluss der Literaturrecherche und der Grobkonzeption, aber vor der Erstellung der eigentlichen wissenschaftlichen Arbeit statt. Konkrete Zielsetzung für die Teilnehmer war hier, auf Basis der bisherigen Erfahrungen die weitere Zusammenarbeit zu vereinbaren. Das Werkzeug wurde ohne neuerliche Vorstellung und ohne Vorgaben hinsichtlich der Verwendung zur Verfügung gestellt.

Entsprechend dieser Beschreibung ist die erste Anwendung des Werkzeugs in diesem Block dem Anwendungsszenario „Aushandlung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.4) zuzuordnen. Die zweite Anwendung ist in das Anwendungsszenario „Abstimmung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.3) einzuordnen.

Anwendungen und Teilnehmer

Insgesamt nahmen an diesem Block 19 Personen in 9 Gruppen zu 2 bzw. einmalig 3 Personen teil. Jede der Gruppen setzte das Werkzeug zweimal ein, wodurch insgesamt 18 Anwendungen die Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse bilden.

Die Teilnehmer waren allesamt Studierende der Wirtschaftsinformatik im zweiten Studienabschnitt. 18 Personen waren männlich, eine weiblich. Vier Personen hatten insofern Erfahrung mit wissenschaftlichen Arbeiten bzw. den konkreten Anforderungen in der betreffenden Lehrveranstaltungen, als dass sie bereits zuvor eine Lehrveranstaltung gleichen Typs besucht hatten.

In der ersten Runde dauerten die Anwendungen durchschnittlich 20 Minuten 50 Sekunden ($SD = 4 : 18$), in der zweiten Runde lediglich 9 Minuten 49 Sekunden ($SD = 5 : 20$).

Verwendung der Ergebnisse

Die in diesem Block erhobenen Daten fließen in die Auswertung aller drei zu evaluierenden Aspekte ein. Zur Auswertung hinsichtlich des Erfolgs von „Articulation Work“ liegen neben den Aufnahmen der Modellierungsvorgänge und den erstellten Modellen selbst auch Prozessreflexionen der Teilnehmer über den Erstellungsprozess der Seminararbeiten sowie die Seminararbeit an sich vor. Die Auswirkungen von „Articulation Work“ können also am Ergebnis (im Vergleich zu Ergebnissen auf Lehrveranstaltungen

mit identischem Konzept) und am subjektiv wahrgenommenen Verlauf des Erstellungsprozesses der Arbeit bewertet werden.

Hinsichtlich der Auswertung des Modell-Aspektes wird durch diesen Block die Betrachtung von Modellen ermöglicht, die im Kontext der Arbeitsabstimmung erstellt wurden, also im Wesentlichen der Definition von Vorgehen und Schnittstellen dienen. Untersucht werden hier Aufbau und Inhalt der Modelle, wobei besonderes Augenmerk auf dem Prozess und Ergebnis der Bedeutungszuweisung zu den Modellelementen liegt.

Im Rahmen der Werkzeug-Evaluation bringt dieser Block die ersten Hinweise auf die Anforderungen an das Werkzeug bei der Verwendung desselben im Rahmen einer realen Aufgabenstellung. Außerdem wurde in diesem Block erstmals ein durchgängig kollaboratives Szenario eingesetzt, bei dem immer mindestens zwei Personen gleichzeitig das Werkzeug verwenden.

11.2.3. Block 3: Concept Mapping 1

Der Fokus von Block 3 lag auf der Erstellung von semantisch vernetzten Strukturen im Allgemeinen, wobei das Konzept der Concept Maps als ein etabliertes Werkzeug zur Externalisierung mentaler Modelle eingesetzt wurde. Inhaltlich fokussierte dieser Block nicht auf die Unterstützung von „Articulation Work“ im engeren Sinne, wohl aber auf die Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle, was wie in Kapitel 3 beschrieben ein Mittel zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ ist. Im Zentrum der Aufmerksamkeit steht in diesem Block also die Evaluierung der erstellten Modelle und der Nutzen des Werkzeugs zur Aushandlung einer einheitlichen auf einen gegebenen Sachverhalt.

Kontext

Der dritte Block wurde im Rahmen einer Lehrveranstaltung zur Schulung von Methoden der Prozess- und Kommunikationsmodellierung durchgeführt. Diese Lehrveranstaltung ist Teil der im Curriculum definierten Basiskompetenz Wirtschaftsinformatik und wird von Studierenden im zweiten bis dritten Studiensemester besucht.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung wurden drei unterschiedliche Prozessmodellierungssprachen (SeeMe (Herrmann et al., 2004a), Subjekt-orientierte Modellierung mittels JPass (Fleischmann, 2007) und EPK¹s aus dem ARIS-Konzept (Scheer und Nuettgens, 2000)) eingeführt und praktisch an einem durchgängigen Beispiel angewandt. Diese Sprachen unterscheiden sich sowohl im Anwendungsgebiet, in den abgebildeten Aspekten des realen Prozesses sowie in der Darstellungsform des Modells. Ziel der letzten Teilaufgabe, die unter Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs durchgeführt wurde, war bei den Stu-

¹Ereignisgesteuerte Prozesskette

dierenden ein Verständnis für die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen diesen Sprachen zu erzeugen und sie in die Lage zu versetzen, für einen gegebenen Anwendungsfall eine adäquate Sprache auszuwählen.

Aufgabenstellung und Ablauf

Die Aufgabe zur Erstellung der Concept Map umfasste zwei Teile, wobei im zweiten Teil das Tabletop Interface eingesetzt wurde. Die Aufgabenstellung lautete in beiden Teilen, eine Concept Map zu erstellen, die die als wesentlich wahrgenommenen Eigenschaften der vorgestellten Sprachen sowie deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede darstellt. In der ersten Phase war diese Aufgabe von den Studierenden individuell zu lösen, wobei die Concept Map auf Papier oder mit Hilfe des Werkzeugs CMapTools² (Cañas et al., 2004) am Rechner erstellt werden konnte.

In der zweiten Phase wurden Gruppen zu je drei Teilnehmern gebildet, die nun ihre individuellen Sichten konsolidieren und jeweils eine gemeinsame Concept Map zur gleichen Aufgabenstellung unter Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs erstellen sollten. Die Gruppen wurden zufällig zusammengesetzt, den Teilnehmern war während der individuellen Phase die Zuteilung nicht bekannt, so dass eine Abstimmung vor Anwendung des Werkzeugs weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Der zweite Teil der Aufgabenstellung in diesem Block, in dem das Werkzeug zur Anwendung gebracht wurde, entspricht damit einer Ausprägung des Anwendungsszenarios „Abstimmung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.3).

Anwendungen und Teilnehmer

An den Anwendungen, die in diesem Block durchgeführt wurden, nahmen insgesamt 54 Personen teil, die in 18 Gruppen einmalig mit dem Werkzeug arbeiteten. Alle Teilnehmer waren Studierende der Wirtschaftsinformatik im ersten Studienabschnitt (1-4 Semester), 8 waren weiblich, 46 männlich. Keinem der Teilnehmer war der Ansatz des Concept Mapping vor Beginn der betreffenden Aufgabe bekannt, Erfahrungen mit Prozessmodellierungssprachen (also dem Gegenstand der Concept Map) sammelten alle Teilnehmer erstmals im Rahmen der Lehrveranstaltung, in der dieser Evaluierungs-Block durchgeführt wurde.

Den Teilnehmern wurde das Werkzeug vor Beginn der Anwendung demonstriert und in sämtlichen Anwendungsaspekten erklärt. Die Anwendungen selbst dauerten durchschnittlich 32 Minuten 32 Sekunden ($SD = 10 : 07$), wobei die kürzeste Anwendung 14 Minuten, die längste 45 Minuten dauerte.

²<http://cmap.ihmc.us>

Verwendung der Ergebnisse

Die Daten, die aus diesem Block gewonnen werden konnten, gehen in die Evaluierung des Modell-Aspekts ein. Hier können einerseits wiederum die erstellten Modelle hinsichtlich Struktur, Inhalt und semantischen Zuweisungen untersucht werden. Der Modellierungsgegenstand ist in diesem Fall jedoch anders gelagert als im vorhergehenden Fall, anstelle einer Arbeitsabstimmung ist hier ein Vergleich von Konzepten durchzuführen. Andererseits können hier die Abstimmungsprozesse der individuellen mentalen Modelle insofern betrachtet werden, als dass für jede Gruppe neben dem kooperativ erstellten Ergebnis auch noch die individuellen Concept Maps vorliegen und ausgewertet werden können.

Wie bereits in den zuvor beschriebenen Blöcken können auch hier wieder Erkenntnisse hinsichtlich der Verwendung des Werkzeugs gewonnen werden. Aufgrund der der Aufgabe innewohnenden Relevanz der Verbindungen zwischen Konzepten ist vor allem deren Verwendung bzw. der Vorgang deren Erstellung zu betrachten.

Der Aspekt „Articulation Work“ bleibt in diesem Block insofern außen vor, als dass kein Arbeitskontext vorliegt, keine aufzulösende Problematik vorliegt und keine Zusammenarbeit auszuhandeln ist. Insofern wird dieser Aspekt in diesem Block nicht explizit behandelt. Aufgrund der Durchführung sämtlicher Schritte, die zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ notwendig sind (Externalisierung, Abstimmung) können aber die einzelnen Anwendungen zur Hypothesenbildung für den Evaluierungs-Aspekt „Articulation Work“ herangezogen werden.

11.2.4. Block 4: Aushandlung von Zusammenarbeit 2

Block 4 deckt die erste Anwendung des Werkzeugs im realen Unternehmenskontext ab. Im Rahmen einer Diplomarbeit (Wahlmüller, 2010) wurde das Werkzeug zur Offenlegung unmittelbar relevanter bzw. urgenter Fragestellungen eingesetzt, die im Rahmen eines Workshops zu den Abläufen in und zur Struktur der IT-Abteilung einer Unternehmensgruppe aus dem Bildungsbereich auftraten. Fokus dieses Blocks war die Untersuchung der Einsetzbarkeit des Werkzeugs im praktischen Kontext und dessen tatsächlicher Unterstützungsleistung für „Articulation Work“. Dazu wurde neben der Begleitung der eigentlichen Modellierungssession in zeitlichem Abstand auch eine Erhebung der wahrgenommenen Wirkungen auf die Arbeitspraxis durchgeführt.

Kontext

Das Werkzeug wird im Kontext einer österreichweit tätigen Unternehmensgruppe im Aus- und Weiterbildungsbereich eingesetzt. Konkret kam das Werkzeug bei einem Workshop zum Einsatz, der von der Abteilung für technisches Produkt- und Service-Management in der konzernweiten IT-Abteilung abgehalten wurde. Die Abteilung hat rund 30 Mitar-

beiter, die sich in insgesamt 5 Unterabteilungen gliedern. Zusätzlich ist ein Mitarbeiter abteilungsweit für die Qualitätssicherung der Arbeitsabläufe verantwortlich. Dieser leitete die Workshops, bei denen das Werkzeug zum Einsatz kam und führte in Abstimmung mit den jeweils betroffenen Kollegen die Themenauswahl durch.

Aufgabenstellung und Ablauf

In unterschiedlichen Konstellationen mit Gruppengrößen von 2 bis 6 Personen wurden an zwei Workshop-Terminen Themen aus dem täglichen Arbeitskontext behandelt. Dabei wurden zum Einen Unterabteilungs-interne oder -übergreifende Arbeitsabläufe abgebildet und ausgehandelt, die als potentiell problematisch oder neu einzurichten wahrgenommen wurden. Zum Anderen wurde die wahrgenommene Struktur einer Unterabteilung selbst und deren Außenbeziehungen abgebildet, reflektiert und zwischen den Mitgliedern derselben abgestimmt.

Bei Aufgaben der ersten Kategorie begann die Bearbeitung jeweils mit der kooperativen Repräsentation des Ist-Standes und damit einem Abgleich der individuellen Sichten auf den aktuellen Arbeitsablauf. In weiterer Folge wurde anhand des Modells mögliches Optimierungspotential diskutiert und das Modell ggf. dementsprechend adaptiert.

Bei der Darstellung der Struktur einer Unterabteilung wurden im ersten Schritt die relevanten organisationalen Einheiten und Rollen gesammelt und auf der Oberfläche platziert. In weiterer Folge war die Aufgabe die Zusammenhänge innerhalb der Unterabteilung und deren Beziehungen nach außen durch räumliche Anordnung der definierten Einheiten sowie deren Kommunikationskanäle explizit durch Assoziationen darzustellen. Ziel war eine Repräsentation des Ist-Zustands der Abteilung, die soweit abgestimmt wurde, dass alle Teilnehmer ihre individuelle Sicht auf das Modell abbilden konnten.

Die unterschiedlichen Anwendungen in diesem Block sind entsprechend der obigen Beschreibung als Ausprägungen des Anwendungsszenarios „Abstimmung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.3) zu betrachten.

Anwendungen und Teilnehmer

Am ersten Workshop-Tag nahmen insgesamt 6 Teilnehmer an 5 Modellierungsdurchgängen in Gruppen von 2 bis 5 Personen teil. Beim zweiten Workshop nahmen insgesamt 8 Teilnehmer an ebenfalls 5 Modellierungsdurchgängen teil. Insgesamt beschäftigten sich 8 Aufgaben mit konkreten Arbeitsabläufen, 2 Aufgaben widmeten sich der Struktur von Unterabteilungen. Die Gruppengröße variierte zwischen 3 und 6 Personen. 10 Teilnehmer nahmen an mehr als einem Modellierungsdurchgang teil, eine Person war an beiden Workshop-Tagen beteiligt.

Durch die Einbindung aller Unterabteilungen kamen Teilnehmer mit unterschiedlichem fachlichen Hintergrund zu Einsatz. Etwa die Hälfte der Teilnehmer war der Gruppe

der Techniker oder Softwareentwickler zuzuordnen. Die andere Hälfte setzte sich aus Mitarbeiter im Support, Verkauf, Einkauf sowie der internen Verrechnung zusammen. Eine Teilnehmerin war weiblich, alle anderen Teilnehmer waren männlich.

Allen Teilnehmern wurde einmalig das Werkzeug und dessen Bedienung vorgestellt. Die Modellierungsdurchgänge dauerten zwischen 25 Minuten und etwa 1,5 Stunden. Sämtliche Teilnehmer wurden nach ihrer letzten Teilnahme an einem Durchgang mittels einem Fragebogen sowohl nach der Nützlichkeit des Werkzeugs, als auch nach dem wahrgenommenen Nutzen des inhaltlichen Ergebnisses befragt. Um die mittelfristigen Auswirkungen der durchgeführten Modellierungsdurchgänge beurteilen zu können, wurde acht Wochen nach dem zweiten Workshop erneut eine Befragung durchgeführt, in der die wahrgenommene Auswirkungen thematisiert wurden.

Verwendung der Ergebnisse

Die Daten, die das Ergebnis dieses Blocks bilden, werden zur Evaluierung des Aspekts „Articulation Work“ eingesetzt. Betrachtet werden dabei die wahrgenommenen und beobachtbaren Veränderungen am Arbeitsprozess, der unter Einsatz des Werkzeugs reflektiert wurde.

Neben diesem Aspekt werden auch die erstellten Modelle, die in diesem Fall wieder aus der Domäne der Arbeitsabstimmung stammen, betrachtet und hinsichtlich ihrer Struktur und Semantik ausgewertet.

Der Werkzeug-Aspekt wird in diesem Teil der Untersuchung nicht gesondert betrachtet, Verbesserungs- und Erweiterungspotential wird nur bei Erwähnung oder offensichtlichen Bedienungsfehlern bzw. Verständnisschwierigkeiten explizit identifiziert.

11.2.5. Block 5: Concept Mapping 2

In Block 5 wird im Wesentlichen der Evaluierungs-Blocks 3 (siehe Abschnitt 11.2.3) inhaltlich erneut durchgeführt (die Modellierungsaufgabe ist identisch). Im Gegensatz zu Block 3, wo die grundlegende Eignung des Werkzeugs zum Concept Mapping im Mittelpunkt stand, wird in Block 5 eine vergleichende Studie durchgeführt, die die Eignung des Tabletop Interfaces zum kollaborativen Concept Mapping mit jener der rechner-basierten CMapTools (Cañas et al., 2004) vergleicht.

Kontext

Die Anwendungssituation ist in diesem Block identisch mit dem in Abschnitt 11.2.3 beschriebenen Kontext (Lehrveranstaltung im Curriculum Wirtschaftsinformatik zur Schulung von Ansätzen in der Prozess- und Kommunikationsmodellierung).

Der Ablauf der Lehrveranstaltung unterschied sich nur insofern von jenem in Block 3, als dass für jede Modellierungssprache separat eine Reflexion in Gruppen zu zwei Studierenden durchgeführt wurde. In diesen Reflexionen wurden die eigenen Anwendungen der jeweiligen Sprache mit einer Musterlösung gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Korrektheit und dem Vorgehen bei der Modellierung betrachtet.

Aufgabenstellung und Ablauf

Die Aufgabenstellung ist identisch mit jener in Block 3. Ziel ist es, drei in der Lehrveranstaltung vorgestellte Prozessmodellierungssprachen hinsichtlich ihrer als wesentlich empfundenen Eigenschaften und deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu betrachten und in einer Concept Map abzubilden. Das Vorgehen unterscheiden sich jedoch wegen der unterschiedlichen Zielsetzung der Untersuchung von jenem in Block 3.

Nach Abschluss der letzten Reflexionsphase (also nach drei Modellierungsphasen und drei Reflexionsphasen) wurde eine Gruppeneinteilung für die kollaborative Erstellung der Concept Map vorgenommen. Die Gruppen wurden aus jeweils zwei zufällig ausgewählten Studierenden gebildet. In der Untersuchung erhielt die Hälfte der Gruppen den Aufgabe, die Aufgabenstellung unter Verwendung des Tabletop Interfaces durchzuführen, die andere Hälfte verwendete das rechner-basierte Werkzeug CMapTools (Cañas et al., 2004), um die Concept Map zu erstellen. Die Gruppen wurden zufällig einem Werkzeug zugeordnet und führten die Aufgabenstellung in beiden Fällen kollaborativ in einer kontrollierten Umgebung durch. Im Gegensatz zu Block 3 entfiel hier die explizit geforderte individuelle Vorbereitungsphase, um eine stärkere inhaltliche Auseinandersetzung mit den Inhalten während der Modellierung zu fördern.

Wie bereits in Block 3 ist diese Aufgabenstellung eine Ausprägung des Anwendungsszenarios „Abstimmung mentaler Modelle“ (siehe Abschnitt 4.3.3).

Anwendungen und Teilnehmer

An der Untersuchung nahmen 49 Studierende in 23 Gruppen teil, wobei 11 Gruppen die Aufgabenstellung unter Verwendung des hier vorgestellten Werkzeugs und 12 Gruppen unter Verwendung der CMapTools durchführten. Die Teilnehmer waren allesamt Studierende der Wirtschaftsinformatik in der ersten Phase des Bakkelauratsstudiums (erstes bis drittes Semester), 40 Teilnehmer waren männlich, 9 weiblich. Keiner der Teilnehmer hatte Vorkenntnisse in der Prozessmodellierung oder im Concept Mapping.

Den Teilnehmern wurde das Werkzeug vor Beginn der Anwendung demonstriert und in sämtlichen Anwendungsaspekten erklärt. Die Anwendungen selbst dauerten im Fall der Durchführung mittels CMapTools durchschnittlich 41 Minuten 10 Sekunden ($SD = 8 : 34$), wobei die kürzeste Anwendung 30 Minuten 16 Sekunden, die längste 54 Minuten dauerte. Im Fall der Durchführung am hier vorgestellten System betrug die Modellie-

rungsdauer im Schnitt 34 Minuten 18 Sekunden ($SD = 9 : 11$), wobei die kürzeste Anwendung 21 Minuten, die längster 54 Minuten dauerte.

Verwendung der Ergebnisse

Die in diesem Block erhobenen Daten fließen vorrangig in den Modell-Aspekt der Evaluierung ein. Hier wird eine vergleichende Studie durchgeführt, die das Ziel hat, die Eignung der beiden verwendeten Ansätze für die Externalisierung von mentalen Modellen gegenüberzustellen. Grundlage dieser Beurteilung ist das erstellte Modell, außerdem wird der auch Modellierungsprozess in der Auswertung berücksichtigt.

Hinsichtlich des Werkzeug-Aspekts wird in diesem Block neben der Identifikation von Verbesserungspotential und Verständnisschwierigkeiten auch die Zufriedenheit mit dem Werkzeug bzw. dessen Akzeptanz bei den Benutzern explizit erhoben.

Der Aspekt „Articulation Work“ wird hier wie schon in Block 3 und aus den dort angeführten Gründen (siehe Abschnitt 11.2.3) nicht weiter berücksichtigt.

11.3. Eingesetzte Werkzeuge und Verfahren

Für die Erfassung und Auswertung der erhobenen Daten kamen unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz. Grundsätzlich wurden sämtliche Anwendungen des Tabletop Interface auf Video erfasst, um eine nachträgliche quantitative und qualitative Auswertung zu ermöglichen. In den Evaluierungsblöcken 1, 4 und 5 kamen aufgrund der Fragestellung außerdem Fragebögen zur Erhebung des Vorwissens bzw. der Erfahrungen bei der Benutzung des Werkzeugs zum Einsatz. Die Auswahl bzw. das Design dieser Fragebögen ist abhängig von den jeweils zu testenden Hypothesen und wird dementsprechend im Rahmen der Beschreibung des Untersuchungsdesigns in den folgenden Kapiteln beschrieben. In allen Anwendungen wurden zudem die Modellierungsergebnisse graphisch festgehalten.

Sämtliche erfassten Daten wurden vor der Auswertung digital aufbereitet. Videos wurden als Mediendateien im MPEG4-Format abgelegt, Fragebögen wurden gescannt und im PDF-Format abgelegt, die graphischen Repräsentationen der Modellierungsergebnisse liegen als Bilddateien im PNG- bzw. JPEG-Format vor.

Die Rohdaten wurden einer quantitativen sowie qualitativen Auswertung unterzogen. Die dazu eingesetzten technischen Werkzeuge und methodischen Ansätze werden in den folgenden Abschnitten näher betrachtet.

11.3.1. Werkzeuge

Zur Erfassung der quantitativen Daten wurde Microsoft Excel 2007³ verwendet. Die deskriptiven statistischen Parameter wurden ebenfalls mit Microsoft Excel sowie mit dem Statistik-Paket R⁴ in der Version 2.9.0 berechnet. Die Parameter der schließenden Statistik wurden ebenfalls mit R berechnet. Die im Bereich der schließenden Statistik eingesetzten Methoden sind Gegenstand der folgenden Abschnitte. Zur Visualisierung der deskriptiven Parameter wurde neben R auch die Software OmniGraphSketcher⁵ eingesetzt.

Im Bereich der qualitativen Auswertung war vor allem die Benutzung des Tabletop Interface und die Interaktion der Modellierenden untereinander von Interesse. Zur Auswertung kam dabei einerseits offene Fragen in den eingesetzten Fragebögen und andererseits die von Hornecker (2004) vorgeschlagene Variante der Interaktionsanalyse nach Jordan und Henderson (1995) zum Einsatz (siehe Abschnitt 11.3.5). Die im Zuge der Durchführung zu erstellenden Transkripte der Interaktionsabläufe wurden ohne spezifische Werkzeugunterstützung in einem Texteditor erstellt.

11.3.2. Signifikanztests

Signifikanztests werden verwendet, um zu ermitteln, ob die Unterschiede zwischen zwei Stichproben tatsächlich signifikant sind, d.h. ob sich mit einer gegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit (etwa $p < 0.05$) auch die beiden den Stichproben zugrunde liegenden Grundgesamtheiten unterscheiden (Bortz und Döring, 2003, S. 496). Signifikanztests sind deshalb ein zentraler Bestandteil der quantitativen Hypothesenprüfung.

Je nach Eigenschaften der zugrunde liegenden Grundgesamtheiten und Umfang der Stichprobe müssen unterschiedliche Verfahren zur Signifikanzprüfung eingesetzt werden. In den folgenden Unterabschnitten werden die hier verwendeten Tests kurz beschrieben und die Voraussetzungen für deren Einsatz angeführt. Als Grundlage für die Auswahl dienten in dieser Arbeit das einführende Werke von Bortz und Döring (2003) und Duller (2008) sowie die Website „Using R for statistical analyses“⁶. Für eine umfassendere Beschreibung der Methoden sei hier auf diese Quellen verwiesen.

t-Test

Der t-Test nach Student prüft in der Grundvariante anhand einer Stichprobe, ob der erwartete Mittelwert der entsprechenden Grundgesamtheit gleich, kleiner oder größer

³<http://office.microsoft.com/excel>

⁴<http://www.r-project.org/>

⁵<http://www.omnigroup.com/applications/omnigraphsketcher>

⁶<http://gardenersown.co.uk/Education/Lectures/R>

einem gegebenen Wert ist. In der – hier eingesetzten – Variante für zwei Stichproben prüft der Test, ob der erwartete Mittelwert der der ersten Stichprobe zugrunde liegenden Grundgesamtheit gleich, kleiner oder größer ist als jener der Grundgesamtheit zur zweiten Stichprobe. Für mehr als zwei Stichproben kann der t-Test nicht eingesetzt werden, alternativ kann der Kruskal-Wallis-Test (siehe unten) zur Anwendung gebracht werden.

Der t-Test geht von einer intervallskalierten, normalverteilten Grundgesamtheit aus. Bei Grundgesamtheiten, deren Verteilung unbekannt ist, kann bei ausreichender Stichprobengröße (häufig: $n > 30$) auf Grund des zentralen Grenzwertsatzes von einer Normalverteilung ausgegangen werden und der t-Test wiederum eingesetzt werden. Bei kleineren Stichproben kann der t-Test nur dann verwendet werden, wenn eine Normalverteilung der Grundgesamtheit zu erwarten ist. Dies kann auch für kleine Stichproben mit dem Shapiro-Wilk-Test (siehe unten) überprüft werden. Eine weitere Bedingung für den Einsatz des t-Tests ist, dass die Varianz der Grundgesamtheiten der beiden Stichproben identisch ist. Dies kann mit dem F-Test (siehe unten) festgestellt werden. Bortz und Döring (2003)

Wilcoxon-Test

Der Wilcoxon-Rangsummentest (oder alternativ: Mann-Whitney-U-Test) ist ein Verfahren zur Überprüfung, ob zwei Verteilungen signifikant übereinstimmen. Die Verteilungen müssen im Gegensatz zum t-Test nicht normalverteilt sein, sollten aber eine ähnliche Form aufweisen. Der Wilcoxon-Test ist auch für kleine Stichproben geeignet. (Duller, 2008)

Aufgrund der Stichprobengrößen in den vorliegenden Untersuchungen ist der Wilcoxon-Test dem t-Test hier im Allgemeinen vorzuziehen.

Shapiro-Wilk-Test

Der Shapiro-Wilk-Test (Shapiro und Wilk, 1965) testet eine Verteilung auf „Nicht-Normalität“ (d.h. die Nullhypothese ist, dass die Verteilung nicht normalverteilt ist). Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.05$ kann daher bei Ablehnung der Nullhypothese davon ausgegangen werden, dass die geprüfte Verteilung nicht normalverteilt ist. Dieser Test eignet sich auch für kleine Stichproben (ab $n > 3$). (Duller, 2008)

Er wird hier eingesetzt, um zu prüfen, ob der t-Test eingesetzt werden kann oder nicht (da dieser eine Normalverteilung der Parameter voraussetzt).

F-Test

Der F-Test (oder: Varianzquotienten-Test) überprüft, ob die Varianzen zweier normalverteilter Grundgesamtheiten signifikant übereinstimmen. Er wird hier eingesetzt, um

die entsprechende Voraussetzung für den Einsatz des t-Tests zu überprüfen. Muss die Nullhypothese verworfen werden, so muss anstelle des t-Tests der Welch-Test eingesetzt werden, auf den hier nicht näher eingegangen wird. (Duller, 2008)

Kruskal-Wallis-Test

Der Kruskal-Wallis-Test ist wie der Wilcoxon-Test ein Verfahren, mit dem die Übereinstimmung von Verteilungen auf Signifikanz überprüft werden kann. Wie dieser setzt er keine Normalverteilung voraus und eignet sich auch für kleine Stichproben.

Der Kruskal-Wallis-Test kann jedoch Gegensatz zu den anderen Verfahren auch für die Überprüfung von mehr als zwei Verteilungen gleichzeitig eingesetzt werden. Die Nullhypothese ist, dass sich die Verteilungen nicht unterscheiden. Werden detailliertere Hypothesen benötigt, so muss eine paarweise Überprüfung der Verteilungen mit einem der oben beschriebenen Verfahren vorgenommen werden. (Duller, 2008)

Der Kruskal-Wallis-Test kann ab drei Verteilungen mit einer Stichprobengröße von jeweils mindestens 6 sinnvoll eingesetzt werden. In dieser Arbeit kommt er nur selten zum Einsatz, da großteils lediglich die Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen überprüft werden muss.

11.3.3. Korrelationstest

Mit Korrelationstests wird geprüft, ob zwischen zwei Merkmalen ein Zusammenhang besteht oder nicht. Je höher der Betrag des positiven oder negativen Wert des berechneten Korrelationskoeffizienten ist, desto stärker ausgeprägt ist der positive bzw. negative Zusammenhang zwischen den geprüften Stichproben. Um auf eine Korrelation in der Grundgesamtheit schließen zu können, muss wiederum ein Signifikanztest (siehe Abschnitt 11.3.2) verwendet werden, um zu prüfen, ob der berechnete Korrelationskoeffizient signifikant unterschiedlich von 0 ist.

Pearson-Test

Der Pearsonsche Korrelationskoeffizient kann verwendet werden, um den Zusammenhang zwischen zwei metrischen Merkmalen zu berechnen. Zur Berechnung wird die Kovarianz herangezogen, die als Maß für die Streuung der beiden Merkmale interpretiert werden kann. Ist die Kovarianz gleich 0, so besteht kein Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen. Das Vorzeichen der Kovarianz beschreibt, ob ein gleich- oder gegensinniger Zusammenhang vorliegt. Je näher der Betrag des Korrelationskoeffizienten (Kovarianz in Bezug zum Produkt der Standardabweichungen der Merkmale) bei 1 liegt, desto stärker ist der Zusammenhang der beiden Merkmale. Der Korrelationskoeffizient misst lediglich linear Zusammenhänge. Voraussetzung der Anwendung des Pearson-Tests ist

eine annähernde Normalverteilung der Merkmale. Ist diese nicht gegeben, muss auf die ordinalen Korrelationskoeffizienten nach Spearman oder Kendall zurückgegriffen werden, wobei letzterer hier nicht näher betrachtet wird. (Duller, 2008)

Spearman-Test

Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient kann verwendet werden, um den Zusammenhang zwischen zwei ordinalen Merkmalen zu berechnen. Wiederum zeigt das Vorzeichen des Koeffizienten an, ob ein gleich- oder gegensinniger Zusammenhang gegeben ist, der betragsmäßige Wert des Koeffizienten gibt die Stärke der Korrelation an (wobei 0 keinen Zusammenhang anzeigt und gegen 1 gehende Werte einen starken Zusammengang indizieren). Für den Test nach Spearman gelten die Voraussetzungen des Pearson-Test nicht, insbesondere muss keine Normalverteilung der Merkmale vorliegen.

11.3.4. Fragebögen

Die in dieser Arbeit verwendeten Fragebögen (siehe Anhang B.3) beinhalten immer geschlossenen und offenen Fragestellungen. Die geschlossenen Fragestellungen werden jeweils auf einer 7-teiligen Likert-Skala bewertet. Die offenen Fragestellungen werden zum Teil mit der Frage nach einer dichotomen Gesamt-Einschätzung gekoppelt (etwa "zufrieden / nicht zufrieden").

Durch den Einsatz der Likert-Skala sind die geschlossenen Items grundsätzlich als ordinale Merkmale zu sehen. Dies hat Auswirkungen auf die anwendbaren deskriptiven Parameter und schließenden Tests. So kann unter anderem kein Mittelwert berechnet werden, zur Hypothesen-Prüfung kann der t-Test nicht angewandt werden, da er metrische Merkmale voraussetzt. Ist die Skala allerdings ausreichend differenziert (mehr als fünf Ausprägungen) und sind die einzelnen Ausprägungen symmetrisch und äquidistant formuliert (z.B: „sehr positiv – positiv – eher positiv – neutral – eher negativ – negativ – sehr negativ“), so kann die Likert-Skala auch als (metrische) Intervallskala interpretiert werden (Bortz und Döring, 2003, S. 222f), was eine Berechnung der oben genannten Parameter und Tests ermöglicht. Diese Voraussetzungen sind in den verwendeten Fragebögen erfüllt, weswegen Mittelwert und Standardabweichung auch zur Beschreibung der Fragebogenergebnisse verwendet werden. Bei Erfüllung der übrigen Anforderungen kann deshalb auch der t-Test zur Hypothesen-Prüfung eingesetzt werden. Der Wilcoxon-Test setzt ohnehin lediglich ordinal skalierte Merkmale voraus, so dass dieser ohne weitere Annahmen angewendet werden kann.

11.3.5. Interaktionsanalyse

Die Interaktionsanalyse nach Jordan und Henderson (1995) dient der qualitativen Auswertung von Interaktionsabläufen zwischen unterschiedlichen Individuen und den dazu eingesetzten Hilfsmitteln. Grundsätzlich wird die Interaktion aufgezeichnet und transkribiert. Das Transkript enthält dabei nicht nur die verbale Interaktion, sondern auch eine exakte Beschreibung der non-verbale Aktivitäten der Beteiligten. Insbesondere wurde hier auf die Erfassung der Verwendung der verfügbaren Hilfsmittel geachtet. Die Interaktionsanalyse wurde von Hornecker (2004) zur Beschreibung der Wirkung von Tangible Interfaces auf Kooperation zwischen Individuen eingesetzt. Die in diesem Kontext vorgeschlagenen vereinfachte Variation der ursprünglichen Methode (v.a. der Verzicht auf interdisziplinär zusammengesetzte Analysegruppen) wurde in dieser Arbeit übernommen.

Der Fokus der Analyse lag auf der Nutzung und Wirkung des eingesetzten Werkzeugs, weshalb zur Transkription jene Szenen ausgewählt wurden, in denen diese sichtbar wird. Transkribiert wurde jene Szenen, aus denen im Sinne der festgelegten Auswertungsebenen Schlüsse auf die Verwendung des Werkzeugs, die Wirkung bei der Modellbildung oder den Einfluss auf die Interaktion zwischen den Beteiligten gezogen werden können. Dies umfasst Szenen, in denen

- das Werkzeug nicht in der in der Beschreibung des Interaktionsdesigns (siehe Abschnitt 7.3) festgelegten Art verwendet wurde,
- die Funktionalität oder Bedienung des Werkzeugs missverstanden wurde,
- das Modell als Referenz verwendet wurde, um Sachverhalte individuell zu reflektieren,
- das Modell von einem Teilnehmer als Referenz verwendet wurde, um anderen Teilnehmern Sachverhalte zu erklären,
- das Modell als Mittel zur Fokussierung der inhaltlichen Diskussion zwischen den Teilnehmern verwendet wurde.

Bei der Transkription kam das von Hornecker (2004) vorgeschlagene Codierungsschema zum Einsatz, das im Folgenden wiedergegeben ist: *„Zeilenweise Transkription nach einfachem, sequentiellen Schema. Zeitlicher Ablauf wird durch die Nummerierung vorne wiedergegeben. Fehlt eine Zeilennummer, so findet das Beschriebene mehr oder minder parallel mit dem Geschehen der darüberstehenden Zeile statt. Zusätzlich alle zehn Sekunden Zeitstempel in eigener Zeile. Sprünge in Zeilennummern zeigen Auslassungen in der Transkription an. Nur angedeutet werden Betonung und Zeitverhalten des Sprechens. Die Zeitdauer von Gestik und manueller Handlung ergibt sich aus den Beschreibungen.“*

In der Darstellung werden dieses Codierungsschema wie folgt dargestellt (ebenfalls angelehnt an Hornecker (2004)):

Zusammenhang, Auslöser der Situation

Teilnehmer: Aussage

Teilnehmer: Aussage bzw. Handlung

Teilnehmer: Aussage (*gleichzeitig mit der Aussage ausgeführte Tätigkeit, eingefügt an jener Stelle, an der die Aktivität beginnt*) Aussage (Fortsetzung)

Interaktion zwischen Teilnehmern oder der Teilnehmer mit dem System

Teilnehmer: Aussage Teil der Interaktion bzw. Aussage, der für die Prüfung der jeweiligen Hypothese relevant ist Aussage (Fortsetzung)

Beispielhaft dargestellt kann ein Transkript wie folgt aussehen:

Teilnehmer versuchen mit dem Radiergummi und nur einem anderen Marker einen Verbinder zu entfernen.

B: Können wir die nicht so auch einfach löschen?

C: Ja, mit dem Radiergummi.

B: Muss ich den jetzt zuerst so (*Hält den Radiergummi zur Kamera*) hinhalten?

A: Nein, ich glaube, den musst du einfach da (*zeigt auf den Verbinder*) drauf legen.

B legt den Radiergummi auf den vom System automatisch erstellten Verbinder.

A: Und jetzt muss man (*legt ein Markierungstoken auf den Verbinder*) Nein.

Der Verbinder lässt sich auf diese Art nicht löschen und die Teilnehmer entscheiden sich, den Fehler mittels der Wiederherstellungsfunktion zu beseitigen.

11.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das globale Untersuchungsdesign zur Evaluierung der hier vorgestellten Arbeit beschrieben. In den ersten Abschnitten wurden die zu evaluierenden Aspekte identifiziert und beschrieben. Im Rahmen dieser Beschreibungen wurden auch mögliche Ansatzpunkte für die konkrete Untersuchung angeführt, die die Basis für die detaillierte Konzeption der Evaluierung dieser Aspekte in den Kapiteln 12 bis 14 bildet.

Im folgenden Abschnitt wurden die einzelnen im Rahmen der Evaluierung durchgeführten Untersuchungen angeführt. Diese Untersuchungen fokussieren jeweils auf einen der zu evaluierenden Aspekte. Ihnen liegt jeweils ein konkretes Szenario zugrunde, das in einer Reihe von Anwendungen des Werkzeugs durch verschiedene Benutzer in Modelle umgesetzt wird. Je nach Fokus der Untersuchung werden vor- und nachgelagerte bzw. parallel ablaufende Aktivitäten in die Untersuchung mit einbezogen.

Die ursprüngliche Zuordnung zwischen den zu evaluierenden Aspekten und den einzelnen Evaluierungs-Blöcken ist in Tabelle 11.1 nochmals überblicksweise angeführt. Die Zuordnung hatte jeweils Einfluss auf das Szenario, in dem das Werkzeug angewandt wurde sowie auf das Untersuchungsdesign.

Tabelle 11.1.: Ursprüngliches globales Untersuchungsdesign

	Werkzeug	Modell	Articulation Work
Block 1	x		
Block 2			x
Block 3		x	
Block 4			x
Block 5		x	

Im Zuge der Durchführung der Evaluierung erwies sich die strikte Zuordnung eines Blocks zu genau einem zu evaluierenden Aspekt als nicht durchführbar. Tatsächlich liefern Untersuchungen zu einem (im Sinne der Zielhierarchie) übergeordneten Aspekten (von „unten“ nach „oben“: Werkzeug – Modell – „Articulation Work“) immer auch Erkenntnisse zu den untergeordneten zu evaluierenden Aspekten. Die Zuordnung der Evaluierungs-Blöcke zu den Aspekten verändert sich also wie in Tabelle 11.2 angegeben. Diese Zuordnung liegt auch den oben angeführten Beschreibungen der Blöcke zugrunde, in denen jeweils die Beiträge eines Blocks zu den zu evaluierenden Aspekten angegeben wurden.

Tabelle 11.2.: Einfluss der Untersuchungen auf die zu evaluierenden Aspekte

	Werkzeug	Modell	Articulation Work
Block 1	x		
Block 2	x	x	x
Block 3	x	x	
Block 4	x	x	x
Block 5	x	x	

11.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt die Konzeption der empirischen Untersuchung zur Prüfung der Effektivität der Unterstützung von „Articulation Work“ dar. Dazu werden die in den

Kapiteln 2, 3, 4 und 5 identifizierten Messkriterien zusammengefasst und hinsichtlich deren Beitrag zur Effektivitätsprüfung beschrieben. Dies und die Entwicklung des globalen Untersuchungsdesigns sowie die Beschreibung der notwendigen statistischen Methoden führen zur abschließenden Beantwortung der Fragestellung 5 („Wie kann die Effektivität der Unterstützung von expliziter Articulation Work beurteilt werden?“).

11.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln wird nun die Evaluierung der einzelnen Aspekte über die Evaluierungsblöcke hinweg im Detail beschrieben. Dabei werden die Hypothesenbildung bzw. die Entwicklung der Hypothesen über die Zeit, die möglichen Ansätze zur Evaluierung der jeweiligen Hypothesen sowie das Untersuchungsdesign, das die Prüfung der Hypothesen ermöglicht, beschrieben. Die Kapitel schließen jeweils mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse der Hypothesenprüfung und einer Bewertung dieser Ergebnisse im Kontext der globalen Zielsetzung, also der Unterstützung von expliziter „Articulation Work“.

12. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs

Im ersten Teil der empirischen Untersuchung wird die grundlegende Verständlichkeit und Verwendbarkeit des Werkzeug geprüft. Ziel ist es hier, konzeptuelle und technische Eigenschaften bzw. Verhaltensweisen des Werkzeugs zu identifizieren, die den Modellierungsprozess behindern oder unterbrechen. Darunter fällt grundsätzlich jede Eigenschaft und jede Verhaltensweise, die die Benutzer zwingt, sich mit dem technischen System an sich zu beschäftigen und von der Erfüllung der eigentlichen Aufgabe ablenkt bzw. diese unterbricht. Abbildung 12.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

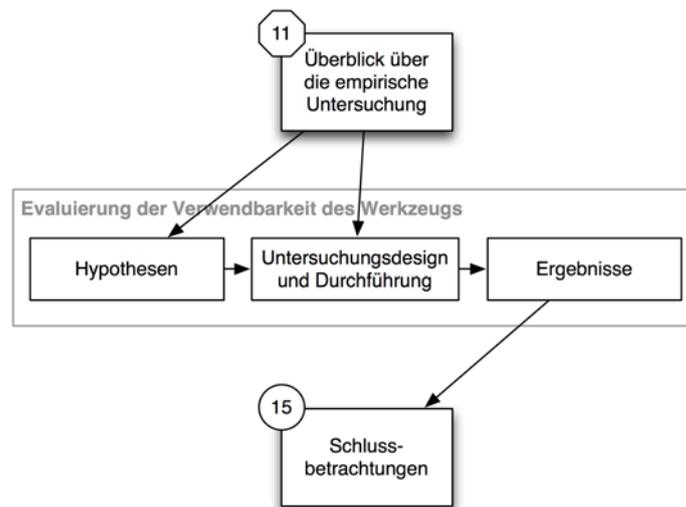


Abbildung 12.1.: Kapitel „Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs“ im Gesamtzusammenhang

Die Untersuchung wird daneben auch genutzt, um explorativ die inhaltliche Verwendung des Systems zu untersuchen (d.h. wie es für seinen eigentlichen Verwendungszweck – die Modellierung – eingesetzt wurde) und aus diesen Beobachtungen Hypothesen abzuleiten, die in weiteren Schritten getestet werden.

12.1. Hypothesen

In diesem Abschnitt werden die Hypothesen angeführt und begründet, die in diesem Teil der empirischen Untersuchung geprüft werden. Die hier angegebenen Hypothesen gehen auf die Eigenschaften des Werkzeugs in der Verwendung durch die Benutzer ein. Bei der Hypothesenbildung wird auf den Verwendungszweck des Werkzeugs – die Unterstützung der Bildung diagrammatischer Modelle – zwar Rücksicht genommen, die Modelle selbst sind jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung und werden erst im nächsten Kapitel behandelt. Nicht berücksichtigt wird außerdem die Verwendung des Werkzeugs zur Unterstützung von „Articulation Work“ – diese ist Gegenstand von Kapitel 14.

12.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen

Die folgenden Hypothesen wurden aus der Aufgabenstellung (siehe Kapitel 1) sowie den Anforderungen an das Werkzeug (siehe Kapitel 5) abgeleitet. Neben der Formulierung der Hypothese ist jeweils die Begründung aus der Konzeption des Werkzeugs angeführt.

Der grundlegende Anspruch des Werkzeugs ist es, explizite „Articulation Work“ zu unterstützen. Wie in Teil I dieser Arbeit beschrieben, wird dies durch die Externalisierung und Abstimmung von mentalen Modellen realisiert. Ein gängiges Mittel, um mentale Modelle zu repräsentieren, ist die Verwendung von diagrammatischen Modellen, wozu Methoden zur Externalisierung – wie Concept Mapping und Strukturlegetechniken – genutzt werden. Das Werkzeug muss also die Repräsentation diagrammatischer Modelle unterstützen. Die Prüfung der ersten Hypothese ermöglicht damit die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 1 (siehe Seite 116).

Hypothese 1 *Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation diagrammatische Modelle.*

„Articulation Work“ ist immer in einen kooperativen Arbeitszusammenhang eingebettet. Die Kollaboration findet dabei nicht nur im produktiven Teil der Arbeit statt, sondern hat immer auch Auswirkungen auf die „Articulation Work“. Jede Unterstützung von „Articulation Work“ muss damit auch in kooperativen Szenarien einsetzbar sein. Dies gilt auch für das hier vorgestellte Werkzeug, das die kooperative Bearbeitung einer Aufgaben (hier: der Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle) ermöglichen muss. Die Hypothese ist deshalb aus Anforderung 7 (siehe Seite 117) abgeleitet und ermöglicht die Beurteilung deren Erfüllung.

Hypothese 2 *Das Werkzeug ermöglicht kooperatives Arbeiten an einer Aufgabe.*

Die Aspekte von Arbeit, die im Rahmen von „Articulation Work“ abzustimmen sind, sind unterschiedlicher Natur. Naheliegend ist eine Abstimmung der Abläufe und Schnittstellen zwischen Personen, aber auch nicht-prozedurale Information, wie das Verständnis

der Struktur und Elemente eines Arbeitszusammenhangs kann Gegenstand von „Articulation Work“ sein. Gleiches gilt für die im Rahmen der „Articulation Work“ abzustimmenden mentalen Modelle – diese bilden die Basis für Handlungsentscheidungen, umfassen aber im Allgemeinen (in Abgrenzung zu Schemata) nicht nur handlungsleitende Information, sondern auch Kontextinformation, die die Bewertung der wahrgenommenen Situation ermöglicht. Dementsprechend muss ein Werkzeug zur Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ und damit der Externalisierung von mentalen Modellen die Verwendung in unterschiedlichen Kontexten, d.h. für unterschiedliche zu externalisierenden Informationsstrukturen, die in mentalen Modellen abgebildet sind, ermöglichen. Die Prüfung der unten formulierten Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 4 (siehe Seite 116).

Hypothese 3 *Das Werkzeug ist gleichwertig für Modellierungsaufgaben in unterschiedlichen Kontexten einsetzbar.*

Die ersten drei hier formulierten Hypothesen sind unmittelbar aus der globalen Zielsetzung abgeleitet und bilden die grundlegenden Anforderungen an das Werkzeug bei der Unterstützung von „Articulation Work“ ab. Die nun folgenden Hypothesen sind konzeptuell nicht mehr direkt auf die globale Zielsetzung ausgerichtet, sondern prüfen die Funktionalität des Werkzeugs, die den Modellbildungsprozess unterstützen soll.

Auf Basis der Möglichkeit zur Navigation durch die Entstehungsgeschichte des Modells besteht auch die Möglichkeit, vergangene Modellzustände wiederherzustellen. Das Werkzeug unterstützt dabei die Benutzer durch die Ausgabe von schrittweisen Anweisungen, die den aktuellen Modellzustand in den wiederherzustellenden Zustand überführen. Allgemein bietet diese Funktionalität die Möglichkeit, erkannte Fehler im Modell zu korrigieren, ohne dabei bereits repräsentierte Information zu verlieren. Im kollaborativen Einsatz ermöglicht diese Funktionalität, alternative, individuelle Sichten auf den abzustimmenden Sachverhalt zu repräsentieren und bietet dabei die Möglichkeit, einen für alle Beteiligten akzeptablen Ausgangspunkt wiederherzustellen. Dies sollte die Bereitschaft zur experimentellen Veränderung von Modellen erhöhen. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht in der Folge die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 3 (siehe Seite 116).

Hypothese 4 *Die Möglichkeit der Wiederherstellung vergangener Modellzustände fördert die Bereitschaft alternative Repräsentationen auszuprobieren.*

Die letzten beiden Hypothesen dieses Abschnitts sind ausschließlich auf die Verwendung des Werkzeugs an sich ausgerichtet und stehen nicht im Kontext von „Articulation Work“ oder der Unterstützung der Externalisierung mentaler Modelle. Hypothese 5 steht für den in der Zielsetzung formulierten Anspruch, dass das Werkzeug in den Hintergrund treten muss und die Beschäftigung mit der eigentlichen Aufgabe nicht behindern darf. Dabei wird hier nicht auf den konkreten Anwendungsfall – die Erstellung von Modellen

– eingegangen, sondern lediglich die allgemeine Funktionsfähigkeit und Bedienbarkeit des Werkzeugs betrachtet. Ersteres ist Gegenstand der Evaluierung der erstellten Modelle, die in Kapitel 13 beschrieben werden. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 1 (siehe Seite 116).

Hypothese 5 *Das Werkzeug behindert die Modellbildung nicht.*

Hypothese 6 geht davon aus, dass bei wiederholter Verwendung des Werkzeugs Lern- und Gewöhnungseffekte auftreten, die die Verwendung erleichtern, beschleunigen und zu weniger Fehlbedienung führen. Dies ist ein Effekt, der bei jedem Werkzeug zu erwarten ist, dessen zugrunde liegenden Konzepte den Benutzern bewusst und verständlich sind. Von dieser Voraussetzung kann durch die inhaltliche Einführung der Benutzer in die das Werkzeug prägenden und motivierenden Ideen ausgegangen werden. Damit ist zu erwarten, dass das Werkzeug bei wiederholtem Einsatz in den späteren Anwendungen effizienter (im Sinne von „schneller“ und „Fehlbedienungen vermeidend“) verwendet wird. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 1 (siehe Seite 116).

Hypothese 6 *Wiederholte Verwendung des Werkzeugs führt zu schnellerer Modellbildung und weniger Fehlbedienungen.*

Hinsichtlich der in Kapitel 5 formulierten Anforderungen können die hier formulierten Hypothesen zusammenfassend wie in Tabelle 12.1 dargestellt eingeordnet werden. Die Untersuchung der Hypothesen ist dabei der erste Schritt zur Prüfung der effektiven Unterstützung von „Articulation Work“, für die eine Verwendbarkeit des Werkzeugs für die Durchführung der vorgeschlagenen Methodik eine Voraussetzung ist.

Tabelle 12.1.: Hypothesen zur Benutzbarkeit des Werkzeugs und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug

Hypothese	Anforderung
1	1
2	7
3	4
4	3
5	1
6	1

12.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen

Neben den aus der Aufgabenstellung abgeleiteten Hypothesen wurden einige Hypothesen auch während der Durchführung der einzelnen Evaluierungs-Blöcke gebildet. Diese Hy-

pothesen sind spezifischer auf einzelne Aspekte des Werkzeugs ausgerichtet und decken beobachtete Auffälligkeiten und Missverständnisse in der Verwendung des Werkzeugs ab.

Die erste in diesem Zusammenhang beobachtete Auffälligkeit betrifft die Herstellung von Verbindern zwischen einzelnen Modellelementen. Wie in Abschnitt 7.3.3 beschrieben, existieren zwei Möglichkeiten, diese Funktion auszuführen. Einerseits können die beiden Modellelemente, die verbunden werden sollen, mit Markierungs-Tokens ausgewählt werden, woraufhin eine Verbindung hergestellt wird. Andererseits können Verbinder auch durch das Zusammenführen der zu verbindenden Blöcke (bis sich deren Breitseiten berühren) hergestellt werden. In der ersten Implementierung des Werkzeugs, die im Evaluierungsblock 1 und im ersten Teil des zweiten Blocks verwendet wurde, war lediglich die erste Variante verfügbar. Die Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern wurde in den in diesen Blöcken durchgeführten Anwendungen kaum eingesetzt. Dies führte einerseits zur Bildung der Hypothese 13 (siehe Abschnitt 13.1.2), andererseits wurde bei ersten Auswertungen der Beobachtungen der im Verhältnis zum übrigen Modellierungs-Prozess hohe Zeit-Aufwand bei der Herstellung von Verbindern offensichtlich. Dieser Aufwand ist den Maßnahmen zur Stabilisierung der Erkennungsleistung des Werkzeugs geschuldet und kann mit dem eingesetzten Interaktionsablauf nicht reduziert werden. Aufgrund einer Anregung eines Untersuchungsteilnehmers wurde deshalb die oben beschriebene zusätzliche Möglichkeit zur Herstellung von Verbindungen implementiert. Zu untersuchen ist nun, ob diese Maßnahme die Nutzung von Verbindern bei der Modellbildung tatsächlich erhöht.

Hypothese 7 *Die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Verbindungsherstellung erhöht die Nutzung von Verbindern bei der Modellerstellung.*

Die zweite hier aufgestellte Hypothese betrifft eine Auffälligkeit bei der Verwendung des Löschtokens. Das Löschtoken wird verwendet, um das Werkzeug in einen Modus zu versetzen, in dem Verbinder gelöscht werden können. Schon die konzeptuelle Einordnung des Werkzeugs in Kapitel 10 zeigte Potential für Missverständnisse in der Verwendung dieses Tokens (siehe z.B. die Abschnitte 10.9 und 10.11). Zusammengefasst liegt die aus der Theorie ableitbare Problematik darin, dass durch die äußere Form des Tokens – einem Radiergummi – eine Metapher für dessen Verwendung („ausradieren“ von Elementen) suggeriert wird, die in dieser Form im Werkzeug nicht umgesetzt ist, da das Token lediglich als Schalter fungiert. Erste Beobachtungen deuteten darauf hin, dass die Verwendung des Löschtokens in dessen erster Implementierung tatsächlich unverständlich oder missverständlich ist. Das Werkzeug wurde auf Basis dieser Beobachtungen reimplementiert. Die Hypothese ist deshalb für beide Varianten zu prüfen.

Hypothese 8 *Das Löschtoken ermöglicht intuitives Löschen von Modellelementen.*

12.2. Untersuchungsdesign und Durchführung

In diesem Abschnitt wird auf Basis der oben formulierten Hypothesen das Untersuchungsdesign abgeleitet und die Durchführung der Untersuchung beschrieben. Der erste Teil des Abschnitts beschreibt die Operationalisierung der Hypothesen und damit die Festlegung, wie diese konkret geprüft werden können. Im zweiten Teil des Abschnitts wird die Durchführung der Prüfung beschrieben. Hier erfolgt neben der Zuordnung der einzelnen Evaluierungsblöcke (siehe Abschnitt 11.2) auch die Darstellung rein beschreibender Parameter der Werkzeugverwendung, die nicht unmittelbar in die Prüfung der Hypothesen eingehen.

12.2.1. Operationalisierung

In diesem Abschnitt wird für jede Hypothese identifiziert, in welcher Form sie geprüft werden kann. Dies umfasst die Festlegung der Messpunkte sowie der jeweiligen Mess- und Auswertungsmethode (letztere beziehungsweise auf den in Abschnitt 11.3 beschriebenen Verfahren). Zudem werden jene Evaluationsblöcke festgelegt, die für die jeweilige Untersuchung herangezogen wurden.

Für jede Hypothese wird also spezifiziert, anhand welcher Aspekte diese geprüft werden kann (= abhängige Variablen). Zudem wird festgelegt welche Ausgangssituation bei der Anwendung gewählt werden muss, um die Prüfung durchführen zu können (= unabhängige Variable) und welche Faktoren die Beurteilung ggf. ungewollt beeinflussen können (= Störvariablen).

Repräsentation diagrammatischer Modelle

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prüfung der Hypothese 1. Diese bezieht sich auf die Eignung des Werkzeugs für die Repräsentation diagrammatischer Modelle.

Voraussetzung für die Prüfung der Hypothese ist der Einsatz von Modellierungsaufgaben, die so formuliert sind, dass es grundsätzlich möglich ist, sie durch die Beschreibung in einem diagrammatischen Modell zu erfüllen. Keinen Einfluss auf die Untersuchung haben die eingesetzte Methodik sowie eventuell vorhandene Modellierungsvorkenntnisse, da die grundsätzlich Möglichkeit der Erstellung diagrammatischer Modelle unabhängig von der Art der Verwendung und von der Kompetenz der Benutzer ist.

Geprüft wird die Hypothese hier an der Repräsentation, die mit Hilfe des Werkzeugs erstellt wurde. Ein diagrammatisches Modell zeichnet nach (Larkin und Simon, 1987) aus, dass in ihm Konzepte und deren Zusammenhänge visuell-graphisch dargestellt werden können (in Abgrenzung zu textuellen Beschreibungen). Zur Bewertung der Hypothese werden deshalb die erstellten Repräsentationen herangezogen und überprüft, ob sie den

Anforderungen an ein diagrammatisches Modell – das Vorhandensein von Konzepten und Beziehungen zwischen diesen – erfüllen.

Kooperatives Arbeiten

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prüfung der Hypothese 2. Dabei wird überprüft, ob das Werkzeug kooperatives Arbeiten an einer Modellierungsaufgabe erlaubt.

Dazu muss eine Modellierungsaufgabe gewählt werden, in der die kooperatives Erstellung des Modells vorgesehen ist. Etwaige Modellierungsvorkenntnisse haben keinen Einfluss auf die Beurteilung der hier betrachteten Hypothese.

Zur Beurteilung eignen sich in diesem Fall die Zeitverteilung der Beteiligung der einzelnen Benutzer am Modellierungsvorgang, das Verhalten der Benutzer bei simultaner Manipulation eines Modells auf der Modellierungsoberfläche sowie der subjektive Eindruck der Benutzer über deren Kooperation untereinander. Der erstgenannte Aspekt kann quantitativ gemessen werden, wobei eine tendenziell zeitlich gleichverteilte Einbindung der Beteiligten in die Modellbildung für die Annahme der Hypothese spricht. Zusätzlich kann mittels dem zweiten und dritten Aspekt qualitativ beurteilt werden, ob und wie eine kooperative Manipulation des Modells durch mehrere Benutzer gleichzeitig möglich ist.

Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kontexten

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 3. Diese Hypothese zielt dabei auf die Eignung des Werkzeugs zur Modellbildung in unterschiedlichen Kontexten, d.h. für unterschiedliche Modellierungsaufgaben ab.

Zur Beurteilung dieser Hypothese muss die Modellierungsaufgabe entsprechend den unterschiedlichen Einsatzkontexten variiert werden. Etwaige Modellierungsvorkenntnisse können die individuelle Beurteilung insofern beeinflussen, als dass Werkzeuge für eine bestimmte Aufgabe als besser oder schlechter geeignet wahrgenommen werden.

Zur Prüfung der Hypothese bieten sich in diesem Fall die Wahrnehmung der Eignung durch die Benutzer, die qualitativ beurteilt wird und die Korrelation der Größe der erstellten Modelle mit der benötigten Modellierungsdauer an. Korreliert die Modellgröße positiv mit der Modellierungsdauer, so ist der Zeitanteil, der zu Beschäftigung mit dem Werkzeug selbst (und nicht mit der Modellierungsaufgabe) tendenziell stabil. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Werkzeug die verglichenen Modellierungsaufgaben gleich gut (oder schlecht) unterstützt.

Wiederherstellung vergangener Modellzustände

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 4. Gegenstand der Überprüfung ist die Verwendung der Wiederherstellungsfunktionalität zum Zwecke der versuchsweisen Veränderung des Modells.

Zur Prüfung dieser Hypothese muss die Modellierungsaufgabe so gestaltet sein, dass sinnvoll unterschiedliche Repräsentationen gebildet werden können. Modellierungsvorkenntnisse haben keine Auswirkungen auf diese Untersuchung.

Zur Beurteilung dieser Hypothese wird die Anzahl der Verwendungen der Wiederherstellungsfunktionalität zur Korrektur inhaltlich verworfener Repräsentationen herangezogen. Höhere Werte deuten hier tendenziell auf eine Annahme der Hypothese hin. Zusätzlich können qualitative Aussagen zur Nutzung dieser Funktionalität und deren wahrgenommenen Nutzen zur Beurteilung verwendet werden.

Nicht-Behinderung

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 5. Dabei wird überprüft, ob bei der Verwendung des Werkzeugs dieses in den Aufmerksamkeitsfokus der Benutzer tritt oder sich diese auf die eigentliche Modellierungsaufgabe konzentrieren können.

Die Modellierungsaufgabe hat keinen Einfluss auf die Überprüfung dieser Hypothese, lediglich etwaig vorhandene Modellierungsvorkenntnisse können die Beurteilung beeinträchtigen, da sie Einfluss auf die erwartete Funktionalität des Werkzeugs haben kann.

Zur Beurteilung, ob bzw. inwieweit das Werkzeug die Modellbildung behindert, werden sowohl quantitativ als auch qualitativ beurteilbare Metriken herangezogen. Die Anzahl von Fehlfunktionen des Werkzeugs bzw. das Auftreten von Systemabstürzen kann als Indikator für eine behindernde Wirkung des Werkzeugs herangezogen werden. Das Auftreten von Missverständnissen und daraus resultierende Fehlbedienungen können ebenfalls eine Behinderung des Modellierungsvorgangs interpretiert werden. Zudem werden Aussagen der Benutzer hinsichtlich hinderlicher Faktoren bei der Werkzeugbenutzung als Maß für die wahrgenommene Behinderung durch das Werkzeug herangezogen.

Gewöhnung an das Werkzeug

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 6. Dabei wird überprüft, ob wiederholte Benutzung des Werkzeugs Auswirkung auf die Qualität der Interaktion hat. Eine Erhöhung der Qualität äußert sich in schnellerer Modellbildung und weniger Fehlbedienung.

Bei der Prüfung der Hypothese muss eine etwaige veränderte Funktionalität des Werkzeugs zwischen den verglichenen Evaluierungsblöcken berücksichtigt werden, die die In-

teraktion einerseits erleichtern kann, andererseits aber auch zu Fehlbedienung aufgrund von unbekanntem Interaktionsmustern führen kann. Auch unterschiedliche Modellierungsaufgaben, die ein Individuum in den aufeinander folgenden Anwendungen bearbeitet, können die Beurteilung erschweren, weil potentiell andere (noch unbekannt) Funktionen des Werkzeugs zum Einsatz kommen können.

Zur Beurteilung der Qualität der Interaktion sind einerseits die Anzahl der Fehlbedienungen des Werkzeugs pro Zeiteinheit und andererseits die Arbeitsdauer am Werkzeug¹ in Abhängigkeit der Modellgröße heranzuziehen. Die Normierung der Arbeitsdauer ist notwendig, um vergleichbare Werte für unterschiedliche Werkzeug-Anwendungen zu erhalten. Sinken beide Werte zwischen zwei Evaluierungsblöcken, die auf der gleichen Stichprobe aufbauen, signifikant, so kann die Hypothese bestätigt werden. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Anwendungen herzustellen, ist es sinnvoll, in beiden Blöcken eine identische Modellierungsaufgabe zu stellen und die Funktionalität des Werkzeugs nicht zu verändern. Identische Modellierungsaufgaben können durch die wiederholte inhaltliche Beschäftigung mit der Aufgabe zu schnellerer Arbeit bzw. zu kompakteren Modellen führen. Dies kann wiederum durch die Berücksichtigung der reinen Arbeitszeit am Werkzeug sowie der Normierung derselben in Abhängigkeit der Modellgröße kompensiert werden.

Herstellung von Verbindern

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 7. Mit Hilfe dieser Hypothese soll überprüft werden, ob die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern deren Verwendung signifikant gesteigert hat.

Bei der Messung muss der Einfluss der Modellierungsaufgabe (da sie die Anzahl der benötigten Verbinder beeinflussen kann) und eventuell vorhandene Modellierungsvorkenntnisse (da diese Einfluss auf die Struktur des Modells haben können) berücksichtigt werden. Um den Einfluss dieser Aspekte zu reduzieren, wird die Beurteilung in zwei Evaluierungsblöcken vorgenommen, in denen die gleiche Stichprobe mit der gleichen Aufgabenstellung das Werkzeug mit der gleichen Methodik verwendet. Lediglich die Funktionalität des Werkzeugs wurde zwischen den beiden Anwendungen um den alternativen Weg zur Herstellung von Verbindern erweitert.

Zur Beurteilung des Ausmaßes der Verwendung von Verbindern kann die Connectedness des Modells herangezogen werden. Die Connectedness ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der im Modell verwendeten Verbinder und der Anzahl der verwendeten Knoten (Modellierungselemente). Hier ist zu prüfen, ob die Connectedness in jenem Evaluierungs-Block, in dem der alternative Weg zur Herstellung von Verbindungen verfügbar war, signifikant höher ist als in jenem Block, in dem sie nicht verfügbar war.

¹Die Arbeitsdauer am Werkzeug ist im Gegensatz zur gesamten Modellierungsdauer um jenen Zeiteanteil reduziert, in dem die Teilnehmer interagieren, ohne am Werkzeug zu arbeiten.

Verwendung des Löschtokens

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 8. Dabei wird überprüft, ob das Löschtoken intuitiv korrekt verwendet wird oder ob es zu Fehlinterpretationen kommt.

Die Verwendbarkeit des Löschtokens ist unabhängig von der Modellierungsaufgabe, der angewandten Methodik und auch von eventuell vorhandenen Modellierungsvorkenntnissen. Hinsichtlich des Anwendungskontextes des Werkzeugs sind also keine Voraussetzungen zu beachten.

Zur Beurteilung der intuitiven Verwendbarkeit werden quantitative und qualitative Merkmale der Werkzeugverwendung herangezogen. Quantitativ beurteilbar ist der Anteil der Fehlbedienungen des Löschtokens in Bezug auf alle Anwendungen des Werkzeugs, in denen es grundsätzlich verwendet wurde. Qualitativ wird die Art des Missverständnisses, das zu den jeweiligen Fehlbedienungen führt, beurteilt.

Zur Messung der quantitativen Variablen wird für jede Anwendung die Anzahl der Fehlbedienungen erhoben, die durch das Löschtoken verursacht wurden. Diese Anzahl wird ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Anwendungen des Löschtokens bzw. zur gesamten Anzahl der Löschvorgänge gesetzt. Zu letzterer zählen neben den Anwendungen des Löschtokens auch Fehlerkorrekturen durch Verwendung der Wiederherstellungsfunktion. Da die zweite Möglichkeit sowohl zeit- als auch ressourcenaufwändiger zu verwenden ist als der Einsatz der Löschtokens deutet ein hoher Anteil der Verwendung dieser Funktion auf funktionale Probleme oder Verständnisprobleme der eigentlichen Löschfunktion mittels dem Löschtoken hin.

Qualitativ werden Modellierungssituationen betrachtet, in denen das Löschtoken zum Einsatz kommt. Auf Basis von Transkripten der Interaktion zwischen den Benutzern und dem Werkzeug, bei denen es zu Fehlbedienungen kam, werden die aufgetretenen Missverständnisse explizit identifiziert.

12.2.2. Durchführung

In diesem Abschnitt werden die für diesen Evaluierungs-Teil relevanten deskriptiven Parameter der berücksichtigten Anwendungs-Blöcke angeführt. Als Grundlage der Überprüfung der Hypothesen werden hier die Evaluierungsblöcke 1 bis 5 verwendet. Dabei wurden für die quantitativ zu prüfenden Variablen die Blöcke 2, 3 und 5 herangezogen, da in diesen die größten Stichproben zur Verfügung standen. In die qualitative Auswertung der Ergebnisse wurden hingegen alle Blöcke (1-5) mit einbezogen.

Stichprobe

Für die Untersuchung der Hypothesen in diesem Kapitel wurden die Evaluierungsblöcke 1 bis 5 herangezogen. Die Stichprobe setzt sich wie in Tabelle 12.2 beschrieben zusammen.

Tabelle 12.2.: Stichproben der Evaluierung zur Werkzeugverwendung

	Evaluierungsblock	$n_{Anwendungen}$	$n_{Teilnehmende}$
1	technische Evaluierung	9	18
2a	Aushandlung 1 (1. Durchgang)	9	19
2b	Aushandlung 1 (2. Durchgang)	9	18
3	Concept Mapping 1	18	54
4	Aushandlung 2	10	13
5	Concept Mapping 2 (Tisch)	11	24
	Gesamt	66	146

Dauer der Werkzeugverwendung

Die Dauer der Werkzeug-Verwendung wurde in allen Evaluierungsblöcken erhoben. Die Bearbeitungszeit ist wie in Tabelle 12.3 dargestellt verteilt (siehe auch Abbildung 12.2²):

Die erhobene Dauer der Werkzeug-Verwendung teilt sich in einen Anteil, an dem tatsächlich mit dem Werkzeug interagiert wird und einen Anteil, der anderen Tätigkeiten (wie inhaltlicher Diskussion, Bedeutungsaushandlung, ...) gewidmet ist. Diese beiden Anteile sind in den Evaluierungsblöcken 2 und 3 wie in den Abbildungen 12.3 und 12.4 dargestellt verteilt. Diese beiden Evaluierungsblöcke wurden prototypisch als Repräsentanten unterschiedlicher Aufgabentypen („ablauforientierte Strukturen“ in Evaluierungsblock 2 und „konzeptuelle Strukturen“ in Evaluierungsblock 3) ausgewählt, die auch

²In allen Boxplots gilt folgende Notation:

- dicke Linie bzw. Box: Bereich zwischen 25%- und 75%-Quantil
- breite Linie quer zur Hauptachse: Median (in horizontalen Boxen) bzw. Mittelwert (in vertikalen Boxen)
- linke bzw. untere schmale Linie: Bereich zwischen 2,5%- und 25%-Quantil
- rechte bzw. obere schmale Linie: Bereich zwischen 75%- und 97,5%-Quantil
- Kreuze bzw. Kreise: Ausreißer (außerhalb 2,5%- und 97,5%-Quantil)

Tabelle 12.3.: Dauer der Werkzeugverwendung

Evaluierungsblock	t_{min}	\bar{t}	$sd(t)$	t_{max}
technische Evaluierung	5:00	07:49	2:13	12:00
Aushandlung 1 (1. Durchgang)	11:54	20:53	4:18	27:30
Aushandlung 1 (2. Durchgang)	2:05	9:49	5:20	19:29
Concept Mapping 1	14:01	32:32	10:07	45:00
Aushandlung 2	15:09	36:25	13:29	60:12
Concept Mapping 2 (Tisch)	21:08	34:18	9:11	54:00

Format der Zeitangaben: mm:ss

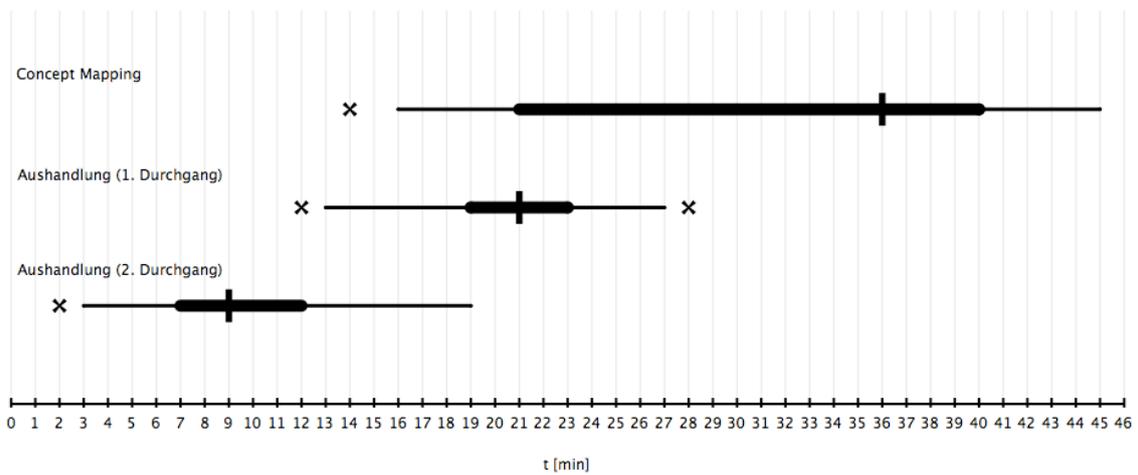


Abbildung 12.2.: Dauer der Werkzeugverwendung – Überblick

in den übrigen Evaluierungsblöcken zu identifizieren sind (in Evaluierungsblock 4 traten beide Typen auf, Evaluierungsblock 5 erfordert die Abbildung konzeptueller Strukturen).

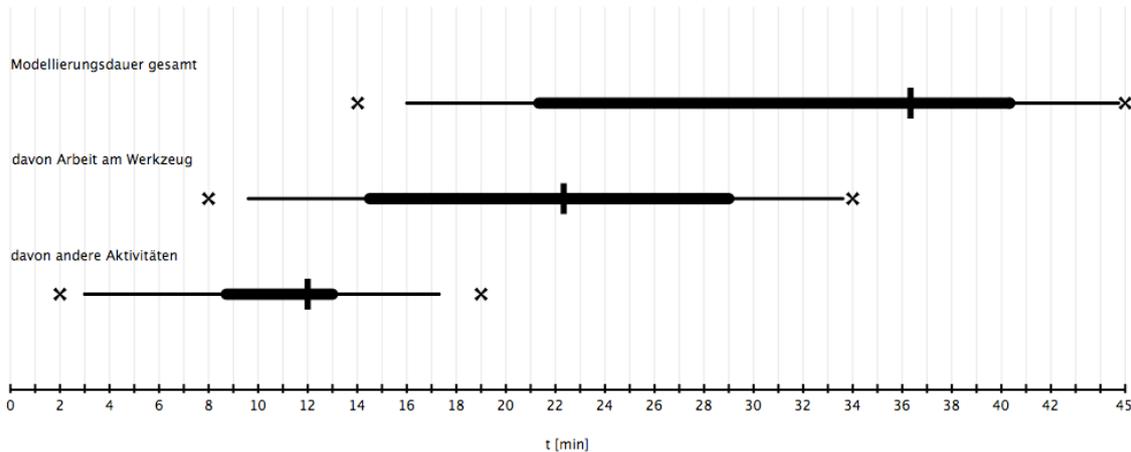


Abbildung 12.3.: Dauer der Werkzeugverwendung – Evaluierungsblock 3

12.3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchung gegliedert nach den oben formulierten Hypothesen dargestellt. Zu jeder Hypothese wird die Auswertung der empirischen Daten dargestellt, die Bedeutung der empirischen Belege für die Prüfung der jeweiligen Hypothese diskutiert und letztendlich das Ergebnis zusammenfassend dargestellt.

12.3.1. Repräsentation diagrammatischer Modelle

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 1 („Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation diagrammatischer Modelle.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse aller Evaluierungsblöcke, da die Aufgaben in allen Fällen auf die Erstellung einer Repräsentation in Form eines diagrammatischen Modells gefordert war.

Ausgewertet wird hier, ob die Ergebnisse der Modellierung jeweils als diagrammatisches Modell zu klassifizieren sind. Ein diagrammatisches Modell zeichnet sich nach (Larkin und Simon, 1987) dadurch aus, dass in ihm Konzepte und deren Zusammenhänge visuell-graphisch dargestellt werden. Eine Darstellung von Beziehungen kann durch

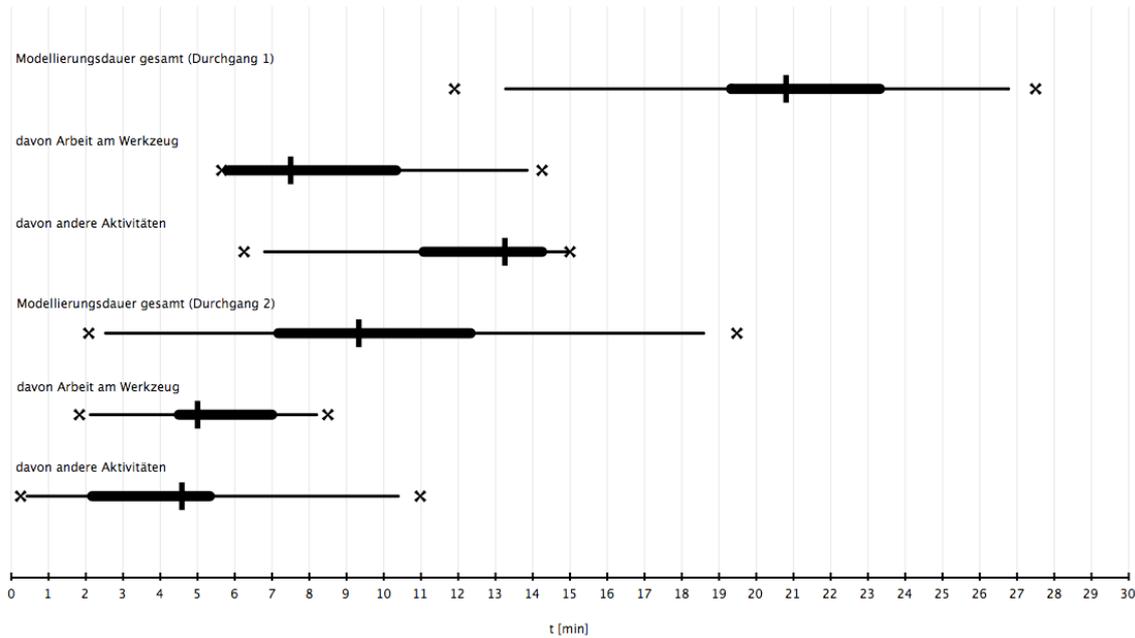


Abbildung 12.4.: Dauer der Werkzeugverwendung – Evaluierungblock 2

die explizite Darstellung von Verbindungen zwischen Konzepten oder durch andere graphische Mittel wie Gruppierung von Konzepten in räumlicher Nähe erfolgen. Um eine eindeutige Auswertbarkeit gewährleisten zu können, wird hier auf die explizite Darstellung von Verbindungen eingeschränkt.

Auswertung

In allen vorliegenden Modellen wurden Konzepte als Grundelemente des diagrammatischen Modells verwendet. Das Kriterium zur Klassifizierung als diagrammatisches Modell ist im Folgenden also das Vorhandensein von Verbindungen. Bei der Auswertung ergab sich die in Tabelle 12.4 dargestellte Verteilung.

Tabelle 12.4.: Anzahl der Modelle mit Verbindern

Block	Modelle gesamt	Modelle mit Verbindern
1	9	0
2	18	9
3	18	17
4	10	10
5	11	11
Gesamt	66	47

Insgesamt sind in 66 Modellen, die als Ergebnis vorliegen, 47 Modelle zu identifizieren, in denen explizit Verbindungen zur Darstellung von Beziehungen zwischen Konzepten verwendet werden (71,2%). Eine implizite Darstellung von Beziehungen ist jedoch in allen vorliegenden Modellen zu erkennen. Nicht explizit durch Verbindungen abgebildete Beziehungen werden in allen Fällen durch die räumliche Konfiguration der Konzepte zueinander dargestellt.

Diskussion

Legt man das Kriterium des Vorhandenseins von Verbindungen zwischen Konzepten an, so sind 71,2% der betrachteten Modelle als diagrammatische Modelle zu klassifizieren. Dies ist vordergründig ein geringer Wert, der gegen die allgemeine Gültigkeit der Hypothese spricht. Allerdings sind in allen Modellen implizite Verbindungen zwischen Konzepten eindeutig zu identifizieren. Außerdem ist zu erkennen, dass der Anteil an diagrammatischen Modellen über die Evaluierungsblöcke (und damit die Weiterentwicklung des Werkzeugs über die Zeit) hinweg stetig ansteigt, bis er in den letzten beiden Blöcken jeweils 100% erreicht. Dies ist durch technische Fehlfunktionen zu erklären, die es in ersten Evaluierungsblöcken schwer bzw. teilweise unmöglich machten, intentional explizite Verbindungen zu erstellen. Unter Anbetracht dieser Erkenntnisse ist die Annahme der Hypothese 1 gerechtfertigt.

Die Abbildung von Verbindungen durch räumliche Konfiguration ist Gegenstand der Prüfung von Hypothese 13 in Kapitel 13 und wird dort einer näheren Betrachtung unterzogen.

Ergebnis

Hypothese 1 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Die Abbildung von Konzepten und Beziehungen zwischen diesen wurde in allen vorliegenden Modellen erfolgreich umgesetzt, wenngleich die Modellierung von expliziten Verbindungen in den ersten beiden Evaluierungsblöcken aufgrund von technischen Unzulänglichkeiten nicht durchgeführt wurde.

12.3.2. Kooperatives Arbeiten

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 2 („Das Werkzeug ermöglicht kooperatives Arbeiten an einer Aufgabe.“). Zur Untersuchung der quantitativ beurteilbaren Aspekte wurden die Werkzeuganwendungen aus den Evaluierungsblöcken 2 ($n = 18$), 3 ($n = 18$) und 5 ($n = 11$) herangezogen, wobei in Block 2 und 5 in Gruppen zu zwei Personen modelliert wurde (in insgesamt drei Fällen drei Personen), in Block 3

in Gruppen zu drei Personen (in drei Fällen nur zwei Personen). Zusätzlich wurden zur qualitative Beurteilung Daten aus den Blöcken 4 und 5 verwendet.

In den Evaluierungsblöcken 4 und 5 wurde hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung der Kooperation eine Befragung der Teilnehmer mittels eines Fragebogens durchgeführt (diese umfasste auch weitere Aspekte, die in späteren Abschnitten besprochen werden). Die Fragestellungen zur Kooperation wurde in geschlossenen Items codiert, die auf einer 7-teiligen Likert-Skala zu beantworten waren (zu den konkreten Fragebogen-Items siehe weiter unten sowie Anhang B). Zusätzlich wurden offene Fragen hinsichtlich der Nützlichkeit der Werkzeugs eingesetzt, die an dieser Stelle ebenfalls hinsichtlich Aussagen zur Kooperation zwischen den Teilnehmern ausgewertet werden.

Zur Auswertung dieser Hypothese wurden außerdem die Interaktionsanalyse berücksichtigt, die in den Evaluierungsblöcken 2 bis 5 durchgeführt wurden. Herangezogen wurden dabei jene Szenen, in denen die Kooperation zwischen den jeweiligen Teilnehmern im Vordergrund stand.

Auswertung

Grundlage des ersten Teils der Auswertung ist die Verteilung der Modellierungsdauer zwischen den Teilnehmern. Um die unterschiedliche Gesamt-Modellierungsdauer in den einzelnen Anwendungen zu kompensieren, wurden die Berechnungen auf Basis der prozentuellen Zeitanteile der einzelnen Teilnehmer durchgeführt. Die einzelnen Datensätze wurden so sortiert, dass die anteilmäßige Modellierungsdauer von Teilnehmer A bis Teilnehmer C (bzw. B) abnimmt. In den einzelnen Evaluierungsblöcken ergeben sich die in Abbildung 12.5 dargestellten Verteilungen.

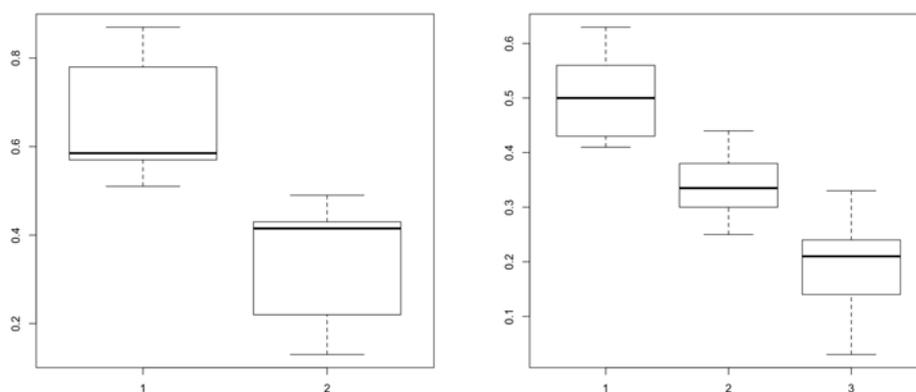


Abbildung 12.5.: Zeitverteilung zwischen den Teilnehmern (1 .. TN A, 2 .. TN B, 3 .. TN C)

Zu prüfen ist hier, ob die Zeit-Anteile der einzelnen Teilnehmer signifikant unterschiedlich sind. Dazu wird für über die Evaluierungsblöcke hinweg die Signifikanz zwischen den Verteilungen der einzelnen Teilnehmerklassen berechnet (eine Teilnehmerklasse setzt sich aus all jenen Teilnehmern zusammen, die am längsten, am zweitlängsten bzw. am drittlängsten aktiv waren).

Für jene Anwendungen, an denen 2 Teilnehmer beteiligt waren ($n = 28$) lag der durchschnittliche Zeitanteil an der Modellierung für Teilnehmer A bei 65.4% ($SD = 12.2\%$), jener von Teilnehmer B lag bei 34.6% ($SD = 12.2\%$). Die Zeitanteile unterscheiden sich damit signifikant voneinander, es ist keine Gleichverteilung der Modellierungszeiten gegeben (zweiseitiger Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben: $V = 351, p < 0.005^3$).

Für jene Anwendungen, an denen 3 Teilnehmer beteiligt waren ($n = 19$) lag der durchschnittliche Zeitanteil an der Modellierung für Teilnehmer A bei 49.3% ($SD = 7.2\%$), jener von Teilnehmer B lag bei 33.1% ($SD = 5.9\%$) und jener von Teilnehmer C bei 17.6% ($SD = 8.2\%$). Die Zeitanteile unterscheiden sich damit signifikant voneinander, es ist keine Gleichverteilung der Modellierungszeiten gegeben (Kruskal-Wallis-Test für mehr als zwei Stichproben: $\chi^2 = 43.65, df = 2, p < 0.005^4$).

In den Evaluierungsblöcken 4 und 5 wurden die Teilnehmer quantitativ und qualitativ nach dem Einfluss des Werkzeugs auf die Kooperation befragt. In der quantitativen Auswertung wurden 4 Items (Abschnitt „Kollaboration beim Modellieren“ in Block 4 – siehe Anhang B.3.2 – und Abschnitt „Kollaboratives Modellieren“ in Block 5 – siehe Anhang B.3.3) betrachtet. Die Items lauten im Einzelnen:

1. Die Zusammenarbeit als Team empfand ich als angenehm.
2. Die Zusammenarbeit als Team fand ich als nützlich.
3. Ich konnte meine persönliche Meinung und Ideen ausreichend einbringen.
4. Das Werkzeug hat die Zusammenarbeit als Team erleichtert.

Insgesamt wurden $n = 37$ Teilnehmer befragt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12.5 und Abbildung 12.6 zusammengefasst dargestellt. Neben dem Mittelwert und der Standardabweichung wurde für jedes Item auch geprüft, ob die Einschätzung als signifikant positiv zu bezeichnen ist. Dazu wurde ein einseitiger Wilcoxon-Test für die Stichprobe gegenüber dem Skalenmittelwert 4 durchgeführt. Der Wilcoxon-Test muss angewandt werden, da die Stichprobe in allen vier Fällen nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-

³Der t-Test kann nicht angewandt werden, da beide Stichproben nicht normalverteilt sind (Shapiro-Wilk-Test: $W_{TNA} = 0.826, p_{TNA} < 0.005, W_{TNB} = 0.820, p_{TNB} < 0.005$).

⁴Der t-Test könnte grundsätzlich für die paarweise Testung ebenfalls angewandt werden, da für alle drei Stichproben nicht davon ausgegangen werden kann, dass sie nicht normalverteilt sind (Shapiro-Wilk-Test: $W_{TNA} = 0.9075, p_{TNA} = 0.078, W_{TNB} = 0.9523, p_{TNB} = 0.463, W_{TNC} = 0.9523, p_{TNC} = 0.463$) und auch der Test der Varianzen eine Gleichheit derselben vermuten lässt (paarweiser F-Test: $F_{AB} = 1.47, p_{AB} = 0.434, F_{AC} = 0.778, p_{AC} = 0.610, F_{BC} = 0.528, p_{BC} = 0.199$). Die errechneten paarweisen Werte für t weisen ebenfalls jeweils einen signifikanten Unterschied der Zeitanteile hin ($t_{AB} = 7.32, t_{AC} = 12.30, t_{BC} = 6.49, p$ jeweils < 0.005).

Test: $W_1 = 0.723, p_1 < 0.005, W_2 = 0.494, p_2 < 0.005, W_3 = 0.751, p_3 < 0.005, W_4 = 0.853, p_4 < 0.005$)).

Tabelle 12.5.: Befragung Kooperative Modellierung – Itemauswertung

Item	M	SD	$V_{M<4}$	$p_{M<4}$
1	1.51	0.61	0	<0.005
2	1.62	1.04	27.5	<0.005
3	1.62	0.79	0	<0.005
4	2.16	1.14	4	<0.005

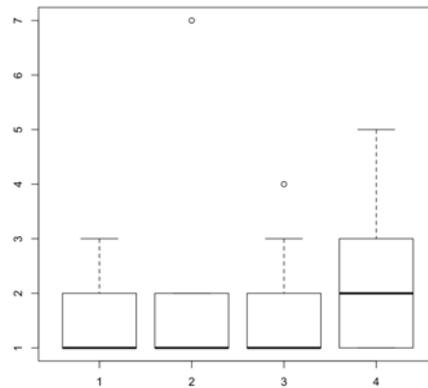


Abbildung 12.6.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zum kooperativen Modellieren

In der qualitativen Befragung begründeten insgesamt 29 Teilnehmer ihren Eindruck (Fragestellung: „Sind Sie zufrieden mit ihrem Beitrag zum Modellierungsprozess? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an.“). Die Ergebnisse sind im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt:

- pos: alle Teilnehmer haben Ideen eingebracht (6x)
- pos: gute Teamarbeit (5x)
- pos: konnte meine Ideen einbringen (5x)
- pos: Konsens gefunden (4x)
- pos: gute Kommunikation (3x)
- pos: alle Teilnehmer gleichgestellt (2x)
- neg: Werkzeug an Grenzen gestoßen (2x)

- neg: hatte zuwenig Wissen (1x)
- neg: Arbeit am Werkzeug war zu zeitaufwändig (1x)

Zudem konnten in der Videoanalyse der Evaluierungsblöcke 2, 3, 4 und 5 vielfach Situationen identifiziert werden, in denen das Modell auf der Tischoberfläche von den Teilnehmern als Referenz für den Austausch über die abgebildeten Inhalte herangezogen wurden oder in denen mehrere Teilnehmer gleichzeitig das Modell manipulierten. In der Folge werden prototypisch einige Situationen dargestellt, die derartige Interaktionsabläufe zeigen⁵:

Beispiel für gleichzeitige Manipulation

A: Sollen wir die beiden auch verbinden?

C: Sicher. (*greift zu rotem Block*)

A: OK. (*greift zu blauem Block*)

A und C schieben die Blöcke zusammen und anschließend wieder in die ursprüngliche Position. Anschließend setzt B den nächsten blauen Block auf die Arbeitsfläche, und verbindet ihn mit dem roten Block.

Beispiel für Referenzierung des Modells

B: Die Übung (*deutet auf roten Block*) ist eigentlich nicht notwendig.

A: Naja, es ist halt unter einem schönen Knoten.

C: Nennen wir das (*tippt auf roten Block*) Ziele.

A: Nein, wieso? Ich kann ja mehrere Bedeutungen für das (*deutet auf roten Block*) verwenden. Das ist doch egal. Das sagt ja nichts aus.

C: Aber wir können das (*deutet auf roten Block*) weggeben und sagen, das sind die Ziele. Was ist das Ziel.

A: Das können wir machen, oder wir legen einfach einen roten dazu (*deutet an, wo der rote Block liegen würde*) und schreiben es hin.

A verschiebt den roten Block, um Platz für einen neuen Block zu schaffen.

Beispiel für gleichzeitige Manipulation

Die Teilnehmer haben zuvor alle Blöcke beschriftet und wollen sie nun verbinden bzw. in die richtige Position bringen.

B: So und jetzt müssen wir eigentlich . . . (*greift zum ersten Block und schiebt ihn zum Knotenpunkt, um ihn zu verbinden, danach bringt er den Block wieder in seine ursprüngliche Position*)

⁵Die ausgewählten Transkripte stammen aus Evaluierungsblock 3. Sämtliche Transkripte sind unter den in Anhang B angeführten Quellen zu beziehen.

C: Jawohl.

Teilnehmer B wiederholt Vorgang mit dem zweiten Block. Teilnehmer C greift inzwischen zum dritten Block, um es B nachzumachen. B nimmt anschließend den nächsten Block und verbindet ihn. Den letzten Block verbindet wieder C. Beim Zurückschieben verschwindet die Verbindung von der Arbeitsfläche.

A: Das erkennt er nicht. *(schiebt den Block wieder ein Stück zurück)*
System zeigt Verbindung wieder an.

C: Passt. *Schiebt Block wieder zurück.*

A: So, und jetzt noch schön anordnen.

A greift die unteren Blöcke und richtet sie in einer Linie aus, während C den ober Block zentriert. System reagiert etwas verzögert. B lacht.

A: Ok. Passt.

In der Folge beraten die Teilnehmer über die weitere Vorgangsweise.

Beispiel für Referenzierung des Modells

Teilnehmer diskutieren über die beiden Modellierungssprachen.

A: In der Softwareentwicklung würde man das Analyse *(deutet auf oberen Teil der Arbeitsfläche)* und das Design *(deutet auf unteren Teil der Arbeitsfläche)* nennen.

B: Genau.

A: Und dann hinterlegst du es mit deinen mathematischen Modellen *(deutet Modelle mit Handbewegung an)* in der Implementierung und dann kann ich es ausführen.

B: Ja. Alles ablauforientiert das Ganze.

A: *(deutet auf blauen Baustein)* Genau, von der Sicht her. Die Sicht, die es einnimmt *(deutet auf gelbe Blöcke)* ist genau dieselbe, aber der Scope vom Zeitpunkt ist genau.

B: unterschiedlich

A: Genau, SeeMe, ARIS *(deutet Modelle an)* und dann Workflow Systeme im Wesentlichen.

Diskussion

In der Verteilung der Zeitanteile der Beteiligung an der Modellierung zeigt sich, dass der Anteil von Teilnehmer A (dem Teilnehmer mit dem jeweils höchsten Zeitanteil) signifikant höher ist als jener von Teilnehmer B. In jenen Fällen, in denen drei Teilnehmer beteiligt sind, ist der Zeitanteil des am kürzesten beteiligten Teilnehmers signifikant geringer als jener der anderen beiden. Dieses Ergebnis zeigt, dass für Anwendungssituationen mit mehreren Teilnehmern eine Beteiligung im gleichen Ausmaß nicht erwartet

werden kann. Insgesamt spricht dieses Ergebnis also gegen die Bestätigung der Hypothese.

Dies ist aber insofern zu relativieren, als dass eine statistisch signifikante Gleichverteilung nicht erwartet werden kann. Betrachtet man die Mittelwerte der Zeitanteile der Teilnehmer, so zeigt sich, dass – zumindest für Anwendungen mit zwei Teilnehmern – eine Beteiligung jeweils durch alle Teilnehmer gegeben ist. Der höhere Zeitanteil von Teilnehmer A ist unter Umständen auch auf den exklusiven Zugriff auf die zur Benennung von Modellierungsblöcken notwendige Tastatur zu erklären. Die Bedienung der Tastatur wurde nur in wenigen Fällen geteilt, so dass ein Teilnehmer durch die Durchführung der Benennungstätigkeit naturgemäß einen stärkeren Anteil an der Arbeitszeit in Anspruch nimmt. Bei drei Teilnehmern zeigt sich jedoch eine deutliche Abnahme des Zeitanteils für jenen Teilnehmer, der den geringsten Zeitanteil in Anspruch nahm. Dieser Effekt verstärkt sich – wie aus Beobachtungen der Anwendungen in Evaluierungsblock 4 zu erkennen (siehe (Wahlmüller, 2010)) – für Anwendungen mit mehr als drei Teilnehmern. Hier sind jeweils tendenziell zwei Beteiligte zu identifizieren, die zusammen mehr als zwei Drittel der Modellierungszeit für sich in Anspruch nehmen.

In der Befragung der Benutzer hinsichtlich der wahrgenommenen Möglichkeit zur Kooperation wird deutlich, dass diese durchwegs als hoch eingeschätzt wird (dies gilt sowohl für die Anwendungen mit zwei Teilnehmern in Block 5 als auch für die Anwendungen mit drei und mehr Teilnehmern in Block 4). Auch in den qualitativen Rückmeldungen zur Kooperation wird das Werkzeug hinsichtlich seiner Wirkung positiv beurteilt. Die Antworten auf die offenen Fragestellungen zeigen ebenfalls eine vorwiegend positive Einschätzung der Wirkung des Werkzeugs auf die Kooperation zwischen den Teilnehmern. Das Ergebnis der Befragung spricht also insgesamt für die Bestätigung der Hypothese.

Auch die Ergebnisse der Videoanalyse deuten auf eine kooperationsunterstützende Wirkung des Werkzeugs hin. Zu nennen ist hierbei vor allem die vielfache Verwendung der Modellelemente als physischer Ankerpunkt, an dem Diskussionbeiträge durch Zeigen oder Deuten festgemacht werden und so den anderen Teilnehmern der Bezugsgegenstand verdeutlicht wird. Dieses Verhalten bei der Modellbildung war in der vergleichenden Anwendung der rein rechnerbasierten CMapTools in Evaluierungsblock 5 in weitaus geringerem Ausmaß zu beobachten. Auch die simultane Manipulation am Modell durch mehrere Teilnehmer trat wiederholt auf. Dabei handelte es sich selten um vollständig voneinander entkoppelte Aktivitäten, in den meisten Fällen wurde simultan jener Modellteil manipuliert, der aktuell Gegenstand der Diskussion war. Durch die bei rein rechner-gestützten Modellierungswerkzeugen exklusiven Interaktionsmöglichkeit durch die Maus ist dieses Verhalten dort nicht zu beobachten und deutet auf einen auf das Werkzeug zurückzuführenden Effekt hin.

Insgesamt kann die hier untersuchte Hypothese auf Basis der durchgeführten Untersuchungen deshalb bestätigt werden.

Ergebnis

Hypothese 2 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Der Zeitanteil an der Modellbildung zeigt bei Anwendungen mit zwei Modellierenden eine wesentliche Beteiligung jeweils beider Teilnehmer. Bei mehr als zwei Anwendern ist die Beteiligung aller Teilnehmer nicht mehr gegeben, die Teilnehmer haben dennoch durchwegs (unabhängig von der Anzahl der Teilnehmer bei einer Anwendung) den Eindruck, sich einbringen zu können und gut zusammenarbeiten zu können.

12.3.3. Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kontexten

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 3 („Das Werkzeug ist gleichwertig für Modellierungsaufgaben in unterschiedlichen Kontexten einsetzbar.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2, 3, 4 und 5. Die Anwendungskontexte unterscheiden sich weitgehend zwischen den Blöcken. In Block 2 werden Ablaufplanungen im universitären Lern-Kontext behandelt, die Blöcke 3 und 5 bilden Aufgaben zur Reflexion von Lerninhalten ab. Block 4 zeigt den Einsatz des Werkzeugs im organisationalen Kontext, wobei hier sowohl die Aufbau- als auch die Ablauforganisation (zumeist nicht trennbar) behandelt wurden. Zur Auswertung werden also drei Kontexte (Block 2, Blöcke 3 und 5 sowie Block 4) betrachtet. In den Blöcken 4 und 5 wurden die Teilnehmer zusätzlich hinsichtlich der Zufriedenheit mit der Abbildung ihrer mentalen Modelle befragt. Auch diese Ergebnisse dienen der Prüfung dieser Hypothese.

Auswertung

Im quantitativen Teil der hier durchgeführten Auswertung wurde die Korrelation zwischen der Modellierungszeit und der Modellgröße in den unterschiedlichen Evaluierungsblöcken berechnet. Abbildung 12.7 zeigt den Zusammenhang graphisch.

Über alle Evaluierungsblöcke hinweg ($n = 57$) ergibt sich mit einem Korrelationskoeffizient nach Spearman⁶ von 0.60019 ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen den beiden Messgrößen (Test auf positive Korrelation: $S = 11082.87, p < 0.005$).

Bei der Befragung der Benutzer in den Blöcken 4 ($n = 13$) und 5 ($n = 24$) wurde unter anderem deren Zufriedenheit mit dem Modellierungsergebnis sowie der Anwendung der Werkzeugs zur Lösung der Aufgabenstellung qualitativ erhoben. In Evaluierungsblock 4 gaben 11 Teilnehmer an, mit dem Modellierungsergebnis zufrieden gewesen zu sein. Ein Teilnehmer war unzufrieden, einer beantwortete die Frage nicht. Insgesamt wurden von 9

⁶Der Korrelationskoeffizient nach Pearson kann nicht angewandt werden, da beide Stichproben nicht normalverteilt sind (Shapiro-Wilk-Test: $W_{Zeit} = 0.880, p_{Zeit} < 0.005, W_{Gre} = 0.829, p_{Gre} < 0.005$)

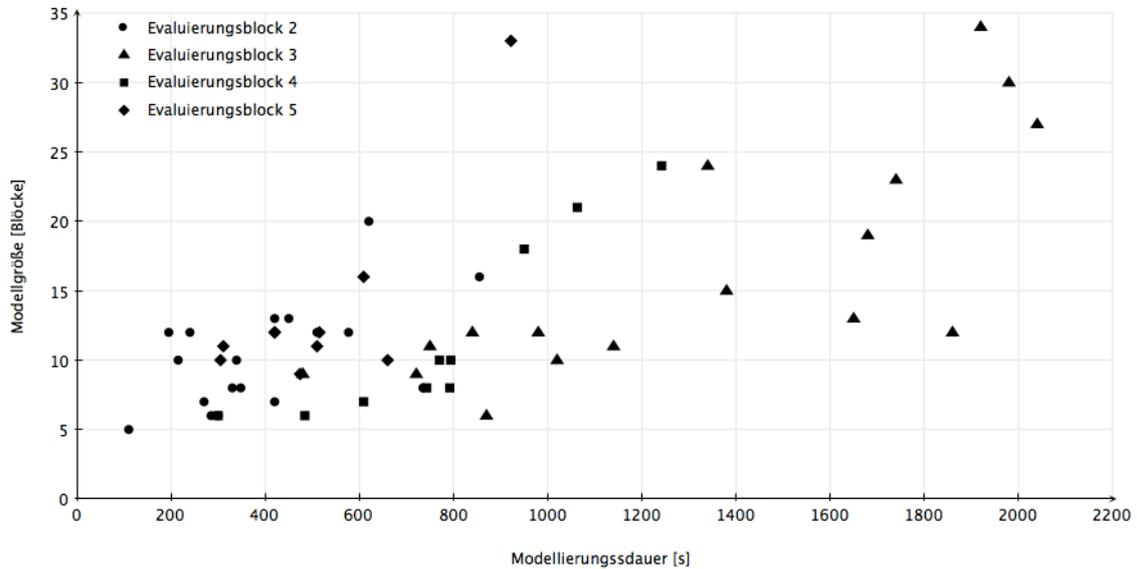


Abbildung 12.7.: Zusammenhang zwischen Modellgröße und Modellierungsdauer

Teilnehmern Begründungen angegeben, die im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt sind:

- pos: kooperatives Arbeiten möglich (3x)
- pos: neue Erkenntnisse gewonnen (2x)
- pos: Ergebnis entspricht den Vorstellungen (2x)
- neg: zu große Teile, zu kleine Oberfläche (2x)

11 Teilnehmer gaben an, mit dem Modellierungsverlauf zufrieden gewesen zu sein, ein Teilnehmer war nicht zufrieden, ein Teilnehmer beantwortete die Frage nicht. Insgesamt wurden von 8 Teilnehmern Begründungen angegeben, die im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt sind:

- pos: kooperatives Arbeiten möglich (3x)
- pos: Kommunikation gefördert, gemeinsame Sichtweise entwickelt (2x)
- pos: Experimentieren ist möglich (1x)
- pos: spielerisches Modellieren möglich (1x)
- neg: zu große Teile, zu kleine Oberfläche (1x)
- neg: Werkzeug ist umständlich (1x)
- neg: Werkzeug technisch instabil (1x)

In Evaluierungsblock 5 gaben 18 Teilnehmer an, mit dem Modellierungsergebnis zufrieden gewesen zu sein. 6 Teilnehmer waren unzufrieden. 23 Teilnehmer begründeten ihre Entscheidung. Die Begründungen sind im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt:

- pos: Modell war vollständig (5x)
- pos: Aufgabe gut gelöst (5x)
- pos: Modell war verständlich (2x)
- pos: Ergebnis entspricht den Vorstellungen (2x)
- pos: rasche Modellierung war möglich (1x)
- neg: Werkzeug technisch instabil (4x)
- neg: Modell war zu ungenau (3x)
- neg: Modell war unübersichtlich (2x)

20 Teilnehmer gaben an, mit dem Modellierungsverlauf zufrieden gewesen zu sein, 4 Teilnehmer waren nicht zufrieden. Alle 24 Teilnehmer begründeten ihre Entscheidung. Die Begründungen sind im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt:

- pos: kooperatives Arbeiten möglich (11x)
- pos: Kommunikation gefördert (7x)
- pos: Werkzeug einfach zu bedienen (5x)
- pos: Verwendung unterhaltsam (3x)
- pos: zügiges Arbeiten möglich (3x)
- pos: gute Aufgabenteilung (1x)
- neg: Werkzeug technisch instabil (3x)
- neg: Werkzeug ist umständlich (1x)
- neg: unstrukturiertes Vorgehen (1x)

Diskussion

Der Korrelationskoeffizient zwischen Modellgröße und Modellierungsdauer deutet bei einer Berechnung über alle Evaluierungsblöcke hinweg mit einem Wert von 0.600 auf eine signifikant positive Korrelation zwischen diesen beiden Parametern hin. Da damit unabhängig von der Modellierungsaufgabe offensichtlich ein Zusammenhang zwischen den geprüften Parametern besteht, stützt dies die Hypothese, dass sich das Werkzeug für den Einsatz in unterschiedlichen Kontexten eignet. Auch die in Abschnitt 12.3.6 verwendeten „normierten“ Modellierungszeiten (Modellierungsdauer im Verhältnis zur Modellgröße, also im Wesentlichen Zeitaufwand pro Block) zeigen für die dort gegenübergestellten Blöcke 2 und 3 keinen signifikanten Unterschied im Aufwand bei der Modellierung, obwohl die Anwendungen aus unterschiedlichen Kontexten stammen.

Bei der qualitativen Betrachtung der Rückmeldungen der Benutzer hinsichtlich der Zufriedenheit mit dem Modellierungsverlauf und Ergebnis zeigen sich unabhängig von jeweiligen Anwendungskontext überwiegend positiv zu wertende Rückmeldungen. Betrachtet man die mehrfach genannten Begründungen der Einschätzungen, gleichen sich sowohl die positiven als auch die negativen Rückmeldungen in den beiden Anwendungskontexten. Dies spricht für die Bestätigung der untersuchten Hypothese.

Zusammenfassend kann Hypothese 3 also auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden.

Ergebnis

Hypothese 3 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Die quantitative Untersuchung der Korrelation zwischen Modellgröße und Modellierungsdauer zeigt unabhängig vom Anwendungskontext eine signifikant positive, relativ stark ausgeprägte Korrelation, was darauf hinweist, dass der Aufwand zur Modellerstellung unabhängig von Aufgabenstellung und Anwendungskontext relativ stabil bleibt. Auch die qualitativen Rückmeldungen der Teilnehmer aus unterschiedlichen Anwendungskontexten gleichen sich im Wesentlichen, so dass das Werkzeug unabhängig vom Anwendungskontext immer ähnliche positive bzw. negative Effekte hat.

12.3.4. Wiederherstellung vergangener Modellzustände

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 4 („Die Möglichkeit der Wiederherstellung vergangener Modellzustände fördert die Bereitschaft alternative Repräsentationen auszuprobieren.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 bis 5, da die Funktion zur Wiederherstellung vergangener Modellzustände erst in diesen Blöcken funktionsfähig zur Verfügung stand.

Auswertung

Für alle Anwendungen des Werkzeugs in den Evaluierungsblöcken 2 bis 5 wurde hier untersucht, wie oft die Möglichkeit zur Wiederherstellung vergangener Modellzustände eingesetzt wurde, um alternative Modellierungswege auszuprobieren. Nicht berücksichtigt wurden Einsätze derselben Funktion, die zur Korrektur von Modellierungsfehlern durch Fehl-Erkennungen des Systems verwendet wurden (verstärkt in den Evaluierungsblöcken 2 und 3 aufgetreten, in 4 und 5 durch Stabilisierung der Erkennungsleistung nicht mehr relevant – siehe Abschnitt 12.3.8). Die Verteilung des Einsatzes der Funktion ist in absoluten Zahlen in Tabelle 12.6 für jeden Evaluierungsblock angeführt

Tabelle 12.6.: Anzahl des Einsatzes der Wiederherstellungsfunktion

EB	0 E.	1 E.	2 E.	3+ E.
2	18	0	0	0
3	14	4	0	0
4	10	0	0	0
5	10	1	0	0
Ges.	52	5	0	0

EB ... Evaluierungsblock, x E... x Einsätze der Wiederherstellungsfunktion

Die Wiederherstellungsfunktion wurde also insgesamt in 8.77% der Fälle ($n = 57$) eingesetzt und kam maximal einmal je Anwendung zum Einsatz. Aus den Videoanalysen ist außerdem erkennbar, dass die Wiederherstellungsfunktion – falls ihre Verwendung überhaupt in Betracht gezogen wird – in den meisten Fällen lediglich zur Fehlerkorrektur eingesetzt wird (in 52 Anwendungen wurde die Wiederherstellungsfunktion in 37 Fällen – 71.2% – mindestens einmal zur Korrektur von Erkennungsfehlern und 5 mal zur Korrektur von inhaltlich verworfenen Modellierungswegen verwendet).

Bei der in den Blöcken 1, 4 und 5 durchgeführten Befragung der Teilnehmer hinsichtlich der Erfahrungen mit dem Werkzeug wurde unter anderem nach als besonders nützlich empfundenen Funktionen bzw. Eigenschaften des Werkzeugs gefragt. Die Wiederherstellungsfunktion wurde in diesem Zusammenhang von keinem Teilnehmer ($n = 55$) erwähnt.

Diskussion

Die Ergebnisse der Auswertung der Untersuchung zu dieser Hypothese zeigt ein geringes Ausmaß der Verwendung der Wiederherstellungsfunktion zum Zwecke der Erstellung von Modellalternativen. Die Funktion an sich wurde in 71.2% der Anwendungen verwendet, was für ein hohes Bewusstsein über deren Existenz spricht. Lediglich in 8.77% der Anwendungen wurde die Funktion zur Verfolgung alternativer Modellierungswege eingesetzt, in 61.5% der Anwendungen wurde sie lediglich zur Fehlerkorrektur verwendet. Auch in der qualitativen Erhebung der als nützlich wahrgenommenen Werkzeugfunktionalitäten wurde die Wiederherstellungsfunktion in keinem Fall genannt. Auf Basis dieser Ergebnisse kann die Hypothese nicht bestätigt werden.

Ergebnis

Hypothese 4 kann auf Basis der Untersuchung nicht bestätigt werden. Die Wiederherstellungsfunktion wird nur in unter 10% der untersuchten Anwendungen zur Verfolgung alternativer Modellierungswege genutzt. Die Funktion wird außerdem von

den Anwendern bei der Frage nach den als nützlich wahrgenommene Funktionen nicht genannt.

12.3.5. Nicht-Behinderung

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 5 („Das Werkzeug behindert die Modellbildung nicht.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 bis 5, da sich das Werkzeug erst in diesen Blöcken hinsichtlich der Funktionalität in vollständigem Zustand befand. Zu berücksichtigen ist bei der Auswertung, dass im Laufe der Evaluierungsblöcken 4 und 5 eine Überarbeitung der Implementierung vorgenommen wurde, mittels der das Auftreten von Fehl-Erkennungen verringert werden konnte und deren Korrektur weniger aufwändig wurde. Befragungen der Modellierenden hinsichtlich einer etwaigen Behinderung durch das Werkzeug wurden in den Blöcken 1, 4 und 5 durchgeführt, wobei lediglich die Anmerkungen aus den letzten beiden Blöcken für den aktuellen Entwicklungsstand des Werkzeugs relevant sind.

Auswertung

In Tabelle 12.7 wird gegliedert nach Evaluierungsblöcken dargestellt, wie oft es in einer einzelnen Anwendung zu Fehlfunktionen in der Erkennung kam, die den Modellierungsfluss unterbrachen. Als Fehl-Erkennungen wurde das Verschwinden von Blöcken oder Fehlzuordnungen von Benennungen sowie die unbeabsichtigte oder von System eigenständig vorgenommene Erstellung oder Entfernung von Verbindern bzw. Richtungspfeilen eingeordnet. Zusätzlich wurden Systemabstürze als massive Unterbrechung, die zum Gesamtverlust des bis zum Zeitpunkt des Absturzes erstellten Modells führten, separat ausgewertet.

Tabelle 12.7.: Fehlfunktionen und Abstürze des Werkzeugs

EB	Anw.	0 Ff.	1-3 Ff.	4-6 Ff.	7+ Ff.	Systemabstürze
2	18	0	8	5	5	4
3	18	1	10	4	3	5
4	10	0	2	2	5	1
5	11	0	3	3	4	5
Ges.	57	1	23	14	17	15

EB ... Evaluierungsblock, Anw. ... Anzahl der Anwendungen, x Ff... x Fehlfunktionen

In der Gesamtheit der betrachteten Anwendungen ($n = 57$) ergibt sich die in Tabelle 12.7 dargestellte Verteilung der Anzahl der Fehlerkennungen je Anwendung, die auch in Abbildung 12.8 graphisch abgebildet ist. In 1.75% der Fälle trat keine Fehlerkennung während der Anwendung auf ($n_0 = 1$). In 40.35% der Fälle traten zwischen 1 und 3

Fehlerkennungen auf ($n_{1-3} = 23$). 4-6 Fehlerkennungen konnten in 24.56% der Fälle festgestellt werden ($n_{4-6} = 14$). 7 oder mehr Fehlerkennungen traten in 29.82% der Fälle auf ($n_{7+} = 17$). In 26.32% der Fälle kam es zu Systemabstürzen ($n_{Absturz} = 15$), wobei diese in 10 Fällen nach Ende des eigentlichen Modellierungsvorgangs auftraten.

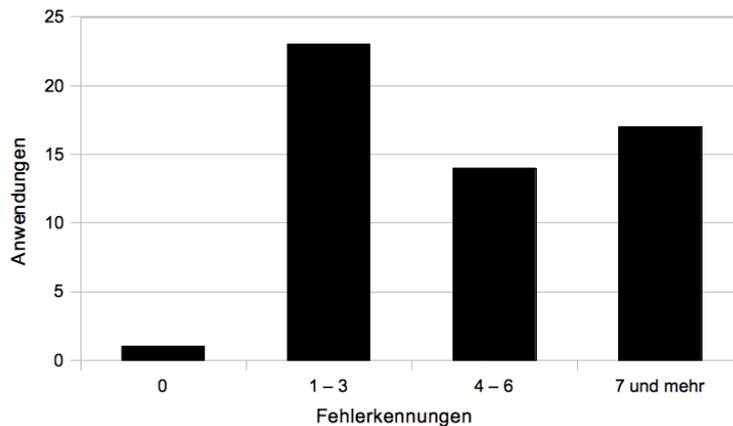


Abbildung 12.8.: Verteilung der Anzahl der Fehlerkennungen je Anwendung – Übersicht

In der Benutzerbefragung in den Evaluierungsblöcken 4 und 5 wurde in offenen und geschlossenen Fragen nach der Wirkung des Werkzeugs bei der Modellbildung befragt (Abschnitte „Nutzerfreundlichkeit“ und „Zufriedenheit des Modellierers“ in Block 4 – siehe Anhang B.3.2 – und Abschnitte „wahrgenommene Einfachheit der Benutzung des Werkzeugs“ und „Zufriedenheit des Modellierers“ in Block 5 – siehe Anhang B.3.3). Die für die Prüfung der hier betrachteten Hypothese sind folgende geschlossene Items relevant:

1. Die Anwendung des Werkzeugs ist frustrierend (Skala gedreht).
2. Die Anwendung des Werkzeugs fällt mir leicht.
3. Die Anwendung des Werkzeugs ist anstrengend (Skala gedreht).
4. Um mit dem Werkzeug gut zurecht zu kommen, hätte ich intensivere Vorbereitung benötigt (Skala gedreht).
5. Die Bedienung des Werkzeugs ist intuitiv.
6. Das Werkzeug ist einfach zu bedienen.
7. Die benötigte Zeit um das Modell zu erstellen empfand ich als angemessen.

Insgesamt wurden $n = 37$ Teilnehmer befragt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12.8 und Abbildung 12.9 zusammengefasst dargestellt. Neben dem Mittelwert und der Standardabweichung wurde für jedes Item auch geprüft, ob die Einschätzung als signifikant

positiv zu bezeichnen ist. Dazu wurde ein einseitiger Wilcoxon-Test für die Stichprobe gegenüber dem Skalenmittelwert 4 durchgeführt⁷.

Tabelle 12.8.: Befragung über die Wirkung des Werkzeugs – Itemauswertung

Item	M	SD	$V_{M<4}$	$p_{M<4}$
1*	2.89	1.76	100	< 0.005
2	2.19	1.29	20	< 0.005
3*	2.65	1.49	49	< 0.005
4*	2.08	1.28	33.5	< 0.005
5	2.78	1.49	70.5	< 0.005
6	2.32	1.21	27	< 0.005
7	2.16	1.35	20.5	< 0.005

* ... Item gedreht

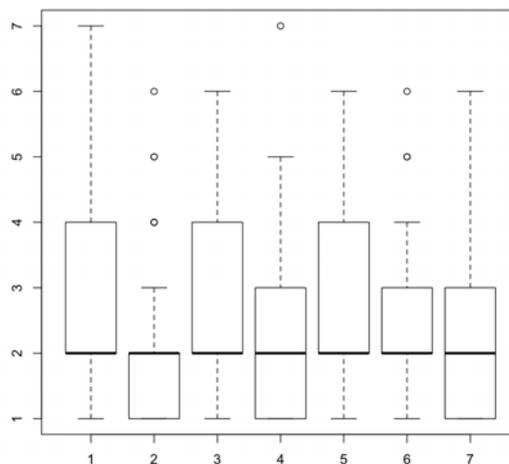


Abbildung 12.9.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Wirkung des Werkzeugs

In der qualitativen Befragung gaben insgesamt 34 Teilnehmer Rückmeldungen zur Bedienung des Werkzeugs ab (Fragestellung: „Wie zufrieden waren sie im Allgemeinen mit dem Werkzeug?“). Die Ergebnisse sind im Folgenden inhaltlich gruppiert dargestellt:

⁷Der Wilcoxon-Test muss angewandt werden, da die Stichprobe in allen sieben Fällen nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-Test: $W_1 = 0.877, p_1 < 0.005$, $W_2 = 0.798, p_2 < 0.005$, $W_3 = 0.871, p_3 < 0.005$, $W_4 = 0.764, p_4 < 0.005$, $W_5 = 0.862, p_5 < 0.005$, $W_6 = 0.833, p_6 < 0.005$, $W_7 = 0.844, p_7 < 0.005$)

- pos: Prototypen-Probleme nicht überbewerten, trotzdem verwendbar (7x)
- pos: intuitive Herstellung von Verbindern möglich (2x)
- pos: Benutzung war spannend und nützlich (2x)
- pos: Hinweise zum Wiederherstellen eines Zustandes (2x)
- pos: ermöglicht das spielerische Nachdenken über Prozesse (1x)
- pos: Interaktion mit dem Werkzeug einfach möglich (1x)
- pos: Anfassbarkeit verstärkt die Beziehung zum Thema (1x)
- neg: Objekte zu groß / Oberfläche zu klein (9x)
- neg: System zu instabil (8x)
- neg: System zieht tw. selbständig Verbindungen (4x)
- neg: Erkennungsleistung in Teilbereichen mangelhaft (3x)
- neg: zu wenig Verbinder-Varianten (3x)
- neg: zu wenig Baustein-Varianten (2x)
- neg: Beschriftung unterbricht den Modellierungsfluss (1x)
- neg: Tisch zu hoch (1x)
- neg: System umständlich zu bedienen (1x)
- neg: zu träge Reaktion (1x)

In der Videoanalyse der Evaluierungsblöcke 2, 3, 4 und 5 konnten Situationen identifiziert werden, die die am häufigsten genannten negativen Wirkungen des Werkzeugs bestätigen. In der Folge werden prototypisch einige Situationen dargestellt, die derartige Interaktionsabläufe zeigen, in denen die Bedienung des Werkzeugs behindert wird⁸:

Oberfläche zu klein

Teilnehmer A will einen neuen Block hinzufügen, hat aber wenig Platz.

A setzt gelben Block an den unteren Rand der Arbeitsfläche.

B: Geben wir ihn hier rauf. (schiebt Blöcke zur Seite) Sonst können wir sie nicht verbinden.

C: Stimmt.

A setzt Block auf die freigelegte Fläche. B und C schieben inzwischen die anderen Blöcke auseinander, um noch mehr Platz zu schaffen. C setzt den Marker zum neuen Baustein. A beschriftet. C nimmt den Marker weg. Die Teilnehmer setzen mit dem Verbinden der Blöcke ihre Arbeit fort.

⁸Die ausgewählten Transkripte stammen aus Evaluierungsblock 3. Sämtliche Transkripte sind unten in Anhang B angeführten Quellen zu beziehen.

System zu instabil - Fall 1

B stellt blauen Block auf die Arbeitsfläche und schiebt ihn zum roten Block. System erstellt jedoch keine Verbindung.

A: Egal, dann fahren wir mit dem Roten weiter rauf. (Nimmt roten Block und schiebt ihn in Richtung blauen Block den TLN B auf der Arbeitsfläche bewegt) Jetzt erkennt er das auch nicht mehr (meint Verbindung, die kurz verschwindet).

Die beiden schieben die Blöcke gleichzeitig wieder in Richtung der Ausgangsposition.

Verschwundene Verbindung wird wieder angezeigt. Neue Verbindung wird nicht erkannt.

A: Egal. (schiebt roten Block nach links oben, während B den blauen Block nach rechts unten hebt)

A: Versuchen wir es hier einmal.

B schiebt den blauen Block nach links oben zum roten Block zurück. System erkennt die Verbindung. B schiebt den Block nach rechts unten zurück und A verschiebt den roten Block, weil die Verbindungen kurz verschwunden sind. Teilnehmer setzen mit der Modellierung fort.

System zu instabil - Fall 2

Das System hat einen ungewollten Verbinder erstellt.

B stellt das Glas auf die Oberfläche und dreht es

A: jetzt ist es weg!

B hebt das Glas von der Oberfläche, ohne das Wiederherstellungskärtchen zu verwenden

Beide Teilnehmer verharren kurz ohne zu sprechen

B: nein, he, hallo

B setzt das Glas wieder auf die Oberfläche

A murmelt unverständlich, das letzte Wort scheint „vielleicht“ zu sein

B dreht das Glas, nimmt die Hand vom Glas und tippt kurz mit den Fingern auf die Oberfläche

B: OK, und jetzt?

A: Wenn du es weg tust, ist es wieder

B greift zu einem Marker

B: commiten!

B setzt den Marker zweimal kurz auf die Tischoberfläche und nimmt ihn danach vom Tisch

B: nein

A murmelt unverständlich und zeigt auf den ungewollten Verbinder, der noch immer besteht

B hebt das Glas kurz an und stellt es wieder auf die Oberfläche

B: ah geh, ich frage ihn gleich

B verlässt den den Raum und ruft den Seminarleiter herbei, um ihnen bei dem Problem behilflich zu sein

System zu instabil - Fall 3

Das System hat einen ungewollten Verbinder erstellt. Die Teilnehmer wollen diesen mit dem Glas entfernen.

B nimmt das Glas und das Kärtchen gleichzeitig vom Tisch

B: geh nein, nicht das weg tun

Das System hat einen blauen Block am linken unteren Ende der Oberfläche verloren

B: wah (frustriert)

B: gibt es ja nicht

B nimmt den nicht mehr erkannten blauen Block von der Oberfläche

B: OK, weg tun

B: Was ist jetzt da verkehrt?

B greift zu einem roten Block, das System zeigt mit einer grünen gefüllten Ellipse an, er solle den Block etwas verschieben, er berührt den Block leicht und verschiebt ihn minimal, das System erkennt dies und fordert die Teilnehmer auf, einen weiteren Block zu verschieben. Die Teilnehmer können dies nicht deuten. B nimmt den Block der verschoben werden sollte von der Oberfläche und stellt ihn wieder ab, allerdings neben der markierten Zielposition. B greift zu dem zuvor entfernten blauen Block und legt ihn wieder an seine ursprüngliche Position, das System reagiert nicht darauf.

A: vielleicht einmal die

A greift zu dem obersten roten Block und verschiebt diesen weiter nach oben, er verschiebt auch weitere rote Blöcke, einen dieser Blöcke verschiebt er auf die grün gefüllte Ellipse. Es handelt sich dabei jedoch um den falschen Block.

Das System hat einen ungewollten Verbinder erstellt

A: jetzt hat er da wieder eine Verbindung gemacht

B: warte, drehen wir nochmal zurück

B greift zu dem Glas (außerhalb des Bildbereichs)

B: Da bist du mit den Nerven fertig, bevor du irgendetwas zusammengebracht hast, was passt

Die Teilnehmer setzen die Modellierung fort, das System verlangt noch immer, dass die Teilnehmer einen roten Block an seinen richtigen Platz schieben und zeigt die von den Teilnehmern durchgeführten Änderung nicht an.

System zieht selbständig Verbindungen

*Das System hat eine unerwünschte Verbindung erstellt.
B schiebt die beiden Blöcke mit der ungewollten Verbindung aneinander*
B: OK, jetzt haben wir wirklich eine Verbindung, die müssen wir wieder löschen
A: hm?
B: oder?
A: Was willst du denn löschen?
B: ja die Verbindung
A: wieso?
B: zeigt auf die Verbindung - brauchen wir da eine?
A: ja, wieso? Sicher
B: *(unverständlich)*
A: Jam wieso machst du es dann, wenn du sagst, dass du es wieder löschst?
B: das hat er automatisch gemacht
A: ja, du bist ja zusammengefahren, das ist
B: ja, das vorher schon, ich habe mir gedacht, wenn man zusammenfährt, dann kann man es
B nimmt das Glas
B: Das ist der Weg? *(teilweise unverständlich)*
B setzt das Glas auf die Oberfläche
A: *(unverständlich)*
B dreht das Glas
B: passt!

Diskussion

Die Daten der quantitativen Auswertung der Modellierungsvorgänge zeigen, dass es in annähernd allen betrachteten Fällen zu zumindest einer Fehlerkennung kam. Es ist davon auszugehen, dass jede Fehlerkennung den Modellierungsfluss unterbricht, da das dann inkorrekte Modelle korrigiert werden muss. Insofern ist von einer Behinderung des Modellierungsflusses durch die Verwendung des Werkzeugs auszugehen.

Auch die qualitativ erhobenen Daten weisen darauf hin, dass das Werkzeug zum Teil behindernd oder beschränkend bei der Durchführung der Modellierung wirkt. Vor allem die beschränkte Größe der Modellierungsoberfläche (siehe dazu auch die Untersuchung der Hypothese 10 in Abschnitt 13.3.2) sowie die auftretenden Instabilitäten bei der Fehlerkennung wurden als negativ für die Modellbildung wahrgenommen. In der quantitativen Beurteilung der Wirkung des Werkzeugs wird dieses jedoch vornehmlich positiv eingeschätzt, so dass die tatsächliche Wahrnehmung des Werkzeugs besser (bzw. die wahrgenommene Behinderung insgesamt geringer) ist, als es die Daten der Vi-

deoauswertung sowie die individuell genannten Probleme bei der Bedienung vermuten lassen.

Der hohe Anteil von Systemabstürzen ist insofern zu relativieren, als dass diese in zwei Drittel der Fälle nach Abschluss der eigentlichen Modellierungstätigkeit auftraten und somit die Modellerstellung selbst nicht mehr unterbrachen. Abstürze traten durchgängig vor allem in langen Modellierungsdurchgängen etwa ab Minute 40 auf, da ab diesem Zeitpunkt der Speicherbedarf der Historie tendenziell an die Grenzen des verfügbaren Arbeitsspeichers stößt. Alternativ kam es an Tagen mit starker Modellierungstätigkeit ab etwa 5 Stunden durchgängiger Betriebsdauer zu Überhitzungen des Rechners, auf dem die Software ausgeführt wurde, was zum Gesamtabsturz des Betriebssystems führte. Lediglich in 5 Fällen war der Absturz auf fehlerhaftes Programmverhalten (abgesehen von der Speicherproblematik) zurückzuführen. Diese Fälle traten in den Evaluierungsblöcken 2 und 3 auf. Trotzdem sind auch Systemabstürze in der Endphase der Anwendung nach der Modellierung durch den auftretenden Datenverlust nicht akzeptabel und sprechen somit gegen die Annahme der Hypothese.

Insgesamt kann die hier geprüfte Hypothese aus den angeführten Gründen nicht bestätigt werden. Trotz der weitgehend positiven Wahrnehmung des Werkzeugs durch die Benutzer zeigen sich doch Bedienungsprobleme in einem Umfang, bei dem von einer Behinderung des Modellierungsprozesses ausgegangen werden muss.

Ergebnis

Hypothese 5 kann auf Basis der Untersuchung nicht bestätigt werden. Bei der Benutzung des Werkzeugs traten vor allem in den ersten Evaluierungsblöcken Fehlfunktionen auf, die die Modellbildung massiv behinderten oder teilweise verhinderten. Durch Stabilisierung und Überarbeitung der technischen Plattform konnten diese Fehlfunktionen zwar minimiert werden, insgesamt können die Verbesserungen die gemessenen Werte nicht soweit verbessern, dass die Hypothese statistisch signifikant bestätigt werden könnte. Diese erhobenen Aspekte können auch durch die überwiegend positive Benutzereinschätzung des Werkzeuges nicht kompensiert werden.

12.3.6. Gewöhnung an das Werkzeug

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 6 („Wiederholte Verwendung des Werkzeugs führt zu schnellerer Modellbildung und weniger Fehlbedienungen.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse des Evaluierungsblocks 2, da in diesem für jede Teilnehmerzusammenstellung jeweils zwei Anwendungen des Werkzeugs durchgeführt wurden.

Auswertung

Zur Auswertung der Modellierungsgeschwindigkeit (hinsichtlich des Hypothesenteils „schnellere Modellbildung“) wurde die reine Modellierungszeit jeder Anwendung (ohne Diskussionszeit) mit der jeweiligen Modellgröße normiert. In Tabelle 12.9 sind die Anwendungszeiten und Modellgrößen sowie die daraus errechneten normierten Werte für beide Anwendungen der Gruppen in Evaluierungsblock 2 angegeben.

Tabelle 12.9.: Modellierungszeiten in Abhängigkeit der Modellgröße in Evaluierungsblock 2

Gruppe	t_1	n_1	t'_1	t_2	n_2	t'_2
1	620	20	31.0	300	6	50.0
2	450	13	34.6	420	7	60.0
3	240	12	20.0	285	6	47.5
4	215	10	21.5	420	13	32.3
5	577	12	48.1	270	7	38.6
6	339	10	33.9	330	8	41.3
7	348	8	43.5	110	5	22.0
8	855	16	53.4	510	12	42.5
9	735	8	91.9	195	12	16.3

t_x ... Modellierungsdauer in Sekunden, n_x ... Anzahl der Elemente, t'_1 ... normierte Modellierungsdauer in Sekunden

Zwischen der ersten Anwendung (normierte Modellierungsdauer: $M = 42.0$, $SD = 21.8$, $n = 9$) und der zweiten Anwendung (normierte Modellierungsdauer: $M = 38.9$, $SD = 13.7$, $n = 9$) ist keine signifikante Verringerung der normierten Modellierungsdauer zu erkennen (einseitiger Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben: $V = 21$, $p = 0.590^9$).

Die Anzahl der Fehlbedienungen ist die Anwendungen in beiden Modellierungsdurchgängen in Evaluierungsblock 2 in Tabelle 12.10 angegeben. Als Fehlbedienungen wurden all jene Interaktionen mit dem Werkzeug eingestuft, in denen die Bedienung nicht dem intendierten Interaktionsdesign folgte. Fehlfunktionen des Werkzeugs wurden nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend kann hier gezeigt werden, dass die Anzahl der Fehlbedienungen zwischen Anwendung 1 ($M = 2.89$, $SD = 2.32$, $n = 9$) und Anwendung 2 ($M = 0.78$, $SD =$

⁹Aufgrund nicht bestätigten Nicht-Normalverteilung der beiden Stichproben (Shapiro-Wilk-Test 1. Anwendungsdurchgang: $W = 0.853$, $p = 0.081$, 2. Anwendungsdurchgang: $W = 0.972$, $p = 0.910$) und dem nicht signifikanten Unterschied der Varianz der Stichproben (F-Test: $F = 2.53$, $p = 0.211$) könnte der t-Test ($t = 0.286$, $df = 8$, $p = 0.391$) ebenfalls angewandt werden und liefert das gleiche Ergebnis wie der aufgrund der geringen Stichprobengröße durchgeführte Wilcoxon-Test.

Tabelle 12.10.: Anzahl der Fehlbedienungen in Evaluierungsblock 2

Gruppe	FB_1	FB_2
1	1	0
2	4	1
3	2	1
4	0	0
5	0	0
6	6	1
7	3	1
8	6	1
9	4	2

FB_x ... Anzahl der Fehlbedienungen

0.67, $n = 9$) signifikant geringer geworden ist (einseitiger Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben: $V = 28, p = 0.0109^{10}$).

Diskussion

Eine signifikante Beschleunigung der Modellierungsgeschwindigkeit konnte in obiger Untersuchung nicht festgestellt werden. Die mit der Modellgröße normierte Modellierungszeit verringerte sich zwischen den beiden Anwendungen im Schnitt nur geringfügig. Dieses Ergebnis kann somit nicht als Indikator für die Bestätigung der Hypothese gesehen werden. In den anderen Evaluierungsblöcken (3, 4 und 5) liegt die durchschnittliche normierte Modellierungsdauer in ähnlichen Bereichen wie in den beiden Durchgängen von Evaluierungsblock 2. Bei Anwendung des Werkzeugs durch den Entwickler selbst ist die normierte Modellierungsdauer hingegen auf ungefähr den halben Wert reduziert. Benutzer ohne tiefgehende und mehrfach wiederholte Anwendungserfahrungen zeigen jedoch keinen messbar signifikanten Beschleunigungseffekt bei der Bedienung des Werkzeugs.

Hingegen ist die Anzahl der Fehlbedienungen in den jeweils zweiten Anwendungen des Werkzeugs im Vergleich zur jeweils ersten Anwendung signifikant gesunken. Dies spricht für die Bestätigung der hier geprüften Hypothese. Betrachtet man die Fehlbedienungen detaillierter, so ist ein Großteil der aufgetretenen Fälle sowohl in der ersten als auch in der zweiten Anwendung auf Verständnisschwierigkeiten bei der Bedienung des Löschtokens (zum Zeitpunkt der Evaluierung noch mit dem zustandsbehafteten Interaktionsdesign implementiert, siehe Abschnitt 12.3.8) und der Verwendung der Wiederherstellungsfunktion zurückzuführen. Das Interaktionsdesign beider Aspekte ist also

¹⁰Aufgrund der beiden kleinen Stichproben und der Nicht-Normalverteilung der zweiten Stichprobe (Shapiro-Wilk-Test 1. Anwendungsdurchgang: $W = 0.9144, p = 0.348$, 2. Anwendungsdurchgang: $W = 0.813, p = 0.0284$) sowie der unterschiedlichen Varianz der Stichproben (F-Test: $F = 12.06, p = 0.00199$) kann der t-Test nicht angewandt werden.

zu hinterfragen (bzw. wurde im Falle des Löschtokens hinterfragt). Zwischen den beiden Modellierungsdurchgängen kam es zu einer Überarbeitung der Funktionalität und der Interaktionsabläufe zur Herstellung von Verbindern (siehe Abschnitt 12.3.7). Das Ausmaß der Fehlbedienungen, die auf diese Funktionalität zurückzuführen sind, blieb jedoch in beiden Abschnitten gleich niedrig ($FB_{Verbinder} = 2$). Durch die Überarbeitung wurde lediglich das Ausmaß der Verwendung von Verbindern signifikant gesteigert (siehe Abschnitt 12.3.7).

Insgesamt kann die hier untersuchte Hypothese nur zum Teil bestätigt werden, da der vermutete Beschleunigungseffekt nicht nachzuweisen war.

Ergebnis

Hypothese 6 kann auf Basis der vorliegenden Daten teilweise bestätigt werden. Während kein signifikanter Beschleunigungseffekt bei wiederholter Verwendung des Werkzeugs festgestellt werden konnte, war eine signifikante Verringerung der Anzahl der Fehlbedienungen des Werkzeugs bei wiederholtem Einsatz feststellbar.

12.3.7. Herstellung von Verbindern

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 7 („Die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Verbindungsherstellung erhöht die Nutzung von Verbindern bei der Modellerstellung.“). Zur Untersuchung wurden die Werkzeuganwendungen aus Evaluierungsblock 2 ($n = 18$) herangezogen. Dieser Block wurde gewählt, da dort alle Teilnehmer das Werkzeug zweimal mit der gleichen Aufgabenstellung anwandten, wobei in der ersten Anwendungsrunde lediglich die ursprüngliche Funktionalität zur Herstellung von Verbindern verfügbar war, in der zweiten Runde aber bereits der alternative Funktionalität implementiert war. Zur weiteren Überprüfung der Ergebnisse werden außerdem die Ergebnisse aus Block 3 ($n = 18$) herangezogen, bei dessen Durchführung ebenfalls bereits die alternative Funktionalität verfügbar war.

Auswertung

Grundlage der Auswertung ist das Modellmerkmal „Connectedness“, worunter hier das Verhältnis zwischen der Anzahl der in einem Modell verwendeten Verbindern und den verwendeten Modellelementen zu verstehen ist. In den einzelnen betrachteten Evaluierungsblöcken verteilt sich die Connectedness wie in den Abbildungen 12.10 dargestellt.

Zu prüfen ist, ob die Connectedness in jenem Evaluierungs-Blöcken bzw. -Durchgängen, in denen die alternative Funktionalität zur Verbindungs-Herstellung verfügbar war, signifikant höher ist, als in jenen, in denen dies nicht der Fall war. Berechnet wird die

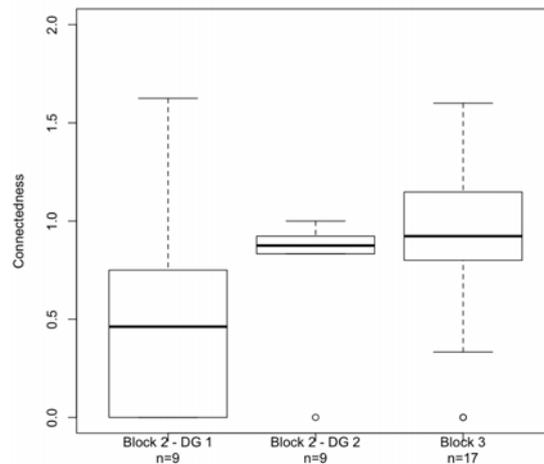


Abbildung 12.10.: Connectedness in den Evaluierungsblöcken 2 und 3

Signifikanz zwischen den Ergebnissen der beiden Durchgänge von Block 2 ($conn_{2-1}$: $M = 0.480$, $SD = 0.544$ und $conn_{2-2}$: $M = 0.804$, $SD = 0.308$) sowie zwischen den Ergebnissen des ersten Durchgangs von Block 2 und den Ergebnissen von Block 3 ($conn_3$: $M = 0.876$, $SD = 0.435$). Im zweiten Fall ist zu beachten, dass die Aufgabenstellung nicht identisch war und diese Einfluss auf die Connectedness des Modells haben kann. Aufgrund der bestätigten Nicht-Normalverteilung der Stichprobe $conn_{2-2}$ (Sharpiro-Wilk-Test: $W_{2-1} = 0.854$, $p_{2-1} = 0.0823$, $W_{2-2} = 0.586$, $p_{2-2} < 0.005$, $W_3 = 0.913$, $p_3 = 0.114$) kommt zur Prüfung der Signifikanz der t-Test nicht in Frage, es wird der Wilcoxon-Test herangezogen.

Der einseitige Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ergibt für $conn_{2-1}$ und $conn_{2-2}$ in der zweiten Stichprobe (jene mit Einsatz der alternativen Funktionalität der Verbindungsherstellung) eine signifikant höhere Connectedness ($V = 5$, $p = 0.0400$) als in der erste Stichprobe (ohne diese Funktionalität).

Für $conn_{2-1}$ und $conn_3$ ergibt der einseitige Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben ein ähnliches Ergebnis – auch hier ist in der zweiten Stichprobe bei Einsatz der alternativen Funktionalität zur Verbiindungsherstellung eine signifikant höhere Connectedness festzustellen ($W = 39$, $p = 0.0227$).

Für $conn_{2-2}$ und $conn_3$ zeigt der zweiseitige Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben dahingegen keine signifikant unterschiedliche Connectedness ($W = 64.5$, $p = 0.535$) für den zweitgenannten Block – in diesem Fall kam in beiden Stichproben die alternative Möglichkeit zur Herstellung von Verbindungen zum Einsatz.

Diskussion

Aufgrund der Ergebnisse der berechneten Signifikanztests ist die Hypothese anzunehmen. Mit der Einführung der alternativen Möglichkeit zur Herstellung von Verbindungen war in den einzelnen Anwendungen des Werkzeugs eine Zunahme der Verwendung von Verbindern zu beobachten. Während die Benutzer bei der ursprünglichen Funktion zur Herstellung von Verbindungen zum Großteil auf diese verzichteten (dieses Verhalten ist auch in Evaluierungsblock 1 zu beobachten), wurden Verbinder unabhängig von der Aufgabenstellung mit der Einführung der alternativen Funktionalität verstärkt eingesetzt.

Die Connectedness eignet sich als Parameter zur vergleichenden Beurteilung des Ausmaßes der Verwendung von Verbindern, da durch die Einbeziehung der Größe des Modells (repräsentiert durch die Anzahl der verwendeten Modellelemente) in die Berechnung den Wert für unterschiedliche Modelle vergleichbar gemacht wird.

Einfluss auf die Höhe der Connectedness kann aber die Aufgabenstellung haben, die zur Bildung des Modells führt. Unterschiedliche Modellierungsaufgaben können zu unterschiedlichen Modell-Topologien führen, die sich wiederum in der Anzahl der verwendeten Verbinder auswirkt. Concept-Mapping-Aufgaben, die $conn_3$ zugrunde liegen, führen eher zu stärker verbundenen Modellen als Arbeitsabstimmungs-Aufgaben, auf denen $conn_{2-2}$ basiert und die zu eher ablauforientierten Modellen führen. Während bei Concept Mapping beliebige Konzepte in Beziehung stehen können, stehen Elemente bei ablauforientierten Modellen vor allem mit ihren kausalen Vorgängern und Nachfolgern in Beziehung, was die Anzahl der Verbinder einschränkt.

Dies ist am Ergebnis des Wilcoxon-Tests für $conn_{2-2}$ und $conn_3$ allerdings nicht zu erkennen – in beiden Fällen stand die alternative Möglichkeit zur Verbindungsherstellung zur Verfügung. $conn_3$ unterscheidet sich nicht signifikant von $conn_{2-2}$. Die überarbeitete Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern übertrifft bzw. kompensiert die Auswirkung der unterschiedlichen Aufgabenstellung.

Das Resultat der durgeführten Wilcoxon-Tests zwischen $conn_{2-1}$ und $conn_{2-2}$, $conn_{2-1}$ und $conn_3$ sowie $conn_{2-2}$ und $conn_3$ spricht für die Annahme der Hypothese 7. Zu berücksichtigen ist hier jedoch die geringe Stichprobengröße, die die Aussagekraft des Ergebnisses schmälert.

Ergebnis

Die Auswertung zeigt eine signifikant höhere Verwendung von Verbindern bei Verfügbarkeit der alternativen Funktionalität zur Verbindungs-Herstellung unabhängig von der Aufgabenstellung (siehe dazu auch die Diskussion von Hypothese 13 in Abschnitt 13.3.5).

Hypothese 7 kann auf Basis der vorliegenden Daten bestätigt werden.

12.3.8. Verwendung des Löschtokens

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Überprüfung der Hypothese 8 („Das Löschtoken ermöglicht intuitives Löschen von Modellelementen.“) vorgestellt. Die Auswertung basiert auf den Ergebnissen der Modellierungsblöcke 2, 3, 4 und 5, wobei zwischen Evaluierungsblöcken 3 und 4 die Funktionalität und Verwendungsweise des Tokens überarbeitet wurde.

Auswertung

Zur Auswertung wurde erhoben, in welchem Ausmaß das Löschtoken zum Entfernen unerwünschter Verbinder im Gegensatz zur alternativen Möglichkeit – dem Einsatz der Wiederherstellungsfunktion – verwendet wurde. Zusätzlich wurde erhoben, in wie vielen Fällen die Verwendung des Löschtokens scheiterte, weil die Benutzer dessen Einsatzmöglichkeit inkorrekt interpretierten. Tabelle 12.11 zeigt diese Daten für die Evaluierungsblöcke 2 bis 5.

Tabelle 12.11.: Verwendung des Löschtokens

EB	Anw.	L_{ges}	L_{Token}	FI_{Token}	L_{WH}
2	18	55	11	10	44
3	18	68	8	7	60
4	10	35	20	0	15
5	11	95	83	0	12
Ges.	57	253	122	17	131

EB ... Evaluierungsblock, L_{ges} ... Gesamtanzahl der Löschvorgänge, L_{Token} ... Löschvorgänge mit Löschtoken, FI_{Token} ... Fehlinterpretationen bei der Verwendung des Löschtokens, L_{WH} ... Löschvorgänge mit Wiederherstellungsfunktion

Die Art der Fehlinterpretationen der Verwendung des Löschtokens kann durch nähere Betrachtung mittels der durchgeführten Interaktionsanalyse exakter bestimmt werden. Ausgewählt wurden hier Beispiele aus den Modellierungsblöcken 2 und 3. Die gesammelten Transkripte sind in den in Anhang B genannten Quellen verfügbar.

In der ersten hier angeführten Szene versuchen die Teilnehmer, die Beschriftung eines Blocks mit dem Löschtoken auszuradiieren. Dies scheitert, da das Löschtoken als Zustandsschalter fungiert und das eigentliche Löschen separat ausgelöst werden muss. Außerdem wirkt das Löschtoken nur auf Verbindungen.

Die Teilnehmer möchten einen Block umbenennen.

A: Wie haben wir jetzt gesagt (*markiert den roten Baustein*) keine Modellierungsvorgabe (*gibt Bezeichnung ein*)

System übernimmt die neue Beschriftung für den Baustein nicht.

A: Wo wurde das hingeschrieben? (*Pause*) Radiergummi? Glaubst du, kann man das wegradieren?

B: Probiere es aus.

A *legt Radiergummi zum Block mit der Absicht die Beschriftung zu löschen*

B: Nein! Du löscht alles. Hör auf!

A: Ok, wie war das zuerst? Lassen wir das mal weg. (*legt Baustein zur Seite*)

A *legt den Block zur Seite.*

Ein ähnliches Missverständnis zeigt sich auch in der im Folgenden angegebenen Situation. Hier sollte eine Verbindung gelöscht werden, das Löschtoken wurde jedoch wiederum nicht als Zustandsschalter, sondern für den Vorgang des Löschens selbst verwendet.

TLN A und B stellen jeweils ihren Marker zu den Blöcken, die verbunden werden sollen. Dabei wird eine gerichtete Verbindung erstellt.

C: Jetzt haben wir aber einen Pfeil gebastelt.

B: Ja stimmt. Interessant.

A: Wie war das mit dem Radiergummi? (*nimmt Radiergummi und legt ihn auf die Verbindung*)

B: Nein

C: Nein, mit dem Glas! Du löscht alles!

A: Nein, nur die Verbindung. (*Macht Radierbewegungen auf der Verbindung*)

C: Ich glaube, dass wir das Glas nehmen müssen.

A *schiebt die Blöcke, zwischen denen die Verbindung gelöscht werden soll, zusammen.*

A: Da es funktioniert. (*schiebt die Blöcke weiter auseinander und bemerkt, dass die Verbindung nicht gelöscht wurde*) Nein.

B: Ich glaube, der Radiergummi vernichtet alles.

A: Nein, der Radiergummi vernichtet nur Verbindungen. Nur welche? (*schiebt beide Blöcke wieder zusammen - nimmt Radiergummi weg und schiebt Blöcke in die Ausgangsposition*)

In der folgenden Szene zeigen sich wiederum die Fehlinterpretationen der am Beginn angeführten Interaktion. Wieder wird das Token zum Radieren verwendet, Zielobjekt ist in diesem Fall die Beschriftung einer Verbindung.

Es wird eine falsche Beschriftung eingefügt. Die Teilnehmer wollen diese löschen, verwenden den Radiergummi allerdings falsch.

B: Aber irgendwie steht jetzt Ereignisse nicht bei dem Ding (*zeigt auf gelben Block*), sondern dort (*zeigt auf beschriftete Verbindung*).

A *verrückt den gelben Block ein wenig.*

B: Normal ist das nicht, oder?

C: Nein.

A *nimmt den Radiergummi.*

A: Ich glaube das. (*setzt den Radiergummi auf die Arbeitsfläche*)

C: Aber nicht alles!

A nimmt Radiergummi wieder weg. System erstellt eine Verbindung zwischen zwei roten Blöcken. Teilnehmer lachen. A legt Radiergummi auf die erstellte Verbindung, und nimmt ihn wieder weg. A nimmt die beiden verbundenen Blöcke und verschiebt sie.

A: Vielleicht so. (*führt die Blöcke zusammen*)

In der folgenden Szene sind die Teilnehmer durch den Farbwechsel der Oberfläche beim Aufsetzen des Löschtokens (zur Indikation des Zustandswechsels) irritiert, da sie ebenfalls versuchen, das Token zum Radieren zu verwenden.

In der Szene erstellt das System einen ungewollten Verbinder, die Teilnehmer versuchen auf verschiedene Arten den Verbinder zu löschen.

B: Und wie kann ich die Verbindungen löschen?

B: Warte einmal, da gibt es irgendwo das mit dem Radiergummi.

A: murmelt zustimmend

*B nimmt den Radiergummi und platziert ihn direkt auf dem Verbinder
Das System färbt den Tisch rot*

A: Nein, warte. Da löscht du alles!

B verschiebt den Radiergummi auf dem Tisch, hebt ihn an und platziert ihn direkt auf einem Block.

Sobald der Radiergummi von der Oberfläche auf den Block gelegt wurde, entfernt das System die rote Färbung.

A: Ich glaube, da löscht du alles.

*B legt den Radiergummi an mehreren Stellen trotz der Warnung von TN
A auf die Oberfläche*

B: Nein, es will eh nicht.

Die nachstehende Interaktion zeigt wiederum die in den anderen Szenen bereits beschriebene Fehlinterpretation in der Verwendung des Löschtokens. Zusätzlich verwirrt eine Fehlfunktion des Werkzeugs, das anstelle eines Löschvorgangs einen Verbinder hinzufügt.

C versucht die Benennung eines Verbinders mittels Radiergummi zu entfernen.

B: Aber irgendwie steht jetzt Ereignisse nicht bei dem Ding (*deutet auf einen Block*), sondern dort (*deutet auf einen Verbinder*). Das wollen wir nicht oder?

A: Nein.

C: Ich glaube das. (*nimmt den Radiergummi und legt ihn auf den Verbinder, den die Teilnehmer entfernen wollen.*)

A: Aber nicht alles.

C entfernt den Radiergummi wieder von der Modellierungsoberfläche. In diesem Moment erstellt das System durch Fehlerkennungen automatisch einen neuen Verbinder. C versucht, den neuen Verbinder mittels Radiergummi

zu entfernen.

A: Oh Gott.

C: Vielleicht so (*schiebt die beiden betroffenen Blöcke zusammen*), nein.

B: Nein.

A: Oh Gott, oh Gott, oh Gott.

B: Gehen wir einen Prozessschritt zurück.

C: Genau.

In der letzten hier angeführten Szene interagieren die Teilnehmer beinahe wie im Interaktionsdesign ursprünglich intendiert mit dem System. Sie scheitern letztendlich trotzdem und greifen zu alternativen Möglichkeit der Fehlerkorrektur, der Wiederherstellungsfunktion.

Teilnehmer versuchen mit dem Radiergummi und nur einem anderen Marker einen Verbinder zu entfernen.

B: Können wir die nicht so auch einfach löschen?

C: Ja, mit dem Radiergummi.

B: Muss ich den jetzt zuerst so (*Hält den Radiergummi zur Kamera*) **hinhalten?**

A: Nein, ich glaube, den musst du einfach da (*zeigt auf den Verbinder*) **drauf legen.**

B legt den Radiergummi auf den vom System automatisch erstellten Verbinder.

A: Und jetzt muss man (*legt ein Markierungstoken auf den Verbinder*) **Nein.**

Der Verbinder lässt sich auf diese Art nicht löschen und die Teilnehmer entscheiden sich, den Fehler mittels der Wiederherstellungsfunktion zu beseitigen.

Diskussion

In der quantitativen Auswertung ist klar zu erkennen, dass die ursprüngliche Implementierung der Löschfunktion, in der das Löschtoken als Zustandsumschalter fungierte, von den Benutzern kaum verwendet wurde und in jenen Fällen, in denen es zum Einsatz kam, falsch interpretiert wurde, was letztendlich zum Scheitern des Löschvorgangs führte. Beginnend mit Block 4 wurde die Löschfunktion in einer vollständig erneuerten Implementierung eingesetzt, in der das Löschtoken tatsächlich zum „Ausradieren“ einer Verbindung verwendet werden konnte. Damit wurde der vorherrschenden Interpretation der Funktionalität durch die Benutzer Rechnung getragen, was sich dadurch äußert, dass die Anzahl der Fehlinterpretationen auf 0 sank und das Löschtoken in weitaus höherem Ausmaß als die Wiederherstellungsfunktion zur Fehlerkorrektur verwendet wurde.

Bei der Betrachtung der Hypothese muss also zwischen der ursprünglichen Implementierung und deren neuen Umsetzung unterschieden werden. Für die ursprüngliche Implementierung kann die Hypothese nicht bestätigt werden, das Werkzeug war in der vorliegenden Form für die Benutzer nicht verständlich. In der Neuimplementierung wurden die ursprünglichen Fehlinterpretationen berücksichtigt und das Werkzeug so modifiziert, dass es entsprechend der beobachteten Benutzerinterpretation verwendet werden konnte. In dieser Variante sprechen die erhobenen Daten für eine Bestätigung der Hypothese.

Ergebnis

Hypothese 8 muss für die ursprüngliche Umsetzung der LösCHFunktion abgelehnt werden, kann aber für die neu konzipierte und implementierte Variante bestätigt werden. In der ursprünglichen Umsetzung war die Verwendung des Werkzeugs für die Benutzer nicht verständlich, die eigentlich aufwändigere Alternativfunktion zur Fehlerkorrektur wurde außerdem weitaus häufiger verwendet. Nach der Neukonzeption kam es zu keinen Fehlinterpretationen mehr, das Löschtoken wurde außerdem in weitaus höherem Ausmaß verwendet.

12.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs beschrieben. Die hier formulierten Hypothesen beschäftigen sich dementsprechend mit den grundlegenden Funktionen des Werkzeugs und den Interaktionsmöglichkeiten der Benutzer mit diesen. Nicht Gegenstand dieses Kapitels waren die im Kontext der Durchführung von „Articulation Work“ erstellten Modelle (siehe Kapitel 14) sowie die Auswirkungen der Durchführung in der „Production Work“ (siehe Kapitel 14).

In diesem Kapitel wurden sechs Hypothesen zur Werkzeugbenutzung getestet, die unmittelbar aus den Anforderungen an das Werkzeug (siehe 5) abgeleitet waren. Zwei weitere Hypothesen zur Werkzeugverwendung wurden im Verlauf der ersten Evaluierungsblöcke explorativ gebildet und in den späteren Evaluierungsblöcken getestet. Die sechs aus den Anforderungen abgeleiteten Hypothesen bilden im Wesentlichen die Kernfunktionen des bzw. Interaktionsmöglichkeiten mit dem Werkzeug ab. Durch die Prüfung dieser Hypothesen wird so das gesamte Werkzeug einer Überprüfung hinsichtlich dessen praktischer Verwendbarkeit unterzogen.

Hypothese 1 („Repräsentation diagrammatischer Modelle“) bildet den grundlegenden Anspruch des Werkzeugs ab, die Abbildung von diagrammatischen Modellen zu ermöglichen. Diese werden als Repräsentation für externalisierte mentale Modelle verwendet und bilden so die Grundlage für die Durchführung von expliziter „Articulation Work“. Diese Hypothese konnte im Rahmen der Untersuchung bestätigt werden. Die Abbildung von Konzepten und Beziehungen zwischen diesen wurde in allen vorliegenden Modellen

erfolgreich umgesetzt, wenngleich die Modellierung von expliziten Verbindungen in den ersten beiden Evaluierungsblöcken aufgrund von technischen Unzulänglichkeiten nicht durchgeführt wurde.

Hypothese 2 („Kooperatives Arbeiten“) prüft, ob die kooperative Verwendung des Werkzeugs möglich ist. Für die Durchführung von „Articulation Work“ ist der kooperative Einsatz notwendig, da nur so die dabei ablaufenden synchronen Abstimmungsprozesse ermöglicht bzw. unterstützt werden können. Die Hypothese konnte in der Untersuchung bestätigt werden. Der Zeitanteil an der Modellbildung ist für Anwendungen mit zwei Teilnehmern weitgehend gleichverteilt, beide Teilnehmer beteiligen sich also an der Modellierung. Bei mehr als zwei Anwendern ist die Gleichverteilung nicht mehr gegeben, die Teilnehmer haben dennoch durchwegs (unabhängig von der Anzahl der Teilnehmer bei einer Anwendung) den Eindruck, sich einbringen zu können und gut zusammenarbeiten zu können.

Hypothese 3 („Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kontexten“) legt den Anspruch an das Werkzeug fest, dass dessen Anwendung unabhängig von der konkreten Anwendungsdomäne möglich ist. Wesentlich ist hierbei, dass das Werkzeug von Teilnehmer mit unterschiedlichen beruflichen bzw. Ausbildungs-Hintergründen gleich gut verwendet werden kann und dass die Modellbildung durch das Werkzeug nicht spezifisch für bestimmte Aufgabenstellungen erschwert wird. Die Hypothese konnte im Rahmen der Untersuchung bestätigt werden. Die Untersuchung der Korrelation zwischen Modellgröße und Modellierungsdauer zeigt unabhängig vom Anwendungskontext eine positive Korrelation, was darauf hinweist, dass der Aufwand zur Modellerstellung unabhängig von Aufgabenstellung und Anwendungskontext relativ stabil bleibt. Auch die Rückmeldungen der Teilnehmer mit unterschiedlichen beruflichen Hintergründen sind im Wesentlichen identisch, so dass das Werkzeug unabhängig vom Anwendungskontext immer ähnliche Wirkungen auf die Modellbildung hat.

Hypothese 4 („Wiederherstellung vergangener Modellzustände“) prüft, ob die Bereitschaft zur Erstellung unterschiedlicher Modellvarianten im Verlauf der Modellbildung durch die Möglichkeit zur Wiederherstellung vergangener Modellzustände gefördert wird. Diese Hypothese kann auf Basis der Untersuchung nicht bestätigt werden. Die Wiederherstellungsfunktion wird nur in unter 10% der untersuchten Anwendungen zur Verfolgung alternativer Modellierungswege genutzt. Die Funktion wird außerdem von den Anwendern bei der Frage nach den als nützlich wahrgenommene Funktionen in keinem der betrachteten Fälle genannt, so dass davon ausgegangen werden muss, dass sie nicht als relevant für die Durchführung der Modellbildung erachtet wird.

Hypothese 5 („Nicht-Behinderung“) geht auf die Gesamtwirkung des Werkzeugs bei der Modellbildung ein und untersucht, ob diese durch das Werkzeug behindert wird. Im Wesentlichen sind Bedienungsprobleme und technische Fehlfunktionen des Werkzeugs zu betrachten, die einen negativen Effekt auf die Ausführung der eigentlichen Aufgabe haben können. Die Hypothese konnte im Rahmen der Untersuchung nicht bestätigt

werden. Bei der Benutzung des Werkzeugs traten vor allem in den ersten Evaluierungsblöcken Fehlfunktionen auf, die die Modellbildung massiv behinderten oder teilweise verhinderten. Durch Stabilisierung und Überarbeitung der technischen Plattform konnten diese Fehlfunktionen zwar minimiert werden, insgesamt können die Verbesserungen die gemessenen Werte nicht soweit verbessern, dass die Hypothese statistisch signifikant bestätigt werden könnte. Diese erhobenen Aspekte sind auch durch die überwiegend positive Benutzereinschätzung des Werkzeuges nicht als kompensiert anzusehen.

Hypothese 6 („Gewöhnung an das Werkzeug“) prüft, ob die wiederholte Verwendung des Werkzeuges dessen Bedienbarkeit durch die Benutzer verbessert. Betrachtet wurde hier einerseits die Modellierungsdauer im Verhältnis zur Modellgröße, was ein Maß für die Geschwindigkeit der Modellierung darstellt. Andererseits wurde die Anzahl der Fehlbedienungen des Werkzeuges betrachtet, die bei besserer Bedienbarkeit in wiederholten Anwendungen geringer ausfallen sollte. Die Hypothese kann auf Basis der vorliegenden Daten nur teilweise bestätigt werden. Während kein signifikanter Beschleunigungseffekt bei wiederholter Verwendung des Werkzeuges festgestellt werden konnte, war eine signifikante Verringerung der Anzahl der Fehlbedienungen des Werkzeuges bei wiederholtem Einsatz feststellbar.

Hypothese 13 („Herstellung von Verbindern“) wurde explorativ aus Beobachtungen in den Evaluierungsblöcken 2 und 3 abgeleitet. In diesen Blöcken stieg die Verwendung von Verbindern im Modell sprunghaft an. Geprüft wurde nun, ob dies – wie vermutet wurde – auf die überarbeiteten und erweiterten Möglichkeiten zur Herstellung von Verbindern im Modell zurückzuführen war. Die Hypothese konnte in der Untersuchung bestätigt werden. Die Auswertung zeigt eine signifikant höhere Verwendung von Verbindern bei Verfügbarkeit der überarbeiteten Funktionalität zur Verbindungs-Herstellung. Allerdings zeigt sich, dass auch die Natur der Aufgabenstellung hohen Einfluss auf die Verwendung von Verbindern. Diese Beobachtung wurde in Hypothese 13 nochmals aufgegriffen und dort genauer untersucht (siehe dazu Abschnitt 13.3.5).

Hypothese 8 („Verwendung des Löschtokens“) betrachtet ebenfalls eine Funktionalität des Werkzeuges, die auf Basis von Beobachtungen der Benutzerinteraktionen überarbeitet wurde. Die Funktion zur Entfernung von Verbindern wurde in den ersten Evaluierungsblöcken kaum verwendet und zeigte im Falle der Verwendung hohes Potential für Missverständnisse hinsichtlich der Art der Benutzung. Die zur Verwendung notwendigen Interaktionsabläufe wurden daraufhin an die offensichtlich vorherrschende Interpretation der Benutzer, wie das entsprechende Werkzeug zu verwenden ist, angepasst. Untersucht wurde nun, ob diese Anpassung die Entfernung von Elementen aus dem Modell erleichterte bzw. intuitiv gestaltete. Die Hypothese konnte für die überarbeitete Variante des Löschtokens bestätigt werden. In der ursprünglichen Umsetzung war die Verwendung des Werkzeuges für die Benutzer nicht verständlich, die eigentlich aufwändigere Alternativfunktion zur Fehlerkorrektur mittels der Wiederherstellungsfunktion wurde außerdem weitaus häufiger verwendet. Nach der Neukonzeption kam es zu keinen Fehlinterpretationen mehr, das Löschtoken wurde außerdem in weitaus höherem Ausmaß verwendet.

Insgesamt zeigt sich, dass das Werkzeug in der vorliegenden Form weitgehend verständlich ist und als nützlich sowie zum Teil benutzbar wahrgenommen wird. Das Werkzeug erfüllt die Grundanforderungen hinsichtlich der Abbildbarkeit diagrammatischer Modelle und der Ermöglichung kooperativen Arbeitens. Die Einsetzbarkeit in beliebigen Kontexten ist gegeben, wobei aufgrund von technischen Instabilitäten die Verwendbarkeit vor allem in den frühen Phasen der Evaluierung eingeschränkt war. Jene Hypothesen, die auf die Verwendung spezifischer Funktionalitäten eingehen, zeigen eine gute Verständlichkeit und hohes Ausmaß an Verwendung der Basisfunktionalitäten der Modellierung (etwa Platzierung und Benennung von Blöcken, Herstellung von Verbindern, Löschen von Verbindern), offenbaren aber Schwächen in der Verständlichkeit und Akzeptanz der komplexeren Funktionen, wie etwa der Wiederherstellungsunterstützung für gespeicherte Modellzustände. Zusammenfassend wird das Werkzeug den grundlegenden Anforderungen also gerecht, bietet aber Raum für Verbesserungen hinsichtlich der Verwendung der komplexeren Funktionen und der technischen Stabilität. Im folgenden Kapitel wird nun auf die Verwendung des Werkzeugs zur kooperativen Abbildung von Modellen eingegangen.

12.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt die Untersuchung der Verwendbarkeit des entwickelten Werkzeugs dar und trägt so hinsichtlich der in Kapitel 1 argumentieren und in Kapitel 5 näher ausgeführten zu untersuchenden Aspekte zur Beantwortung der Fragestellung 6 („Ermöglicht das Instrument die effektive Durchführung von expliziter Articulation Work?“) bei. Die Ergebnisse zeigen die erwartete Verwendbarkeit des Werkzeugs zur Unterstützung der entwickelten Methodik und bestätigen so die grundlegende Voraussetzung für die effektive Unterstützung expliziter „Articulation Work“ durch das hier vorgestellte Instrument.

12.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Kapitels werden in ihrer Gesamtheit erst in den Schlussbetrachtungen (Kapitel 15) wieder aufgegriffen. Einzelne Hypothesen, vor allem jene, die sich mit der kooperativen Verwendbarkeit des Werkzeugs beschäftigen, werden aber bereits in den folgenden beiden Kapiteln wieder aufgegriffen und dienen dort als Grundlage der Evaluierung der Methodik bzw. der Wirkung der durchgeführten „Articulation Work“.

13. Evaluierung der Anwendung des Instruments

Im zweiten Teil der Evaluierung wird nicht der Umgang mit dem Werkzeug betrachtet (siehe dazu Kapitel 12), sondern auf die Anwendung des Werkzeugs im Sinne der Methodik und auf deren unmittelbares Resultat, also auf das erstellte Modell, eingegangen. Ebenfalls nicht Gegenstand der Untersuchung ist in diesem Abschnitt die Wirkung der Modellbildung auf die operative Arbeit („Production Work“), die in Kapitel 14 betrachtet wird. Abbildung 13.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

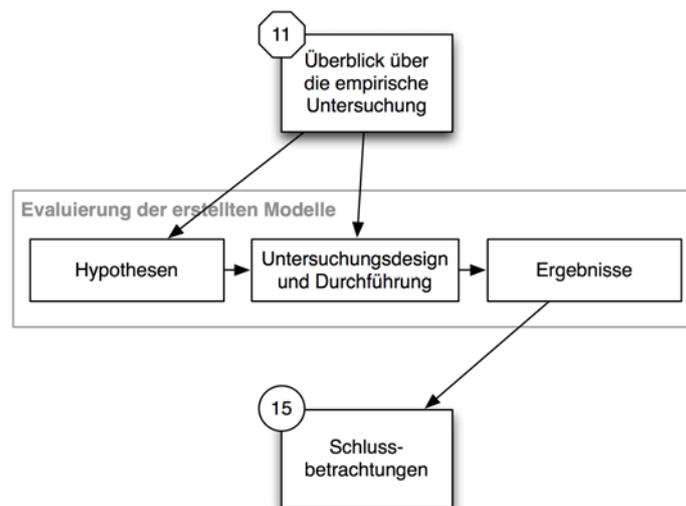


Abbildung 13.1.: Kapitel „Evaluierung der erstellten Modelle“ im Gesamtzusammenhang

Ausgehend von den erstellten Modellen und deren Entstehungsprozess wird in diesem Kapitel untersucht, wie das Werkzeug auf die in dieser Arbeit gewählte Form der Unterstützung expliziter „Articulation Work“, nämlich der kooperativen Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle, wirkt. Dementsprechend sind die im folgenden Ab-

schnitt beschrieben Hypothesen aus den Ausführungen der Kapitel über mentale Modelle (Kapitel 3) und der Methodik zur Externalisierung derselben (Kapitel 4) abgeleitet.

Zusätzlich wird eine explorativ gebildete Hypothese untersucht, die sich auf inhaltlicher Ebene mit dem Phänomen der Abbildung von Zusammenhängen durch räumliche Konfiguration der Konzepte in einem Modell beschäftigt. Dieses Phänomen wurde in Kapitel 12 bereits aus Sicht der Werkzeugverwendung in Hypothese 7 beschrieben.

13.1. Hypothesen

In diesem Abschnitt werden die Hypothesen abgeleitet, die in diesem Kapitel geprüft werden. Wie in Kapitel 12 ist zwischen Hypothesen zu unterscheiden, die konzeptuell aus der Aufgabenstellung bzw. der entwickelten Methodik abgeleitet wurden und solchen, die explorativ während der Evaluierung selbst gebildet wurden.

13.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen

Die folgenden Hypothesen sind aus der Aufgabenstellung bzw. den Ausführungen zur Modellierungs-Methodik abgeleitet. Auf die entsprechenden Ausführungen in den Kapiteln 3 bzw. 4 wird jeweils bei der Begründung der Hypothesen verwiesen.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Externalisierung mentaler Modelle ist die Offenheit der Repräsentationssprache. Diese ist aus den Ausführungen in Abschnitt 3.4.3 („Concept Mapping“) begründbar und in Anforderung 4 abgebildet. Unter „Offenheit“ ist in diesem Zusammenhang die Eigenschaft der Repräsentationssprache gemeint, keine vordefinierte Semantik der Modellelemente vorzugeben, sondern diese von den Modellierenden festlegen zu lassen. Dies umfasst im vorliegenden Fall sowohl die Bedeutung der unterschiedlichen Konzepttypen als auch die Bedeutung der Verbindungen zwischen Konzepten. Das Werkzeug darf also in diesem Zusammenhang die Benutzer nicht bei der Wahl der Repräsentationskonzepte und damit bei der Externalisierung selbst einschränken. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 4 (siehe Seite 116).

Hypothese 9 *Das Werkzeug schränkt Benutzer semantisch nicht bei der Externalisierung ihrer mentalen Modelle ein.*

Das Argument der Nicht-Beschränkung der Benutzer bei der Externalisierung hat neben der eben beschriebenen Sprach-Dimension auch eine konkrete Modell-Dimension. Während sich obige Hypothese auf semantische Einschränkungen der Externalisierungsmöglichkeiten bezieht, sind auch konkrete, strukturelle Einschränkungen bei der Verwendung des Werkzeugs zur Externalisierung eines bestimmten mentalen Modells zu

berücksichtigen. Die Externalisierung muss – um nicht beschränkend zu wirken – beliebig umfangreiche Modelle ermöglichen. „Umfangreich“ bedeutet hier, dass das Modell beliebig viele Elemente enthalten können muss und diese beliebig untereinander in Beziehung gesetzt werden können. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 6 (siehe Seite 117).

Hypothese 10 *Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation beliebig umfangreicher Modelle.*

Die Möglichkeit durch die Entstehungsgeschichte des erstellten Modells zu navigieren ist eine Funktion, die ebenfalls hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Externalisierung mentaler Modelle untersucht werden muss. In der dieser Funktionalität zugrunde liegenden Literatur ((Shipman und Hsieh, 2000), (Klemmer et al., 2002)) wird diese als wesentlich bezeichnet, wenn Externalisierungsprozesse unterbrochen werden, kooperativ durchgeführt werden oder Dritten die Möglichkeit gegeben werden soll, die Entstehung des Modells nachzuvollziehen. Allen drei Aspekten liegt die Annahme zugrunde, dass in der Historie des Externalisierungsprozesses die dem Ergebnis zugrunde liegenden Ideen und Annahmen zu erkennen sind. Im Kontext dieser Arbeit bedeutet dies, dass aus der Nachverfolgung der Historie des externalisierten Modells die diesem zugrunde liegenden mentalen Modelle verständlich und nachvollziehbar werden. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 8 (siehe Seite 117).

Hypothese 11 *Die Reflexion des Modellierungsverlaufs ermöglicht das Verständnis der im dem Modell repräsentierten Inhalte.*

Die Externalisierung mentaler Modelle mit Hilfe von computer-gestützten Werkzeugen ist keine originäre Idee dieser Arbeit. Computerunterstützung existiert vor allem im Bereich des „Concept Mapping“ (siehe Abschnitt 3.4.3), das methodisch maßgeblich in das vorgeschlagene Vorgehen des hier vorgestellten Ansatzes einfließt (siehe Kapitel 4). In den existierenden Werkzeugen werden jedoch die kooperative Erstellung und kommunikative Validierung und Abstimmung der externalisierten Modelle nicht explizit berücksichtigt. Beide Aspekte sind jedoch – wie bei der Beschreibung der Strukturlegetechniken 3.4.2 ausgeführt – wichtig für den Abgleich mentaler Modelle und damit für die erfolgreiche Durchführung von „Articulation Work“. Die Ermöglichung und Stärkung der Kooperation der Beteiligten untereinander ist also ein wesentlicher Teilaspekt der Anforderung 7 an das Werkzeug („Kooperative und unmittelbare Manipulierbarkeit des Modells“). Die Prüfung der folgenden Hypothese ermöglicht so die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 7 (siehe Seite 117).

Hypothese 12 *Die Verwendung des Werkzeugs führt zu stärkerer Kooperation bei der Modellerstellung als die Verwendung von bildschirm-basierten Werkzeugen.*

Hinsichtlich der in Kapitel 5 formulierten Anforderungen können die hier formulierten Hypothesen zusammenfassend wie in Tabelle 13.1 dargestellt eingeordnet werden. Die

Untersuchung der Hypothesen stellt dabei den zweiten Schritt zur Prüfung der effektiven Unterstützung von „Articulation Work“ dar. Neben dem Werkzeug selbst wird nun auch die Methodik in die Untersuchung mit einbezogen und so die Anwendung des gesamten Instruments im Kontext der Durchführung von „Articulation Work“ untersucht.

Tabelle 13.1.: Hypothesen zur Anwendung des Instruments und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug

Hypothese	Anforderung
9	4
10	6
11	8
12	7

13.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen

Im Verlauf der Durchführung der Anwendungen in den Evaluierungsblöcken 1 und 2 war die Herstellung von Verbindungen zwischen Modellelementen aus technischen Gründen schwierig zu benutzen und sehr anfällig für Fehlfunktionen. Dies führte dazu, dass Verbindern nahezu nicht verwendet wurden (siehe dazu die Auswertungen zu Hypothese 1 in Abschnitt 12.3.1 sowie die Auswertungen zu Hypothese 7 in Abschnitt 12.3.7). In dieser Situation wurden Beziehungen zwischen Modellelementen von den Benutzern durch die räumliche Anordnung der Elemente ausgedrückt. Diese implizite Darstellung von relationaler Information erfolgte in allen Fällen spontan und ohne Anleitung oder Instruktion. Dies führte zu der Vermutung, dass die Verwendung von Verbindern zur Abbildung von Beziehungen bzw. Zusammenhängen zwischen Elementen nicht notwendig ist. Um diese Vermutung zu prüfen, wurde sie formal als Hypothese 13 in die Untersuchung aufgenommen.

Hypothese 13 *Zur Abbildung von Zusammenhängen ist die Verwendung von Verbindern nicht notwendig.*

13.2. Untersuchungsdesign und Durchführung

In diesem Abschnitt wird auf Basis der oben formulierten Hypothesen das Untersuchungsdesign abgeleitet und die Durchführung der Untersuchung beschrieben. Der erste Teil des Abschnitts beschreibt die Operationalisierung der Hypothesen und damit die Festlegung wie diese konkret geprüft werden können. Im zweiten Teil des Abschnitts wird

die Durchführung der Prüfung beschrieben. Hier erfolgt neben der Zuordnung der einzelnen Evaluierungsblöcke (siehe Abschnitt 11.2) auch die Darstellung rein beschreibender Modell-Parameter, die nicht unmittelbar in die Prüfung der Hypothesen eingehen.

13.2.1. Operationalisierung

In diesem Abschnitt wird für jede Hypothese identifiziert, in welcher Form sie geprüft werden kann. Dies umfasst die Festlegung der Messpunkte sowie der jeweiligen Mess- und Auswertungsmethode (letzte beziehend auf den in Abschnitt 11.3 beschriebenen Verfahren). Zudem werden jene Evaluationsblöcke festgelegt, die für die jeweilige Untersuchung herangezogen wurden.

Für jede Hypothese wird also spezifiziert, anhand welcher Aspekte diese geprüft werden kann (= abhängige Variablen). Zudem wird festgelegt, welche Ausgangssituation bei der Anwendung gewählt werden muss, um die Prüfung durchführen zu können (= unabhängige Variable) und welche Faktoren die Beurteilung ggf. ungewollt beeinflussen können (= Störvariablen).

Keine semantische Einschränkung der Externalisierung

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prüfung der Hypothese 9. Diese bezieht sich auf die geforderte Eigenschaft des Werkzeugs, die Benutzer bei der Modellierung semantisch nicht einzuschränken.

Voraussetzung für die Prüfung dieser Hypothese ist die Verwendung des Werkzeugs zur Modellbildung bei einer Aufgabe, die die semantischen Kategorien der Strukturierung nicht vorgibt. In der eingesetzten Methodik wird die Festlegung von Elementtypen explizit gefordert (Vorgehen und Zeitpunkt dafür werden jedoch nicht vorgegeben). Etwaige Modellierungsvorkenntnisse können diese Festlegung insofern beeinflussen, als dass die Konzepte bekannter Sprachen bevorzugt eingesetzt werden könnten. Im Sinne der Hypothese ist dies jedoch keine Störvariable, da die Forderung nach nicht einschränkender Struktur auch die Verwendung existierender Modellierungssprachen umfassen muss.

Die nicht einschränkende Wirkung kann qualitativ anhand von Benutzeraussagen und dem Prozess und Ergebnis der Modellentstehung beurteilt werden. Im ersten Fall bieten sich neben der direkten Frage nach der Abbildbarkeit der gewünschten Information auch Teilaspekte des PMS¹-Framework (Sedera et al., 2002) an, das unter anderem die subjektiv wahrgenommene Qualität des Modellierungsergebnisses und die Abbildbarkeit der subjektiv wichtigen Information im Modell abbildet (siehe (Wahlmüller, 2010) zur Eignung des PMS-Frameworks im Kontext dieser Arbeit). Am Prozess und Ergebnis der Modellentstehung selbst kann beurteilt werden, ob und inwieweit die zur Verfügung

¹Process Modelling Success

gestellten semantisch nicht vorbelegten Modellierungselemente für die Abbildung der gewünschten Information ausreichend bzw. geeignet waren. Dazu kann betrachtet werden, ob die beschränkte Anzahl von Elementen im Verlauf der Modellierung zu verändertem Vorgehen in der Abbildung oder zur Nichtabbildung bestimmter Modellaspekte führte und ob durch semantische Mehrfachbelegung bzw. die Einführung von nicht als Modellierungselement vorgesehenen Bausteinen der Sprachumfang über das ursprünglich intendierte Maß hinaus erweitert wurde.

Vergleichend können zusätzlich Modelle herangezogen werden, die aus identischen Fragestellungen wie jene mit dem Werkzeug erstellten resultieren, bei denen jedoch ein in der Anzahl und Semantik der Modellierungselemente frei erweiterbares Werkzeug zum Einsatz kommt. Hier ist von Interesse, ob die erstellten Modelle semantisch vielfältiger sind als jene, die mit dem hier vorgestellten Werkzeug erstellt wurden.

Repräsentation beliebig umfangreicher Modelle

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 10. Dabei wird überprüft, ob das Werkzeug die Abbildung beliebig umfangreicher Modellierungsaufgaben ermöglicht.

Voraussetzung zur Prüfung dieser Hypothese ist die Verwendung von Modellierungsaufgaben, die zu umfangreichen Modellen führen. Umfangreiche Modellierungsaufgaben sind Aufgaben, die bei detaillierter Modellierung >15 Modellelemente benötigen². Dies ist deshalb notwendig, weil der wesentliche beschränkende Faktor des Umfangs eines Modells am hier vorgestellten Werkzeug die physisch eingeschränkte Größe der Modellierungsoberfläche ist. Etwaige Modellierungsvorkenntnisse der Benutzer sind bei der Prüfung dieser Hypothese nicht von Relevanz.

Um Schlussfolgerungen auf eine etwaig einschränkende Wirkung des Werkzeugs auf den Umfang der Modelle treffen zu können, muss eine entsprechende Aufgabenstellung einerseits mittels des hier vorgestellten Werkzeugs („Experimentalgruppe“) und andererseits mit einem Werkzeug, das den Umfang der Modellierungsoberfläche nicht begrenzt („Kontrollgruppe“), abgebildet werden. Die Ergebnisse der beiden Gruppen werden in der Folge gegenübergestellt. Falls bei identischer Fragestellung der Umfang der Modelle in der Kontrollgruppe signifikant höher ist als jener der Experimentalgruppe, kann von einer einschränkenden Wirkung ausgegangen werden und die Hypothese müsste abgelehnt werden.

Daneben sind wiederum Aussagen der Benutzer über die Abbildbarkeit umfangreicher Modelle zur Prüfung der Hypothese heranzuziehen. Entsprechende Fragen wurden in den Evaluierungsblöcken 2, 3, 4 und 5 gestellt, wobei die Fragestellungen in den Blöcken 2 und teilweise 4 eher nicht zu umfangreichen Modellen führten. Diese fanden außer

²15 wurde als Grenze gewählt, weil diese Anzahl die Obergrenze an gleichzeitig am Werkzeug verwendbaren Elementen darstellt.

in Ausnahmefällen auf der Oberfläche ausreichend Platz und werden deshalb hier nicht berücksichtigt.

Reflexion des Modellierungsverlaufs

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 11. Dabei wird überprüft, ob die Möglichkeit zur Reflexion des Modellierungsverlaufs das Verständnis der zugrundeliegenden mentalen Modelle ermöglicht bzw. verbessert.

Zur Prüfung dieser Hypothese müssen Modellierungsaufgaben durchgeführt werden, in deren Rahmen die Interpretation eines Modells durch an der Modellbildung nicht beteiligte Personen durchgeführt werden. Wenn diese Interpretation den ursprünglich vom Modellierer repräsentierten Inhalten entspricht, ist die Interpretation als erfolgreich zu bezeichnen. Zu beurteilen ist nun, inwieweit die Möglichkeit zur Wiedergabe des Modellierungsverlaufs bei der Interpretation genutzt wurde und ob diese Nutzung Auswirkungen auf die Interpretation hatte.

Zur Beurteilung wird eine Modellierungssituation geschaffen, in der das Werkzeug zur Externalisierung eines mentalen Modells benutzt wird. In einem zweiten Schritt wird eine weitere, zuvor nicht beteiligte Person aufgefordert, den Inhalt der auf der Modellierungsoberfläche vorhandenen Repräsentation zu interpretieren, wobei der Modellierungsverlauf herangezogen werden darf, eine Interaktion mit dem ursprünglichen Modellierer jedoch nicht gestattet ist. Im dritten Schritt beurteilt der ursprüngliche Modellierer die Adäquatheit der Interpretation und trifft so eine Aussage über den Erfolg des Transfers des mentalen Modells. In Kombination lässt sich eine qualitative Aussage über die Effekte der Historienfunktion treffen.

Wirkung auf die Kooperation bei der Modellerstellung

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 12. Gegenstand der Untersuchung ist hier, ob die Verwendung des Werkzeugs bei der Modellbildung zu stärkerer Kooperation zwischen den Beteiligten führt als der Einsatz von bildschirmbasierten Werkzeugen.

Die Prüfung der Wirkung des Werkzeugs auf die kooperative Abbildung von Modellen bedingt Fragestellungen, die Kooperation explizit einfordern. Etwaige Modellierungsvorkenntnisse beeinflussen die Prüfung der Hypothese nicht. Bei der Beurteilung zu berücksichtigen sind aber bestehende persönliche Bekanntschaften oder etablierte Gruppen, die bereits gefestigte Formen der Zusammenarbeit entwickelt haben. Um den Einfluss derartiger Faktoren möglichst auszuschließen, müssen die Gruppen bei der Modellbildung zufällig gebildet werden und etwaige Bekanntschaften innerhalb der gebildeten Gruppen explizit im Vorfeld der Untersuchung erhoben werden.

Die hier zu prüfende Hypothese baut auf Hypothese 2 auf. Dort war zu prüfen, ob das Werkzeug kooperatives Arbeiten grundsätzlich ermöglicht. In diesem Abschnitt wird geprüft, ob der Einsatz des Werkzeugs hinsichtlich der Kooperation der Beteiligten tatsächlich einen messbaren Vorteil gegenüber einem traditionellen, bildschirmbasierten Werkzeug hat. Dazu ist es notwendig, eine vergleichende Untersuchung durchzuführen. Evaluierungsblock 5 wurde dementsprechend geplant und umfasste die kooperative Abbildung eines Modells sowohl am Modellierungstisch als auch mittels des bildschirmbasierten Werkzeugs „CMapTools“. Die Aufgabenstellung wurde so gewählt, dass das resultierende Modell grundsätzlich in beiden Werkzeugen abgebildet werden konnte. Untersucht wurde, in welchem Ausmaß Kooperation zwischen den beteiligten Personen auftrat. Als Metriken dienen dabei die Zeitverteilung der Beteiligung am Modellierungsvorgang, der Zeitanteil an Diskussion während der Modellbildung sowie die Anzahl der Initiativwechsel („Turn-Taking“) während eines Durchgangs. Zusätzlich werden die Benutzer hinsichtlich des subjektiv empfundenen Ausmaßes der Kooperation sowie der Zufriedenheit mit den im Modell sichtbaren von ihnen selbst eingebrachten Inhalten befragt werden.

Zur Berechnung der Zeitverteilung wird nicht der Zeitanteil der physischen, sondern jener der inhaltlichen Initiative herangezogen. Wo kein die Initiative führender Teilnehmer identifizierbar ist, wird der betreffende Zeitabschnitt zu gleichen Teilen zwischen den Teilnehmern aufgeteilt. Die Zeitverteilung zwischen den Teilnehmern kann dann insofern in die Prüfung einfließen, als dass sehr niedrige oder sehr hohe Zeit-Anteile einzelner Teilnehmer auf eine unausgewogene Modellierungsbeteiligung hinweisen. Dieses Indiz muss jedoch durch Benutzeraussagen verifiziert werden, da geringe Beteiligung an der Modellierung nicht notwendigerweise auf eine als mangelhaft empfundene Kooperation hinweist.

Der Zeitanteil an Diskussion während des Modellierungsvorgangs betrifft nur jenen Anteil an der Modellierungsdauer, in dem ein inhaltlicher Austausch zwischen den Teilnehmern im Sinne der Aufgabenstellung stattfindet. Nicht berücksichtigt werden jene Zeiten, in denen das Modell erstellt wird oder in denen nicht im Sinne der Aufgabenstellung gearbeitet wird (etwa bei Fehlfunktionen).

Der Wechsel der Initiative („Turn-Taking“ (Sacks et al., 1974)) bei der Modellierung bezieht sich im Gegensatz zu der Berechnung der Zeitverteilung zwischen den Teilnehmern auf die physische Initiative bei der Erstellung des Modells. Während in der von Sacks et al. (1974) vorgeschlagenen Methodik zur Identifikation von Initiativwechsel auf Konversationen eingegangen wird und damit auf Sprecherwechsel Bezug genommen wird, wird in diesem Fall die Übernahme der physischen Initiative als „Turn“ bezeichnet. Dies ist insofern eine für die Untersuchung der Modellierung sinnvolle Festlegung, als dass jener Teilnehmer, der die physische Kontrolle über die Eingabemedien besitzt auch exklusiven Zugriff auf die Interaktionsmöglichkeiten mit dem System besitzt und damit potentiell als „Filter“ zwischen den Eingaben der anderen Teilnehmer und der im System repräsentierten Information wirkt.

Abbildung von Zusammenhängen ohne Verbinder

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 13. Gegenstand der Untersuchung ist die Beobachtung, dass zur Abbildung von Zusammenhängen die Verwendung von explizit dargestellten Verbindern nicht notwendig ist.

Die Prüfung dieser Hypothese stellt keine Vorbedingungen an die Modellierungsaufgabe oder die Modellierungsvorkenntnisse der Benutzer. Auch können individuelle Anwendungen der Werkzeugs (d.h. nicht nur in kooperativen Szenarien) zur Untersuchung verwendet werden.

Bei der Prüfung der Hypothese ist die Notwendigkeit von explizit dargestellten Verbindern in zwei Fälle zu unterscheiden. Zum einen ist die Notwendigkeit bei der kooperativen Erstellung eines Modells zu prüfen, bei der sämtliche Beteiligte zu einer einheitlichen Interpretation des dargestellten Modells kommen sollen. Zum anderen muss auch der Fall einer zeitlich nachgelagerten Interpretation durch Dritte untersucht werden. Hier ist zu erheben, ob die Interpretation des Modellinhalts dem ursprünglichen Verständnis des bzw. der Modellierenden entspricht.

Zur Untersuchung muss dem ursprünglichen Modellierer jeweils eine inhaltliche Interpretation des Modellierungsergebnisses rückgespiegelt werden. Diese Form der kommunikativen Validierung kommt methodisch im Rahmen der Anwendung von Strukturlegetechniken (siehe Abschnitt 3.4.2) zum Einsatz und ist deshalb ohnehin Teil der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methodik bei der kooperativen Anwendung des Werkzeugs. Zur zeitlich nachgelagerten Interpretation bedarf es einem separaten Schritt, in dem das Modellierungsergebnis von einer dritten, an der Modellierung nicht beteiligten Person interpretiert und rückgespiegelt wird.

13.2.2. Durchführung

In diesem Abschnitt werden die für diesen Evaluierungs-Teil relevanten deskriptiven Parameter der berücksichtigten Anwendungs-Blöcke angeführt. Als Grundlage der Überprüfung der Hypothesen werden hier die Evaluierungs-Blöcke 1 bis 5 verwendet. Dabei wurden für die quantitativ zu prüfenden Variablen die Blöcke 2, 3 und 5 herangezogen, da in diesen die größten Stichproben zur Verfügung standen. In die qualitative Auswertung der Ergebnisse wurden hingegen alle Blöcke (1-5) mit einbezogen.

Stichprobe

Für die Untersuchung der Hypothesen in diesem Kapitel wurden die Evaluierungsblöcke 1 bis 5 herangezogen. Die Stichprobe setzt sich wie in Tabelle 13.2 beschrieben zusammen.

Tabelle 13.2.: Stichproben der Evaluierung zur Modellbildung

	Evaluierungsblock	$n_{Anwendungen}$	$n_{Teilnehmende}$
1	technische Evaluierung	9	18
2a	Aushandlung 1 (1. Durchgang)	9	19
2b	Aushandlung 1 (2. Durchgang)	9	18
3	Concept Mapping 1	18	54
4	Aushandlung 2	10	13
5a	Concept Mapping 2 (Tisch)	11	24
5b	Concept Mapping 2 (CMapTools)	12	25
	Gesamt	78	171

Modellgröße

Die Verteilung der Modellgröße wurde hier anhand der Anzahl der verwendeten Elemente (siehe Abbildung 13.2) und der Anzahl der verwendeten Verbindungen (siehe Abbildung 13.3) dargestellt. Berücksichtigt wurden dabei die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 („Aushandlung“) und 3 („Concept Mapping“). Die Modelle der Evaluierungsblöcke 1 und 4 sind aufgrund der uneinheitlichen Aufgabenstellungen nicht aussagekräftig zusammenfassbar, jener Teil des Evaluierungsblocks 5, der mit dem hier vorgestellten Werkzeug durchgeführt wurden, weist ob der identischen Aufgabenstellung hohe Ähnlichkeit mit den Ergebnissen von Block 3 auf.

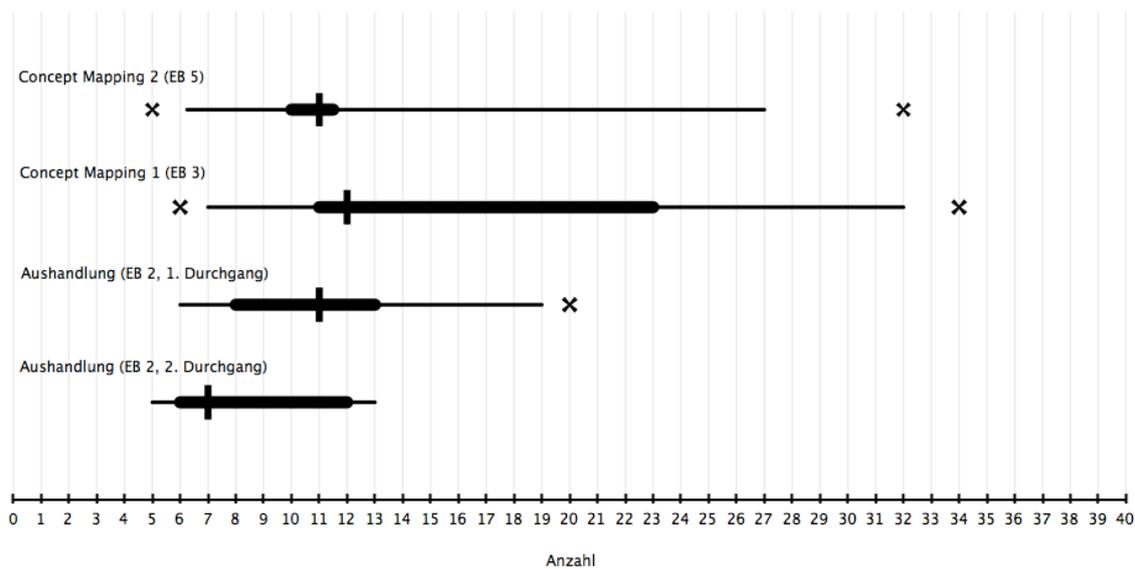


Abbildung 13.2.: Anzahl der verwendeten Elemente – Übersicht

In Abbildung 13.2 ist zu erkennen, dass der Median der Anzahl der verwendeten Elemente zwischen 7 und 12 liegt, wobei die Concept Mapping Aufgabe wegen des nicht explizit vorgegebenen Detaillierungsgrades der Modellierung eine höhere Schwankungsbreite (mit starker Tendenz zu größeren Modellen) aufweist. Zwar war der Detaillierungsgrad der Aushandlungsaufgaben ebenfalls nicht explizit vorgegeben, hier ist jedoch eine höhere Übereinstimmung hinsichtlich des angemessenen Detaillierungsgrades gegeben.

Auffällig ist außerdem, dass zwischen den beiden Durchgängen des Evaluierungsblocks ein (statistisch allerdings wegen der geringen Stichprobengröße nicht signifikanter) Unterschied in der Größe der Modelle (gemessen an der Anzahl der Elemente) gegeben ist (zweiseitiger t-Test für gepaarte Stichproben: $t = 1.548, p = 0.160^3$). Dies ist nach Betrachtung der qualitativ erhobenen Daten aus den entsprechenden Videoaufzeichnungen einerseits darauf zurückzuführen, dass der zweite Durchgang in einer späteren Phase des produktiven Arbeitsprozesses durchgeführt wurde, in dem weniger offene Schritte zu behandeln waren, andererseits war durch die bereits etablierte Zusammenarbeitsprozesse generell weniger Abstimmungsbedarf gegeben. Dieser Eindruck wird auch durch die generell geringere Modellierungsdauer in Durchgang 2 (siehe Abbildung 12.4) bestärkt.

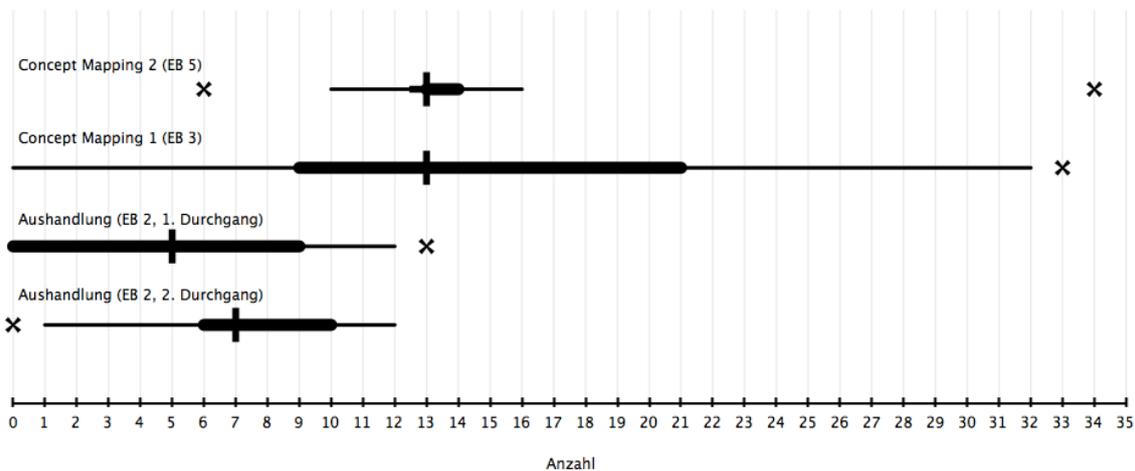


Abbildung 13.3.: Anzahl der verwendeten Verbindungen – Übersicht

Eine ähnliche Verteilung wie im Falle der Elemente ergibt sich bei Betrachtung der Anzahl der Verbindungen (siehe Abbildung 13.3). Auffällig ist jedoch die gegenüber Durchgang 2 des Evaluierungsblocks geringere Anzahl von Verbindungen in Durchgang 1 während sich die Anzahl der Blöcke zwischen den beiden Modellierungsdurchgängen umgekehrt verhält. Wie in der Überprüfung der Hypothese 7 in Abschnitt 12.3.7 bestätigt, ist dieses Phänomen auf die Fehlfunktionen und Instabilität der ursprünglichen

³Des t-Test kann angewandt werden, da für beide Stichproben die Nicht-Normalverteilung nicht bestätigt werden kann (Shapiro-Wilk-Test: $W_{DG1} = 0.949, p_{DG1} = 0.675, W_{DG2} = 58.5, p_{DG2} = 0.120$) und sich auch die Varianzen nicht signifikant unterscheiden (F-Test: $F = 2.051, p = 0.330$).

Funktion zur Herstellung von Verbindungen zurückzuführen, die in Durchgang 1 ausschließlich zur Verfügung stand, während in Durchgang 2 (und auch im Block „Concept Mapping“) bereits die zusätzliche Funktion zur Verbindungsherstellung verfügbar war.

Vernetzungsgrad

Der Vernetzungsgrad der Modelle („Connectedness“) wurde bereits zur Überprüfung der Hypothese 7 in Abschnitt 12.3.7 betrachtet, ist jedoch eine Eigenschaft der erstellten Modelle an sich und wird hier deshalb nochmals als deskriptiver Parameter beschrieben.

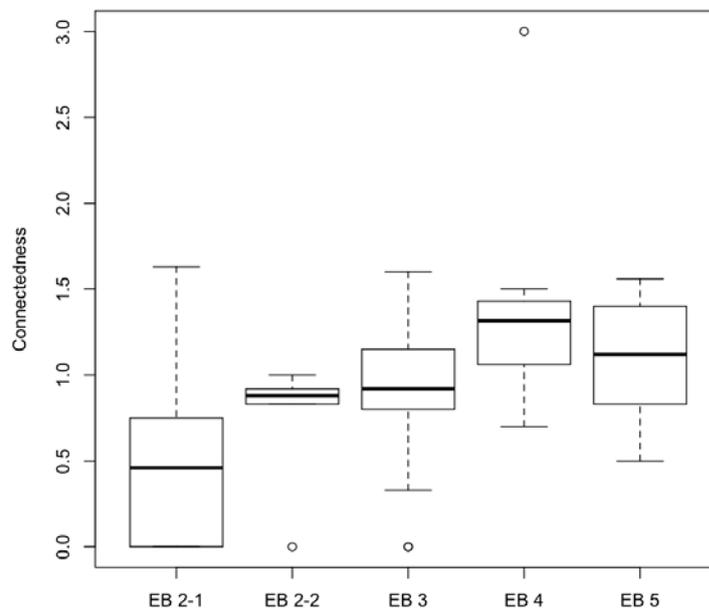


Abbildung 13.4.: Vernetzungsgrad (Verbindungen / Blöcke) – Übersicht

Abbildung 13.4 zeigt die Verteilung des Verhältnisses der Anzahl von Verbindungen und Blöcken in den Evaluierungsblöcken 2 bis 5. Zu erkennen ist der oben und in Abschnitt 12.3.7 bereits beschriebene geringere Vernetzungsgrad im ersten Durchgang von Evaluierungsblock 2, der auf die Instabilität und schwierige Verwendbarkeit der ursprünglichen Funktion zur Herstellung von Verbindungen zurückzuführen ist.

Seit der Verfügbarkeit der neuen Funktion zur Herstellung von Verbindungen (also im zweiten Teil von Block 2 sowie in den Blöcken 3, 4 und 5) liegt der Vernetzungsgrad im Mittel immer um oder höher 1, wobei in den letzten Blöcken (4 und 5) tendenziell noch

höhere Vernetzungsgrade auftreten (Block 4 im Mittel 1.384 - $SD = 0.617$, Block 5 im Mittel 1.101 - $SD = 0.337$). Im Falle von Block 4 kann dies teilweise auf die Aufgabenstellungen zurückgeführt werden, die zum Teil starken Fokus auf die Repräsentation von Beziehungen legte (maximaler Vernetzungsgrad: $24/8 = 3$). Bei beiden Blöcken wurden außerdem weitere Stabilisierungsmaßnahmen in der Interaktions-Erkennungsleistung des Systems vorgenommen, weshalb der gestiegene Vernetzungsgrad zum Teil auch auf die einfachere Herstellbarkeit von Verbindungen zurückgeführt werden kann (siehe wiederum 12.3.7).

13.3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchung gegliedert nach den oben formulierten Hypothesen dargestellt. Zu jeder Hypothese wird die Auswertung der empirischen Daten dargestellt, die Bedeutung der empirischen Belege für die Prüfung der jeweiligen Hypothese diskutiert und letztendlich das Ergebnis zusammenfassend dargestellt.

13.3.1. Keine semantische Einschränkung der Externalisierung

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung Hypothese 9 („Das Werkzeug schränkt Benutzer semantisch nicht bei der Externalisierung ihrer mentalen Modelle ein.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 bis 5, da in diesen die den einzelnen Modellelementen zugewiesene Semantik explizit untersucht wurde. Die Daten hinsichtlich der empfundenen Einschränkung bei der Modellbildung stammen aus der Befragung, die im Rahmen des Evaluierungsblocks 4 durchgeführt wurde. Zusätzlich wurde das Videomaterial aller fünf Evaluierungsblöcke zur Auswertung herangezogen.

Auswertung

Die „Nicht-Einschränkung“ der Benutzer bei der Externalisierung kann, wie in Abschnitt 13.2.1 beschrieben, anhand des Modellierungsverhaltens der Benutzer beurteilt werden. Von Interesse ist hier die Zuweisung von Bedeutung (also semantischer Information) zu den (semantisch nicht vorbelegten) Modellierungselementen. Davon stehen grundsätzlich drei Arten von Blöcken („rot“, „gelb“, „blau“) sowie drei Arten von Verbindern („ungerichtet“, „gerichtet“, „bidirektional“). Erhoben wurde, wie viele Elemente im Verlauf der Modellierung mit Bedeutung belegt wurden, ob die Teilnehmenden mehr als die zur Verfügung stehenden Elemente benötigt hätten und ob ein Element im Modellierungsverlauf mit mehr als einer Bedeutung belegt wurde.

Zu beachten ist hier, dass die Bedeutungsbelegung immer Ergebnis eines Aushandlungsprozesses zwischen mindestens zwei Beteiligten ist. Aus dieser Teiluntersuchung kann also kein Rückschluss auf die individuell empfundene Einschränkung der Externalisierung getroffen werden. Nachdem der Prozess der Bedeutungsfestlegung aber inhärenter Bestandteil der kooperativen Modellbildung ist und die Zielsetzung derselben die Herstellung eines gemeinsamen Verständnisses ist, ist dies im Falle einer tatsächlich kooperativ vorgenommenen Festlegung der Bedeutung nicht als Einschränkung zu sehen. Eine individuell als einschränkend wahrgenommene Situation kann vielmehr dann auftreten, wenn die Bedeutungsfestlegung nicht kooperativ durchgeführt wurde, sondern die Bedeutungen von einem Teilnehmenden vorgegeben wurde. Die individuell empfundene Einschränkung wurde im zweiten Teil der hier beschriebenen Untersuchung mittels einem auf dem PMS basierenden Fragebogen sowie einer Auswertung der offenen Fragen zur Eignung des Werkzeugs zur Modellbildung erhoben.

In Tabelle 13.3 ist für jeden Evaluierungsblock ausgeführt, in wie vielen Fällen eine bestimmte Anzahl von Blöcken mit Bedeutung belegt wurde und wie viele Arten von Verbindern benutzt wurden. Unterschiedliche Bedeutungen auf unterschiedlichen Modellebenen (also in eingebetteten Teilmodellen) wurden ohne separate Unterscheidung mitgezählt.

Tabelle 13.3.: Anzahl der bedeutungstragenden Elemente je Modell

EB	1 E.	2 E.	3 E.	4+ E.	1 V.	2 V.	3 V.	4+ V.
2 - 1	0	2	9	0	4	1	0	0
2 - 2	1	0	8	0	6	1	0	1
3	0	3	14	0	6	4	0	6
4	0	2	7	2	3	4	2	1
5	0	1	7	3	11	0	0	0
Ges.	1	8	45	5	30	10	2	8

EB ... Evaluierungsblock, x E. ... x Elemente mit Bedeutung belegt, x V. ... x Arten von Verbindungen verwendet

In jenen beiden Fällen in Evaluierungsblock 4 und den drei Fällen in Evaluierungsblock 5, in denen 4 oder mehr bedeutungstragende Elemente verwendet wurden, wurden zweimal 4, und je einmal 6, 7 und 9 Elementtypen festgelegt. Beide Modelle enthielten jedoch ineinander verschachtelte Teilmodelle, von denen keines mehr als drei Typen beinhaltete. Jene Fälle, in denen 4 oder mehr verschiedene Arten von Verbindern verwendet wurden, kamen durch den Einsatz benannter Verbinder zustande, mittels derer die Bedeutung der Verbindungen beliebig differenziert werden kann.

Im zweiten Teil der Untersuchung zu dieser Hypothese wurden qualitativ einerseits die expliziten Aussagen der Teilnehmenden ($n_{ges} = 139$) hinsichtlich einer eventuellen einschränkenden Wirkung des Werkzeugs gesammelt, andererseits wurden die Video-

aufnahmen der Werkzeuganwendungen diesbezüglich ausgewertet. Folgende Punkte mit einschränkender Wirkung konnten hier identifiziert werden (in Klammern jeweils die Quellen sowie die Anzahl des Auftretens der jeweiligen Aussage, sortiert nach der Häufigkeit der Nennung):

- Drei unterschiedliche Elementtypen sind zu wenig (verbales Feedback von Personen mit praktischen Prozessmodellierungskennnissen⁴ in den Blöcken 2 und 4 sowie in nicht formal dokumentieren Modellierungssitzungen mit Prozessmodellierungsexperten⁵ im Rahmen von Demonstrationen auf mehreren Konferenzen, 7x genannt)
- Dezidierte Elemente zur Modellierung von Verzweigungen und Parallelisierungen im Kontrollfluss wären wünschenswert (verbales Feedback von Personen mit Prozessmodellierungskennnissen in den Blöcken 2 und 4 sowie in nicht formal dokumentieren Modellierungssitzungen mit Prozessmodellierungsexperten im Rahmen von Demonstrationen auf mehreren Konferenzen, 5x genannt)
- Selbst festlegbare Formen, Farben und/oder Größen von Modellelementen wären wünschenswert (verbales Feedback von Personen in Block 4 sowie in nicht formal dokumentieren Modellierungssitzungen mit Strukturaufstellungsexperten⁶ im Rahmen von Demonstrationen auf mehreren Konferenzen, 3x genannt)
- Unterschiedliche Farben von Verbindern wären wünschenswert (Befragung in Block 4, 2x genannt)

Explizite Aussagen zu einer dezidiert „nicht-einschränkenden“ Wirkung bzw. der semantischen Offenheit des Werkzeugs konnten nur in Fällen identifiziert werden, in denen explizit nach diesem Aspekt gefragt wurde. In diesen Fällen wurde der Umfang der Ausdrucksmöglichkeiten durchwegs als ausreichend erachtet. Personen ohne Vorkenntnisse in der Prozessmodellierung empfanden die Anzahl der zur Verfügung stehenden Elemente im Allgemeinen als ausreichend, jene Fälle in denen dies nicht der Fall war, sind oben dokumentiert.

Lediglich in einem der dokumentierten Fälle⁷ ($n = 66$) waren die Teilnehmenden mit der eigenständigen Wahl der Bedeutung der Elementtypen überfordert und begannen nicht eigenständig zu modellieren. Erst nach einer teilweisen bzw. beispielhaften Vorgabe von 2 Elementtypen durch den Untersuchungsleiter konnten die Teilnehmenden die Modellierung selbständig fortführen.

Vergleichend ist festzustellen, dass beim Einsatz der Werkzeugs „CMapTools“, das die Anzahl der Elementtypen nicht einschränkt, in Evaluierungsblock 5 ($n = 12$) zwi-

⁴Nach diesen Kenntnissen wurde im Rahmen einer Selbsteinschätzung explizit gefragt

⁵jeweils nach Eigendeklaration bzw. aus dem professionellen Umfeld der Personen geschlossen

⁶das Werkzeug scheint sich zur Unterstützung von Strukturaufstellungen (Sparrer, 2002) zu eignen (siehe Abschnitt 15.5.3), dies wurde jedoch im Rahmen dieser Arbeit weder als Anwendungsfall vorgesehen, noch formal getestet

⁷in Evaluierungsblock 3

schen 1 und 8 Elementtypen verwendet wurden, wobei der Median bei 3 liegt ($M = 3.5$, $SD = 2.11$). In je einem Fall wurden 1, 7 und 8 Elementtypen verwendet, in zwei Fällen wurden 3 Elementtypen eingesetzt, in drei Fällen kamen 4 Typen und in vier Fällen 2 Elementtypen zum Einsatz.

Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse der quantitativen Auswertung der Einsätze des Werkzeugs in den Evaluierungsblöcken 2 bis 5, so ist die gegebene Ausdrucksstärke für die Modellierung weitgehend ausreichend. Dieser Eindruck relativiert sich bei einer vergleichenden Betrachtung mit einem computerbasierten, semantisch vollständig offenen Werkzeug sowie bei Betrachtung der qualitativen Auswertung der Benutzeraussagen sowie der Videoaufnahmen.

In der vergleichend durchgeführten Studie in Evaluierungsblock 5 zeigt sich, dass bei keiner Einschränkung der Anzahl der Modellelementtypen in mehr als der Hälfte der Fälle mehr als die im hier betrachteten Werkzeug zur Verfügung stehenden drei Elementtypen verwendet werden. Dies deutet darauf hin, dass sich die Teilnehmenden an der beschränkten Anzahl der zur Verfügung stehenden Elemente orientieren, auch wenn dies – wie aus den Aussagen der Teilnehmenden bei der ex-post-Befragung ersichtlich – bis auf einige Ausnahmen nicht als Einschränkung wahrgenommen wird.

Aus den qualitativen Rückmeldungen zur Modellierung zeigt sich außerdem, dass Personen, die in ihrer täglichen Arbeit aktiv mit Prozessmodellierung beschäftigt sind, bei Aufgabenstellungen, die aufgrund ihrer Fragestellung zu Ablaufbeschreibungen führen, eher die Verwendung von mehr als drei Elementtypen bevorzugen. Personen, denen Prozessmodellierung fremd ist oder deren Erfahrung damit sich auf eine einmalige, länger zurückliegende Ausbildung beschränkt, konnten ihre Modelle zu ablauforientierten Fragestellungen ohne Ausnahme mit maximal drei Elementtypen abbilden. Bei nicht ablauforientierten Fragestellungen ist dieser Unterschied nicht zu beobachten.

In Einzelfällen wurden außerdem weitere Wünsche zur Steigerung der Ausdrucksmöglichkeiten im Modell geäußert. Neben dem Wunsch nach unterschiedlich einfärbbaren Verbindungen zwischen Elementen wurde vor allem der Wunsch nach der Verwendung beliebiger Gegenstände als Modellelemente mehrfach geäußert, was das Einbringen von Repräsentation aus der alltäglichen Arbeitspraxis anstelle der abstrakten Modellelemente erlaubt.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen kann die hier betrachtete Hypothese mit Vorbehalten bestätigt werden. Tatsächlich wird das Werkzeug bis auf wenige Ausnahmen nicht als semantisch einschränkend wahrgenommen, die Ergebnisse der vergleichenden Studie zeigen aber auf eine einschränkende Wirkung durch die auf drei beschränkte Anzahl von Elementtypen.

Ergebnis

Die Hypothese 9 kann in der Untersuchung mit Vorbehalten angenommen werden. Die Verwendung des Werkzeugs zur Modellierung wird (bis auf wenige Ausnahmen) nicht als semantisch einschränkend wahrgenommen. Die vergleichende Studie aus Evaluierungsblock 5 deutet allerdings auf eine einschränkende Wirkung durch die auf drei beschränkte Anzahl von Elementtypen hin.

13.3.2. Repräsentation beliebig umfangreicher Modelle

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung Hypothese 10 („Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation beliebig umfangreicher Modelle.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Modellbildung in Evaluierungsblock 3 und 5 sowie die Befragungen in den Evaluierungsblöcken 1 bis 5.

Auswertung

Von Interesse ist bei der Prüfung dieser Hypothese der Vergleich des Umfangs von Modellen, die mit dem hier vorgestellten Werkzeug erstellt wurden, mit Modellen, die mit einem bezogen auf die Größe der Arbeitsfläche unbeschränkten Werkzeug erstellt wurden. Diese vergleichende Studie wurde im Rahmen der Untersuchungen in Block 5 durchgeführt. Als Metrik zum Vergleich der Modellgrößen wurde die Anzahl der Modellelemente verwendet. Abbildung 13.5 zeigt eine Gegenüberstellung der Modellgrößen bei Verwendung der „CMapTools“ als die Größe nicht beschränkendes Werkzeug und dem hier vorgestellten System⁸.

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt, dass die Modelle, die mittels der „CMapTools“ erstellt wurden ($M = 25.92, SD = 7.04, n = 12$), signifikant umfangreicher waren (einseitiger Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben: $W = 8, p < 0.001^9$), als jene Modelle,

⁸In allen Boxplots gilt folgende Notation:

- dicke Linie bzw. Box: Bereich zwischen 25%- und 75%-Quantil
- breite Linie quer zur Hauptachse: Median (in horizontalen Boxen) bzw. Mittelwert (in vertikalen Boxen)
- linke bzw. untere schmale Linie: Bereich zwischen 2,5%- und 25%-Quantil
- rechte bzw. obere schmale Linie: Bereich zwischen 75%- und 97,5%-Quantil
- Kreuze bzw. Kreise: Ausreißer (außerhalb 2,5%- und 97,5%-Quantil)

⁹Der Wilcoxon-Test muss angewandt werden, da die zweite Stichprobe nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-Test: $W_{CMap} = 0.9136, p_{CMap} = 0.2372, W_{Tisch} = 0.5786, p_{Tisch} < 0.005$)

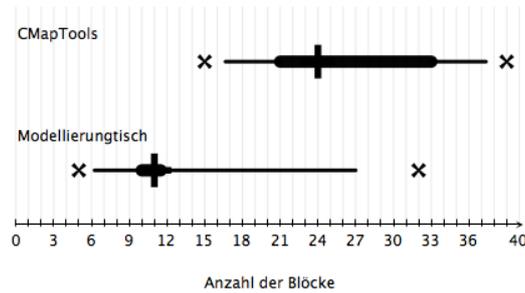


Abbildung 13.5.: Gegenüberstellung der Modellgrößen in Evaluierungsblock 5

die mittels dem hier vorgestellten System erstellt wurden ($M = 12.18$, $SD = 6.84$, $n = 11$).

In den Evaluierungsblöcken 3 und 5 wurden insgesamt 30 Modellierungsdurchgänge durchgeführt, deren Ergebnis aufgrund der Aufgabenstellung bei detaillierte Modellierung mehr als 15 Modellierungselement enthalten müsste (siehe vergleichende Ergebnisse aus Block 5). In insgesamt 7 Fällen wurden mehr als 15 Elemente verwendet ($15 < x \leq 20 : 1$; $20 < x \leq 25 : 2$; $25 < x \leq 30 : 2$; $x > 30 : 2$), der Median der Anzahl der Elemente liegt bei Berücksichtigung aller Anwendungen bei 11 ($M = 14.68$, $SD = 7.90$, $n = 30$). Die Möglichkeit der Einbettung von Teilmodellen wurde insgesamt in 8 Modellierungsdurchgängen genutzt, davon war in drei Fällen die Gesamtanzahl der Elemente geringer als 15 (womit eine rein semantische Strukturierung vorliegt und keine Steigerung der Modellumfangs vorgenommen wurde).

Neben der vergleichenden Studie wurde in allen Evaluierungsblöcken nach Abschluss der Modellbildung nach dem subjektive Eindruck der Teilnehmenden einer etwaig einschränkenden Wirkung hinsichtlich des Umfangs der Modelle gefragt ($n_{ges} = 139$). Insgesamt 43 Teilnehmende empfanden die Modellierungsoberfläche als zu klein um die gewünschten Sachverhalte abzubilden. Von insgesamt 9 Teilnehmenden wurde explizit der Wunsch nach kleineren Elementen geäußert, um umfangreichere Modelle abbilden zu können. Von 23 Teilnehmenden wurde die Visualisierung der Verbindungen kritisiert („unübersichtlich“, „nur eine Verbindung zwischen zwei Blöcken möglich“), was dazu geführt hätte, dass die Modelle nicht wie ursprünglich intendiert aussähen.

Diskussion

Sowohl die quantitativen Ergebnisse auf Evaluierungsblock 5 als auch die qualitativen Ergebnisse weisen darauf hin, dass die physische Realisierung der Modells, die mit eine Beschränkung der Modellierungsoberfläche einher geht, die Abbildung beliebig umfangreicher Modelle nicht erlaubt.

Bei der Gegenüberstellung des quantitativen Teils der Studie mit den qualitativen Aussagen der Teilnehmenden fällt auf, dass – wie bereits bei der Diskussion der Hypothese 9 in Abschnitt 13.3.1 – die subjektive Wahrnehmung der Einschränkung weniger stark ausgeprägt ist als die vermutete tatsächliche Einschränkung, auf die aufgrund der quantitativen Daten geschlossen werden kann. Tatsächlich ist jedoch der Anteil der Teilnehmer, die das Modell nicht so umfangreich wie intendiert abbilden konnten, höher als jener, die sich in der semantischen Ausdrucksstärke eingeschränkt fühlten.

Aus den qualitativen Aussagen ist zu erkennen, dass der vorrangige Grund der Beschränkung des Modellumfangs die eingeschränkte Größe der Modellierungsoberfläche ist. Die Möglichkeit zur Einbettung von Teilmodellen zur Steigerung des Umfangs wurde nur in einem Sechstel der Fälle verwendet, was darauf hindeutet, dass diese Funktion keinen Ersatz für eine unbeschränkt große Modellierungsoberfläche (auf einer Abstraktionsebene) darstellt.

Insgesamt kann aufgrund der Ergebnisse der Untersuchung die Hypothese 10 nicht bestätigt werden.

Ergebnis

Die Hypothese 10 kann in der Untersuchung nicht bestätigt werden. Modelle, die mit dem hier vorgestellten Werkzeug erstellt wurden, weisen bei identischer Aufgabenstellung einen signifikant geringeren Umfang auf als Modelle, die mit einem Werkzeug mit nicht beschränkter Arbeitsfläche erstellt wurden. Auch das qualitative Feedback der Benutzer deutet darauf hin, dass eine vollständige Abbildung eines Modells (und damit die Erstellung eines Modells mit größerem Umfang) nicht bzw. nur umständlich möglich ist.

13.3.3. Reflexion des Modellierungsverlaufs

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 11 („Die Reflexion des Modellierungsverlaufs ermöglicht das Verständnis der dem Modell abgebildeten Inhalte.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 4 und 5, da die Erfassung und Persistierung der gesamten Modellierungshistorie erst in diesen Blöcken zuverlässig arbeitete.

Auswertung

Zur Prüfung dieser Hypothese wurden die Modelle aus den Evaluierungsblöcken 4 (Einsatz im Unternehmenskontext) und 5 (Concept Mapping 2 – lediglich jene Anwendungen, die mit dem Modellierungstisch durchgeführt wurden) herangezogen. Die Interpretation der erstellten Modelle wurde jeweils von einer Person vorgenommen, die an der eigentli-

chen Modellierung nicht beteiligt war. Die Beurteilung der Korrektheit und Vollständigkeit der Interpretation hinsichtlich der von den Modellierungsteilnehmern ausgedrückten Inhalte erfolgte durch den jeweiligen Untersuchungsleiter, da die Modellierer selbst nicht mehr zur Verfügung standen.

Interpretiert wurde jeweils einerseits das eigentliche Endergebnis und andererseits das Endergebnis inklusive aller erfassten Zwischenzustände des Modells während der Modellentstehung. Beide Interpretationen wurden gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Korrektheit und Vollständigkeit auf einer vierteiligen Likert-Skala beurteilt („korrekt“ – „eher korrekt“ – „eher nicht korrekt“ – „nicht korrekt“). Zusätzlich wurden qualitative etwaige Auffälligkeiten bei abweichenden Interpretationen erhoben.

Im Falle des Evaluierungsblocks 4 wurden 10 Modelle interpretiert. Bei der Interpretation ergab sich die in Tabelle 13.4 dargestellte Verteilung.

Tabelle 13.4.: Korrektheit der Modellinterpretation in Evaluierungsblock 4

	korrekt	eher korrekt	eher nicht korrekt	nicht korrekt
nur Ergebnis	0	3	5	2
inkl. Historie	0	8	2	0

Im Falle des Evaluierungsblocks 5 wurden 11 Modelle interpretiert. Bei der Interpretation ergab sich die in Tabelle 13.5 dargestellte Verteilung.

Tabelle 13.5.: Korrektheit der Modellinterpretation in Evaluierungsblock 5

	korrekt	eher korrekt	eher nicht korrekt	nicht korrekt
nur Ergebnis	6	4	1	0
inkl. Historie	6	4	1	0

Für die Untersuchung des Unterschiedes zwischen den beiden Interpretationsarten wurde der Wilcoxon-Test herangezogen. Dies war notwendig, da der Shapiro-Wilk-Test zeigte, dass beide Stichproben bei Berücksichtigung der beiden Evaluierungsblöcke 4 und 5 nicht normalverteilt waren ($W_{Ergebnis} = 0.874, p_{Ergebnis} = 0.012, W_{Historie} = 0.792, p_{Historie} < 0.005$).

Entsprechend dieser Testergebnisse wurde ein einseitiger Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Dieser ergab für die Interpretationen unter Einbeziehung der Historie ($n = 21, M = 1.86, SD = 0.655$) eine signifikant „korrektere“ Bewertung ($V = 28, p = 0.00537$) als für die Interpretationen auf Basis des Modellierungsergebnisses ($n = 21, M = 2.19, SD = 0.981$).

Trennt man beide Untersuchungen auf, so ergibt sich unter Einsatz der gleichen Testverfahren für die Untersuchung in Evaluierungsblock 4 ein signifikant „korrekteres“ Er-

gebnis ($V = 28, p = 0.00537$) für die Interpretation unter Einbeziehung der Historie ($n = 10, M = 2.2, SD = 0.422$) gegenüber der Interpretation auf Basis des Modellierungsergebnisses ($n = 10, M = 2.90, SD = 0.738$). In Evaluierungsblock sind die Verteilungen der Korrektheitsbeurteilung in beiden Interpretationsvarianten identisch ($n = 11, M = 1.55, SD = 0.688$), so dass sich kein signifikanter Unterschied ergeben kann.

Diskussion

Aus den Untersuchungsergebnissen ist zu erkennen, dass die Interpretation auf Basis der Modellierungshistorien signifikant besser (d.h. vollständiger und korrekter) ist als die Interpretation ausschließlich auf Basis des Modellierungsergebnisses. Vor allem ablauforientierte Modelle (wie in Block 4 vorherrschend) sind auf Basis der Modellierungshistorie besser zu interpretieren (wenn auch auf generell eher niedrigem Niveau – siehe oben). Im Falle von Modellen, in denen eher konzeptuelle Strukturen abgebildet wurden (wie die Modelle in Block 5) ist eine Interpretation generell einfacher möglich – hier zeigt sich allerdings kein Mehrwert bei der Interpretation der Modellierungshistorie. Die hier geprüfte Hypothese kann auf Basis der beschriebenen Untersuchung bestätigt werden.

Generell ist die eher niedrige Einschätzung von Korrektheit und Vollständigkeit bei Interpretation der Ergebnisse rein auf Basis von dokumentierten Modellen (sei es das Endergebnis oder die Historie). Diese fällt weitaus geringer aus als eine Interpretation auf Basis der ebenfalls vorliegenden Videoaufnahmen der Modellierungen (diese wurde jedoch nicht formal evaluiert und deshalb nicht in die obige Gegenüberstellung aufgenommen). Fraglich bleibt an dieser Stelle, ob die Nachvollziehbarkeit der mit dem hier vorgestellten System abgebildeten Inhalte ausschließlich auf Basis der gelegten Strukturen gegeben ist. Die kompaktere Modelldarstellung (gegenüber bildschirmbasierten Werkzeugen, siehe Abschnitt 13.3.2) und der eher auf Diskussion denn auf Abbildung fokussierte Modellierungsprozess (siehe Abschnitt 13.3.4) entfalten hier eine einschränkende Wirkung.

Ergebnis

Die Hypothese 11 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Die Korrektheit und Vollständigkeit der Interpretation von Modellen kann durch die Einbeziehung der Modellierungshistorie signifikant gesteigert werden, ist aber vor allem bei Modellen, die aus ablauforientierten Fragestellungen entstanden sind, als eher gering einzuschätzen.

13.3.4. Wirkung auf die Kooperation bei der Modellerstellung

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung Hypothese 12 („Die Verwendung des Werkzeugs führt zu stärkerer Kooperation bei der Modellerstellung als die Verwendung von bildschirm-basierten Werkzeugen.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Videoaufnahmen sowie die Ergebnisse der Teilnehmerbefragung des Evaluierungsblocks 5.

Auswertung

Das Ausmaß der Kooperation lässt sich aus dem Prozess der Modellbildung heraus an der Verteilung der Modellierungszeit zwischen den Teilnehmern, den Anzahl der Initiativwechsel sowie dem Anteil von Diskussionszeit an der Gesamtmodellierungsdauer messen.

Die Zeitverteilung zwischen den Teilnehmern betrug bei der Durchführung mittels CMapTools bei einer Gruppengröße von 2 Personen für Teilnehmer A im Schnitt 19 Minuten 21 Sekunden ($SD = 8m11s, n = 11$) und für Teilnehmer B im Schnitt 14 Minuten 44 Sekunden ($SD = 5m54s, n = 11$). Setzt man diese Werte zueinander ins Verhältnis, ergibt sich ein Anteil von 56.88% für Teilnehmer A und 43.12% für Teilnehmer B. Bei jener Anwendung, die von drei Personen durchgeführt wurde ergab sich die Verteilung 20 min - 12 min - 8 min (50% - 30% - 20%).

Bei der Durchführung am Modellierungstisch ergab sich bei einer Gruppengröße von 2 Personen für Teilnehmer A im Schnitt 17 Minuten und 18 Sekunden ($SD = 6m59s, n = 9$) und für Teilnehmer B im Schnitt 13 Minuten 12 Sekunden ($SD = 6m01s, n = 9$). Setzt man diese Werte zueinander ins Verhältnis ergibt sich ein Anteil von 57.52% für Teilnehmer A und 42.48% für Teilnehmer B. Bei den beiden Anwendungen, an denen drei Personen beteiligt waren, ergab sich eine Verteilung von 5 min - 2.5 min - 2.5 min (50% - 25% - 25%) bzw. 20 min - 10 min - 3 min (61% - 30% - 9%).

Der Unterschied zwischen den Anteilen im Verhältnis zur gesamten Modellierungsdauer ($t_{TNA} - t_{TNB}/t_{ges}$ ¹⁰, lediglich Anwendungen mit 2 Beteiligten wurden berücksichtigt) beträgt bei der Anwendung der CMapTools im Schnitt 0.138 ($SD = 0.086, n = 11$) und am Modellierungstisch im Schnitt 0.151 ($SD = 0.087, n = 9$). Zwischen diesen beiden Werten kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (zweiseitiger Wilcoxon-Test¹¹: $W = 51, p = 0.8588, n = 20$).

Hinsichtlich der Wechsel der Initiative waren bei der Durchführung der Modellierung mittels CMapTools ($n = 12$) 8 Fälle zu beobachten, in denen ein Teilnehmer exklusiven

¹⁰Als Teilnehmer A wird immer jener Teilnehmer bezeichnet, der den höheren Zeitanteil in der Modellierung in Anspruch nahm.

¹¹Die Durchführung des Wilcoxon-Test ist aufgrund der Nicht-Normalverteilung beider Stichproben notwendig (Shapiro-Wilk-Test: $W_{CMap} = 0.9083, p_{CMap} = 0.2032, W_{Tisch} = 0.9642, p_{Tisch} = 0.8408$)

Zugriff auf die Eingabemedien über den gesamten Verlauf der Modellierung hatte. In 2 Fällen fanden zwei Initiativ-Wechsel statt, in jeweils 1 einem Fall fanden 4 bzw. 8 Initiativ-Wechsel statt. Bei der Durchführung der Modellierung in dem hier vorgestellten System ($n = 11$) wurde in 7 Fällen simultan an der Benutzungsschnittstelle gearbeitet, es konnten keine Initiativ-Wechsel im Sinne obiger Definition festgestellt werden. In 2 Fällen wurden je 2 Wechsel der Initiative festgestellt, in zwei Fällen kam es zu keinem Initiativ-Wechsel.

Der Anteil von Diskussionszeit an der Gesamtmodellierungsdauer betrug bei der Durchführung mittels CMapTools im Schnitt 57.15% ($SD = 7.49\%$, $n = 12$) und war damit signifikant niedriger (einseitiger Wilcoxon-Test: $W = 120$, $p < 0.001$, $n = 23$) als der Diskussionsanteil bei der Arbeit am Modellierungstisch mit im Schnitt 76.08% ($SD = 8.84\%$, $n = 11$).

In Evaluierungsblock 5 wurden die Teilnehmer außerdem quantitativ und qualitativ nach dem Einfluss des Werkzeugs auf die Kooperation befragt. In der quantitativen Auswertung wurden 2 Items (Abschnitt „Kollaboratives Modellieren“ in Block 5 – siehe Anhang B.3.3) betrachtet, deren Gegenüberstellung einen Vergleich der wahrgenommenen Wirkung der beiden eingesetzten Werkzeuge ermöglicht. Die Items lauten im Einzelnen:

1. Ich konnte meine persönliche Meinung und Ideen ausreichend einbringen.
2. Das Werkzeug hat die Zusammenarbeit als Team erleichtert.

Insgesamt wurden $n_{CMap} = 25$ Teilnehmer befragt, die an der Modellierung mit den CMapTools beteiligt waren. $n_{Tisch} = 24$ Teilnehmer waren an der Modellierung am hier vorgestellten System beteiligt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13.6 und Abbildung 13.6 zusammengefasst dargestellt. Neben dem Mittelwert und der Standardabweichung wurde für jedes Item auch geprüft, ob die Einschätzung als signifikant positiv zu bezeichnen ist. Dazu wurde ein einseitiger Wilcoxon-Test für die Stichprobe gegenüber dem Skalennittelwert 4 durchgeführt ¹².

Tabelle 13.6.: Befragung Kooperative Modellierung im Werkzeugvergleich – Itemauswertung

Item	M	SD	$V_{M<4}$	$p_{M<4}$
1_{CMap}	1.52	0.823	0	<0.005
1_{Tisch}	1.50	0.659	0	<0.005
2_{CMap}	2.72	1.49	12	<0.005
2_{Tisch}	2.33	1.31	3	<0.005

¹²Der Wilcoxon-Test muss angewandt werden, da die Stichprobe in allen vier Fällen nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-Test: $W_{1C} = 0.680$, $p_{1C} < 0.005$, $W_{1T} = 0.716$, $p_{1T} < 0.005$, $W_{2C} = 0.882$, $p_{2C} = 0.00742$, $W_{2T} = 0.852$, $p_{2T} < 0.005$)

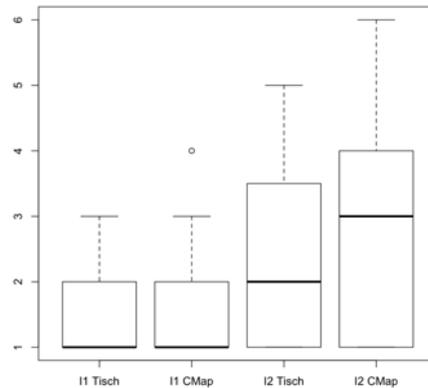


Abbildung 13.6.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zum kooperativen Modellieren

In der Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den beiden Teilstichproben für jedes Item zeigt sich in keinem der Fälle ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Stichproben (zweiseitiger Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben: $W_{I1} = 310$, $p_{I1} = 0.826$, $W_{I2} = 258.5$, $p_{I2} = 0.396$).

In der qualitativen Befragung begründeten insgesamt 48 Teilnehmer (25 an den CMap-Tools, 23 am Modellierungstisch) ihren Eindruck (Fragestellung: „Wie würden Sie Ihre Beziehung im Team beschreiben? (Gesprächsablauf, Meinungsverschiedenheiten, gemeinsames Arbeiten mit dem Werkzeug)“). Die Ergebnisse sind im Folgenden für jeder Teilnehmergruppe inhaltlich gruppiert dargestellt.

Die Teilnehmer, die mit den CMapTools gearbeitet hatten, gaben folgende Antworten:

- pos: konstruktive Arbeitsbeziehung (10x)
- pos: Konsens war leicht herzustellen (6x)
- pos: Kooperation war möglich (2x)
- pos: für alle zufriedenstellendes Ergebnis erreicht (2x)
- pos: Werkzeug ermöglicht Übersicht (1x)
- neutral: zu kurze Zusammenarbeit (2x)
- neg: ein Teilnehmer hat dominiert (2x)

Am Modellierungstisch wurden folgende Antworten gegeben:

- pos: konstruktive Arbeitsbeziehung (14x)
- pos: Konsens war leicht herzustellen (2x)
- pos: jeder konnte sich einbringen (2x)
- pos: Team war okay (1x)

- pos: schnelle Einigung (1x)
- pos: Kooperation war möglich (1x)
- neg: etwas planlos (2x)

Diskussion

Die Verteilung der Modellierungsdauer zwischen den Teilnehmern als erstgenannter Indikator für funktionierende Kooperation zwischen den Teilnehmern zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden eingesetzten Werkzeugen. In beiden Fällen zeigt sich eine im Schnitt annähernde Gleichverteilung der Modellierungsdauer zwischen den Teilnehmern, was darauf hinweist, dass eine kooperative Modellierung sowohl mit dem Werkzeug CMapTools als auch mit dem hier vorgestellten Modellierungstisch möglich ist.

Betrachtet man jedoch die Anzahl der physischen Initiativwechsel, zeigt sich, dass die Möglichkeit des nicht-exklusiven Zugriffs auf die Benutzungsoberfläche des Modellierungstisches von den Teilnehmern genutzt wird und dazu führt, dass die Manipulation des externalisierten Modells unmittelbar von mehr als einem Teilnehmer durchgeführt wird. Im Falle der mit der Maus und Tastatur bedienten CMapTools führt in den meisten Anwendungen ein Teilnehmer exklusiv die Manipulation des Modells durch. Durch den Wegfall des inhaltlichen „Filters“, den der manipulierende Teilnehmer bewusst oder unbewusst potentiell einführen kann, ist am Modellierungstisch eine unmittelbarere Kooperation bei der Modellerstellung möglich.

Auch die Verteilung zwischen der zur eigentlichen Modellerstellung benötigten Zeit und jener Zeit, die zum inhaltlichen Austausch über den Modellierungsgegenstand aufgewendet wird, weist darauf hin, dass die Kooperation durch den Einsatz des Modellierungstisches im Vergleich zu den bildschirmbasierten CMapTools gestärkt wird.

Die Befragung der Benutzer zeigt jedoch keine signifikant bessere Wahrnehmung des hier vorgestellten Werkzeugs gegenüber den im Vergleich eingesetzten CMapTools. Während die Möglichkeit zur Einbringung der eigenen Sichtweise quasi identisch positiv gesehen wurde, zeigt die Einschätzung der Wirkung des Werkzeugs auf die Kooperation eine tendenziell positivere Ausprägung bei den am Modellierungstisch arbeitenden Teilnehmern. Diese Verbesserung ist jedoch nicht statistisch signifikant. Auch die qualitative Betrachtung der Benutzerantworten in den offenen Items ergibt keine wesentlichen Unterschiede in der Wahrnehmung des Werkzeugs. Lediglich hinsichtlich der negativen Auffälligkeiten wurde im Falle der CMapTools die exklusive Modellbildung durch einen Teilnehmer zweimal genannt, wohingegen die kooperative Modellbildung am Modellierungstisch von zwei Teilnehmern (die zusammengearbeitet hatten) als „etwa planlos“ bezeichnet wurde. Die Ergebnisse der Benutzerbefragung stärken die Hypothese also nicht, widersprechen ihr aber auch nicht. Insgesamt kann so die Hypothese als bestätigt angesehen werden. Zur Bestätigung aus Benutzersicht ist eine weitere vergleichende Studie

anzudenken, in der die gleichen Teilnehmer anhand verschiedener Aufgaben die Wirkung der unterschiedlichen Werkzeuge auf die Kooperation beurteilen. Die Reihenfolge der Werkzeuganwendung müsste dazu variiert werden, um Lern- bzw. Gewöhnungseffekte kompensieren zu können.

Ergebnis

Die Hypothese 12 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Während die Verteilung des Zeitanteils zwischen den Modellierungsteilnehmern keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden verglichenen Systemen aufweist, zeigt sowohl der Vergleich der Initiativ-Wechsel als auch der Anteil an zum inhaltlichen Austausch aufgewandter Zeit einen signifikanten Vorteil hinsichtlich der Kooperationsförderung für den Modellierungstisch. Die Daten aus der Befragung der Teilnehmer stärken die Hypothese zwar nicht signifikant, zeigen aber eine leichte Tendenz zu deren Bestätigung.

13.3.5. Abbildung von Zusammenhängen ohne Verbinder

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung Hypothese 13 („Zur Abbildung von Zusammenhängen ist die Verwendung von Verbindern nicht notwendig.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Befragungen sowie die Videoaufnahmen der Evaluierungsblöcke 1 bis 5.

Auswertung

In insgesamt 18 von den in allen 5 Evaluierungsblöcken 66 erstellten Modellen (für eine detaillierte Aufstellung siehe Abschnitt 12.3.1) wurden keine Verbinder zur Darstellung von Zusammenhängen zwischen Elementen verwendet. Von diesen 18 Modellen wurden 9 Modelle (in den Evaluierungsblöcken 2 und 3) während der Modellierung von allen Beteiligten kommunikativ interpretiert. Die Teilnehmenden wurden unmittelbar nach Abschluss der Modellbildung über ihre subjektive Wahrnehmung der Übereinstimmung des Verständnisses über den abgebildeten Sachverhalt befragt. Alle Teilnehmer ($n_{ges} = 21$) gaben an, subjektiv ein gemeinsames Verständnis erreicht zu haben. Diese Angaben decken sich mit den Auswertungen der Modellierungsverläufe in diesen Durchgängen, in denen in 3 von 9 Fällen während der Modellierung der Eindruck entstand, dass Teile der Modelle unterschiedlich interpretiert wurden. Diese unterschiedlichen Interpretationen wurden jedoch in allen Fällen im weiteren Verlauf der Modellierung erkannt und so abgestimmt, dass ein übereinstimmendes Verständnis hergestellt werden konnte.

Jene 9 Modelle, die in Evaluierungsblock 1 erstellt wurden, wurden von Dritten interpretiert. Die Interpretation wurde dabei den ursprünglichen Modellerstellern rückgespiegelt, die wiederum zu beurteilen hatten, ob die Interpretation den ursprünglich

repräsentierten Sachverhalt korrekt wiedergibt. Dies war in allen 9 Modellierungsdurchgängen der Fall (Befragung mittels einer 4-teiligen Likertskala, 6 mal „gut verstanden“, 3 mal „eher verstanden“, kein „eher nicht verstanden“ oder „nicht verstanden“). Die Abbildungen 13.7 und 13.8 zeigen Beispiele für Modelle, in denen die korrekte Interpretation auch ohne die Darstellung von Verbindern möglich war.



Abbildung 13.7.: Korrekt interpretierbares Modell ohne Verbinder (hierarchisch)

Die übrigen 46 Modelle, in denen Verbinder verwendet wurden, wurden einer nachgelagerten Interpretation durch den Leiter der Studiendurchführung¹³ unterzogen, der an der Durchführung von 17 Modellierungsdurchgängen als Untersuchungsleiter beteiligt war (die übrigen 29 Modellierungsdurchgänge wurden im Rahmen von Diplomarbeiten erfasst, wobei die jeweiligen Diplomanden als Untersuchungsleiter auftraten). Bei dieser Interpretation wurden im ersten Schritt für jedes Modell die verwendeten Verbinder entfernt und versucht, den Modellinhalt zu interpretieren. In einem zweiten Schritt wurden die Verbinder wieder eingeblendet und die Interpretation mit dem nun vollständigen Modell verglichen. Dabei ergaben sich in 15 Fällen Unterschiede in der Interpretation, die ausschließlich auf die Verwendung von Verbindern zurückzuführen war. In den übrigen 36 Fällen explizierten bzw. bestätigten die erstellten Verbindungen die durch die räumliche Anordnung der Modellierungselemente implizit ausgedrückten Zusammenhänge. Dabei ist zu anzuführen, dass in 13 der insgesamt 46 Modelle benannte Verbinder verwendet wurden (die übrigen 33 Modelle enthielten lediglich unbenannte Verbinder). Von diesen 13 Modellen konnten 4 auch ohne die Darstellung der Verbinder korrekt (im

¹³dem Verfasser dieser Arbeit



Abbildung 13.8.: Korrekt interpretierbares Modell ohne Verbinder (ablauforientiert)

Sinne der obigen Ausführungen) interpretiert werden. Demnach führte die Entfernung der Verbinder in 6 der 33 Modelle mit unbenannten Verbindern zu unvollständigen bzw. fehlerhaften Interpretationen. Abbildung 13.9 zeigt ein Beispiel für ein Modell, in dem die Entfernung der Verbinder zu einer unvollständigen Interpretation des abgebildeten Inhalts führte. Im konkreten Fall repräsentieren die Verbinder Kommunikationsflüsse zwischen Personen. Diese Information geht bei ausschließlicher Darstellung der Modellierungselemente verloren.

Diskussion

Das weitgehende Fehlen von Verbindern ist in den ersten beiden Evaluierungsblöcken sowie Teilen des Evaluierungsblocks 3 auf die mangelhafte Funktion der Verbindungsherstellung durch Benutzer zurückzuführen (siehe Prüfung der Hypothese 1 in Abschnitt 12.3.1). Trotzdem war es den Teilnehmenden möglich, ein gemeinsames Verständnis über die abgebildeten Zusammenhänge zu entwickeln. Auch bei der Interpretation durch Dritte, die am Entstehungsprozess des Modells nicht beteiligt waren, traten keine Missverständnisse auf. Dies gilt sowohl für ablauforientierte Modelle (in Evaluierungsblock 1 und 2) als auch für Concept-Map-artige Modelle (in Evaluierungsblock 3).

Auf Basis dieser Ergebnisse kann die Hypothese bestätigt werden. Die Bestätigung ist insofern zu relativieren, als dass den Evaluierungsblöcken 3, 4 und 5 insgesamt 15 Modellierungsdurchgänge identifiziert werden konnten, in denen die Verwendung von Verbindungen den Modellen Bedeutung hinzufügt, die ohne diese auch implizit nicht

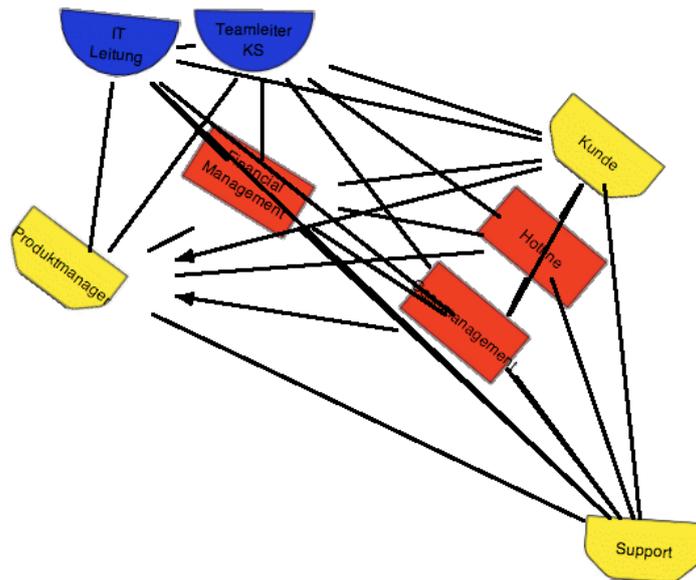


Abbildung 13.9.: Bei Vernachlässigung der Verbindler nur unvollständig interpretierbares Modell

vorhanden war. Eine vorbehaltlose Annahme der Hypothese ist deshalb nicht rechtfertigbar.

Hypothese 13 kann unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen damit nicht bestätigt werden. Während in vielen Fällen die ausschließliche räumliche Anordnung von Modellierungselementen ausreichend ist, um die beabsichtigte Bedeutung zu kommunizieren, konnten Fälle identifiziert werden, in denen dies nicht möglich war.

Ergebnis

Die Hypothese 13 kann auf Basis der Untersuchung nicht bestätigt werden. Während zu Bildung eines einheitlichen Verständnisses in vielen Fällen die implizite Abbildung von Zusammenhängen durch räumliche Konfiguration der Modellierungselemente ausreichend ist, konnten Fälle identifiziert werden, in denen die explizite Repräsentation von Verbindern dem Modell Bedeutung hinzufügte, die ohne Darstellung derselben nicht kommunizierbar war.

13.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Evaluierung des Aspektes der Modellierung mit dem hier vorgestellten Werkzeug beschrieben. Die hier betrachteten Hypothesen beschäftigen sich mit dem Modellierungsergebnis an sich sowie dem Prozess der Modellerstellung. In Abgrenzung dazu wurde in Kapitel 12 die Verwendung des Werkzeugs im Allgemeinen sowie dessen Verständlichkeit geprüft. Kapitel 14 beschäftigt sich hingegen mit der Rückwirkung der Modellierung bzw. der Modelle auf die eigentlichen Betrachtungsgegenstände (also etwa operative Arbeitsabläufe).

Im Rahmen dieses Kapitels wurden vier aus der Aufgabenstellung begründbare Hypothesen und eine explorativ während der Evaluierung gebildete Hypothese getestet. Die ersten beiden Hypothesen beschäftigen sich mit einer eventuell einschränkenden Wirkung des Werkzeugs auf die Modellbildung. Wie in den Anforderungen 4 und 6 formuliert, muss das Werkzeug zur Unterstützung von „Articulation Work“ einerseits semantische Offenheit bei der Modellierung bieten (d.h. die Modellierenden nicht bei der Abbildung der eigenen Konzeptualisierung des abzubildenden Sachverhaltes einschränken) und andererseits die Abbildung beliebig umfangreicher Modelle erlauben.

Hypothese 9 („Semantische Offenheit“) konnte dabei insofern bestätigt werden, als dass die Teilnehmenden das Werkzeug nur in Einzelfällen als semantisch einschränkend empfanden. Der Vergleich mit einem semantisch vollständig offenen Werkzeug, dass die Anzahl der Elementtypen im Gegensatz zum vorliegenden Werkzeug nicht beschränkt, deutet jedoch darauf hin, dass in manchen Anwendungsfällen tatsächlich mehr als die drei im Werkzeug semantisch belegbaren Elementtypen zum Einsatz kommen sollten.

Hypothese 10 („Beliebiger Modellumfang“) konnte im Rahmen der Untersuchung nicht bestätigt werden. Die beschränkte Größe der Modellierungsoberfläche wird einschränkend auf den Modellumfang, die Möglichkeit der Einbettung von Teilmodellen stellt dabei keinen adäquaten Ersatz dar. In einer vergleichenden Studie mit einem die Arbeitsfläche nicht beschränkenden Werkzeug wurden bei identischer Aufgabenstellung im Durchschnitt Modelle mit doppeltem Umfang als mit dem hier vorgestellten Werkzeug erstellt. Auch die Rückmeldungen der Teilnehmenden deuten darauf hin, dass die Beschränkung der Modellierungsoberfläche in vielen Fällen als einschränkender Faktor wahrgenommen wird.

Hypothese 11 („Reflexion des Modellierungsverlaufs“) untersucht, ob die Verfügbarkeit der Modellierungshistorie einen positiven Einfluss auf die Nachvollziehbarkeit des Modellinhaltes hat. Diese Hypothese konnte im Rahmen der Untersuchung bestätigt werden. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass die Korrektheit der Interpretation vor allem in Fragestellungen, die zu ablauforientierten Modellen führen, in vielen Fällen eher gering ist. Es ist daher fraglich, ob eine Interpretation ausschließlich auf Basis der gespeicherten Repräsentationen des Modells ausreichend ist bzw. zu qualitativ zufrieden stellenden Ergebnissen führt.

Hypothese 12 („Stärkere Kooperation“) untersucht, ob die Verwendung des Werkzeugs zu stärkerer Kooperation führt als die Verwendung eines bildschirmbasierten Werkzeugs. Diese Hypothese konnte im Rahmen der Untersuchung bestätigt werden. Die Verwendung des Werkzeugs führt im Vergleich zur Anwendung eines bildschirm-basierten Werkzeugs zu einem signifikant höheren Anteil an Diskussion während der Modellbildung und zu ausgeglichenerer physischer Beteiligung am Modellierungsvorgang zwischen den Teilnehmern. Die Daten aus der Befragung der Teilnehmer stärken die Hypothese zwar nicht signifikant, zeigen aber eine leichte Tendenz zu deren Bestätigung.

Die letzte in diesem Kapitel untersuchte Hypothese (Hypothese 13, „Verbinder nicht notwendig“) betraf die explorativ gebildete Vermutung, dass zur Repräsentation von Zusammenhängen in Modellen die explizite Darstellung von Verbindern nicht notwendig sind sondern die ausschließliche räumliche Konfiguration der Modellierungselemente zueinander ausreicht, um die Zusammenhänge erfassbar zu machen. Während dies im überwiegenden Teil der Anwendungsfälle möglich war, konnten Modelle identifiziert werden, in denen die Verbinder Information codierten, die rein durch die räumliche Anordnung der Modellelemente nicht ableitbar gewesen waren (in etwa 25% der Fälle). Hypothese 13 konnte im Rahmen der Untersuchung damit nicht bestätigt werden.

Insgesamt zeigt sich damit, dass das Werkzeug nur eingeschränkt zur Abbildung diagrammatische Modelle geeignet ist. Im Sinne der Zielsetzung dieser Arbeit – der Unterstützung von „Articulation Work“ – ist dies jedoch nur von eingeschränkter Wichtigkeit. Vielmehr steht die Unterstützung der Kommunikation zwischen den beteiligten Individuen und der Abgleich derer mentaler Modelle im Vordergrund. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Werkzeug diesen Ansprüchen gerecht wird. Im nächsten Kapitel wird nun untersucht, inwieweit der Abgleich tatsächlich stattfindet (also „Articulation Work“ erfolgreich durchgeführt werden konnte) und welche Auswirkungen dies auf die Arbeitsrealität hat.

13.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt die Untersuchung der Eignung des vorgeschlagenen Instruments zur Unterstützung von „Articulation Work“ dar und trägt so hinsichtlich der in Kapitel 1 argumentieren und in Kapitel 4 näher ausgeführten zu untersuchenden Aspekte zur Beantwortung der Fragestellung 6 („Ermöglicht das Instrument die effektive Durchführung von expliziter Articulation Work?“) bei. Die Ergebnisse zeigen die erwartete Wirkung des Instruments auf die Kooperation zwischen den beteiligten Individuen und bestätigen so eine weitere Voraussetzung für die effektive Unterstützung expliziter „Articulation Work“ durch das hier vorgestellte Instrument.

13.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Kapitels werden in ihrer Gesamtheit erst in den Schlussbetrachtungen (Kapitel 15) wieder aufgegriffen. Einzelne Hypothesen, vor allem jene, die sich mit der kooperativen Verwendbarkeit des Werkzeugs beschäftigen, werden aber im folgenden Kapitel nochmals aufgegriffen und dienen dort als Grundlage der Evaluierung der Wirkung der durchgeführten „Articulation Work“.

14. Evaluierung der durchgeführten Articulation Work

Die Evaluierung der durchgeführten „Articulation Work“ bildet den letzten Teil der empirischen Untersuchung und prüft letztendlich die Eignung des Werkzeugs für den intendierten Verwendungszweck im Sinne der Zielsetzung. Abbildung 14.1 stellt dieses Kapitel und dessen Aufbau im Kontext der anderen inhaltlich vor- und nachgelagerten Kapitel dar.

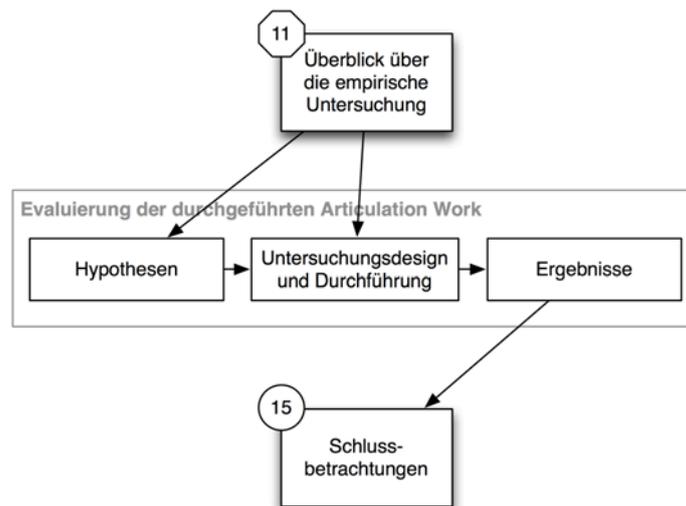


Abbildung 14.1.: Kapitel „Evaluierung der durchgeführten Articulation Work“ im Gesamtzusammenhang

Die in diesem Kapitel formulierten Hypothese basieren unmittelbar auf der Zielsetzung dieser Arbeit und den in Kapitel 2 identifizierten Merkmalen erfolgreich durchgeführter „Articulation Work“. Es wird nicht mehr auf die Verwendung der Werkzeugs selbst (siehe Kapitel 12) und nicht mehr auf die Rolle von externalisierten Modellen im Kontext dieser Arbeit (siehe Kapitel 13) eingegangen.

14.1. Hypothesen

In diesem Abschnitt werden die Hypothesen angeführt und begründet, die in diesem Teil der empirischen Untersuchung geprüft werden. Die im Folgenden beschriebenen Hypothesen gehen aber auf die Wirkung von „Articulation Work“ auf die reale Welt ein. Nicht Gegenstand der Untersuchung ist die Verwendung diagrammatischer Modelle zum Zwecke der Durchführung von „Articulation Work“ (siehe Kapitel 13) und die Wirkung des Werkzeugs bei der Durchführung (siehe Kapitel 12).

14.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen

Die folgenden Hypothesen sind unmittelbar aus der globalen Zielsetzung dieser Arbeit abgeleitet. Die Wirkung von „Articulation Work“ zeigt sich in der organisationalen Realität an der Durchführung der „Production Work“ Fujimura (1987). Um die Wirkung der mit dem Werkzeug durchgeführten „Articulation Work“ zeigen zu können, muss deshalb neben dieser auch die „Production Work“ betrachtet werden. Die Überprüfung erfolgt dabei in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wird die Durchführung der „Articulation Work“ selbst betrachtet. Im Rahmen der Verwendung der Externalisierung von mentalen Modellen zum Zwecke der Durchführung von „Articulation Work“ ist es – wie in Kapitel 4 ausgeführt und in Anforderung 7 abgebildet – notwendig, eine kooperative Nutzung des unterstützenden Werkzeugs zu ermöglichen. Ein wesentlicher Schritt zur erfolgreichen Durchführung von „Articulation Work“ ist neben der eigentlichen Externalisierung (die in den ersten beiden Hypothesen des vorhergehenden Kapitels 13 abgebildet wurde) die Abstimmung der individuellen mentalen Modelle der Beteiligten. „Abstimmung“ bedeutet hier einen Abgleich der individuellen Verständnisse jener Arbeitsaspekte, die im Sinne von Kapitel 2 „problematisch“ sind bzw. enge Kooperation der Beteiligten in der „Production Work“ bedingen. Die Prüfung dieser Hypothese ermöglicht die Beurteilung der Erfüllung der Anforderung 2 (siehe Seite 116).

Hypothese 14 *Das Werkzeug unterstützt den Prozess der Abstimmung der individuellen Modelle zwischen Personen.*

Der zweite Schritt der Untersuchung in diesem Teil der Evaluierung betrachtet letztendlich die durchgeführte Arbeit selbst. Das globale Ziel des hier vorgestellten Ansatzes ist die Unterstützung von „Articulation Work“. Ob diese tatsächlich erfolgreich durchgeführt wurde, zeigt sich an der Wirkung auf die zugehörige kooperativer Arbeit (die „Production Work“). Es ist also zu beurteilen, ob die Anwendung des Werkzeuges tatsächlich auf die jeweils betrachteten Arbeitsabläufe wirkt und welcher Natur diese Auswirkungen sind. Die Prüfung dieser Hypothese trägt zur Beurteilung der Erfüllung der globalen Zielsetzung (siehe Seite 5) bei.

Hypothese 15 *Die Anwendung des Werkzeugs hat Auswirkungen auf die Ergebnisse kooperativer Arbeit.*

Hinsichtlich der in Kapitel 5 formulierten Anforderungen können die hier formulierten Hypothesen zusammenfassend wie in Tabelle 14.1 dargestellt eingeordnet werden. Die Untersuchung dieser Hypothesen stellt den finalen Schritt in der Prüfung der effektiven Unterstützung der Durchführung von „Articulation Work“ dar. Hier wird die Wirkung der Anwendung des Instruments sowohl auf die beteiligten Individuen als auch auf die betroffenen Arbeitsabläufe untersucht und so die Effektivität der Unterstützung an sich anhand ihrer Wirkung geprüft.

Tabelle 14.1.: Hypothesen zur Wirkung des Instruments auf die Articulation Work und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug

Hypothese	Anforderung
14	2
15	globale Zielsetzung

14.2. Untersuchungsdesign und Durchführung

In diesem Abschnitt wird auf Basis der oben formulierten Hypothesen das Untersuchungsdesign abgeleitet und die Durchführung der Untersuchung beschrieben. Der erste Teil des Abschnitts beschreibt die Operationalisierung der Hypothesen und damit die Festlegung, wie diese konkret geprüft werden können. Im zweiten Teil des Abschnitts wird die Durchführung der Prüfung beschrieben. Hier erfolgt neben der Zuordnung der einzelnen Evaluierungsblöcke (siehe Abschnitt 11.2) auch die Darstellung rein beschreibender Modell-Parameter, die nicht unmittelbar in die Prüfung der Hypothesen eingehen.

14.2.1. Operationalisierung

In diesem Abschnitt wird für jede Hypothese identifiziert, in welcher Form sie geprüft werden kann. Dies umfasst die Festlegung der Messpunkte sowie der jeweiligen Mess- und Auswertungsmethode (letztere bezugnehmend auf den in Abschnitt 11.3 beschriebenen Verfahren). Zudem werden jene Evaluierungsblöcke festgelegt, die für die jeweilige Untersuchung herangezogen wurden.

Für jede Hypothese wird also spezifiziert, anhand welcher Aspekte diese geprüft werden kann (= abhängige Variablen). Zudem wird festgelegt, welche Ausgangssituation

bei der Anwendung gewählt werden muss, um die Prüfung durchführen zu können (= unabhängige Variable) und welche Faktoren die Beurteilung ggf. ungewollt beeinflussen können (= Störvariablen).

Abstimmung individueller Modelle

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prüfung der Hypothese 14. Diese bezieht sich auf die geforderte Eigenschaft des Werkzeugs, den Prozess der Abstimmung der individuellen Modelle zwischen den beteiligten Personen zu unterstützen.

Voraussetzung zur Prüfung dieser Hypothese ist, dass die Aufgabenstellung einem der beiden kooperativen Anwendungsszenarien zuzuordnen ist (siehe Abschnitt 4.3.3 bzw. 4.3.4), in denen alle Teilnehmenden ihre individuellen mentalen Modelle einbringen. Die Zielsetzung muss so formuliert sein, dass eine gemeinsame Sicht auf den behandelten Sachverhalt angestrebt wird. Weitere Voraussetzungen etwa hinsichtlich der Auswahl der beteiligten Individuen bestehen nicht.

Zur Prüfung, ob eine Abstimmung der individuellen Modelle der beteiligten Personen erreicht wurde, kann auf qualitative Beurteilung durch die Teilnehmenden zurückgegriffen werden. Zur Beurteilung bieten sich hier neben der direkten Frage nach der subjektiv wahrgenommene Abstimmung des Verständnisses auch Teilaspekte des PMS-Frameworks (Sedera et al., 2002) an, das unter anderem die Wirkung der Modellbildung auf die beteiligten Personen und die Arbeitsrealität abbildet (siehe (Wahlmüller, 2010) zur Eignung des PMS-Frameworks im Kontext dieser Arbeit).

Zusätzlich könnte zur Prüfung der Hypothese eine Diagnose der mentalen Modelle der Beteiligten etwa im Sinne von (Ifenthaler, 2006) durchgeführt werden. Hier müssten dann jeweils die externalisierten mentalen Modelle aller Beteiligten jeweils vor und nach dem Abstimmungsprozess gegenübergestellt werden. Die Anwendung dieses Vorgehens übersteigt jedoch den methodischen Fokus dieser Arbeit und wurde in der vorliegenden Untersuchung aus Ressourcengründen nicht durchgeführt.

Auswirkungen auf die Ergebnisse kooperativer Arbeit

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Prüfung der Hypothese 15. Diese bezieht sich letztendlich auf die Rückwirkung der mit Hilfe des Werkzeugs durchgeführten Aktivitäten auf die Realität.

Voraussetzung zur Prüfung dieser Hypothese ist, dass die Aufgabenstellung einen Sachverhalt zum Gegenstand hat, der eine unmittelbare Entsprechung in der realen (Arbeits-)Welt der Teilnehmenden hat. Weitere Voraussetzungen etwa hinsichtlich der Auswahl der beteiligten Individuen bestehen nicht.

Zur Prüfung dieser Hypothese kann wiederum auf eine qualitative Beurteilung der eingetretenen Veränderungen durch die beteiligten Personen zurückgegriffen werden. Auch

hier liefert das PMS-Framework (Sedera et al., 2002) wieder Ansatzpunkte zur Erhebung. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Einhaltung eines angemessenen zeitlichen Abstandes zwischen Modellbildung und Befragung, so dass etwaige Veränderungen in Kraft gesetzt bzw. beobachtet werden können.

Neben der Befragung der teilnehmenden Individuen können auch die Arbeitsabläufe, die Gegenstand der „Articulation Work“ waren, selbst beobachtet werden. Bei bereits etablierten Arbeitsabläufen bietet sich eine Gegenüberstellung der Durchführung der Arbeit vor und nach der Modellbildung an. Bei neu einzurichtenden Arbeitsabläufen steht die Möglichkeit der Gegenüberstellung nicht zur Verfügung. Dementsprechend kann lediglich beurteilt werden, ob die Aushandlung eines gemeinsamen Arbeitsablaufs möglich war. Vergleichend können im zweiten Fall dazu identische Arbeitsabläufe ohne dezidierten Abstimmungsschritt herangezogen werden, wobei als Maß für die Güte der Abstimmung die Anzahl der aufgetretenen Probleme in der Zusammenarbeit während der Durchführung der „Articulation Work“ herangezogen werden kann.

14.2.2. Durchführung

Die Durchführung der Untersuchungen zu diesem Teil der Evaluierung wurde in den Evaluierungsblöcken 2 und 4 durchgeführt. In Block 2 waren die Teilnehmenden aufgefordert, ein gemeinsames Vorgehen zur Erstellung einer Seminararbeit auszuhandeln und in einem zweiten, während der laufenden Zusammenarbeit durchgeführten Schritt zu reflektieren und ggf. anzupassen. Diese Schritte waren in den Verlauf der Erstellung der Seminararbeit eingebettet, begleiteten also die „Production Work“, an der der Erfolg der „Articulation Work“ zu messen war. Zur Beurteilung des Erfolgs wurden die Teilnehmenden aufgefordert, den Verlauf der Erstellung der Seminararbeit in einem Prozess-Tagebuch zu dokumentieren und dabei besonders auf die Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Partner einzugehen. Die Ergebnisse flossen in die Prüfung der Hypothese 15 ein.

In Block 4 wurden die Teilnehmer unmittelbar nach der Modellbildung und in einem Abstand von 8 Wochen zu den erwarteten bzw. tatsächlich eingetretenen Änderungen der Arbeitspraxis befragt. Die Befragung wurde mittels einem auf Basis des PMS-Frameworks erstellten Fragebogen (siehe Anhang B) durchgeführt. Die Ergebnisse flossen in die Prüfung der Hypothesen 14 und 15 ein.

In diesem Teil der Evaluierung wurden keine deskriptiven Parameter erhoben, weshalb die in den Kapiteln 12 und 13 an dieser Stelle vorgenommene Beschreibung derselben hier entfällt.

Stichprobe

Für die Untersuchung der Hypothesen in diesem Kapitel wurden die Evaluierungsblöcke 2 und 4 herangezogen. In diesen war die Aufgabenstellung im Gegensatz zu den übrigen Evaluierungsblöcken stärker auf eine unmittelbare Abbildung konkreten Abläufen in der „Production Work“ ausgerichtet, was eine Prüfung der Hypothesen erleichterte. Für die Prüfung der Hypothese 14 wären grundsätzlich auch die Evaluierungsblöcke 3 und 5 geeignet gewesen, die entsprechenden Untersuchungen konnten jedoch aus Ressourcen Gründen nicht durchgeführt werden. Die Stichprobe setzt sich wie in Tabelle 14.2 beschrieben zusammen.

Tabelle 14.2.: Stichproben der Evaluierung zur Articulation Work

	Evaluierungsblock	$n_{Anwendungen}$	$n_{Teilnehmende}$
2a	Aushandlung 1 (1. Durchgang)	9	19
2b	Aushandlung 1 (2. Durchgang)	9	18
4	Aushandlung 2	10	13
	Gesamt	28	50

14.3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchung gegliedert nach den oben formulierten Hypothesen dargestellt. Zu jeder Hypothese wird die Auswertung der empirischen Daten dargestellt, die Bedeutung der empirischen Belege für die Prüfung der jeweiligen Hypothese diskutiert und letztendlich das Ergebnis zusammenfassend dargestellt.

14.3.1. Abstimmung individueller Modelle

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 14 („Das Werkzeug unterstützt den Prozess der Abstimmung der individuellen Modelle zwischen Personen.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 und 4.

Auswertung

In Evaluierungsblock 4 wurden die Teilnehmer hinsichtlich der eigenen Einschätzung eines individuellen Erkenntnisgewinns bzw. der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses befragt (Abschnitt „Auswirkungen der Modellierung“ im ersten und zweiten

Fragebogen von Block 4 – siehe Anhang B.3.2). Die für die Prüfung der hier betrachteten Hypothese sind folgende geschlossene Items relevant:

1. Die Modellierungstätigkeit hat mein Verständnis des Modellierungsinhalts erhöht.
2. Die Modellierung hat Verbesserungen für bisherige Tätigkeiten aufgezeigt.
3. Die Modellierung hat einen Beitrag zur Zielerreichung geleistet.

Alle Fragen wurden sowohl in der unmittelbar nach der Modellbildung durchgeführten Befragung als auch in der in einem Abstand von 3 Monaten durchgeführten Befragung gestellt.

Insgesamt wurden in der unmittelbar nach der Modellbildung durchgeführten Befragung $n = 14$ Teilnehmer befragt (1 Teilnehmer beantwortete die Fragestellungen nicht). Die Ergebnisse sind in Tabelle 14.3 und Abbildung 14.2 zusammengefasst dargestellt. Neben dem Mittelwert und der Standardabweichung wurde für jedes Item auch geprüft, ob die Einschätzung als signifikant positiv zu bezeichnen ist. Dazu wurde ein einseitiger Signifikanz-Test für die Stichprobe gegenüber dem Skalenmittelwert 4 durchgeführt. Für die Items 1 und 2 konnte der t-Test angewandt werden, da die Stichprobe nicht signifikant von einer Normalverteilung abweicht (Shapiro-Wilk-Test: $W_1 = 0.894, p_1 = 0.1103, W_2 = 0.8884, p_2 = 0.0927$). Für Item 3 muss der Wilcoxon-Test angewandt werden, da die Stichprobe hier nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-Test: $W_3 = 0.6743, p_3 < 0.005$).

Tabelle 14.3.: Befragung über die Verständnisbildung bei der Modellierung – Itemauswertung Teil 1

Item	M	SD	$t_{M<4}$	$V_{M<4}$	$p_{M<4}$
1	2.615	1.446	-3.45	-	< 0.005
2	2.308	1.032	-5.92	-	< 0.005
3	2.417	0.669	-	0	< 0.005

Bei der drei Monate nach der Modellbildung durchgeführten Befragung beantworteten $n = 11$ Teilnehmer die Fragestellungen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14.4 und Abbildung 14.3 zusammengefasst dargestellt. Für die Signifikanzprüfung der Items konnte der t-Test angewandt werden, da die Stichprobe in allen drei Fällen nicht signifikant von einer Normalverteilung abweicht (Shapiro-Wilk-Test: $W_1 = 0.854, p_1 = 0.0486, W_2 = 0.924, p_2 = 0.353, W_3 = 0.893, p_3 = 0.150$).

Vergleicht man die Antworten in den beiden Fragebögen, so ergibt sich für keines der Items ein signifikanter Unterschied in der Bewertung (zweiseitiger Signifikanztest

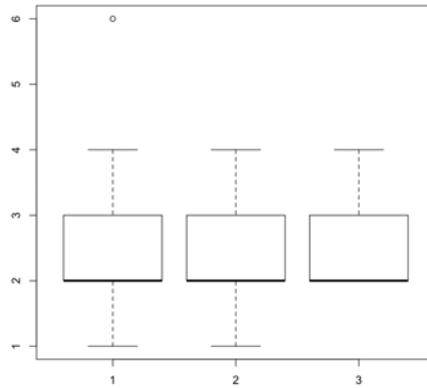


Abbildung 14.2.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Verständnisbildung durch das Werkzeug – Teil 1

Tabelle 14.4.: Befragung über die Verständnisbildung bei der Modellierung – Itemauswertung Teil 2

Item	M	SD	$t_{M<4}$	$p_{M<4}$
1	2.818	1.168	-3.36	< 0.005
2	2.909	1.221	-2.96	< 0.005
3	2.455	0.820	-6.25	< 0.005

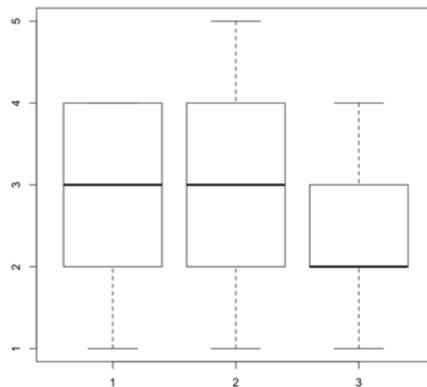


Abbildung 14.3.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Verständnisbildung durch das Werkzeug – Teil 2

für ungepaarte Stichproben: $t_1 = -0.380, p_1 = 0.708, t_2 = -1.29, p_2 = 0.212, W_3 = 62.5, p_3 = 0.836^1$).

In den Evaluierungsblöcken 4 und 5 wurden die Teilnehmer ($n = 37$) außerdem in offenen Fragen nach der Zusammenarbeit im Team befragt (Fragestellung: „Wie würden Sie Ihre Beziehung im Team beschreiben?“ sowie „Sind Sie zufrieden mit ihrem Beitrag zum Modellierungsprozess? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an!“) – siehe dazu auch die Auswertungen in Abschnitt 13.3.4). Während diese nicht unmittelbar auf die hier betrachtete Hypothese eingehen, gaben doch 12 Teilnehmer explizit an, dass ein Konsens über die abzubildenden Inhalte gefunden werden konnte. 7 dieser 12 Teilnehmer führten außerdem an, dass während der Modellierung Meinungsverschiedenheiten geherrscht hätten, die aufgelöst werden konnten.

In der Auswertung der Videoaufnahmen der Evaluierungsblöcke 2 bis 5 (in denen kooperative Modellbildungen durchgeführt wurden, $n = 69$) waren insgesamt 53 Situationen zu identifizieren, in denen die Teilnehmer bei der Abbildung eines Sachverhaltes offensichtlich unterschiedlicher Meinung waren. Vier unterschiedliche Reaktionen waren als Konsequenz zu beobachten:

1. Eine unterschiedliche Meinung wurde übergangen, lediglich die andere Meinung fand sich im Modell wieder. (10x)
2. Die unterschiedlichen Meinungen wurden nicht explizit aufgelöst, fanden sich jedoch beide im Modell wieder. (5x)
3. Der Sachverhalt, in dem unterschiedliche Meinungen herrschten, wurde im Modell nicht abgebildet. (17x)
4. Die Teilnehmer fanden zu einer gemeinsamen Sichtweise und bildeten diese im Modell ab. (21x)

Diskussion

In den dezidierten Fragestellungen etwaigen Auswirkungen der Werkzeugverwendung auf das Verständnis der Teilnehmer in Evaluierungsblock 4 zeigte sich durchgängig eine signifikant positive Einschätzung der Veränderungen. Die Frage nach der „Erhöhung des individuellen Verständnisses des modellierten Sachverhalts“ ist dabei bei der Beurteilung der hier betrachteten Hypothese als am relevantesten einzuschätzen. Auch das „Aufzeigen von Verbesserungspotential in der Modellierung“ impliziert die Zusammenführung der individuell wahrgenommenen Aspekte des modellierten Sachverhalts, eine positive Einschätzung dieser Fragestellung stützt also ebenfalls die Hypothese. Auch die Frage, ob die Modellbildung einen „Beitrag zur Zielerreichung“ geleistet hätte, ist

¹Bei Item 3 musste aufgrund der Nicht-Normalverteilung der Stichprobe aus dem ersten Fragebogen der Wilcoxon-Test angewandt werden, für die anderen beiden Items konnte ein t-Test durchgeführt werden

unter der Annahme relevant, dass die Zielsetzung explizit die Forderung nach dem Sichtbarmachen der eignen Sichtweise sowie der Entwicklung einer gemeinsamen Sichtweise enthielt (wie in Block 4 gegeben). In der mittelfristigen Betrachtung drei Monate nach der Modellbildung zeigt sich keine signifikante Änderung der Einschätzung und bleibt für alle drei Fragen signifikant positiv. Die Ergebnisse der betrachteten geschlossenen Fragen stützen also die oben formulierte Hypothese.

In den relevanten offenen Fragen wurde von den Teilnehmern der Evaluierungsblöcke 4 und 5 in etwa einem Drittel der Antworten auf die Konsensbildung als einen wichtigen Aspekt der Werkzeugverwendung verwiesen. Dies ist relevant für die Unterstützung der hier formulierten Hypothese, da die Fragen vollständig offen formuliert waren und keine andere Wirkung des Werkzeugs in diesem Ausmaß erwähnt wurde. Einschränkend ist zu bemerken, dass bei den Werkzeuganwendungen durchgängig nicht hoch kontroverielle Themen behandelt wurden. Etwa ein Fünftel aller Teilnehmer (bzw. die Hälfte der Teilnehmer, die konsensbildende Wirkung genannt hatten) führte an, dass Meinungsverschiedenheiten in unterschiedlichem Ausmaß bestanden hätten, die ausgeräumt werden konnten. Im Falle der Modellbildung mit dem Werkzeug CMapTools in Evaluierungsblock 5 wurde bei insgesamt 24 befragten Teilnehmern hingegen zweimal explizit angeführt, dass ein Teilnehmer inhaltlich dominiert hätte und der andere sich nicht einbringen konnte (siehe Abschnitt 13.3.4), dessen Sichtweise also auch nicht in eine gemeinsame Sichtweise hätte einfließen können.

In den Auswertungen der Videoaufnahmen konnten ebenfalls Situationen identifiziert werden, in denen offenbar Meinungsverschiedenheiten in unterschiedlichem Ausmaß hinsichtlich der Abbildung herrschten. In etwa 40% der identifizierten Fälle fanden die Teilnehmer zu einer gemeinsamen Sichtweise, die im Modell abgebildet wurde (Fall 4). In etwa einem Drittel der Fälle wurde die Meinungsverschiedenheit ignoriert und im Modell nicht abgebildet (Fall 3). In einem Fünftel der Fälle wurden konfliktionierende Sichtweisen übergangen und nur eine Variante fand ohne weitere Diskussion den Weg in das Modell (Fall 1). Ein weiteres Zehntel der Meinungsverschiedenheiten wurde ebenfalls nicht explizit angesprochen, die Sichtweisen wurden jedoch gleichberechtigt in das Modell aufgenommen (Fall 2). Fall 4 und Fall 2 stützen die Hypothese, während Fall 3 und Fall 1 eher für deren Ablehnung sprechen. Insgesamt zeigen also etwa 50% der Fälle Ausprägungen, die die Hypothese unterstützen.

Insgesamt überwiegen also jene Untersuchungsergebnisse, die die Annahme der Hypothese unterstützen. Sie kann also auf Basis der durchgeführten Untersuchung bestätigt werden, bedarf aber weiterführender Untersuchungen hinsichtlich des auffällig häufig auftretenden Benutzerverhaltens des Aussparens unterschiedlicher Sichtweisen in der Diskussion.

Ergebnis

Die Hypothese 14 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Daten der Benutzerbefragung stützen die Hypothese und sprechen für deren Annahme. In der Auswertung der durchgeführten Modellbildungen zeigte sich keine signifikante Häufung von die Hypothese stützendem Umgang mit unterschiedlichen Sichtweisen. Auffällig häufig wurden die Aspekte, in denen unterschiedliche Sichtweisen herrschten, nicht weiter angesprochen und im Modell ausgespart. Dieses Verhalten bedarf weiterführenden Untersuchungen bzw. der Entwicklung von methodischen Ansätzen, die die Auflösung von derartigen Situationen erleichtern bzw. bestärken.

14.3.2. Auswirkungen auf die Ergebnisse kooperativer Arbeit

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 15 („Die Anwendung des Werkzeugs hat Auswirkungen auf die Ergebnisse kooperativer Arbeit.“). Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 2 und 4.

Auswertung

In Evaluierungsblock 4 wurden die Teilnehmer hinsichtlich der eigenen Einschätzung der Auswirkungen der Modellbildung auf die reale Arbeitswelt („Production Work“) drei Monate nach der Durchführung der Modellbildung befragt (Abschnitt „Auswirkungen auf die Prozesse“ im zweiten Fragebogen von Block 4 sowie Abschnitt – siehe Anhang B.3.2). Die für die Prüfung der hier betrachteten Hypothese sind folgende geschlossene Items relevant:

1. Umsetzung
 - a) Das Modellierungsergebnis oder Teile davon wurden bereits umgesetzt.
 - b) Das Modellierungsergebnis oder Teile davon werden in Kürze umgesetzt.
 - c) Es ist geplant, die Modellierungsergebnisse oder Teile davon umzusetzen.
2. Der Alltag hat sich im Umfeld des modellierten Themas geändert.
3. Unmittelbar nach der Modellierung war klar, dass die Ergebnisse umgesetzt werden.

Insgesamt wurden in der drei Monate nach der Modellbildung durchgeführten Befragung 11 Teilnehmer befragt (5 Teilnehmer beantworteten alle Fragestellungen nicht, 5 Teilnehmer beantworteten alle Fragestellungen, 1 Teilnehmer beantwortete nur die drei Items der Fragestellung 1). Die Ergebnisse sind in Tabelle 14.5 und Abbildung 14.4 zusammengefasst dargestellt. Für die drei unter Punkte 1 gruppierten Items wird einerseits eine Einzelauswertung vorgenommen, andererseits werden diese Items so gruppiert, dass

jeweils der geringste Wert (also die „beste“ Einschätzung) verwendet wird. So ist es möglich, ein Maß für die generelle Wahrnehmung der Umsetzung des Modellierungsergebnisses zu bestimmen.

Neben dem Mittelwert und der Standardabweichung wurde für jedes Item auch geprüft, ob die Einschätzung als signifikant unterschiedlich von Skalenmittelwert 4 zu bezeichnen ist. Dazu wurde ein zweiseitiger Signifikanz-Test für die Stichprobe gegenüber dem Skalenmittelwert 4 durchgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde der Wilcoxon-Test zur Signifikanzprüfung verwendet.

Tabelle 14.5.: Befragung über die Wirkung der Modellbildung auf die Arbeitsprozesse – Itemauswertung

Item	n	M	SD	$V_{M=4}$	$p_{M=4}$
1a	6	3.83	1.941	2.5	1
1b	6	3.33	2.066	4.5	0.496
1c	6	3.50	2.074	3.5	0.713
1 _{ges}	6	3.33	2.066	4.5	0.496
2	5	4.40	1.673	4	0.773
3	5	3.40	0.548	0	0.149

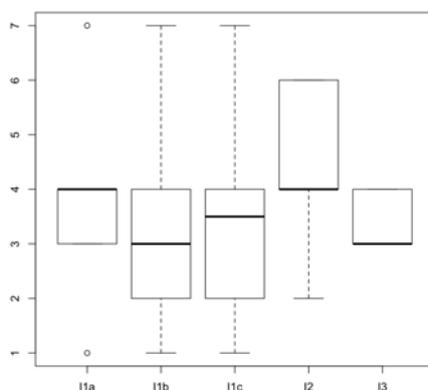


Abbildung 14.4.: Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Wirkung der Modellbildung auf die Arbeitsprozesse

In keinem der Items konnte eine signifikante Abweichung vom Skalenmittelwert 4 gemessen werden, was einer neutralen Antwort entspricht (Skala: 1 ... „stimme zu“, 7 ... „stimme nicht zu“). 5 bzw. 6 Teilnehmer gaben explizit keine Antwort (Antwortmöglichkeit „keine Antwort“).

In den offenen Fragen des Fragebogenteils nutzten 4 Teilnehmer die Gelegenheit zu weiteren Kommentaren. Aufgrund des geringen Rücklaufs wird auf eine Codierung der Antworten verzichtet, es werden für jede offene Frage die Antworten im Volltext angeführt, um eine Zuordnung von Mehrfachantworten zu ermöglichen (in Klammern sind die Quellfragebögen der Antworten angeführt):

- „Welche Ergebnisse hatte die Modellierung?“
 1. Erarbeitung / Verbesserung von Prozessen & Dokumentationen (FB2)
 2. klare Definition des systemischen Soll-Zustandes (FB2)
 3. generell mehr Klarheit bei den Beteiligten zum Thema (FB2)
 4. Darstellung der kritischen Punkte im Prozess (FB4)
 5. wir kamen leider nicht so weit, ein Ergebnis festzuhalten bzw. ein Ziel zu formulieren (FB5)
 6. Erhöhtes Verständnis der hohen Komplexität des Systems. (FB11)
- „Welche Auswirkungen konnten Sie persönlich feststellen?“
 1. Diskussion / Neue Wege (FB4)
 2. Es war nett, ein solches Tool kennen zu lernen, es hatte aber keine Auswirkungen für mich persönlich (FB5)
 3. Mehr Verständnis bei Umsetzungen, die Komplexität wurde durch das Tool transparenter (FB11)
- „Welche Auswirkungen erwarten Sie?“
 1. zu den bisherigen Umsetzungsmaßnahmen die weitere operative Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse (FB2)
 2. Verbesserung im Prozess: kürzere Wege, Nachvollziehbarkeit (FB4)

In Evaluierungsblock 2 wurde versucht, die Wirkung des Werkzeugs unmittelbar an der „Production Work“ zu messen. Dazu wurde zum Ersten der Ablauf der „Production Work“ von den Teilnehmern dokumentiert. Zum Zweiten wurden die Ergebnisse der „Production Work“, im Fall dieses Evaluierungsblocks, also die erstellten Seminararbeiten, ausgewertet. Dabei wurde neben der inhaltlichen Beurteilung vor allem auch auf die Konsistenz der erstellten Arbeit geachtet. Ist diese auch bei der Beteiligung mehrerer Autoren gegeben, so ist dies ein Indikator für die erfolgreiche Durchführung von „Articulation Work“. Die Arbeiten, die im Rahmen des Evaluierungsblocks 2 erstellt wurden, wurden zudem den Arbeiten eines Seminars gegenüber gestellt, in dem eine identische Aufgaben- und Themenstellung ohne Einsatz einer expliziten Unterstützung von „Articulation Work“ bearbeitet wurde.

Insgesamt wurden in Evaluierungsblock 2 10 Arbeiten erstellt, an denen 20 Teilnehmer beteiligt waren. In 8 Fällen arbeiteten jeweils 2 Teilnehmer zusammen, in je einem Fall arbeiteten 3 Personen bzw. 1 Person an der Arbeit.

Zur Auswertung der Ergebnisse der „Production Work“ wird einerseits die Gesamtbeurteilung der Arbeit auf einer Notenskala von 1 („sehr gut“) bis 5 („nicht genügend“) angegeben². Andererseits wird explizit eine Einschätzung der Qualität der Konsistenz ebenfalls auf einer Skala von 1 bis 5 angeführt. Beide Werte wurden durch den Lehrveranstaltungsleiter festgelegt, der gleichzeitig auch der Autor dieser Arbeit ist. In Tabelle 14.6 ist das Ergebnis der Beurteilung für die Durchführung in Evaluierungsblock 2 (unter Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs) dargestellt. In Tabelle 14.7 ist das Ergebnis eines inhaltlich identischen Seminars dargestellt, in dem der Ablauf nur durch den fehlenden Einsatz des Werkzeugs von dem in der ersten Tabelle dargestellten Seminar abwich.

Tabelle 14.6.: Ergebnis der „Production Work“ in Evaluierungsblock 2

Arbeit	Teilnehmer	$Note_{ges}$	$Note_{Konsistenz}$
1	2	2	2
2	2	3	4
3	2	1	1
4	1	2	1
5	2	2	2
6	2	2	3
7	2	1	1
8	3	1	1
9	2	2	3
10	2	2	2

Insgesamt konnte hinsichtlich der Konsistenz der Arbeiten bei der Durchführung des Seminars mit Unterstützung der durchgeführten „Articulation Work“ ($M = 2.0, SD = 1.05$) gegenüber jener ohne Unterstützung ($M = 2.6, SD = 1.43$) keine statistisch signifikante Verbesserung des Ergebnisses festgestellt werden (einseitiger Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben: $W = 38, p = 0.181$ ³). Auch das Gesamtergebnis ist bei Unterstützung der „Articulation Work“ ($M = 1.8, SD = 0.63$) nicht signifikant besser (einseitiger Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben: $W = 47.5, p = 0.435$) als jenes ohne Unterstützung ($M = 1.9, SD = 0.87$). In dem Seminar, das ohne Unterstützung des Werkzeugs durchgeführt wurde, zerbrach eine Gruppe aufgrund von unüberbrückbaren Meinungsverschiedenheiten. Dies war durchgängig auch in insgesamt 6 in vorhergehenden Semestern bzw. parallel durchgeführten Seminaren in jeweils 1 bis 2 von 10 bis 12

²In die Gesamtbeurteilung fließen die inhaltliche Qualität der Arbeit, deren Konsistenz („roter Faden“) sowie die Aufbereitung der Inhalte (inkl. Formulierungen und Korrektheit der Quellenreferenzierung) ein.

³Der Wilcoxon-Test musste angewandt werden, da die Stichprobe der Durchführung ohne Werkzeugunterstützung nicht normalverteilt ist (Shapiro-Wilk-Test: $W = 0.752, p < 0.005$)

Tabelle 14.7.: Ergebnis der „Production Work“ ohne Unterstützung der „Articulation Work“

Arbeit	Teilnehmer	$Note_{ges}$	$Note_{Konsistenz}$
1	2	1	1
2	2	2	3
3	2	2	3
4	2	1	1
5	2	2	4
6	2	3	4
7	1	1	1
8	1	3	4
9	2	3	4
10	2	1	1

Gruppen der Fall. In dem mit Unterstützung des hier vorgestellten Werkzeugs durchgeführten Seminar wurde keine Gruppe aufgelöst, alle Gruppen bestanden bis zum Ende des Seminars. In den 6 Seminaren ohne Werkzeugunterstützung hatten die Teilnehmer Wahlfreiheit bei der Gruppenbildung und konnten in etablierten Gruppen zusammenarbeiten. In dem Seminar mit Werkzeugunterstützung wurden die Gruppen gelöst.

In der Dokumentation der „Production Work“ durch die Teilnehmer des Evaluierungsblocks 2 wird untersucht, welche Vorgehensweise bei der Zusammenarbeit bei der Erstellung der Seminararbeit gewählt wurde. Diese wird den erstellten Modellen gegenübergestellt. Dabei wird untersucht ob die tatsächliche Vorgehensweise dem bei der Durchführung der „Articulation Work“ vereinbarten Prozedere entspricht. Zusätzlich werden etwaige Anmerkungen hinsichtlich problematischer Kooperation und Referenzen auf die Auswirkungen der „Articulation Work“ angeführt.

Arbeit 1 (Beurteilung der Konsistenz: 2) Die Teilnehmer teilten die inhaltliche Arbeit unter sich auf und arbeiten die einzelnen Blöcke eigenständig aus. Die einzelnen Teile wurden zu zwei Zeitpunkten (nach der Literaturrecherche und nach der Erstellung der Draft Version) gemeinsam konsolidiert. An die Draft-Version schloss sich eine kooperative Bearbeitung des Gesamtdokuments an, in der die Gesamtdurchgängigkeit der Arbeit sichergestellt wurde. Dieses Vorgehen stimmt mit dem in der Modellbildung vereinbarten Vorgehen überein. Hinsichtlich der Durchführung wurden keine Probleme oder Auffälligkeiten angeführt. Resümierend merken beide Teilnehmer an, dass der Großteil der inhaltlichen Arbeit individuell erfolgte und die Durchgängigkeit der Inhalte darunter litt.

Arbeit 2 (Beurteilung der Konsistenz: 4) Die Teilnehmer treffen in der Dokumentation keine explizite Aussage zur Arbeitsteilung, aus der Dokumentation des Arbeitsverlaufs geht jedoch hervor, dass das Thema inhaltlich aufgeteilt und jeweils separat bearbeitet wurde. Aus den erstellten Modellen ist grundsätzlich ein Vorgehen zu erkennen, das individuelle Teilarbeiten mit regelmäßigen Abgleichsaktivitäten spezifiziert. Eine Umsetzung dieses Vorgehensmodells konnte in der Verlaufdokumentation jedoch nicht identifiziert werden. Ein Teilnehmer beschreibt Uneinigheiten in der Ablaufplanung, die noch aufgelöst werden müssten. Der andere Teilnehmer führt retrospektiv an, dass die Arbeit von zu hoher Arbeitslast in anderen Fächern des Studiums negativ beeinflusst war.

Arbeit 3 (Beurteilung der Konsistenz: 1) Die Teilnehmer dokumentieren ein ab dem Beginn des Schreibprozesses eher separiertes Vorgehen bei der Erstellung der Seminararbeit. Die Literaturrecherche wurde inhaltlich noch nicht abgegrenzt, wurde aber von beiden Teilnehmern individuell durchgeführt. In der Modellierung wurde die Aushandlung eines konkreten Vorgehens ausgespart, vielmehr berichtete ein Teilnehmer über das Vorgehen bei einem ähnlichen Seminar im Vorjahr. Dieses Modell schien jedoch bei der konkreten Durchführung nicht mehr berücksichtigt zu werden. Bei der Erstellung übernahm ein Teilnehmer die Führung in der Zusammenstellung der einzelnen Teile. Dieser Teilnehmer dokumentiert auch eine positive Wahrnehmung der Zusammenarbeit, während der andere Teilnehmer von Kommunikationsproblemen und als ungerechtfertigt wahrgenommenen Kürzungen seiner Beiträge in der Gesamtarbeit berichtet.

Arbeit 4 (Beurteilung der Konsistenz: 1) Diese Arbeit wurde individuell von nur einem Teilnehmer erstellt. In der Dokumentation nimmt der Ersteller keinen Bezug auf das erstellte Modell, das dokumentierte Vorgehen ist jedoch kohärent mit dem bei der Modellerstellung geplanten Vorgehen.

Arbeit 5 (Beurteilung der Konsistenz: 2) Die Teilnehmer kennen einander von früheren Projekten und haben bereits zusammengearbeitet. Die Kooperation wird als problemlos bezeichnet, den inhaltlich aufgeteilten eigenständigen Arbeitsphasen folgen regelmäßig gemeinsame Konsolidierungsschritte, die Teilnehmer halten sich gegenseitig über den aktuellen Stand der Arbeit am Laufenden. Die dokumentierte Zusammenarbeit lässt auf eine stärkere Interaktion als ursprünglich in der Modellierung geplant schließen.

Arbeit 6 (Beurteilung der Konsistenz: 3) Die Teilnehmer teilten die Arbeit inhaltlich in zwei Teile und bearbeiteten diese individuell. Die Integration wurde zweimal durchgeführt (Draft Version, Finale Version), dies wurde jeweils abwechselnd von einem der Teilnehmer durchgeführt. Vor der Abgabe wurde eine gemeinsame Konsolidierung mit web-basierten Werkzeugen synchron durchgeführt. Das erstellte Modell zeigt keinen Ablaufplan, sondern gibt die inhaltliche Aufteilung der Arbeit wieder. Diese entspricht der

in der Realität vorgenommenen Aufteilung. Die Teilnehmer führen keine Auffälligkeiten in der Kooperation oder Schwierigkeiten in der Abstimmung an.

Arbeit 7 (Beurteilung der Konsistenz: 1) Die Teilnehmer teilten die Arbeit inhaltlich in zwei Teile und kommunizierten zwischen den Abstimmungsterminen ausschließlich via eMail. Dies wurde von beiden Teilnehmern als sehr produktiv wahrgenommen. Durch den häufigen Austausch war der jeweilige Status des anderen immer transparent, so dass die eigene Arbeit angepasst werden konnte und Redundanzen vermieden wurden. Bei der Modellbildung wurden die einzelnen Arbeitsschritte und eine hohe Anzahl von Meilensteinen festgelegt, die Arbeitsaufteilung wurde angesprochen, aber nicht explizit abgebildet. Interessant ist, dass die Teilnehmer die hohe Zufriedenheit mit der Zusammenarbeit und auch die hohe Qualität der Arbeit durch die seltenen Präsenztreffen und die ausführliche Kommunikation via eMail begründen.

Arbeit 8 (Beurteilung der Konsistenz: 1) Diese Gruppe bestand aus drei Teilnehmern, die zuvor noch nicht zusammengearbeitet hatten, allerdings eine parallele, wöchentliche Lehrveranstaltung gemeinsam besuchten. Aus der Dokumentation geht hervor, dass diese zu wöchentlichen Kurztreffen genutzt wurden, die der Abstimmung des Arbeitsfortschritts und der nächsten Schritte diente. Die Arbeit wurde inhaltlich aufgeteilt und weitgehend individuell ausgearbeitet. Das Modell enthielt einen Ablaufplan ohne dezidierte Zuteilung der Zuständigkeiten, die Umsetzung des Ablaufplans konnte aus der Verlaufsdokumentation jedoch nicht bestätigt werden. Zum inhaltlichen Austausch wurde eMail in hoher Frequenz verwendet. Die finale Konsolidierung erfolgte sequentiell durch die einzelnen Teilnehmer. Die Zusammenarbeit wurde als äußerst professionell und produktiv empfunden. Auftretenden Unklarheiten wurden unmittelbar und rasch aufgelöst, es wurden keine Meinungsverschiedenheiten dokumentiert.

Arbeit 9 (Beurteilung der Konsistenz: 3) Die Arbeit wurde von den beiden Teilnehmern wiederum inhaltlich in zwei Teile geteilt, die getrennt voneinander individuell bearbeitet wurden. Die Teilnehmer dokumentierten intensiven Mailkontakt während der Phase der Draft-Erstellung, in dem das weitere Vorgehen abgestimmt wurde. Die Zusammenführung der Inhalte wurde von jeweils einem der Teilnehmer durchgeführt. Das während der Aushandlung erstellte Prozessmodell dokumentierte ein Vorgehensmodell, in dem parallele individuelle Arbeitsphasen durch kooperative Abstimmungsschritte ergänzt wurden. Dieses Vorgehen kann im dokumentierten Arbeitsprozess nicht identifiziert werden, vielmehr wurde ad-hoc via eMail abgestimmt, die expliziten gemeinsamen Konsolidierungsphasen entfielen. Insgesamt wurde die Zusammenarbeit von beiden Teilnehmern als angenehm bezeichnet, wenngleich das Endergebnis als nicht vollkommen zufriedenstellend empfunden wurde.

Arbeit 10 (Beurteilung der Konsistenz: 2) Die Teilnehmer versuchten, die Arbeit während der Literaturrecherche inhaltlich getrennt zu bearbeiten. Sie erkannten, dass dies aufgrund der starken gegenseitigen Abhängigkeiten in ihrer Themenstellung nicht möglich war und erstellten die folgenden Inhalte weitgehend kooperativ. Die einzelnen Teile wurden zwar individuell erstellt, jedoch erfolgte eine eher feingranulare Aufteilung und ein kontinuierliches gegenseitiges Korrigieren der Beiträge des jeweils anderen Teilnehmers. Das Modell enthielt in der ersten Phase eine strikte Aufteilung nach inhaltlichen Kriterien mit Konsolidierungsphasen vor den Meilensteinen (Draft Version und Finale Version). In der zweiten Anwendung des Werkzeugs wurde das Vorgehen von den Teilnehmer modifiziert und an eine vorwiegend kooperative Vorgehensweise angepasst. Die Zusammenarbeit wurde von beiden Teilnehmern als angenehm und produktiv wahrgenommen, wobei ein Teilnehmer dies explizit als „möglicherweise auf die Anwendung des Werkzeugs zurückzuführen“ bezeichnete.

Diskussion

Die Ergebnisse der Benutzerbefragung in Evaluierungsblock 4 zeigen keinen signifikanten Hinweis auf eine positive oder negative Wirkung des Werkzeugs auf die jeweils behandelten Arbeitsprozesse. Durch den fehlenden Vergleich mit Abstimmungsprozessen, die ohne Einsatz des Werkzeugs durchgeführt wurden, kann nicht entschieden werden, ob dies an den behandelten Problemstellungen bzw. Arbeitsumfeld oder am Werkzeug liegt. Eine vergleichende Studie konnte aufgrund der geringen Anzahl an zur Verfügung stehenden Teilnehmern nicht durchgeführt werden.

In der Auswertung der offenen Fragen zeigt sich, dass Wirkungen des Werkzeugs eher auf die individuelle Verständnisbildung wahrgenommen wurden (siehe auch Abschnitt 14.3.2), Veränderung in den Arbeitsprozessen selbst aber nicht als Konsequenz der Werkzeuganwendung festgestellt wurden. Beide Untersuchungsteile aus Evaluierungsblock 4 stützen damit die Hypothese nicht.

Auch die in Evaluierungsblock 2 durchgeführte Auswertungen der „Production Work“ und deren Ergebnisse konnte keine signifikante Verbesserung durch den Einsatz des Werkzeugs identifizieren. Zwar konnte ein tendenziell besseres Ergebnis bei der Konsistenz der untersuchten Arbeiten gegenüber einer Kontrollgruppe ohne Einsatz des Werkzeugs festgestellt werden, aufgrund der geringen Stichprobe ist der Unterschied jedoch nicht statistisch signifikant. Auch die höhere Stabilität der Gruppen bei Einsatz des Werkzeugs gegenüber Kontrollgruppen ohne Einsatz des Werkzeugs kann zwar qualitativ festgestellt werden, ist jedoch wiederum nicht statistisch signifikant.

In der Auswertung der dokumentierten Arbeitsprozesse ist zu erkennen, dass ein gutes Ergebnis der Zusammenarbeit hauptsächlich auf starke Interaktion während der Ausarbeitung zurückzuführen ist, die Anwendung des Werkzeugs jedoch keine nennenswerten Auswirkung hatte. Lediglich ein Teilnehmer führte die erfolgreiche Zusammenarbeit auf

die Anwendung des Werkzeugs zurück. Auch dieser Untersuchungsteil stützt die Hypothese nicht, wenngleich auch hier wieder Indikationen für eine Wirkung des Werkzeugs in Einzelfällen zu identifizieren sind.

Insgesamt kann die Hypothese auf Basis der durchgeführten Untersuchungen nicht bestätigt werden. Einige Indikatoren in den durchgeführten Untersuchungen deuten auf eine positive Wirkung des Werkzeugs hin, diese sind jedoch nicht statistisch signifikant oder in einem Ausmaß aufgetreten, in dem von einem systematisch erkennbaren Nutzen gesprochen werden kann. Es sind jedoch in keinem Fall negative Auswirkungen des Einsatzes des Werkzeugs zu identifizieren. Zu hinterfragen ist, ob die eingesetzten Untersuchungsansätze in der durchgeführten Form geeignet sind, die Hypothese zu prüfen. Die gewählten konkreten Anwendungsszenarien hatten zwar jeweils Relevanz im konkreten Arbeitsumfeld, in keinem Fall war aber eine als urgent wahrgenommene problematische Situation der Auslöser der Situation. Vielmehr wurden latent problematische Situationen behandelt, deren Auflösung durch die Durchführung expliziter „Articulation Work“ bei erfolgreicher Durchführung nur beschränkte Auswirkungen auf das konkrete Arbeitsumfeld hätte haben können. Es wird in weiteren, langfristigeren Studien mit größeren Stichproben zu untersuchen sein, in wie weit das Werkzeug bei der Auflösung konkreter, als urgent wahrgenommenen Situationen zum Einsatz gebracht werden kann und ob in diesen eine Wirkung festgestellt werden kann.

Ergebnis

Die Hypothese 15 kann auf Basis der durchgeführten Untersuchung nicht bestätigt werden. Sowohl die Ergebnisse der Benutzerbefragung in Evaluierungsblock 4 als auch die Auswertung der durchgeführten „Articulation Work“ in Evaluierungsblock 2 zeigen keine signifikanten (positiven oder negativen) Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse, die Gegenstand der „Articulation Work“ waren. Zwar sind einige Kommentare zu identifizieren, die auf eine unterstützende Wirkung hinweisen, für eine endgültige Aussage ist aber eine weiterführende Untersuchung mit größeren Stichproben und umfangreicherer Dokumentation des Durchführungskontext notwendig.

14.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Evaluierung der „Articulation Work“, die durch das Werkzeug unterstützt wurde, beschrieben. Dazu wurden zwei Hypothesen aus der globalen Zielsetzung abgeleitet, die die unmittelbare Wirkung von „Articulation Work“ auf die beteiligten Individuen sowie die „Production Work“, die jeweils Gegenstand der „Articulation Work“ war, beschreiben. Das Werkzeug selbst sowie die am Werkzeug eingesetzte Methodik wurden in den voran gegangenen Kapiteln 12 und 13 beschrieben.

Die erste in diesem Kapitel betrachtete Hypothese (Hypothese 14) bildet die grundlegende Wirkung der Durchführung von „Articulation Work“ auf die beteiligten Individuen ab. Zu erwarten ist eine Abstimmung der individuellen Sichtweisen auf die „Production Work“ und die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses, das die Kooperation im Arbeitsprozess ermöglicht bzw. erleichtert. Die Wirkung des Werkzeugs auf eben diese Arbeitsprozesse ist Gegenstand der zweiten betrachteten Hypothese (Hypothese 15). Zu erwarten ist, dass die Durchführung von expliziter „Articulation Work“ wahrnehmbare Auswirkungen auf die Durchführung der „Production Work“, also den Arbeitsablauf hat.

Zur Untersuchung wurden lediglich die Evaluierungsblöcke 2 und 4 herangezogen. In diesen war die Aufgabenstellung im Gegensatz zu den übrigen Evaluierungsblöcken stärker auf eine unmittelbare Abbildung konkreten Abläufen in der „Production Work“ ausgerichtet, was eine Prüfung der Hypothesen erleichterte. Für die Prüfung der Hypothese 14 wären grundsätzlich auch die Evaluierungsblöcke 3 und 5 geeignet gewesen, die entsprechenden Untersuchungen konnten jedoch aus Ressourcen Gründen nicht durchgeführt werden.

Hypothese 14 kann auf Basis der Untersuchung bestätigt werden. Sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Daten der Benutzerbefragung stützen die Hypothese und sprechen für deren Annahme. In der Auswertung der durchgeführten Modellbildungen zeigte sich keine signifikante Häufung von die Hypothese stützendem Umgang mit unterschiedlichen Sichtweisen. Auffällig häufig wurden die Aspekte, in denen unterschiedliche Sichtweisen herrschten, nicht weiter angesprochen und im Modell ausgespart. Dieses Verhalten bedarf weiterführenden Untersuchungen bzw. der Entwicklung von methodischen Ansätzen, die die Auflösung von derartigen Situationen erleichtern bzw. bestärken.

Die Hypothese 15 kann auf Basis der durchgeführten Untersuchung hingegen nicht bestätigt werden. Sowohl die Ergebnisse der Benutzerbefragung in Evaluierungsblock 4 als auch die Auswertung der durchgeführten „Articulation Work“ in Evaluierungsblock 2 zeigen keine signifikanten (positiven oder negativen) Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse, die Gegenstand der „Articulation Work“ waren. Zwar sind einige Kommentare zu identifizieren, die auf eine unterstützende Wirkung hinweisen, für eine endgültige Aussage ist aber eine weiterführende Untersuchung mit größeren Stichproben und umfangreicherer Dokumentation des Durchführungskontext notwendig.

Insgesamt konnte damit in diesem Kapitel gezeigt werden, dass das Werkzeug seine Zielsetzung im Sinne der Durchführung von „Articulation Work“, nämlich die Abstimmung der individuellen Sichtweisen auf einen Arbeitsablauf erreichen konnte. Dass trotzdem keine messbare Wirkung auf die eigentliche „Production Work“ zu identifizieren war, schränkt die positive Beurteilung der Wirksamkeit des Werkzeugs teilweise ein. Die Gründe dafür können einerseits in der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methodik und dem zugehörigen Werkzeug zu finden sein, andererseits kann auch die Durchführung der empirischen Untersuchung selbst – und dabei vor allem die Wahl der Anwendungsfälle – die Messbarkeit der Wirkung wie oben beschrieben negativ beeinflusst haben. In

weiteren Untersuchungen wird diese Vermutung zu klären und die tatsächliche Wirkung des Werkzeugs auf die betrachteten Arbeitsabläufe zu zeigen sein.

14.4.1. Beitrag zur globalen Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt die Untersuchung der Wirkung der unter Einsatz des Instruments durchgeführten „Articulation Work“ dar und trägt so hinsichtlich der in Kapitel 1 argumentieren und in den Kapiteln 2 und 3 näher ausgeführten zu untersuchenden Aspekte zur Beantwortung der Fragestellung 6 („Ermöglicht das Instrument die effektive Durchführung von expliziter Articulation Work?“) bei. Die Ergebnisse zeigen eine Wirkung des Instruments auf die Abstimmung der mentalen Modelle zwischen den beteiligten Individuen, konnten aber keine signifikante Wirkung auf die behandelten Arbeitsabläufe nachweisen. Die Ergebnisse bestätigen so teilweise die effektive Unterstützung expliziter „Articulation Work“ durch das hier vorgestellte Instrument.

14.4.2. Weitere Verwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Kapitels werden in ihrer Gesamtheit erst in den Schlussbetrachtungen (Kapitel 15) wieder aufgegriffen und dienen dort der abschließenden Beurteilung der Erreichung der globalen Zielsetzung.

15. Schlussbetrachtungen

In diesem Kapitel werden die Inhalte der gesamten Arbeit zusammengefasst, die Ergebnisse zusammengeführt und einander gegenübergestellt. Ziel dieses Kapitels ist es, letztendlich zu einer Beurteilung der Arbeit hinsichtlich Erfüllung der globalen Zielsetzung zu gelangen. Die Darstellung von weiterem Entwicklungspotential des Werkzeugs schließt die Arbeit ab.

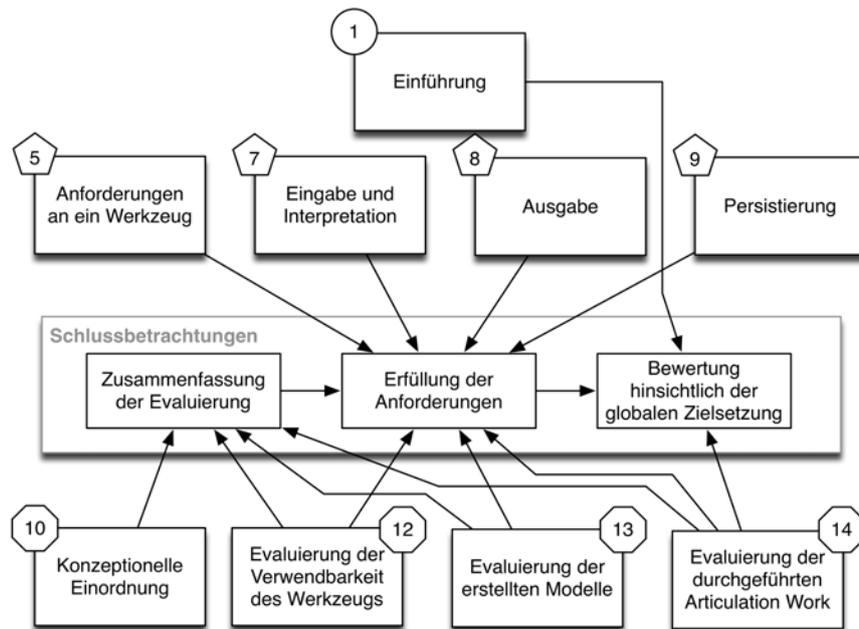


Abbildung 15.1.: Kapitel „Schlussbetrachtungen“ im Gesamtzusammenhang

Abbildung 15.1 zeigt die Kapitel, deren Ergebnisse in dieses Kapitel einfließen. Die einzelnen Inhalte werden schrittweise einander strukturiert gegenüber gestellt, was eine Beurteilung der Zielerreichung auf jeder Betrachtungsebene der Arbeit (Fragestellungen der empirischen Untersuchung, Anforderungen an das Werkzeug, Globale Zielsetzung) ermöglicht. Nach einer Darstellung der gesamten dieser Arbeit zugrundeliegenden Konzepte und deren Zusammenhang in der Arbeit in Abschnitt 15.1 werden die einzelnen oben genannten Betrachtungsebenen in umgekehrter Reihenfolge als in der

Arbeit dargestellt (also vom Konkreten zum Allgemeinen) einzeln beschrieben. Nach einer Zusammenfassung der Evaluierungsergebnisse und einer Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der konzeptuellen Einordnung in Abschnitt 15.2 werden diese in Abschnitt 15.3 den in Kapitel 5 angeführten Anforderungen an das Werkzeug gegenübergestellt. Im letzten Schritt werden die erreichten Ergebnisse hinsichtlich der globalen Zielsetzung bewertet (siehe Abschnitt 15.4). Auf Basis dieser Ausführungen ist es in Abschnitt 15.5 möglich, die noch offenen Aspekte dieser Arbeit und weiteres Entwicklungspotential zu identifizieren.

15.1. Zusammenfassung der Argumentation

In Kapitel 1 wurde in Abbildung 2.2 die dieser Arbeit zugrunde liegende Konzeptualisierung von Arbeit in „Production Work“ und „Articulation Work“ dargestellt. Auf Basis der Ausführungen in den dazwischen liegenden Kapiteln kann diese Abbildung wie in Abbildung 15.2 dargestellt erweitert werden und stellt so die gesamten konzeptuellen Grundbegriffe im Zusammenhang dieser Arbeit dar. Eine detailliertere Betrachtung der Ergebnisse unter Einbeziehung der tatsächlich umgesetzten technischen Unterstützung und den Ergebnissen der empirischen Evaluierung wird in Abschnitt 15.4 durchgeführt.

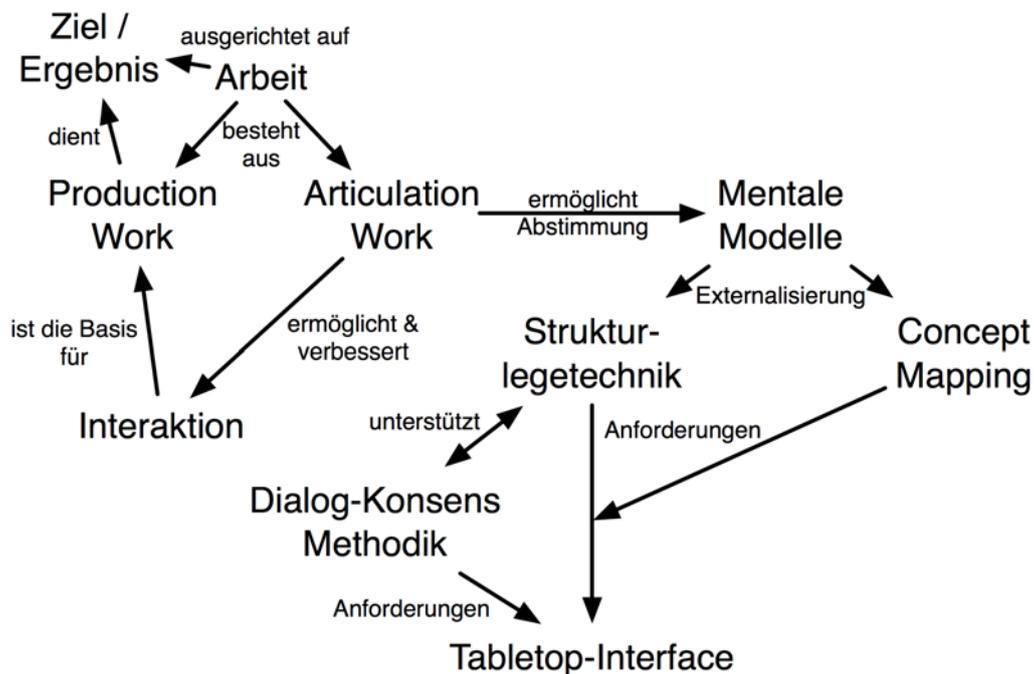


Abbildung 15.2.: Gesamtzusammenhang der verwendeten Konzepte

Das Ziel dieser Arbeit ist die Unterstützung der Auflösung von Situationen, in denen produktive Arbeit nicht (mehr) möglich ist. Dies ist dann der Fall, wenn den beteiligten Individuen unklar ist, wie die Zielerreichung gewährleistet werden kann. Diese Arbeit basiert auf der Annahme, dass Interaktion zwischen Individuen immer ein wesentlicher Aspekt bei der Durchführung von Arbeit ist. Arbeit enthält deshalb auch immer Aktivitäten, die mit der Herstellung und Aufrechterhaltung der Interaktion der beteiligten bzw. betroffenen Individuen beschäftigt sind. Dieser Arbeitsanteil wird als „Articulation Work“ bezeichnet.

Jedes beteiligte Individuum entwickelt auf Basis früherer Erfahrungen oder Lernprozessen Erklärungsmodelle (oder „Mentale Modelle“) für adäquate Aktivitäten bzw. Reaktionen im betreffenden Arbeitsablauf. Wesentlich für die erfolgreiche Interaktion mehrerer Individuen in einem Arbeitsablauf ist die Abstimmung dieser Erklärungsmodelle und die Entwicklung einer gemeinsamen Sichtweise auf jenen Teil des Arbeitsablaufs, in dem zusammengearbeitet werden muss. Diese Abstimmungsprozesse laufen unbewusst immer ab, wenn Individuen interagieren. In bestimmten, als komplex oder problematisch wahrgenommenen Arbeitssituationen reicht die implizite Abstimmung nicht mehr aus – es ist notwendig, „Articulation Work“ explizit anzustoßen und den Abstimmungsvorgang bewusst zu unterstützen.

Ein wesentlicher Schritt zur Abstimmung mentaler Modelle ist deren Externalisierung, also deren Abbildung in einer kommunizierbaren Form. Dazu werden unterschiedliche Methoden vorgeschlagen, denen gemein ist, dass die Abbildung in Form diagrammatischer Modelle erfolgt. In der konkreten Umsetzung unterscheiden sich die beiden hier betrachteten Methoden „Strukturlegetechnik“ und „Concept Mapping“ voneinander, bieten aber beide Vorteile bei der Unterstützung der für „Articulation Work“ wichtigen Kommunizierbarkeit mentaler Modelle. In dieser Arbeit werden deshalb diese beiden Ansätze in einer Methodik zusammengeführt, die an die im Rahmen von Strukturlegetechniken vorgeschlagene „Dialog-Konsens-Methodik“ angelehnt ist, in der konkreten Ausführung aber eher der in Concept Mapping vorgeschlagenen Offenheit sowohl des Inhalts als auch der Ausgestaltung des Vorgehens folgt.

Generell hat bei der Konzeption der Werkzeugunterstützung der bei Strukturlegetechniken vorgeschlagene Ansatz das Primat, weil in ihm die kooperative Durchführung der Modellbildung explizit vorgesehen ist, was der Abstimmung mentaler Modelle eher entgegenkommt, als der grundsätzlich eher individuell orientierte Concept-Mapping-Ansatz. Letztendlich wird also in dieser Arbeit der durch Strukturlegetechniken vorgeschlagene Ansatz der physischen, kooperativen Abbildung von Modellen verfolgt, weshalb die Abbildung der Modelle im physischen Raum, konkret auf eine kooperativ zugreifbare Tischoberfläche, erfolgt. Die Berücksichtigung der Anforderungen des Concept Mapping begründet letztendlich die Notwendigkeit der Hinterlegung der physischen Modellierungsmöglichkeit mit computergestützten Werkzeugen. Um den Anspruch der physischen, kooperativen Modellbildung mit den computergestützten Unterstützungswerkzeugen zu

vereinen, wird zur technologischen Umsetzung des Werkzeugs ein „Tabletop Interface“ verwendet, in dem beide Aspekte berücksichtigt und verknüpft werden können.

15.2. Zusammenfassung der Evaluierung

In diesem Abschnitt wird die in den Kapiteln 11, 12, 13 und 14 beschriebene empirische Untersuchung zusammengefasst und den Ergebnissen der konzeptuellen Einordnung in Kapitel 10 gegenübergestellt.

15.2.1. Empirische Untersuchung

In der empirischen Untersuchung waren folgende in Kapitel 11 formulierte Untersuchungsfragen zu beantworten:

- Sind das Werkzeug und dessen Komponenten verständlich und wie intendiert einsetzbar? (Untersuchungsgegenstand: Verwendbarkeit des Instruments)
- Unterstützt das Instrument die kooperative Modellbildung? (Untersuchungsgegenstand: Kooperative Modellbildung)
- Unterstützt das Instrument „Articulation Work“? (Untersuchungsgegenstand: Wirkung der „Articulation Work“)

Jede dieser Fragen wurde in einem separaten Kapitel bearbeitet. Die Untersuchungsfragen wurden in Hypothesen konkretisiert, die den jeweiligen Untersuchungsgegenstand in Bezug zu den aus den konzeptuellen Grundlagen abgeleiteten Anforderungen an die Unterstützung von „Articulation Work“ stellen.

Verwendbarkeit des Instruments Bei der Betrachtung der ersten Untersuchungsfrage wurden 8 Hypothesen geprüft, die die grundlegenden Anforderungen an das Werkzeug abdecken bzw. die Verständlichkeit und Verwendbarkeit der implementierten Funktionen testen. Insgesamt ist das Werkzeug für den intendierten Verwendungszweck – der kooperativen Erstellung von diagrammatischen Modellen – in unterschiedlichen Anwendungsgebieten einsetzbar. Stabilitätsprobleme in der technischen Umsetzung führten in den ersten Phasen der Evaluierung zu Behinderungen bei der Modellbildung, was jedoch durch nachträglich durchgeführte Verbesserungen weitgehend kompensiert werden konnte. Herausforderungen zeigten sich im Interaktionsdesign der über die Kernfunktionalität hinausgehenden Funktionen zur Unterstützung des Modellbildungsprozesses. Die aus der Literatur begründbare Funktion zur Verfolgung der Modellierungshistorie und der Wiederherstellung vergangener Modellzustände wurde kaum genutzt. Auch die Verwendung der Funktion zur Entfernung von unerwünschten Verbindern im Modell war den Benutzern in der ersten Version unverständlich. Dieses Problem konnte durch

ein Redesign des entsprechenden Teilwerkzeugs und dessen Bedienung beseitigt werden. Generell ist das Werkzeug schnell erlernbar, so dass die Anzahl der Fehlbedienungen durch Missverständnisse bereits bei der zweiten Anwendung des Werkzeugs durch die Benutzer massiv reduziert bzw. nicht mehr vorhanden war. Die oben formulierte Frage kann also mit Vorbehalten positiv beantwortet werden. Generell ist das Werkzeug wie intendiert einsetzbar und zum Großteil verständlich, einige Komponenten weisen jedoch Defizite in der Verständlichkeit auf.

Kooperative Modellbildung Für die zweite Untersuchungsfrage wurden 5 Hypothesen geprüft, die sich auf die Verwendung der Werkzeugs zur Modellbildung im Sinne der vorgeschlagenen Methodik zur Unterstützung von „Articulation Work“ beziehen. Insgesamt ist das Werkzeug zwar nur eingeschränkt für die allgemeine Abbildung von Modellen beliebigen Inhalts und beliebiger Semantik geeignet. Seinem Verwendungszweck für die auf Modellen basierende Kommunikation und Abstimmung von individuellen Sichtweise genügt das Werkzeug jedoch. Die eingeschränkte Eignung für die Abbildung beliebiger Modelle liegt vor allem in der beschränkten Größe der Modellierungsoberfläche begründet, für die die Möglichkeit zur Einbettung von Teilmodellen keinen adäquaten Ersatz darstellt. Zudem wurde in Einzelfällen die in der aktuellen Hardware-Implementierung vorhandene Beschränkung auf drei semantisch unterschiedliche Modellelementtypen einschränkend wahrgenommen, was ebenfalls dem Anspruch eines semantisch vollständig offen Modellierungswerkzeugs widerspricht. Dies ist insofern zu relativieren, als dass die Anzahl der Elementtypen in den meisten Fällen zur Kommunikation der individuellen Sichtweisen ausreichend war und lediglich in Fällen zu gering wahrgenommen wird, wo eine „vollständige“ Abbildung eines Sachverhaltes angestrebt wurde. Generell ist das Werkzeug deshalb bei der Modellierung für den intendierten Verwendungszweck in einem Großteil der Anwendungsfälle geeignet.

Wirkung der Articulation Work In der dritten Untersuchungsfrage wurde letztendlich geprüft, ob das Werkzeug im Sinne der globalen Zielsetzung tatsächlich „Articulation Work“ unterstützt. Dazu wurden 2 Hypothesen gebildet, die die zu erwartenden Wirkungen erfolgreicher „Articulation Work“ abdecken. Die unmittelbare Wirkung der Durchführung von „Articulation Work“ ist die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses über den betrachteten Arbeitsgegenstand. Diese Wirkung konnte in der Untersuchung nachgewiesen werden, das Werkzeug erfüllt also diesen Teil der Anforderungen. Mittelbar sollte die Durchführung von „Articulation Work“ auch Auswirkungen auf die betrachteten Arbeitsabläufe selbst haben und die Interaktion im Idealfall verbessern. Derartige Wirkungen konnten jedoch in der Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Einige Beobachtungen in Einzelfällen weisen auf eine entsprechende Wirkung hin, insgesamt können diese aber nicht generalisiert werden. Ob die nicht nachweisbare Wirkung am Werkzeug selbst festzumachen ist oder die in der Untersuchung betrachteten Ar-

beitsabläufe nicht optimal gewählt wurden, wird in weiteren Untersuchung zu prüfen sein.

15.2.2. Gegenüberstellung der empirischen und konzeptuellen Untersuchung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung den in in Abschnitt 10.13.2 angeführten Konsequenzen für die Werkzeuggestaltung aus dessen konzeptueller Untersuchung gegenübergestellt.

In Kapitel 10 wurde das Werkzeug im Vorfeld der praktischen Untersuchung in die in Abschnitt 6.4 beschriebenen Frameworks zur Beschreibung von Tangible Interfaces eingeordnet. Daraus konnte in jenen Fällen Verbesserungspotential für das Werkzeug abgeleitet werden, in denen die tatsächliche Umsetzung einer Funktionalität des Werkzeugs nicht mit den konzeptuell begründbaren Designentscheidung übereinstimmte. In diesem Abschnitt wird nun angeführt, in welchen Fällen das Verbesserungspotential, d.h. im Umkehrschluss eine Schwäche der aktuellen Implementierung, in der empirischen Untersuchung bestätigt werden konnte. Die Ergebnisse erlauben eine qualitative Aussage über die Eignung der betrachteten Frameworks für die Konzeption von Tangible Interfaces.

Missverständlichkeit des Löschtokens

Die ursprüngliche Konzeption des Löschtokens zeigte eine Diskrepanz zwischen dessen wahrgenommener Verwendung und dem tatsächlichen Vorgehen bei dessen Einsatz. Diese Schwäche konnte aus mehreren Frameworks abgeleitet werden, da bei konsistenter Anwendung derselben das Interaktionsdesign anders als tatsächlich umgesetzt hätte ausfallen müssen.

Tatsächlich konnte die Mißverständlichkeit der Löschtokens in der empirischen Untersuchung bestätigt werden (siehe Abschnitt 12.3.8). Nach einem Redesign der Verwendung des Löschtokens unter Berücksichtigung der konzeptuell indizierten Gestaltungskriterien traten keine Missverständnisse mehr auf, das Ausmaß des Einsatzes stieg signifikant an.

Schwache Ein-Ausgabe-Kopplung bei der Modellierungshistorie

Nach der Aktivierung der Modellierungshistorie wird diese ausschließlich durch ein Werkzeug auf der Modellierungsoberfläche kontrolliert. Die Ausgabe erfolgt jedoch ausschließlich auf dem sekundären Ausgabekanal, auf der Tischoberfläche erfolgt kein visuelles Feedback, weder über die Aktivierung des Historienmodus noch über deren aktuellen Zustand (konkret die aktuelle Position in der Zeitlinie). Nach Ullmer und Ishii (2000) ist diese schwache Kopplung zu hinterfragen.

In der empirischen Untersuchung konnte dieser Aspekt nicht als Schwachstelle bestätigt werden. Die Entkopplung von Kontrolle und Ausgabe in diesem Anwendungsfall wurde von keinem Teilnehmer als missverständlich wahrgenommen und führte auch nie zu Fehlbedienungen. Dies mag daran liegen, dass der sekundäre Ausgabekanal räumlich nahe an der Tischoberfläche angeordnet war und von vielen Teilnehmern bei der Modellerstellung ohnehin als primäre Informationsquelle – noch vor der Tischoberfläche selbst – genutzt wurde. Erst bei der Diskussion verlagerte sich der Fokus der Aufmerksamkeit hin zu dem auf der Tischoberfläche gelegten Modell. Die von der herkömmlichen Interaktionsform mit Maus und Tastatur vertraute entkoppelte Ein- und Ausgabe hat in diesem Fall Bedienungsprobleme vermieden. Dass keine Desorientierung der Benutzer beim Wechsel in den Historienmodus auftrat, ist damit zu begründen, dass der sekundäre Ausgabekanal permanent aktiv war, den Modellzustand immer synchron darstellte und deshalb, wie oben erwähnt, oft ohnehin als primärer Informationskanal genutzt wurde.

Lange Antwortzeiten auf Interaktionen

In der ersten Implementierung des Systems kam es vor allem bei der Interaktion zur Herstellung von Verbindern zu Verzögerungen in der Reaktion des Systems. Diese Verzögerungen sollten nach Bellotti et al. (2002) vermieden werden, um den Benutzern adäquat Rückmeldung über deren Interaktionswunsch geben zu können.

In der empirischen Untersuchung konnte diese Schwachstelle bestätigt werden. Die Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern wurde in der ursprünglichen Implementierung kaum genutzt. Erst als eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern implementiert wurde, deren wahrgenommener Reaktionszeit geringer war, wurde diese Möglichkeit in signifikant höherem Ausmaß genutzt (siehe Abschnitt 12.3.7).

Fehlende einfache Undo-Funktion

Die Möglichkeit zur Wiederherstellung von vergangenen Modellzuständen ("Undo") ist in der aktuellen Implementierung zwar gegeben, bedingt aber eine zeitaufwändige und in mehreren Schritten durchzuführende Interaktion mit dem System. Dies sollte nach Bellotti et al. (2002) vermieden werden, auch das Schema von Shaer et al. (2004) lässt hier Inkonsistenzen mit den den ansonsten ausschließlich in einem Bedienungsschritt ausführbaren Interaktionen mit dem Werkzeug erkennen.

In der empirischen Untersuchung wurde die Möglichkeit zur Wiederherstellung zwar verwendet, das Ausmaß des Einsatzes sank aber signifikant, als das Löschtaken neu gestaltet wurde und so eine einschrittige Interaktion zur Korrektur von fehlerhaften Verbindungen (dem häufigsten Grund des Einsatz der Undo-Funktion) geschaffen wurde. Die Gestaltung der Wiederherstellungsfunktion kann damit als Schwachstelle bestätigt werden.

Mangelnde Verständlichkeit des Snapshot-Tokens

Das Design des Snapshot-Tokens weist in der derzeitigen Umsetzung nicht auf dessen Funktion hin, was bei einer Einordnung in die Taxonomie nach Fishkin (2004) gegenüber den anderen Werkzeugen inkonsistent ist. Das Token suggeriert zwar nicht wie im Fall des Löschtokens eine andere Funktionalität, gibt aber den Benutzern durch sein Erscheinungsbild keinen Hinweis auf die Verwendung (mangelhafte Affordances (Norman, 1990)).

Tatsächlich zeigt sich in der empirischen Untersuchung, dass die Funktion zur expliziten Erfassung von Snapshots kaum bzw. in den meisten Anwendungen nicht verwendet wird. Trotz einer erklärenden Einführung in das Werkzeug vor der Modellbildung bestehen häufig Unklarheiten zur Verwendung des Tokens, sobald Benutzer während der Anwendung damit konfrontiert werden. Auch diese Designentscheidung ist damit als Schwachstelle zu bestätigen.

Funktional belegte Bereich der Modellierungsoberfläche

Der hier beschriebene Aspekt ist keine Schwachstelle des Werkzeugs sondern eine Erweiterungsmöglichkeit, die auf Basis der Ausführungen von Ishii und Ullmer (1997) identifiziert wurde. Die Autoren schlagen vor, Teile der Interaktionsoberfläche („Trays“) mit Funktionen zu belegen, die eine bestimmte Operation auf einem auf ihm platzierten Token ausführen (etwa: „Details anzeigen“). Bei der Umsetzung des Werkzeugs wurde diese Möglichkeit nicht berücksichtigt, es sind jedoch sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten denkbar.

In der empirischen Untersuchung wurden derartige Funktionen von keinen Benutzern erwartet oder gefordert. Da diese Form der Interaktion aber nicht der gängigen Desktop-Metapher entspricht, ist dies auch nur eingeschränkt zu erwarten. Es kann damit auf Basis der Untersuchung keine Aussage über die Notwendigkeit oder Sinnhaftigkeit einer derartigen Erweiterung getroffen werden.

Verwendbarkeit frei wählbarer Tokens

Zur Anpassung des Modellierungswerkzeugs an die jeweilige Anwendungsdomäne führt Holmquist et al. (1999) als Möglichkeit die Verwendung von domänenspezifischen Token an. Diese Forderung ist grundsätzlich mit den Ansprüchen der semantischen Offenheit des Werkzeugs und der domänenübergreifenden Anwendbarkeit des Ansatzes vereinbar und stützt diese. In der derzeitigen Implementierung ist die Zahl der unterschiedlichen Modellelementtypen auf drei begrenzt. Diese Elementtypen sind in generischen Formen ausgeführt und per se nicht intuitiv domänenspezifisch interpretierbar.

In der empirischen Untersuchung wurde mehrfach die Forderung nach einer höheren Anzahl von unterschiedlichen Elementtypen geäußert, was aber die hier betrachtete Erweiterungsmöglichkeit nur am Rande betrifft (die Verwendung beliebiger Elementtypen erhöht zwar deren Anzahl, umgekehrt impliziert die Forderung nach mehr Elementtypen nicht jene nach beliebigen Ausprägungen derselben). Tatsächlich wurde aber in einigen Anwendungen explizit der Wunsch geäußert, Objekt aus dem spezifischen Anwendungsfall (etwa Dokumente oder Werkzeuge) als Tokens verwenden zu können. Dies entspricht im Wesentlichen der oben beschriebenen Erweiterungsmöglichkeit, weshalb diese als sinnvoll erachtet werden kann.

Zusammenfassung

Die in der konzeptuellen Einordnung des Werkzeugs identifizierten Inkonsistenzen im Design und Verbesserungspotentiale konnten in der empirischen Untersuchung großteils bestätigt werden. In jenen Fällen, in denen die konzeptuell identifizierten Lösungsmöglichkeiten in der Praxis umgesetzt wurden, zeigte sich auch jeweils eine Verbesserung der Verständlichkeit bzw. der Bedienbarkeit des Werkzeugs.

Insgesamt erschienen die Ansätze von Bellotti et al. (2002), Shaer et al. (2004) und Fishkin (2004) als geeignet für den Einsatz im Design von begreifbaren Benutzungsschnittstellen. Während Bellotti et al. (2002) allgemeine Richtlinie für die Gestaltung von Benutzungsschnittstellen vorschlägt, ohne konkret auf Tangible Interfaces einzugehen, fokussieren Shaer et al. (2004) und Fishkin (2004) explizit auf dieses Gebiet. Dabei eignet sich die Arbeit von Shaer et al. (2004) insbesondere für die Gestaltung der Interaktionsabläufe an der Benutzungsschnittstelle und deren konkrete Werkzeugunterstützung zu eignen. Die Arbeit von Fishkin (2004) erlaubt hingegen die Beurteilung der Konsistenz der Bedienkonzepte und ermöglicht so die Identifikation von möglicherweise missverständlichen Aspekten bei der Bedienung der Schnittstelle (siehe dazu auch (Oppl, 2009b)).

15.3. Erfüllung der Anforderungen an das Werkzeug

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 5 formulierten Anforderungen an das Werkzeug hinsichtlich ihrer Erfüllung betrachtet. Die Beurteilung der Erfüllung erfolgt anhand der empirischen Ergebnisse, die in den Kapiteln 12, 13 und 14 beschrieben wurden.

Anforderung 1

Anforderung 1 („Physische Abbildung beliebiger diagrammatischer Modelle“) wurde in den Hypothesen 1, 5 und 6 untersucht. Die grundlegende Abbildung diagrammatischer Modelle mit dem Werkzeug ist ohne Einschränkung der Anwendungsdomäne möglich.

Bei der Untersuchung des Prozesses der physischen Abbildung der Modelle konnten in den ersten durchgeführten Evaluierungsblöcken behindernde Aspekte identifiziert werden. Diese hatten Einfluss auf die Abbildung der Modelle, insbesondere die Möglichkeit des Einsatzes von Verbindern im Modell wurde nur eingeschränkt wahrgenommen.

Nach Überarbeitungen des Interaktionsdesigns und der Implementierung mehrerer Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit gegenüber Fehlerkennungen von Benutzereingaben konnten die als behindernd wahrgenommenen Faktoren reduziert werden. Bei mehrmaliger Verwendung des Werkzeugs zeigt sich eine Verbesserung des Umgangs mit den zur Verfügung gestellten Ausdrucksmöglichkeiten und eine stärkere Fokussierung auf den zu repräsentierenden Sachverhalt. Insgesamt kann diese Anforderung als erfüllt angesehen werden.

Anforderung 2

Anforderung 2 („Unterstützung der iterativen Aushandlung des Modells“) wurde in Hypothese 14 untersucht. Ziel der Unterstützung von Aushandlungsprozessen ist die Bildung einer gemeinsamen Sichtweise auf das betrachtete Problem. Die kooperative Modellierung ist durch das Design von Hard- und Software grundsätzlich möglich, durch die Verwendung eines Tabletop Interface wird die kooperative Modellbildung und der Austausch über den Modellierungsgegenstand (also das betrachtete Problem) ermöglicht. Die beabsichtigte Wirkung der Abstimmung der individuellen Sichtweisen konnte in der empirischen Untersuchung bestätigt werden. Insgesamt kann diese Anforderung also bestätigt werden.

Anforderung 3

Anforderung 3 („Ermöglichung experimenteller Veränderungen am Modell“) wurde in Hypothese 4 untersucht. Experimentelle Veränderungen am Modell werden durch die Unterstützung der Wiederherstellung von vergangenen Modellzuständen realisiert. Diese Funktion wurde technisch implementiert und hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit getestet. Diese ist vollständig gegeben.

In der empirischen Untersuchung wurde die Funktionalität von den Teilnehmern jedoch nicht genutzt, so dass die Erfüllung der Anforderung empirisch nicht bestätigt werden kann. Aus den Ergebnissen der Untersuchung ist vielmehr zu hinterfragen, ob diese aus der Theorie der Externalisierung mentaler Modelle abgeleitete Anforderung in der Praxis tatsächlich relevant ist.

Anforderung 4

Anforderung 4 („Nicht vorgegebene Semantik der Modellierungselemente“) wurde in den Hypothesen 3 und 9 untersucht. Durch die nicht vorgegebene Semantik der Modellierungselemente wird einerseits der Einsatz des Werkzeugs in unterschiedlichen Anwendungskontexten ermöglicht, andererseits werden Benutzer nicht gezwungen, ein vorgegebenes Abbildungsschema für die von ihnen auszudrückende Information zu verwenden. Dies ermöglicht eine Fokussierung auf die Modellierungsinhalte und die Kommunikation derselben und vermeidet einen zusätzlichen – potentiell kognitiv belastenden – Übersetzungsschritt. Die Wahl der Bedeutung der Modellierungselemente ergibt sich aus der ohnehin ablaufenden Interaktion verursacht und keine Probleme.

Technisch wurde diese Anforderung durch die Verwendung generischer (also semantisch nicht vorgelegter) Modellierungsbausteine in Kombination mit dem Einsatz von Topic Maps zur Repräsentation der Modelle umgesetzt. Das Werkzeug erlaubt grundsätzlich die Verwendung von beliebigen und beliebig vielen unterschiedlichen Modellierungsbausteinen, diese Möglichkeit wurde jedoch im vorliegenden Prototypen nicht eingesetzt.

Die empirische Untersuchung konnte die Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Anwendungskontexten ohne Einschränkung bestätigen. Die Modellierung selbst wurde jedoch durch die im Prototypen auf drei unterschiedliche Modellierungselemente eingeschränkte Ausdrucksstärke des Werkzeugs teilweise als einschränkend empfunden. Da dies jedoch keine konzeptuelle Einschränkung ist, sondern ausschließlich dem aktuellen Entwicklungsstand der Werkzeug-Hardware geschuldet ist, kann diese Anforderung insgesamt als erfüllt angesehen werden.

Anforderung 5

Die Erfüllung von Anforderung 5 („Verknüpfung mit digitalen Ressourcen“) wurde im Rahmen der durchgeführten Studien nicht untersucht. Die Verknüpfung mit digitalen Ressourcen wurde analog zur Funktion zur Einbettung von Teilmodellen implementiert. Digitale Dokumente können an einbettbare Tokens gebunden werden und in einem Container durch Hineinlegen zugewiesen werden. Diese Funktionalität wurde technisch implementiert und hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit getestet.

Im Rahmen der Evaluierung wurde das Werkzeug ausschließlich mit einem Rechner betrieben, auf dem keine fallspezifischen bzw. anwendungsrelevanten digitalen Dokumente vorhanden waren. Die Einbindung von Dokumenten in Modelle konnte deswegen nicht vorgenommen werden. Die Anforderung ist also technisch erfüllt, konnte jedoch empirisch nicht überprüft werden.

Anforderung 6

Anforderung 6 („Bearbeitung von beliebig umfangreicher Modellen“) wurde in Hypothese 10 untersucht. Durch die physisch beschränkte Größe der Modellierungsfläche kann die Erweiterung der Modellgröße lediglich durch die Erstellung von Teilmodellen erreicht werden, wobei deren Zusammenhang durch die Einbettung der Teilmodelle in Überblicksmodelle ausgedrückt wird. Die Einbettung von Teilmodellen wird mittels der Verwendung von Modellierungsblöcken als Container realisiert, in die Tokens als Repräsentanten der Teilmodelle gelegt werden können. Die dazu notwendigen Funktionen wurden technisch implementiert und hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit erfolgreich getestet.

Auch in der empirischen Untersuchungen wurde die Erweiterung der Modellgröße durch Einbettung von Teilmodellen erfolgreich eingesetzt. Im Vergleich der erstellten Modelle mit Modellen, die mit einem Werkzeug mit nicht beschränkter Modellierungsfläche erstellt wurden, zeigte sich jedoch eine signifikant geringere Modellgröße bei der Erstellung mit dem hier vorgestellten System. Die Erstellung beliebig großer Modelle ist somit technisch grundsätzlich möglich und auch verwendbar, empirisch konnte die Erfüllung der Anforderung dennoch nicht nachgewiesen werden.

Anforderung 7

Anforderung 7 („Kooperative und unmittelbare Manipulierbarkeit des Modells“) wurde in den Hypothesen 2 und 12 untersucht. Die Möglichkeit, Modelle kooperativ zu erstellen und zu manipulieren, ist grundsätzlich gegeben, die Möglichkeit der Durchführung eines kooperativen Modellierungsprozesses konnte empirisch belegt werden. Im Vergleich zu einem bildschirmbasierten System zeigt sich außerdem ein signifikant höherer Anteil an Interaktion zwischen den Teilnehmern bei der Durchführung der Modellierung mit dem hier vorgestellten System. Die Anforderung kann somit als erfüllt angesehen werden.

Anforderung 8

Anforderung 8 („Persistente Ablage des Modells und Möglichkeit zur Rekonstruktion“) wurde in Hypothese 11 untersucht. Die Persistente Ablage der erstellten Modelle wurde mittels XML-Topic Maps realisiert. Die Funktionsfähigkeit der Persistierung wurde insofern technisch nachgewiesen, als dass die exportierten Modellrepräsentationen valide XTM-Dateien waren und sämtliche auf der Modellierungsoberfläche repräsentierte Information in der Datei abgebildet war.

Hinsichtlich der Ermöglichung der Rekonstruktion und der Nachvollziehbarkeit des Modellierungsprozesses konnte gezeigt werden, dass die bei der Persistierung inkludierte Entstehungshistorie des Modells die Nachvollziehbarkeit der im Modell repräsentierten Information zwar tendenziell erleichterte, aber nicht in allen Fällen ermöglichte. Die An-

forderung kann damit technisch als erfüllt angesehen werden, die positive Wirkung der eingebetteten Entstehungshistorie des Modells konnte ebenfalls bestätigt werden. Insgesamt ist die Nachvollziehbarkeit der Modelle ausschließlich auf Basis der gespeicherten Repräsentationen aber in Frage zu stellen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend ergibt sich hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen die in Tabelle 15.1 dargestellte Übersicht. In ihr sind die Anforderungen jenen Kapiteln und Abschnitten des Implementierungsteils (*Impl.*) zugewiesen, in denen ihre technische Umsetzung beschrieben wird, sowie den Hypothesen (*Hyp.*) zugeordnet, in denen die tatsächliche Überprüfung der Erfüllung durchgeführt wird.

Tabelle 15.1.: Erfüllung der Anforderungen

	Anforderung	Impl.	Hyp.	Beurteilung
1	Physische Abbildung beliebiger diagrammatischer Modelle	7.4.3, 7.4.5, 8.3.3	1, 5, 6	technisch möglich, empirisch teilweise bestätigt
2	Unterstützung der iterativen Aushandlung des Modells	8.3.4	14	technisch möglich, empirisch bestätigt
3	Ermöglichung experimenteller Veränderungen am Modell	7.4.7, 8.3.4	4	technisch möglich, empirisch nicht bestätigt
4	Nicht vorgegebene Semantik der Modellierungselemente	7.4.6, 9.2.2	3, 9	technisch möglich, empirisch teilweise bestätigt
5	Verknüpfung mit digitalen Ressourcen	7.4.4, 8.3.3	—	technisch möglich, empirisch nicht geprüft
6	Bearbeitung von beliebig umfangreicher Modellen	7.4.4	10	technisch möglich, empirisch nicht bestätigt
7	Kooperative und unmittelbare Manipulierbarkeit des Modells	7.4.8, 8.4.1	2, 12	technisch möglich, empirisch bestätigt
8	Persistente Ablage des Modells und Möglichkeit zur Rekonstruktion	7.4.7, 8.3.4, 9.2.1	11	technisch möglich, empirisch bestätigt

15.4. Bewertung hinsichtlich der globalen Zielsetzung

In diesem Abschnitt wird die Arbeit hinsichtlich der globalen Zielsetzung zusammengefasst, reflektiert und beurteilt. In Kapitel 1 wurde die globale Zielsetzung wie folgt formuliert:

In der vorliegenden Arbeit sind die Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung von expliziter Articulation Work unter Berücksichtigung relevanter Theoriebildungen zur Rolle der beteiligten Individuen zu erfassen, auf Basis dieser Erkenntnisse geeignete Methoden auszuwählen, diese in einem Instrument umzusetzen und dessen Effektivität im Kontext der Production Work zu prüfen.

Zur Detaillierung dieser Zielsetzung wurden zwei Forschungsfragen formuliert, die im Folgenden in die Betrachtung einfließen:

1. Wie kann die Durchführung und Wirkung von „Articulation Work“ charakterisiert werden?
2. Wie kann explizite „Articulation Work“ effektiv unterstützt werden?

Bei der Reflexion der Ergebnisse dieser Arbeit hinsichtlich der Forschungsfragen wird jeweils auch auf den Kontext der Arbeit, aus dem die Ableitung der Zielsetzung heraus durchgeführt wurde, Bezug genommen.

15.4.1. Wie kann die Durchführung und Wirkung von „Articulation Work“ charakterisiert werden?

Die globale Zielsetzung stellt den Anspruch, die methodischen Möglichkeiten der Unterstützung expliziter „Articulation Work“ zu untersuchen. Die Festlegung bzw. Einschränkung auf explizite „Articulation Work“ dient der Abgrenzung der Arbeit zu existierenden Ansätzen, die sozial und/oder technologisch in Arbeitsabläufe intervenieren und dem Auftreten von Unklarheiten vorbeugen bzw. diese durch unmittelbare Unterstützungsmaßnahmen auflösen. All diese Ansätze sind in den Bereich der Unterstützung impliziter „Articulation Work“ einzuordnen, die Durchführung derselben ist den handelnden Personen also nicht unbedingt bewusst.

Treten Situationen auf, die von den Beteiligten als so problematisch wahrgenommen werden, dass eine Aufrechterhaltung des Arbeitsablaufs nicht mehr gewährleistet ist, muss die Handlungsfähigkeit durch explizite Beschäftigung mit der problematischen Situation (wieder) hergestellt werden. Dieser Fall wird als explizite „Articulation Work“ bezeichnet. Das Erfolgskriterium für explizite „Articulation Work“ ist das Erreichen eines Zustandes, in dem gegenseitiges Verständnis soweit (wieder-)hergestellt ist, dass die produktiven Arbeitsabläufe durch implizite „Articulation Work“ aufrecht erhalten werden können. Es müssen somit die methodischen und technischen Voraussetzungen zur

erfolgreichen (Wieder-)Erlangung einer gemeinsamen Sichtweise aller Beteiligten auf den als problematisch wahrgenommenen Betrachtungsgegenstand geschaffen werden.

Ein Erklärungsansatz, mit dem das Phänomen von unterschiedlichen Sichtweisen auf den gleichen realen Arbeitsablauf oder -gegenstand erklärt werden kann, sind mentale Modelle. Mentale Modelle beschreiben, wie Individuen aus wahrgenommenen Situationen Handlungsalternativen ableiten und sich letztendlich für die Durchführung bestimmter Aktivitäten entscheiden. Bei kooperativen Arbeitsprozessen ist es notwendig, dass von den Individuen zumindest eine gemeinsame Sichtweise auf die Schnittstellen, an denen diese kooperieren, erreicht wird – die individuellen mentalen Modelle über diese Schnittstellen müssen also abgestimmt werden. Diese Abstimmung ist eine Ausprägung der Durchführung expliziter „Articulation Work“ – auch hier gilt, dass nicht sämtliche mentale Modelle, die den jeweiligen Arbeitsablauf betreffen, abgestimmt werden müssen. Es ist vielmehr ausreichend, lediglich jene Aspekte abzustimmen, die für die Kooperation untereinander relevant sind.

Zur Abstimmung mentaler Modelle ist deren Kommunizierbarkeit eine notwendige Vorbedingung. Diese Kommunizierbarkeit wird durch Externalisierung der mentalen Modelle ermöglicht. Als vorteilhaft für die Kommunikation komplexer Sachverhalte wird in der Literatur die Repräsentation derselben in der Form von diagrammatischen Modellen bezeichnet. Während zur Repräsentation diagrammatischer Modelle grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten bestehen, werden Strukturlegetechniken und Concept Mapping im Bereich der Externalisierung mentaler Modelle grundsätzlich als geeignet bezeichnet.

15.4.2. Wie kann explizite „Articulation Work“ effektiv unterstützt werden?

Im Kontext des Einsatzes zur Abstimmung mentaler Modelle sind besonders Strukturlegetechniken als relevant zu betrachten. Deren methodische Hinterlegung durch die Dialog-Konsens-Methodik zielt explizit auf die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses ab und eignet sich deshalb für die Unterstützung expliziter „Articulation Work“. In Einzelaspekten, etwa der semantischen Offenheit der Modellierungselemente, bringt aber auch der Ansatz der Concept Maps Konzepte ein, die im Kontext der Durchführung expliziter „Articulation Work“ relevant sind (Jørgensen, 2004). In dieser Arbeit wird deshalb versucht, eine Variante von Strukturlegetechniken zu entwickeln, die die für „Articulation Work“ relevanten Aspekte von Concept Mapping berücksichtigt und so die Abstimmung mentaler Modelle aus beliebigen Arbeitskontexten ermöglicht.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Methodik, die auf den Ansätzen von Strukturlegetechniken und Concept Mapping basiert, bedingt eine Unterstützung durch ein Werkzeug, das die Abbildung der dazu notwendigen diagrammatischen Modelle unterstützt. Die aus der Methodik abgeleiteten Anforderungen implizieren, dass die Modellierung selbst im physischen Raum durchgeführt wird, diese aber dennoch durch rechnerbasier-

te Funktionen unterstützt und ergänzt wird. Die Zusammenführung der physischen und digitalen Repräsentation und Interaktionsmechanismen wird durch ein Tangible Tabletop Interface realisiert.

Dieses Werkzeug ermöglicht es, auf einer Tischoberfläche mit physischen Elementen (Bausteinen) diagrammatische Modelle zu erstellen. Die Bausteine werden dazu auf der Tischoberfläche platziert und mittels unterschiedlicher Interaktionen mit dem System untereinander in Beziehung gesetzt. Die Darstellung der Beziehungen erfolgt dabei durch Projektion auf die Tischoberfläche, um eine einfache Manipulierbarkeit des Modells gewährleisten zu können. Um dem Anspruch der semantischen Offenheit des Modells und damit der Anpassbarkeit der Modelle an die individuellen Sichtweisen der Teilnehmer gewährleisten zu können, werden die Modellelemente semantisch nicht vorgelegt, sondern während der Modellbildung durch die Teilnehmer spezifiziert.

Die Gesamtheit der abgebildeten Modelle inklusive der Festlegung der Bedeutung der Modellelemente wird als semantisches Netzwerk in Form einer Topic Map digital repräsentiert. Dies gewährleistet die Nachvollziehbarkeit und Weiterverwendbarkeit der Modelle auch über einzelne Anwendungen des Werkzeugs hinweg. Zur Unterstützung des Modellierungs- und Abstimmungsprozesses wurden Funktionen entwickelt, die vor allem die einfache und konsequenzlose Veränderbarkeit des Modells gewährleisten sollen. Dazu zählen unter anderem die Verfolgung des Modellierungsprozesses durch das System, die Erfassung stabiler Modellzustände und die Möglichkeit, durch die Entstehungshistorie des Modells zu navigieren und vergangene Modellzustände wieder herzustellen.

Konkret wurde das Werkzeug hardwareseitig als Tisch mit transparenter Oberfläche ausgeführt. Die Modellierungsoberfläche ist 80 x 100 cm groß und erlaubt die gleichzeitige Verwendung von etwa 15 Modellierungselementen. Die Modellierungselemente sind in drei unterschiedlichen Formen und Farben in Acrylglas ausgeführt und können geöffnet werden. Diese Funktion als Container ermöglicht die Einbettung von zusätzlicher Information in das Modell durch Hineinlegen kleiner informationstragender Elemente. Auch die Einbettung von Teilmodellen und damit einhergehend die Erweiterung der Modellgröße ist möglich.

Unter der Tischoberfläche ist ein Videoprojektor angebracht, der die Verbindungen im Modell, die Benennung der Modellelemente sowie zusätzliche Information zur Modellierungsunterstützung auf die Oberfläche projiziert. Zusätzlich ist eine zweite Ausgabefläche in Form eines Bildschirms (oder alternativ einer Leinwand mit Projektor) vorhanden, auf der der aktuelle Modellzustand synchron mitgeführt wird und auf dem nicht kohärent auf der Tischoberfläche darstellbare Information, wie etwa die Modellierungshistorie, dargestellt wird. Sämtliche Interaktion mit dem System wird über die Tischoberfläche durchgeführt, lediglich die Benennung der Modellelemente erfolgt alternativ mittels Tastatur, da der auf Bilderkennung basierende primäre Benennungsmechanismus nicht ausreichend stabil für eine komfortable Bedienung arbeitete.

Das Werkzeug kann von mehreren Personen simultan bedient werden und erfasst den Modellierungsverlauf selbstständig im Hintergrund. Dies wird einerseits genutzt werden, um Modellvarianten zu erproben und einfach zu einem stabilen, akzeptierten Zustand zurückzukehren und bietet andererseits die Möglichkeit, die gesamte Historie der Modellentstehung persistent abzulegen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzurufen. In beiden Fällen bietet das Werkzeug Unterstützung bei der Wiederherstellung eines gespeicherten Modellzustandes, indem schrittweise Anweisungen zur Platzierung der entsprechenden Modellelemente auf die Tischoberfläche projiziert werden.

Das Werkzeug wurde in mehreren Revisionen technisch stabilisiert und ermöglicht in seinem derzeitigen Zustand die Durchführung beliebig umfangreicher Modellbildungen mit beliebiger zeitlicher Ausdehnung. Die Softwarekomponenten sind außerdem für eine etwaige Kopplung mehrerer physischer oder digitaler Modellbildungs-Werkzeugs (etwa weiterer Modellierungstische) vorbereitet, um auch räumlich entfernte Kooperation zu ermöglichen.

Die Untersuchung der effektiven Unterstützung von expliziter „Articulation Work“ bedingt die Konkretisierung des Effektivitäts-Begriff. Grundsätzlich wird „Articulation Work“ immer im Zusammenhang mit einem konkreten Arbeitsprozess (der „Production Work“) bzw. mit einer in diesem aufgetretenen problematischen Situation durchgeführt. Die Wirkung von „Articulation Work“ zeigt sich an damit unmittelbar an der „Production Work“ und an den in diesem beteiligten Individuen. „Articulation Work“ ist dann effektiv, wenn die beteiligten Personen die Situation nicht mehr als problematisch wahrnehmen und die „Production Work“ (wieder) ohne Hindernisse durchgeführt werden kann. Eine Voraussetzung zur Durchführung effektiver expliziter „Articulation Work“ ist aus methodischer Sicht die Durchführung der kooperativen Modellbildung, die zur Abstimmung der individuellen mentalen Modelle über die „Production Work“ verwendet wird. Hinsichtlich der kooperativen Modellbildung ist als Voraussetzung der effektiven Unterstützung expliziter „Articulation Work“ die Fähigkeit des Instruments zu sehen, die zur Durchführung der Modellbildung notwendigen Schritte für die beteiligten Individuen verständlich und benutzbar zu unterstützen.

Hinsichtlich des letztgenannten Aspektes wurden bereits während der Implementierung des Werkzeugs begleitend Benutzertests durchgeführt, um dessen Benutzbarkeit zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Tests flossen in die Überarbeitung des Werkzeugs und dessen unterstützte Interaktionsabläufe ein. Nach Abschluss der Implementierung der grundlegenden Funktionalität wurde mit der Prüfung der Wirkung des Werkzeugs im Sinne der Aufgabenstellung begonnen. Diese wurde wie oben beschrieben einerseits auf Ebene der „Articulation Work“ selbst durchgeführt, andererseits wurde auch die Voraussetzung dafür, also die Unterstützung der Repräsentation und Kommunikation mentaler Modelle, geprüft.

Hinsichtlich der Repräsentation und Kommunikation mentaler Modelle wurde geprüft, ob beliebiger Modelle abgebildet werden können und ob diese Abbildung ohne wahrge-

nommene Einschränkungen der Benutzer möglich ist. Als zweiter Aspekt wurde überprüft, ob die Modelle bzw. Modellbildung der Kommunikation und Interaktion zwischen den Benutzern zuträglich sind, ob also jene Aktivitäten, die im Rahmen von „Articulation Work“ durchgeführt werden müssen, ermöglicht und unterstützt werden. Während die Abbildbarkeit beliebiger Modelle vor allem durch die beschränkte Größe der Modellierungsfläche und die Einschränkung auf drei unterschiedliche Modellierungselementtypen in der derzeitigen Implementierung nicht gegeben ist, werden Kommunikation und Interaktion am Werkzeug bei der Modellbildung unterstützt. Die Interaktion bei kooperativer Modellbildung ist bei der Durchführung am Modellierungstisch signifikant höher als bei der Verwendung herkömmlicher bildschirmbasierter Werkzeuge gleicher oder höherer Flexibilität.

Bei der Überprüfung der Wirkung des Werkzeugs auf die durchgeführte „Articulation Work“ wurde wie oben beschrieben auf zwei Aspekte eingegangen, an denen die Effektivität der Durchführung zu erkennen ist. Zum einen wurden die unmittelbaren Auswirkungen, d.h. die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses, und zum anderen die Auswirkungen auf den behandelten Arbeitsablauf, also die „Production Work“, untersucht. Die unmittelbare Wirkung des Werkzeugs auf die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses über den betrachteten Arbeitsaspekt konnte in der Untersuchung bestätigt werden. Zur Generalisierbarkeit der Bestätigung sind aber aufgrund der kleinen Stichprobe in lediglich einem Anwendungsfall weitere Untersuchungen notwendig (siehe Abschnitt 15.5.2). Eine Wirkung der anhand des Werkzeugs durchgeführten „Articulation Work“ auf die eigentlichen Arbeitsprozesse konnte hingegen in der Untersuchung nur in Einzelfällen beobachtet werden und kann nicht im Allgemeinen bestätigt werden. Auch hier gilt, dass weitere Untersuchungen zur Verbreiterung der Datengrundlage notwendig sein werden.

15.4.3. Globale Zielsetzung

Insgesamt konnte die globale Zielsetzung in dieser Arbeit erreicht werden.

In Teil I wurde der erste in der Zielsetzung angesprochene Forschungsgegenstand („*In der vorliegenden Arbeit sind die Möglichkeiten zur methodischen Unterstützung von expliziter Articulation Work unter Berücksichtigung relevanter Theoriebildungen zur Rolle der beteiligten Individuen zu erfassen, . . .*“) behandelt. Als Lücke in der Unterstützung von „Articulation Work“, wie sie sich vor der Durchführung dieser Arbeit darstellte, konnte die mangelnde Beachtung der Aktivitäten und Bedürfnisse der beteiligten Individuen identifiziert werden. Diesem Mangel wurde konzeptuell mit der Einbindung des Ansatzes der „mentalen Modelle“ und deren Veränderung begegnet, der eine Möglichkeit zur Erklärung eben dieser individuellen Aktivitäten darstellt.

Der zweite in der Zielsetzung angeführte Forschungsgegenstand („*. . . auf Basis dieser Erkenntnisse geeignete Methoden auszuwählen, diese in einem Instrument umzusetzen*“)

...“) wurde am Ende von Teil I und vor allem in Teil II betrachtet. Auf Basis der Theorie der mentalen Modelle wurden methodische Möglichkeiten zur Abstimmung derselben betrachtet, was letztendlich zur Identifikation von Anforderungen an eine mögliche technische Unterstützung führte. Auf Basis dieser Anforderungen wurde die Verwendung von „Tabletop Interfaces“ als geeignetes Mittel zur Unterstützung der Abstimmung mentaler Modelle gewählt. Die Zusammenführung der in diesem Forschungsgebiet vorhandenen Ansätze und theoretischen Arbeiten mit den Anforderungen zur Unterstützung von „Articulation Work“ ermöglichte die Konzeption eines interaktiven Systems, dessen Eigenschaften auf die Anwendung der entwickelten Methodik abgestimmt waren. Die konkreten zur Umsetzung notwendigen Designentscheidungen wurden auf Basis des aktuellen Stands der Technik getroffen, während der Umsetzung wurden begleitende Benutzer-tests durchgeführt, um die Verwendbarkeit der intendierten Werkzeuge sicherzustellen. Das Werkzeug konnte sowohl hardwareseitig als auch softwareseitig bis zu einem Zustand entwickelt werden, der einen praktischen, produktiven Einsatz in kontrollierten Umgebungen möglich macht.

Die Behandlung des letzten in der Zielsetzung genannten Forschungsgegenstandes („... und dessen Effektivität im Kontext der Production Work zu prüfen.“) wurde in Teil III beschrieben. Die positive Wirkung auf die Interaktion zwischen den Teilnehmern bei Einsatz des Werkzeugs zur Durchführung von „Articulation Work“ konnte in der Untersuchung empirisch bestätigt werden. Die auf Basis dieser Ergebnisse erwarteten Verbesserungen in der „Production Work“ konnten jedoch nicht nachgewiesen werden. Ob dies in der Konzeption des Werkzeugs begründet liegt oder die Studie selbst nicht ideal auf die Prüfung dieses Aspektes abgestimmt war, bleibt an dieser Stelle Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

15.5. Offene Aspekte und Entwicklungspotential

Das entwickelte Instrument, also die Methodik sowie das Werkzeug, hat in der vorliegenden Umsetzung einen Reifegrad erreicht, das es für den prototypischen Einsatz im realen Arbeitskontext qualifiziert. Trotzdem konnten im Rahmen der Durchführung dieser Arbeit in mehreren Fällen Potentiale und Schwächen identifiziert werden, die im Rahmen der Arbeit selbst nicht mehr gehoben bzw. kompensiert werden konnten und einer Umsetzung im Rahmen weiterer Forschungsaktivitäten bedürfen. In diesem Abschnitt werden diese offene Aspekte und Entwicklungspotentiale auf drei Ebenen beschrieben:

- Das Werkzeug zeigt in der vorliegenden Form wie oben bereits beschrieben Potential Verbesserungen seiner Anwendbarkeit im Sinne der Unterstützung von Articulation Work. Diese Potentiale werden in Abschnitt 15.5.1 beschrieben.
- Die Prüfung des Werkzeugs ließ für manche Teilaspekte keine endgültige Entscheidung hinsichtlich deren Wirksamkeit zu. Dies ist einerseits auf die Natur der zur

Prüfung herangezogenen Anwendungen des Werkzeugs, andererseits aber auch auf methodische Schwachstellen zurückzuführen. Beide Faktoren werden in Abschnitt 15.5.2 behandelt.

- Letztendlich konnten im Rahmen der Entwicklung und Evaluierung des Werkzeugs Anwendungsgebiete identifiziert werden, die in dieser Form in der vorliegenden Arbeit nicht explizit berücksichtigt wurden. Diese Anwendungsgebiete zeigen Entwicklungspotential für das Werkzeug auf und werden deshalb in Abschnitt 15.5.3 umrissen.

15.5.1. Entwicklungspotential des Werkzeugs

Wie bereits in Abschnitt 15.2.2 beschrieben, konnten sowohl in der empirischen Untersuchung als auch bei der konzeptuellen Einordnung des Werkzeugs mehrere Funktionen identifiziert werden, in denen Verbesserungen bzw. Erweiterungen vorgenommen werden können.

Vorrangig zu betrachten ist die *Erweiterung und Flexibilisierung der Modellelementtypen*. Die Anzahl der Elementtypen ist in der derzeitigen Implementierung auf drei beschränkt, was in einigen Fällen einschränkend auf die Modellbildung wirkt. Softwareseitig ist das Werkzeug bereits für eine Erweiterung vorbereitet, es sind jedoch Interaktionsmechanismen zur Registrierung und Bedeutungsspezifikation neuer, unter Umständen physisch beliebig ausgeprägter Elementtypen zu entwickeln.

Eine ähnliche, in der praktischen Anwendung mehrmals geforderte Funktion ist die *Möglichkeit zur Verwendung unterschiedlicher Arten von Verbindern*. Aktuell können Verbinder ungerichtet sein oder mit Pfeilspitzen versehen werden. Gefordert wurde etwa die Möglichkeit zum Einsatz unterschiedlich gefärbter Verbindungen. Wiederum ist die Umsetzung dieser Funktion software-seitig ohne hohen Aufwand zu realisieren, wie zuvor muss jedoch ein Interaktionsmechanismus entwickelt werden, um die Arten der verwendeten Verbinder zu konfigurieren und mit Bedeutung zu belegen.

Die mangelnde Möglichkeit, Änderungen am Modell einfach und in einem Interaktionsschritt rückgängig zu machen, hemmt die Bereitschaft zur Erstellung von hypothetischen Modellvarianten. Die *Implementierung einer einschrittigen Undo-Funktion* könnte hier zu Verbesserungen führen und die Interaktion mit dem Werkzeug vereinfachen.

Technologisch einschränkend wirkt nach wie vor der zu den Rändern hin das Bild stark verzerrende Erfassungsbereich der verwendeten Kamera, der die Modellierungsoberfläche in den Randbereichen unverwendbar macht, da Modellelemente dort nicht identifiziert werden können. Die weitere *Stabilisierung der Erkennungsleistung* kann diesen Mangel zum Teil kompensieren, letztendlich wird nur eine *Neukonzeption und Reimplementierung der Hardwarekomponenten* zu einer endgültigen Lösung des Problems führen.

Weiteres Verbesserungspotential konnte in Detailbereichen einzelner verwendeter Werkzeuge identifiziert werden (siehe Abschnitt 15.2.2). Diese werden an dieser Stelle nicht mehr im Einzelnen aufgeführt, zumal deren Umsetzung großteils ohne hohen Aufwand durchgeführt werden kann.

15.5.2. Prüfung der effektiven Unterstützung

Bei der Durchführung der empirischen Untersuchung konnten Schwächen im Untersuchungsdesign festgestellt werden, die aufgrund mangelnder Möglichkeiten zur erneuten Prüfung nicht kompensiert werden konnten. Diese Schwächen betrafen generell (a) das geringe Ausmaß der Durchführung vergleichender Studien, (b) die nur in Einzelfällen ausführlich durchgeführte inhaltliche Reflexion durch die Untersuchungsteilnehmer sowie (c) die teilweise suboptimale Auswahl der abzustimmenden Arbeitsaspekte, die Gegenstand der „Articulation Work“ waren. Alle drei Punkte sind in erster Linie auf die nicht frei wählbare zur Verfügung stehende Stichprobe an Teilnehmern, deren beschränkte Anzahl sowie die zeitlich beschränkte Möglichkeit deren Inanspruchnahme zurückzuführen. Würden diese einschränkenden Faktoren nicht bestehen, könnten die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen die Wirksamkeit des Werkzeugs umfangreicher und zuverlässiger prüfen, als dies in der vorliegenden Arbeit der Fall war.

Bei der Prüfung der Bildung eines gemeinsamen Verständnisses wurde in dieser Arbeit auf die subjektive Einschätzung der Untersuchungsteilnehmer zurückgegriffen. Dieses Vorgehen kann durch Untersuchungsmethoden ergänzt werden, die das Verständnis explizit messen. Zur Untersuchung der Veränderung der individuellen mentalen Modelle und deren mögliche Übereinstimmung hinsichtlich des Untersuchungsaspektes bietet sich die von (Ifenthaler, 2006) vorgeschlagenen Untersuchungsmethode an. Auch der Einsatz der etablierten Varianten von Strukturlegetechniken und der Dialog-Konsens-Methodik ist hier eine Möglichkeit, die potentiellen Veränderungen zu externalisieren und damit gegenüberstellen zu können.

Bei der Prüfung der effektiven Unterstützung der „Articulation Work“ durch das entwickelte Instrument war in der vorliegenden Arbeit die Stichprobe sowohl hinsichtlich ihres Umfangs als auch hinsichtlich der behandelten Thematiken retrospektiv betrachtet suboptimal gewählt. Auch die vorrangige Bezugnahme auf die Einschätzungen der Teilnehmer zur Diagnose etwaiger Veränderungen bzw. positiver Auswirkungen im Arbeitsprozess ist zu hinterfragen. Bei weiterführenden Studien ist darauf zu achten, dass Arbeitsabläufe als Gegenstände der „Articulation Work“ gewählt werden, in denen die Durchführung von expliziter „Articulation Work“ tatsächlich unmittelbar angezeigt ist. Dies war in den hier durchgeführten Untersuchungen nur teilweise der Fall, weshalb unmittelbare Auswirkungen auf den Arbeitsablauf mangels der Notwendigkeit von Veränderungen nur in Einzelfällen erwartet werden konnten. Weiters ist zur Fundierung einer generalisierbaren Aussage über die Wirkung des Werkzeugs der Prüfung eine brei-

tere Datenbasis zugrunde zu legen. Im vorliegenden Fall wurden etwa 20 Anwendungen aus 2 unterschiedlichen Anwendungskontexten untersucht – vor allem die Anzahl der Anwendungskontexte muss bei einer weiteren Untersuchung gesteigert werden, um die Wirkung des Werkzeugs über spezifische Situationen hinweg beurteilen zu können.

15.5.3. Alternative Anwendungsfelder

Im Zuge der Durchführung dieser Arbeit wurde das entwickelte Werkzeug auch mehrfach experimentell in anderen als dem ursprünglich intendierten Kontext eingesetzt oder bei Gelegenheiten vorgestellt, bei denen mit der Durchführung von „Articulation Work“ nicht befasste Personen das Werkzeug im Sinne ihrer Fachexpertise interpretierten und unterschiedliche Einsatzszenarien aufzeigten. Die beiden am häufigsten genannten und in der Praxis bereits erfolgreich durchgeführten Anwendungsfelder werden im Folgenden beschrieben.

Der Einsatz des Werkzeugs zur Unterstützung von individuellen und vor allem kooperativen Lernprozessen ist auf Grund der methodischen Grundlage aus der Theorie der Veränderung mentaler Modelle (Seel, 2003a) naheliegend. Der zur Motivation dieser Arbeit verwendete Ansatz der mentalen Modelle wird auch zur Erklärung und zur Konzeption von Lernprozessen verwendet (Seel, 2003b), Methoden wie Concept Mapping wurden dezidiert für den Lehr- und Lernkontext entwickelt (Novak und Cañas, 2006). Das Werkzeug hat das Potential, die Anwendung meta-kognitive Kompetenzen wie Reflexion von Lerninhalten oder Planung von Lernschritten zu unterstützen (siehe dazu auch (Oppl et al., 2010) für Erörterungen auf konzeptueller Ebene sowie die Ergebnisse der Evaluierungsblöcke 3 und 5 auf praktischer Ebene). Vor allem die Verknüpfung des Werkzeugs mit technologisch unterstützten Lernplattformen auf Basis der digitalen Repräsentation in Form der als Topic Maps abgelegten Modelle kann Lernprozesse auf individuelle und kooperativer Ebene unterstützen. Erste Ideen dazu wurden in (Oppl und Stary, 2009), (Oppl, 2009a), (Oppl, 2009b) und (Neubauer et al., 2009) publiziert.

Im Rahmen der Durchführung von Vorstellungen des Werkzeugs im Umfeld von Konferenzen im Wissensmanagement und (Fort-)Bildungsbereich wurde dieses mehrfach von Personen, die „Aufstellungsarbeit“ (Sparrer, 2002) praktizieren, als geeignetes Werkzeug zur Unterstützung der dort ablaufenden Prozesse identifiziert. Tatsächlich wurde in Evaluierungsblock 4 in einem Fall eine durch einen fachkundigen Teilnehmer moderierter an Aufstellungsarbeit angelehnte Modellbildung durchgeführt und von allen Teilnehmern als fruchtbar empfunden. Das Werkzeug diente dabei als Mediator der einzelnen Sichtweisen, auf dem die Modellierungsblöcke so lange neu positioniert und rotiert wurden, bis alle Teilnehmer mit der dargestellten „Aufstellung“ der betrachteten Organisationseinheit zufrieden waren. Das Ergebnis dieser Anwendung wurde generell als neue, bislang nicht explizit gemachte Aspekte der Zusammenarbeit innerhalb der Organisation und deren Schnittstellen nach außen wahrgenommen. Das Werkzeug hat also Potential, im

Kontext von „Aufstellungsarbeit“ sinnvoll zum Einsatz gebracht zu werden. Für einen etwaigen Produktiv-Einsatz ist nach Rückmeldung mehrere Fachexperten jedoch die oben angeführte Erweiterung und Flexibilisierung der Anzahl und Art der Modellelementtypen zwingend notwendig.

15.6. Schluss

In dieser Arbeit wurde ein Instrument zur Unterstützung expliziter „Articulation Work“ vorgestellt. Sowohl Methode als auch Werkzeug wurde im Rahmen der Arbeit konzipiert, umgesetzt und erfolgreich zur Anwendung gebracht. Eine Arbeit wie diese ist nie abgeschlossen – jeder erreichte Meilenstein eröffnet eine Vielzahl von möglichen Alternativen zur Weiterentwicklung.

Die vorliegenden Ergebnisse repräsentieren in diesem Sinne lediglich einen möglichen Weg durch das weite Feld an Möglichkeiten zur Unterstützung von „Articulation Work“. Gleichzeitig bilden sie einen Startpunkt für weitere Forschung, deren Ergebnis und deren Verlauf nicht abgeschätzt werden kann.

Wenn nur eine Meta-Erkenntnis aus dieser Arbeit zurückbleibt, so ist es die, dass es genau diese Unsicherheit und das vergebliche Streben, sie durch Wissenschaft unter Kontrolle zu bringen, ist, die das Betreiben von Forschung zu einem lohnenden und erfüllenden Lebensinhalt machen.

Ich hoffe, mit dieser Arbeit ein Stück weit dazu beigetragen zu haben, die Voraussetzungen zu schaffen, dass Menschen einfacher, effizienter, effektiver und vor allem für sie zufriedenstellender zusammenarbeiten und die gesteckten Ziele erreichen können.

Steyr, am 28. Juni 2010

Anhang

A. Literatur zum Themengebiet Articulation Work

Dieser Anhang stellt die Literatur zu „Articulation Work“ umfassend dar. Er dient als Ergänzung zu den in Kapitel 2 eingeführten Konzepten und Inhalten. Insbesondere wurden die hier beschriebenen Arbeiten hinsichtlich ihrer Relevanz für die Begriffsbestimmung zu „Articulation Work“ und deren Unterstützung beurteilt. Die als relevant identifizierten Arbeiten wurden in den Abschnitten 2.1, 2.2 und 2.4 umfassender dargestellt.

A.1. Literaturquellen

In der Literatursuche wurden Datenbanken aus den Bereichen Informatik, Psychologie, Soziologie, den Wirtschaftswissenschaften sowie der Organisationslehre durchsucht. Nach der initialen Suche wurde jeweils auch die in den gefundenen Arbeiten referenzierte Sekundärliteratur aufgearbeitet. Des Weiteren wurden mit Hilfe von rückwärts verlinkenden Datenbanken (wo vorhanden) Publikationen erfasst, die auf die bislang gefundenen Arbeiten referenzieren. Die so identifizierten Publikationen wurden ebenfalls hinsichtlich ihrer Relevanz überprüft.

Die in der Suche berücksichtigten Datenbanken bzw. Meta-Suchmaschinen sind:

Domänenspezifische Datenbanken

- INSPEC¹ (Naturwissenschaften)
- Business Source Premier² (Wirtschaftswissenschaften)
- PsycINFO³ (Psychologie)
- PSYINDEXplus⁴ (Psychologie)
- SocINDEX⁵ (Soziologie)

¹via <http://ovidsp.ovid.com>

²via <http://search.ebscohost.com/>

³via <http://ovidsp.ovid.com>

⁴via <http://ovidsp.ovid.com>

⁵via <http://search.ebscohost.com/>

- ERIC⁶ (Pädagogik)
- ACM Guide⁷ (Informatik)

Verlags-Datenbanken

- ACM Digital Library⁸ (Informatik)
- IEEE Xplore⁹ (Informatik)
- SpringerLink¹⁰ (fächerübergreifend)
- ScienceDirect¹¹ (fächerübergreifend)
- Emerald¹² (Wirtschaftswissenschaften)
- Wiley Interscience¹³ (fächerübergreifend)

Meta-Suchmaschinen

- Google Scholar¹⁴ (fächerübergreifend)
- CiteSeerX¹⁵ (Naturwissenschaften und Informatik)

A.2. Relevante Literatur

Die im Folgenden genannten Arbeiten beziehen sich in unterschiedlicher Weise auf das Themengebiet „Articulation Work“. Es konnten vier Kategorien von Arbeiten identifiziert werden, die sich hinsichtlich ihres inhaltlichen Fokus unterscheiden:

- (I) Arbeiten, die sich mit der grundlegenden Konzeption von „Articulation Work“ beschäftigen und keine Aussage zu deren Unterstützung machen.
- (II) Arbeiten, in denen „Articulation Work“ als erklärendes Rahmenwerk für beobachtete Phänomene verwendet wird, und in der Folge das Hauptaugenmerk auf diese Phänomene gelegt wird, ohne nochmals näher auf „Articulation Work“ einzugehen.
- (III) Arbeiten, die auf die Unterstützung von „Articulation Work“ eingehen.
- (IV) Arbeiten, in denen „Articulation Work“ lediglich erwähnt wird, allerdings nicht näher darauf Bezug genommen wird.

⁶<http://www.eric.ed.gov/>

⁷<http://portal.acm.org/guide.cfm>

⁸<http://portal.acm.org/dl.cfm>

⁹<http://ieeexplore.ieee.org>

¹⁰<http://www.springerlink.de>

¹¹<http://www.sciencedirect.com>

¹²<http://www.emeraldinsight.com>

¹³<http://www3.interscience.wiley.com>

¹⁴<http://scholar.google.com/>

¹⁵<http://citeseerx.ist.psu.edu/>

In chronologischer Reihenfolge des Erscheinens sind die folgenden Arbeiten einer oder mehreren der genannten Kategorien zuzuordnen (Kategorie jeweils in Klammer angeführt):

- Strauss (1985)** (I) prägt in dieser Arbeit den Begriff „Articulation Work“ und beschreibt dieses auf konzeptueller Ebene ohne eine unmittelbaren Praxis- bzw. Umsetzungsbezug herzustellen.
- Gasser (1986)** (I) beschreibt die Integration von Computerunterstützung in alltägliche Arbeitsabläufe und die Anpassungsleistung der arbeitenden Individuen, wenn die aktuelle Arbeitssituation nicht mehr mit dem der Computerunterstützung zugrunde liegenden Modell übereinstimmt. Er identifiziert dabei spezifische Aktivitäten, die im Rahmen der ablaufenden „Articulation Work“ auftreten können.
- Gerson und Star (1986)** (I, II) zeigen die konkrete Manifestation von „Articulation Work“ in einer Fallstudie aus einem Versicherungskonzern und identifizieren daraus die organisationalen Rahmenbedingungen, die zu jenen Problemen führen, die „Articulation Work“ notwendig machen.
- Bendifallah und Scacchi (1987)** (II) untersuchen beziehungsweise auf Gasser (1986) „Articulation Work“ im Kontext von IT-Support-Arbeit in Unternehmen anhand von zwei Fallstudien und identifizieren dabei zwei unterschiedliche Strategien bei der Durchführung derselben. Im Detail gehen sie jedoch nicht auf die konkret zu setzenden Maßnahmen ein.
- Fujimura (1987)** (I) leitet die grundlegende Unterscheidung zwischen „Production Work“ und „Articulation Work“ anhand einer Fallstudie aus dem wissenschaftlich-medizinischen Forschungsbetrieb ab. Sie bleibt dabei auf konzeptueller Ebene und beschreibt die auftretenden Phänomene, geht jedoch nicht auf unterstützende Maßnahmen ein.
- Strauss (1988)** (I) detailliert und erweitert seine Konzepte und setzt diese in den Kontext organisationaler Projektarbeit (im dort beschriebenen Verständnis im Wesentlichen identisch mit „non-routine collective activity“). Anhand einer Fallstudie aus dem Krankenhaus-Organisations-Bereich zeigt er das Auftreten von „Articulation Work“ in der Praxis, beschäftigt sich jedoch nicht mit möglicherweise unterstützenden Interventionen.
- Schmidt (1990)** (I) beschreibt ein Framework für die Analyse kooperativer Arbeit und erwähnt dabei „Articulation Work“ als ein zu berücksichtigendes Konzept. Diese Arbeit bildet die Grundlage für die im Hinblick auf die Unterstützung von „Articulation Work“ relevantere Arbeit von Schmidt und Bannon (1992).
- Mi und Scacchi (1991)** (III) betrachten „Articulation Work“ im Kontext der Softwareentwicklung und argumentieren für deren explizite Berücksichtigung in Software Engineering Prozessen. Sie schlagen einen formalisierten Prozess zur Durchführung von „Articulation Work“ vor und führen einen Satz von regelbasierten Heuristiken

zur konkreten Durchführung ein. Sie sind damit die ersten, die sich explizit mit der Unterstützung von „Articulation Work“ beschäftigen.

Schmidt und Bannon (1992) (I, III) begründen mit dieser Arbeit eine Entwicklungsrichtung der CSCW, die neben der Unterstützung der eigentlichen produktiven Arbeit auch auf die Unterstützung von „Articulation Work“ fokussiert. Sie beschreiben damit erstmals Anforderungen an die technische Unterstützung von „Articulation Work“ und Möglichkeiten zu deren Umsetzung.

Bannon und Schmidt (1993) (II) zeigen in diesem Sammelwerk die ersten Ergebnisse des COMIC-Projektes (Rodden, 1995) und erwähnen dabei in einzelnen Beiträgen „Articulation Work“ als ein im Bereich der CSCW zu berücksichtigendes Konzept.

Corbin und Strauss (1993) (I) beschäftigen sich mit der Festlegung von Interaktionsmodalitäten in kooperativer Arbeit durch „Articulation Work“ und detaillieren dabei das Verständnis von expliziter „Articulation Work“, indem sie mögliche Zeitpunkte des Auftretens sowie Schritte bei deren Durchführung nennen.

Strauss (1993) (I) fasst im Rahmen einer umfassenderen Arbeit zur Entwicklung einer „Theory of Action“ seine Überlegungen zur Rolle und Ausgestaltung von „Articulation Work“ zusammen und würdigt diese kritisch. Konkrete Maßnahmen zur Unterstützung oder Ermöglichung von „Articulation Work“ sind aber auch hier nicht vorhanden.

Bowers (1994) (III) ist Editor eines COMIC-Deliverables (Rodden, 1995), in dem zum ersten Mal auf die in (Schmidt und Simone, 1996) ausformulierten Anforderungen zur technischen Unterstützung von „Articulation Work“ eingegangen wird.

Lenoir (1994) (IV) erwähnt „Articulation Work“ (konkret die Arbeit von Fujimura (1987)) als Beispiel der Verknüpfung unterschiedlicher wissenschaftlicher Arbeitskontexte, geht aber dann nicht näher auf „Articulation Work“ ein.

Schmidt (1994) (III) rephrasiert im Wesentlichen (Schmidt, 1990) mit Fokus auf den Aspekt der kooperativen Arbeit (und nicht der Computerunterstützung derselben). Er detailliert darin die Artikulationsnotwendigkeiten bei kooperativer Arbeit, führt jedoch hinsichtlich der Unterstützung von „Articulation Work“ keine zusätzlichen Anforderungen ein.

Schmidt et al. (1995) (III) basiert wie (Schmidt, 1994) auf (Schmidt, 1990), leitet jedoch inhaltlich bereits zu der oben im Detail behandelten Arbeit von Schmidt und Simone (1996) über.

Grinter (1995) (II) beschreibt die Verwendung von Konfigurations-Management-Systemen zur Koordination von Softwareentwicklungs-Prozessen. Sie bezieht sich dabei am Rand auf „Articulation Work“ (via (Schmidt und Bannon, 1992)), führt diesen Aspekt aber nicht näher aus. Diese Arbeit bildet jedoch die Grundlage für die hinsichtlich der Unterstützung von „Articulation Work“ relevantere Arbeit derselben Autorin (Grinter, 1996).

- Simone et al. (1995)** (III) konkretisieren die in Schmidt und Simone (1996) beschriebene Notation zur Spezifikation von Koordinationsmechanismen in CSCW-Systemen und bereiten damit den Weg zur technischen Unterstützung von „coordinating predefined work“, die in (Divitini und Simone, 2000) umfassend beschrieben ist.
- Grinter (1996)** (III) betrachtet die Rolle von „Articulation Work“ im Kontext der Softwareentwicklung und zeigt anhand zweier qualitativer empirischer Studien die Auswirkungen eines computerbasierten Configuration Management Systems bei der kooperativen Erstellung von Software.
- Schmidt und Simone (1996)** (I, III) entwickeln in ihrer Arbeit ein generisches Vorgehen zur Konzeption von technischer Unterstützung von „Articulation Work“. Aufbauend auf früheren Arbeiten der Autoren (z.B. (Schmidt, 1990) und (Schmidt und Bannon, 1992)) formulieren die Autoren eine Notation zur Spezifikation von CSCW-Systemen, die auf der Unterstützung von „Articulation Work“ aufbauen.
- Bannon und Bødker (1997)** (II) beschreiben die Verwendung von „Common Information Spaces“ im Kontext von CSCW und identifizieren die Artikulations-Bedürfnisse, die im Rahmen der Verwendung derselben auftreten können. Die Autoren gehen nicht näher auf die Umsetzung oder Unterstützung dieser konkreten Ausprägungen von „Articulation Work“ ein.
- Fjuk et al. (1997)** (I, III) versuchen, die Konzepte von „Articulation Work“ durch eine Abbildung auf die Konzepte der „Activity Theory“ zu konkretisieren. Die Autoren geben dabei neben der Erweiterung der konzeptuellen Grundlagen auch mögliche Ansatzpunkte für die Unterstützung durch rechnerbasierte Werkzeuge an.
- Fjuk und Dirckinck-Holmfeld (1997)** (II) verwendet die Ansätze von Strauss (1993), um die Interaktion in computerbasierten kooperativen Lernumgebungen (also in CSCL¹⁶-Systemen) zu betrachten. Sie verwendet dabei „Articulation Work“ als Analysedimension (als jener Teil des Arbeitsablaufs, in dem Interaktion zwischen den Lernenden vorrangig auftritt), gehen jedoch nicht näher auf deren Unterstützung ein.
- Simone und Bandini (1997)** (IV) beschreiben ein System zur Generierung von Awareness in kooperativen Anwendungen und erwähnen dabei am Rande „Articulation Work“, als einen Aspekt, bei dessen Unterstützung das System interessant sein könnte.
- Simone und Divitini (1997)** (III) berichten über den aktuellen Stand der Entwicklung bei der technischen Unterstützung von Koordinationsmechanismen in CSCW-Systemen. Sämtliche hier enthaltenen Ergebnisse werden umfassender in (Divitini und Simone, 2000) dargestellt.
- Kling und Star (1998)** (II) beschreiben „Articulation Work“ als einen Aspekt, dessen Unterstützung bei der Gestaltung von „human centered (computer) systems“ zu

¹⁶Computer Supported Cooperative Learning

berücksichtigen ist. Sie gehen jedoch nicht unmittelbar auf die mögliche Form der Unterstützung ein.

Carstensen und Schmidt (1999) (III) führen Aspekte von (Schmidt und Simone, 1996) genauer oder aus einem anderen Betrachtungswinkel aus, fügen aber dem Verständnis von „Articulation Work“ bzw. deren Unterstützung keine neuen Aspekte hinzu.

Schmidt und Simone (1999) (III) betonen basierend auf (Schmidt und Simone, 1996) den dynamischen Charakter von „Articulation Work“, die in einem Arbeitsablauf je nach Kontext unterschiedliche Ausprägungen annehmen kann. Sie fordern eine Berücksichtigung dieser Dynamik in technischen Werkzeugen zur Unterstützung von „Articulation Work“, fügen aber den Ausführungen von (Schmidt und Simone, 1996) keine fundamental neuen Anforderungen hinzu. Die Autoren leiten mit dieser Arbeit über zu der erstmals in Simone et al. (1999) vorgestellten technischen Implementierung des in den vorgegangenen Publikationen konzipierten Werkzeugs.

Simone et al. (1999) (III) stellen als Umsetzung der in (Schmidt und Simone, 1996) aufgestellten Forderungen zur Unterstützung von „Articulation Work“ durch CSCW-Systeme den „Reconciler“ vor, ein auf auf Java und CORBA¹⁷ basierendes Software-Modul, das den globalen Kontext und Zustand eines (digitalen) Arbeitsobjektes bei dessen Bearbeitung durch ein Individuum offenlegt und dadurch die Entwicklung einer gemeinsamen Sicht auf geteilt benutzte Objekte ermöglicht und die Vermeidung von Konflikten unterstützt. Der „Reconciler“ ist damit ein technisches Werkzeug zur Unterstützung von „situated Articulation Work“, die Arbeit detailliert jedoch lediglich die in (Schmidt und Simone, 1996) genannten Unterstützungsaspekte um diese technisch implementierbar zu machen.

Suchman (1999) (II) beschäftigt sich mit „invisible work“ in denen Arbeitsartefakte an die tatsächlichen Erfordernisse des jeweiligen Arbeitskontext angepasst werden („design-for-use“). Sie argumentiert für die Anerkennung (also Sichtbarmachung) dieser Arbeit durch die Entwicklung expliziter Design-Praktiken, geht aber nicht näher auf deren Ausgestaltung ein.

Star und Strauss (1999) (III) verfassen die einzige Arbeit, in der Strauss selbst Stellung zur Unterstützung von „Articulation Work“ im Generellen und der Unterstützung durch Computersysteme im Speziellen Stellung nimmt. Die Autoren würdigen die Argumente und Forderungen aus (Schmidt und Simone, 1996) kritisch und argumentieren gegen „Sichtbarkeit von Arbeit um jeden Preis“. „Articulation Work“ bedingt nicht notwendigerweise die vollständige Offenlegung aller Arbeitsaspekte sondern geht immer nur soweit wie für eine Wiederaufnahme bzw. Aufrechterhaltung der produktiven Arbeit notwendig. Als Konsequenz fordern sie CSCW-Systeme, die – zusätzlich zu den von Schmidt und Simone (1996) formulierten Anforderungen – die Kontrolle über die Sichtbarkeit der eigenen Arbeit bei

¹⁷Common Object Request Broker Architecture

den arbeitenden Individuen belassen (und stärken damit die Anforderung, die bereits von Schmidt und Bannon (1992) aufgestellt wurde, von Schmidt und Simone (1996) jedoch nicht explizit berücksichtigt wurde).

Berg und Timmermans (2000) (II) beschreiben „Articulation Work“ im Kontext von „order and disorder“ in kooperativen Arbeitssituationen (konkret im medizinischen Sektor). „Articulation Work“ ist dabei eine Ausprägung von „disordered work“, im dem Sinne, dass sie nicht vorgegebenen Regeln gehorcht bzw. zur Anwendung kommt, wenn spezifizierte, routinierte Arbeit („ordered work“) nicht mehr funktioniert. Die Autoren gehen jedoch nicht auf eine mögliche Unterstützung von „Articulation Work“ oder „ordered work“ ein.

Divitini und Simone (2000) (III) stellen ein System zur Unterstützung von etablierter kooperativer Arbeit in Form eines adaptiven Workflow-Systems vor, dessen Verhalten durch die Durchführung von „Articulation Work“ beeinflusst werden kann bzw. die Durchführung derselben unterstützt.

Schmidt und Simone (2000) (III) führen im Kontext von CSCW die bereits in (Schmidt und Simone, 1996) entwickelten Konzepte nochmals weiter und zeigen, dass bei „Articulation Work“ die Grenze zwischen der Herstellung von „mutual awareness“ (als Bezeichnung einer ad-hoc durchgeführten Abstimmung) und der Verwendung „coordinative artifacts and protocols“ (als Ausprägung einer Koordination von etablierten Arbeitsprozessen) fließend ist. Sie fordern als Folge, dass eine technische Unterstützung beide Arten von „Articulation Work“ unterstützen muss, detaillieren oder verändern aber die konkreten Anforderungen aus (Schmidt und Simone, 1996) nicht weiter.

Simone (2000) (II) beschreibt die Rolle von „classification schemes“ für CSCW, die der Klassifikation von Domänenkonzepten zugrunde liegen. Anhand mehrerer Fallstudien beschreibt die Autorin die lokale, informelle und emergente Bildung von Klassifikations-Schemata in Gruppen. Sie argumentiert letztlich dafür, dass diese Schema-Bildung Teil von „Articulation Work“ ist und unterstützt werden muss, um eventuell auftretende Inkonsistenzen zwischen den Schemata einzelner Gruppen oder Individuen zu vermeiden. Letztlich beschreibt die Autorin, dass das in (Simone et al., 1999) vorgestellte System diese Anforderung erfüllen kann.

Christensen (2001) (II) beschäftigt sich mit „Articulation Work“ in Arbeitssituationen, in die mobil arbeitende Individuen involviert sind und konzentriert sich auf jene Arbeits-Aspekte, die spezifisch für derartige Situationen zusätzlich zu artikulieren sind. Er identifiziert diese Aspekte im Rahmen einer Studie und beschreibt ausschließlich den Status quo ohne konkrete Unterstützung-Maßnahmen anzuführen. Weiterführende Arbeiten zu diesem Ansatz sind nicht publiziert.

Fuchs et al. (2001) beschreiben die technische Unterstützung von „Articulation Work“ in (verteilten) Gruppen mittels CSCW-Technologie. Die Autoren präsentieren ein

konkret umgesetztes System, das eine Reihe von Werkzeugen zur Unterstützung von „Articulation Work“ bietet.

Raposo et al. (2001) (III) stellen ein konzeptuelles Framework vor, das die Koordination von voneinander abhängigen Aufgaben in Gruppen erlauben soll und damit „Articulation Work“ mit dem Ziel „coordination of predefined work“ unterstützen soll. Dabei schlagen die Autoren eine Struktur vor, die es erlaubt, für eine Abhängigkeit zwischen Aufgaben unterschiedliche Koordinationsstrategien festzulegen, die dann kontextabhängig ausgewählt werden können. Das Framework wird in (Raposo und Hugo, 2002) weiter konkretisiert und dessen Umsetzung in einem technischen System beschrieben.

Simone und Sarini (2001) (II, III) entwickeln die Ansätze hinsichtlich der Unterstützung der Bildung von „classification schemes“ aus (Simone, 2000) weiter und konzentrieren sich dabei auf deren Adaptierung an konkrete Arbeitssituationen. Sie führen dabei aber keine neuen Aspekte hinsichtlich der Unterstützung von „Articulation Work“ ein.

Bossen (2002) (II) baut auf der Arbeit von (Bannon und Bødker, 1997) zu „Common Information Spaces“ auf und identifiziert im Rahmen einer Fallstudie im medizinischen Bereich Gestaltungsparameter, in deren Rahmen auch „Articulation Work“ als in unterschiedlichen Ausprägungen zu unterstützendes Phänomen genannt wird, ohne näher auf die Implikationen dieser Forderung einzugehen.

Davenport (2002) (II, III) beschreibt „Articulation Work“ als eine Form von „alltäglichem Wissensmanagement“, mit Hilfe dessen beteiligte Individuen im Arbeitsprozess lernen und ihre Kompetenzen erweitern („situated learning“). Anhand einer Fallstudie zeigt sie, dass das Konzept der „Communities of Practice“ (Wenger, 1998) und deren Methoden geeignet sind, diese Form von „Articulation Work“ zu unterstützen. Die Autorin deutet die Möglichkeit einer Unterstützung durch rechnerbasierte Werkzeuge an, führt diese Idee aber nur am Rande aus.

Herrmann et al. (2002) (II, III) beschäftigen sich mit Modellen von soziotechnischen Arbeitsprozessen und zeigen auf, dass zu deren (kooperativen Erstellung) „Articulation Work“ notwendig ist.

Mark et al. (2002b) (II) stellen eine Kurzfassung des in (Mark et al., 2002a) ausführlich beschriebenen Tests des „Reconciler“-Systems vor.

Mark et al. (2002a) (II) beschreiben einen ersten Test des „Reconciler“-Systems und zeigen, dass das Werkzeug tatsächlich bei der Entwicklung eines gemeinsamen Sichtweise über die Arbeitsdomäne betragen kann.

Raposo und Hugo (2002) beschäftigen sich aufbauend auf (Raposo et al., 2001) mit der Konkretisierung des Frameworks zur Unterstützung der Koordination von Aufgaben, die in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Die Autoren bereiten damit das

Feld für die technische Umsetzung des Frameworks, die in (Raposo et al., 2004) beschrieben wird.

Sarini und Simone (2002a) (III) beschäftigen sich mit „recursive Articulation Work“, also jener Form, deren Gegenstand selbst wiederum „Articulation Work“ ist. Die Autoren leiten Anforderungen an die Unterstützung dieser Form von „Articulation Work“ ab und zeigen die konkrete Umsetzung als Teil des „Reconciler“-Systems.

Sarini und Simone (2002b) beschreiben in Form einer Kurzfassung die wesentlichen Konzepte und Implementierungsansätze des „Reconciler“-Systems.

Schmidt (2002) (IV) beschäftigt sich konzeptuell mit der Unterstützung von Awareness in CSCW-Systemen und erwähnt dabei am Rande, dass Awareness oft ein wichtiger Aspekt von „Articulation Work“ ist.

Simone (2002) (IV) beschreibt die im Rahmen des „Reconciler“-Projektes durchgeführte Arbeit im Kontext von Wissensmanagement und „Organizational Memories“¹⁸. Sie zeigt, in welchen Aspekten Berührungspunkte zwischen Wissensmanagement und CSCW bestehen und weist auf mögliche Unterstützungsleistungen hin. Auf „Articulation Work“ wird nur im Zusammenhang mit dem im Wissensmanagement relevanten Abgleich von Ontologien verwiesen, der als „Articulation Work“ gesehen werden kann.

Eschenfelder (2003) (II) beschreibt eine qualitative Studie über das Management von content-zentrierten Websites und zieht „Articulation Work“ (in Bezugnahme auf das von Corbin und Strauss (1993) beschriebene Verständnis) als das der Analyse zugrundeliegende Framework heran. Die Autorin zeigt im zweiten Teil der Arbeit auf, wie Content Management Systeme den Verwaltungsprozess unterstützen können, geht aber nicht weiter auf „Articulation Work“ ein.

Olesen und Markussen (2003) (IV) beschreiben die Veränderung des Arbeitsablaufs der Rezeptausstellung in einem Krankenhaus durch Einführung eines technischen Systems, das die elektronische Verschreibung von Medikamenten erlaubt. Die Autoren verfolgen dabei einen kulturwissenschaftlichen Ansatz und weisen lediglich in der Einleitung auf „Articulation Work“ als eine bei der Umstellung des Arbeitsablaufs notwendige Tätigkeit hin.

Sarini (2003) (III) fasst die konzeptuellen Grundlagen, die Implementierung und den Test des „Reconciler“-Systems in Form seiner Dissertation zusammen. Er führt dabei jedoch keine nicht bereits in früheren Publikationen veröffentlichten Argumente oder Anforderungen ein.

Gerson (2004) (III) beschreibt die Verwendung von „Reconciliation Mechanisms“ zur Auflösung von Problemen in der Zusammenarbeit bei räumlich verteilt durchgeführter Arbeit. Diese „Reconciliation Mechanisms“ sind vorrangig organisationale oder soziale Maßnahmen, die die Zusammenarbeit verbessern bzw. wieder möglich

¹⁸für einen Überblick zu diesem Themengebiet siehe (Maier, 2008)

machen. Ein expliziter Bezug zu „Articulation Work“ wird nicht hergestellt, ausgehend von der Beschreibung sind „Reconciliation Mechanisms“ aber ein Mittel zur Durchführung von „Articulation Work“. Gerson gibt exemplarisch vier dieser Mechanismen an (z.B. „shared resource pools“ oder „participant review“), ohne jedoch deren detaillierte Ausgestaltung einzugehen.

Jørgensen (2004) (III) beschreibt die Verwendung von „interaktiven“ Prozessmodellen in organisationalen Arbeitsprozessen und die Veränderung dieser Prozesse durch Modellierungsvorgänge. Dabei bezeichnet er den Modellierungsvorgang als „Articulation Work“. „Interaktive“ Prozesse sind dabei solche, die wissensintensiv sind, im Vorhinein spezifiziert werden können und deren konkreter Ablauf erst zum Zeitpunkt der Ausführung festgelegt wird (was jenen Arbeitsabläufen entspricht, die als „problematic“ oder „non-routine“ bezeichnet werden). Der Autor entwickelt im Rahmen der Arbeit eine Methodik zur Modellierung derartiger Prozesse und ein technisches Werkzeug, das die Erstellung und Instanzierung dieser Modelle unterstützt bzw. ermöglicht.

Raposo et al. (2004) decken in ihrer Arbeit zur (technischen) Unterstützung kooperativer Arbeit explizit alle Zeitpunkte ab, in denen „Articulation Work“ auftreten kann („pre-articulation“, „coordination“, „post-articulation“). Sie schlagen zur Koordination formalisiert festgeschriebene „Commitments“ vor, die in der „pre-articulation“-Phase definiert werden und während der „post-articulation“ evaluiert werden. Damit decken die Autoren auch „recursive Articulation Work“ (Sarini und Simone, 2002a) ab. In der Arbeit wird im wesentlichen der vorgeschlagene Formalismus und dessen konzeptuelle Anwendung dargestellt.

Færgemann et al. (2005) (I, II) beschreiben „Articulation Work“ in Arbeitsprozessen, die unterschiedlich große Personenkreise umfassen, die verschieden stark miteinander vertraut sind. Die Autoren leiten auf ihren empirischen Beobachtungen vier unterschiedliche Arten von „Articulation Work“ ab, die sich jeweils in der Größe ihres Durchführungskontexts (d.h. des Teilnehmerkreises) unterscheiden. Sie beschreiben die Charakteristika dieser Arten von „Articulation Work“, gehen aber nicht auf deren Unterstützung ein (wobei sie andeuten, dass eine technische Unterstützung jeweils unterschiedlich ausfallen muss, bezeichnen dies jedoch als eine offene Forschungsfrage).

Hasu (2005) (II, IV) beschreibt die Einbindung neuer (computer-basierter) Werkzeuge in Arbeitsabläufe durch technische Laien (konkret die Verwendung eines neuen, komplexen medizinischen Gerätes durch Neurologen). Sie klassifiziert die im Zuge dessen anfallenden Aktivitäten als „invisible Articulation Work“. Sie geht im Übrigen darauf ein, wie derartige Prozesse durch ethnographische Forschung erfasst werden können, die Unterstützung von „Articulation Work“ selbst wird aber nicht weiter thematisiert.

- Hampson und Junor (2005)** (II) beschreiben die Arbeit im interaktiven (d.h. hier telemediengestützten) Kundenservice als „Articulation Work“. Die Autoren führen eine Klassifikation von unterschiedlichen Arten von Arbeitsabläufen ein, um ihren Fokus abzugrenzen. In der Folge beschreiben sie die im Rahmen des „interactive customer service“ auftretende Phänomene, deren konkrete Ausprägungen und die Reaktionen der Kundenbetreuer. Sie legen dar, welche Rolle „Articulation Work“ in diesem Kontext spielt, gehen dabei aber nicht darauf ein, wie diese Abläufe unterstützt werden können.
- Cabitz et al. (2006)** (III) entwickeln den „Reconciler“-Ansatz weiter und wenden ihn unter Bezugnahme auf Færgemann et al. (2005) auf „globale Articulation Work“ an. Sie entwickeln dabei ein konzeptuelles Framework, das (wie im Falle des „Reconciler“-Ansatzes) auf Artefakten als Artikulations-Objekten beruht und geben eine Methodik an, wie derartige Artefakte entwickelt werden können (im Sinne der „recursive Articulation Work“). Die vollständige Umsetzung sowie eine Evaluierung des Konzepts stand zum Zeitpunkt der Publikation der Arbeit noch aus.
- Crabtree et al. (2006)** (II, III) zeigen die Relevanz von „Articulation Work“ in Situationen, in denen Personen einander Hilfestellungen geben. Die Autoren beschreiben dabei Situationen, in denen die Hilfestellung „remote“ (d.h. aus der Entfernung) erfolgt. Sie zeigen, welche Artikulationsprozesse dabei regelmäßig auftreten und leiten Anforderungen an eine mögliche Unterstützung für derartige Arbeitsprozesse ab. Obwohl grundsätzlich relevant für die Unterstützung von „Articulation Work“, bleibt diese Arbeit hinsichtlich der Anforderungen jedoch relativ abstrakt und unspezifisch.
- Kaghan und Lounsbury (2006)** (II, III) (bzw. der ebenfalls vorliegende ausführlichere Preprint (Kaghan und Lounsbury, 2004)) zeigen mit kulturwissenschaftlichem Hintergrund, wie organisationale Artefakte (also Ergebnisse bzw. Gegenstände von Arbeit) kooperativ erstellt, verwendet und angepasst werden und in der Folge die mit ihnen verbundene Arbeit widerspiegeln. Die Autoren bedienen sich dabei einer Fallstudie aus dem Bereich des Technologietransfers zwischen Universitäten und Wirtschaft, wo Verträge als Artefakte bzw. die Vertragsverhandlung als relevanter Arbeitsablauf im Detail betrachtet werden. „Articulation Work“ kommt dabei im Rahmen der Vertragsanbahnung („arranging deals“) zum Einsatz. Allgemein hat „Articulation Work“ hier das Ziel, ein erreichtes gemeinsames Verständnis so in einem Artefakt abzubilden, dass dieses von den Beteiligten als Repräsentant der vereinbarten Zusammenarbeit akzeptiert wird. Die Autoren nehmen wie Davenport (2002) Bezug auf „Communities of Practice“ als wesentliches Konzept bei der Entwicklung dieser Artefakte.
- Baker und Millerand (2007)** (I, II) beschreiben, wie „Articulation Work“ im Rahmen des Designs von „information infrastructure“ (als Bezeichnung von Systemen, die Verwaltung und strukturierte Manipulation von Information erlauben) zur An-

wendung kommt. Die Autoren beziehen sich auf eine von ihnen durchgeführte empirische Studie und fassen aufgrund ihrer Erkenntnisse den Begriff „Articulation Work“ so breit, dass er nicht nur die Abstimmung der eigentlichen Arbeitsabläufe umfasst, sondern etwa auch die Aushandlung eines gemeinsamen Verständnisses über den Aufbau der Arbeitsdomäne.

Cabitza und Sarini (2007) (IV) beschreiben die Verwendung von „dokumentarischen Artefakten“ und deren Computer-Unterstützung im medizinischen Bereich. Die Autoren gehen dabei nur in einem Nebensatz explizit auf „Articulation Work“ ein, die Arbeit dient aber gemeinsam mit Cabitza et al. (2006) als Grundlage der weiteren Entwicklungen zur Unterstützung von „Articulation Work“, die in (Cabitza und Simone, 2009a) beschrieben wird.

Convertino et al. (2008) (IV) beschreiben, wie in kooperativen Arbeitsprozessen ein gemeinsames Verständnis der Arbeitsdomäne („common ground“) entwickelt werden kann und in weiterer Folge eine einfachere Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Individuen ermöglicht. Die Autoren beziehen sich aber nur im Rahmen der in der Arbeit beschriebenen empirischen Studie am Rande auf „Articulation Work“.

Larsen und Bardram (2008) (II) beschreiben, wie in kooperativen Arbeitsprozessen Information über die Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der beteiligten Individuen ausgetauscht wird. Aus der vorgestellten empirischen Studie leiten die Autoren ab, dass – trotz fortgeschrittener technischer Möglichkeiten – die Abstimmung von Kompetenzen und Verantwortlichkeiten in kooperativer Arbeit in synchronen Anwendungsszenarien zu einem besseren Ergebnis führt als in asynchronen Settings.

Cabitza et al. (2008) (IV) betrachtet die Ausführungen aus Cabitza und Sarini (2007) aus Perspektive des Wissensmanagement und bildet damit ebenso die Grundlage für die in (Cabitza und Simone, 2009a) vorgestellte technische Lösung vor. „Articulation Work“ als Konzept wird hier nicht explizit angesprochen.

Cabitza und Simone (2009a) (III) schlagen „active artifacts“ als Mittel zur Unterstützung von „Articulation Work“ zwischen „Communities“ im Arbeitsablauf (im Sinne von „coordinating predefined work“) vor. „Active artifacts“ können dabei nicht nur Information tragen, sondern auch auf ihren aktuellen Kontext reagieren und selbständig aktiv Information vermitteln. Dabei führen die Autoren auch ein Konzept an, wie das Verhalten derartiger „active artifacts“ spezifiziert werden können. Hinsichtlich der Unterstützung von „Articulation Work“ ist die Arbeit als technische Detaillierung und Verfeinerung der in Cabitza et al. (2006) bereits vorgestellten Konzepte zu sehen.

Cabitza und Simone (2009b) (III) stellen die in Cabitza et al. (2006) vorgeschlagene und in (Cabitza und Simone, 2009a) eingesetzte Sprache zur Spezifikation von Koordinations-Artefakten in „global Articulation Work“ im Detail vor. Diese ba-

siert im Wesentlichen auf der Formulierung von ECA-Regeln, die im operativen Betrieb die Grundlage der Koordinations-Unterstützung bilden.

Cabitza et al. (2009) (II) stellen eine empirische Studie zur Motivation des in (Cabitza und Simone, 2009a) vorgestellten Systems vor und zeigen dessen unterstützende Wirkung bei der Durchführung von „Articulation Work“.

Betrachtet man diese Arbeiten in ihrer Gesamtheit, so zeigt sich die historische Entwicklung der Forschung zum Thema „Articulation Work“ oder unter Verwendung derselben. Vor allem wird ein starker Bezug zur Konzeption von CSCW-Systemen sichtbar, in deren Kontext ein Großteil der verfügbaren Arbeiten verfasst wurden. Zudem sind auch Gruppen von Publikationen zu erkennen, die im gleichen Kontext publiziert wurden und sich nur in Einzelaspekten unterscheiden. Abbildung A.1 auf Seite 490 zeigt diese Zusammenhänge.

Beginnend mit den Arbeiten von Strauss in der linken oberen Ecke ist vertikal die zeitliche Dimension der Publikation von Arbeiten zu Artikulation Work aufgetragen. Die Seitenbreite wird zur thematischen Gruppierung der Publikationen verwendet. Die Pfeile zwischen Publikationen bzw. Publikationsgruppen stellen einen inhaltlichen Bezug dar. Die Publikationen am Endpunkt des Pfeils nehmen dabei Bezug auf jene, die sich am Ausgangspunkt des Pfeils befinden.

Am linken Rand der Darstellung sind die Arbeiten zu finden, die im soziologischen Kontext verfasst wurden. Die meisten der dort angesiedelten Publikationen sind Grundlagenarbeiten, die den Begriff „Articulation Work“ und dessen konzeptuellen Kontext erörtern oder anhand von Fallstudien das Auftreten von „Articulation Work“ zeigen.

Im Zentrum der Darstellung steht die größte Gruppe von Arbeiten, die im Kontext von CSCW verfasst wurde. Die Arbeiten, die sich auf CSCW beziehen, haben dabei zum Teil die Ableitung für Anforderungen an eine technische Unterstützung von „Articulation Work“ zum Ziel, der Rest der Arbeiten beschäftigt sich eher mit der technischen Umsetzung der Unterstützung. Jene Publikationen, die eher ersterer Gruppe zuzuordnen sind, sind eher links angeordnet, die technisch orientierten Publikationen befinden sich eher rechts. Die Entfernung zur Mittelachse hat dabei keine Aussagekraft, sondern ist nur einer übersichtlichen Anordnung geschuldet.

Innerhalb der CSCW-Gruppe gibt es zwei bedeutende Sub-Gruppen, die untereinander in Beziehung stehen. Einerseits ist die Gruppe von Publikationen zu nennen, die im Rahmen des COMIC-Projektes 1992-1995 entstanden sind (Rodden, 1995). In diesem Projekt wurde die Grundlage der Berücksichtigung von „Articulation Work“ als Thema von CSCW gelegt. Bereits im Rahmen des COMIC-Projektes beginnend, publiziert die Gruppe um Simone Arbeiten zur konkreten technischen Umsetzung der Unterstützung durch computerbasierte Werkzeuge. Die Implementierungen, auf die dabei immer wieder Bezug genommen wird, werden als „Ariadne“ (für den Koordinierungsaspekt von

„Articulation Work“) „Reconciler“ (für den Awareness-Aspekt von „Articulation Work“) bezeichnet, was auch als Namensgeber dieser Gruppe von Arbeiten herangezogen wurde.

Weiter rechts am oberen Rand der Abbildung befinden sich Arbeiten, die „Articulation Work“ im Kontext der Software-Entwicklung betrachten. Dies sind die ersten Arbeiten, die eine konkrete Anwendung der Konzepte um „Articulation Work“ außerhalb der Soziologie bzw. der Community um Strauss zeigen. Die Unterstützung von „Articulation Work“ ist hier nur teilweise Gegenstand der Betrachtung, wo sie aber angesprochen wird, ist sie entsprechend der Anwendungsdomäne eher technisch orientiert.

Ganz rechts sind jene Arbeiten zu finden, die auf „Articulation Work“ Bezug nehmen, jedoch nicht einer der bisher beschriebenen Gruppen zuzuordnen sind. Hier finden sich Publikationen, die vor philosophischem, organisationswissenschaftlichem Hintergrund oder mit Bezug zum Wissensmanagement verfasst wurden. Herauszugreifen ist hier die Arbeit von Jørgensen (2004), der die Rolle von Modellen (konkret konzeptuellen Modellen von Arbeit) bei der Durchführung von „Articulation Work“ betrachtet und damit erstmals einen konkreten Unterstützungsbezug zwischen „Artikulation Work“ und der Domäne der Organisationswissenschaften herstellt (was wiederum für die Betrachtung von „Articulation Work“ im organisationalen Kontext von Interesse ist).

Insgesamt ist in der Abbildung ein starker Schwerpunkt auf die technische Unterstützung von Arbeit, konkret „Articulation Work“, zu erkennen. Dieser Schwerpunkt wurde sowohl konzeptuell als auch technisch ab Beginn der 90er-Jahre des 20. Jahrhunderts bis etwa 2005 ausführlich bearbeitet. In den letzten Jahren treten verstärkt Fallstudien auf, die einen Bezug zu „Articulation Work“ herstellen, jedoch nur bedingt auf deren Unterstützung eingehen.

B. Daten der empirischen Untersuchung

Die Darstellung der erhobenen Rohdaten der empirischen Untersuchung und deren detaillierte Auswertung würden an dieser Stelle den Rahmen der Arbeit sprengen. Durch die große Anzahl an Videoaufnahmen, die insgesamt etwa 23 GB¹ an Speicherplatz einnehmen, ist auch die Beilage eines Datenträgers nicht möglich.

Die Rohdaten, die durchgeführten Auswertungen und Transkripte sowie die Skripte der statistischen Tests mit der Software R können via eMail unter

stefan@oppl.info

angefordert werden.

B.1. Verfügbare Rohdaten

Zu den Untersuchungen stehen im Einzelnen folgende Rohdaten zur Verfügung:

- Evaluierungsblock 1 (siehe auch (Bohninger, 2010))
 - Videoaufnahmen der Modellbildung (Detailansicht der Modellierungsoberfläche)
 - Fotos der finalen Versionen der erstellten Modelle
 - Fragebögen der Befragungen der modellierenden Teilnehmer
 - Fragebögen der Befragungen der interpretierenden Teilnehmer
 - Fragebögen zur Korrektheit der Interpretation
- Evaluierungsblock 2
 - Videoaufnahmen der Modellbildung (Detailansicht der Modellierungsoberfläche inkl. Personen)
 - Fotos bzw. graphische Abbildungen der finalen Versionen der erstellten Modelle

¹Gigabyte

- Tagebücher über den Erstellungsprozess der Seminararbeit (= „Production Work“) aller Teilnehmer
- Seminararbeiten (= Ergebnis der „Production Work“) bei Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs und aus Lehrveranstaltungen mit identischer Aufgaben- und Themenstellung ohne Einsatz von unterstützenden Maßnahmen bei der Durchführung von „Articulation Work“
- Evaluierungsblock 3
 - Videoaufnahmen der Modellbildung aus jeweils 2 Perspektiven (Gesamtübersicht inkl. Personen sowie Detailansicht der Modellierungsoberfläche)
 - Graphische Abbildungen der finalen Versionen der erstellten Modelle
- Evaluierungsblock 4 (siehe auch (Wahlmüller, 2010))
 - Videoaufnahmen der Modellbildung können aus Gründen der Schutzes unternehmensinterner Information auf diesem Wege nicht weitergegeben werden. Etwaige Anfragen sind an Patrick Wahlmüller (Kontakt Daten in (Wahlmüller, 2010)) zu richten.
 - Graphische Abbildungen der finalen Versionen der erstellten Modelle
 - Fragebögen zur Arbeit mit dem Werkzeug
 - Fragebögen zu den Auswirkungen der Durchführung von „Articulation Work“
- Evaluierungsblock 5 (siehe auch (Bindreiter, 2010))
 - Videoaufnahmen der Modellbildung mittels CMapTools und am Modellierungstisch aus jeweils 2 Perspektiven (Gesamtübersicht inkl. Personen sowie Detailansicht der Modellierungsoberfläche)
 - Graphische Abbildungen der finalen Versionen der erstellten Modelle
 - Als XML exportierte Repräsentationen der mit CMapTools erstellten Modelle (inkl. Modellierungshistorie)
 - Fragebögen zur Arbeit mit dem Werkzeug

B.2. Durchgeführte Auswertungen

Zu den Untersuchungen wurden folgende Auswertungen durchgeführt und archiviert. Die einzelnen Auswertungsmethoden sind auf den folgenden Seiten näher beschrieben.

- Evaluierungsblock 1 (siehe auch (Bohninger, 2010))
 - Überblicksauswertung aller Anwendungen und Modelle
 - Deskriptive Parameter aller quantitativ erhobenen Merkmale
- Evaluierungsblock 2

- Überblicksauswertung aller Anwendungen und Modelle
- Interaktionsanalyse aller Anwendungen
- Deskriptive Parameter aller quantitativ erhobenen Merkmale
- Signifikanztests der zur Hypothesenprüfung verwendeten Merkmale
- Evaluierungsblock 3
 - Überblicksauswertung aller Anwendungen und Modelle
 - Interaktionsanalyse aller Anwendungen
 - Deskriptive Parameter aller quantitativ erhobenen Merkmale
 - Signifikanztests der zur Hypothesenprüfung verwendeten Merkmale
- Evaluierungsblock 4 (siehe auch (Wahlmüller, 2010))
 - Überblicksauswertung aller Anwendungen und Modelle
 - Interaktionsanalyse aller Anwendungen
 - Deskriptive Parameter aller quantitativ erhobenen Merkmale
 - Deskriptive Parameter der Items der Benutzerbefragung
 - Signifikanztests der zur Hypothesenprüfung verwendeten Merkmale und Befragungsite
 - Codierung der zur Hypothesenprüfung verwendeten offenen Items der Benutzerbefragung
- Evaluierungsblock 5 (siehe auch (Bindreiter, 2010))
 - Überblicksauswertung aller Anwendungen und Modelle
 - Interaktionsanalyse aller Anwendungen
 - Deskriptive Parameter aller quantitativ erhobenen Merkmale
 - Deskriptive Parameter der Items der Benutzerbefragung
 - Signifikanztests der zur Hypothesenprüfung verwendeten Merkmale und Befragungsite
 - Codierung der zur Hypothesenprüfung verwendeten offenen Items der Benutzerbefragung

B.2.1. Überblicksauswertung

Die Überblicksauswertung fasst die wesentlichen Eigenschaften des in einer Anwendung erstellten Modells sowie die während der Erstellung aufgetretenen Ereignisse zusammen. Die Daten wurden in Form einer Openoffice-Tabelle aufbereitet und stehen als

ODF²-Dateien zur Verfügung. Sie dienen als Grundlage aller weiteren deskriptiven und schließenden statistischen Auswertungen.

Die konkrete Ausgestaltung der Tabelle variiert je nach Evaluierungsblock (abhängig von der durchgeführten Modellierungsaufgabe und der im Werkzeug implementierten Funktionalität) leicht, in Abbildung B.1 ist der Raster aus Evaluierungsblock 5 dargestellt, in dem die höchste Anzahl von Merkmalen erhoben wurden.

Die Befüllung der Raster erfolgte auf Basis der angefertigten Video-Aufnahmen der Werkzeuganwendungen. In den Blöcken 3 und 5 wurden die Raster redundant unabhängig voneinander von jeweils zwei Personen befüllt. Sofern Abweichungen bei der Auswertung der quantitativen Parameter festgestellt wurden, wurde das jeweilige Merkmal durch eine dritte Person geprüft und ggf. entsprechend korrigiert. In den Blöcken 1, 2 und 4 standen nicht ausreichend personelle Ressourcen für eine redundante Auswertung zur Verfügung.

B.2.2. Interaktionsanalyse

Die Interaktionsanalyse wurde wie in Abschnitt 11.3.5 beschrieben durchgeführt und dokumentiert. Die Dokumentation erfolgte in Textdokumenten, die als ODF-Dateien zur Verfügung stehen.

In den Evaluierungsblöcken 3 und 5 wurde die Interaktionsanalyse für jede Werkzeuganwendung von zwei Personen redundant durchgeführt. In den Blöcken 2 und 4 standen die personellen Ressourcen für eine redundante Auswertung nicht zur Verfügung. In den Fällen, in denen redundant ausgewertet wurde, wurden Transkripte, die nur von einer der auswertenden Personen als relevant identifiziert wurden, von einer dritten Person geprüft und bestätigt bzw. verworfen.

B.2.3. Deskriptive Parameter

Zur deskriptiven Beschreibung der erhobenen metrischen und ordinalen Merkmale in der Modellbildung und bei der Benutzerbefragung wurden im Wesentlichen folgende Parameter herangezogen:

- Stichprobengröße
- Mittelwert
- Standardabweichung
- Boxplot, dieser codiert:
 - 2.5%-Quantil

²Open Document Format

B.2. Durchgeführte Auswertungen

Video#		lt. Dateiname
Anzahl der Modellierenden		
Modellierungsdauer (nicht Videolänge)		mögl. sekundengenau
davon Netto-Modellierungszeit		ohne Diskussionzeit, Stehzeiten bei Fehlern, ...
# Blöcke		# ... Anzahl
# bedeutungstragende Elemente		Anzahl der unterschiedlichen Bedeutungen, die den farbigen Blöcken zugewiesen wurden
# benannte Verbinder		
# Verbinder – ungerichtet (durch Zusammenfügen der Elemente)		Schnelles Herstellen einer Verbindung
# Verbinder – ungerichtet (durch explizites Markieren)		Verwendung der Markierungs-Tokens
# Verbinder - gerichtet		
# Einbettungen / Submodelle		Gesamtanzahl von Einbettungen
Hierarchietiefe		max. Anzahl der ineinander eingebetteten Ebenen
# Anzahl der strukturverändernden Überarbeitungen		nicht Neuordnung der Elemente sondern Bedeutungsveränderung bereits bestehender Modellteile
Zufriedenheit mit dem Ergebnis		lt. Äußerungen der Modellierer
Größe Oberfläche ausreichend?		geschlossen aus dem Modellierungsverlauf
Anzahl Element-Arten ausreichend?		geschlossen aus dem Modellierungsverlauf
Anmerkungen der Teilnehmer über die Erfahrungen bei der Werkzeug-Verwendung		jeweils mit Zeitstempel
Raumigkeiten bei der Modellierung		jeweils mit Zeitstempel
Aufgabenverteilung bei der eigentlichen Modellierung		als Freitext formuliert, kurze Angabe der Rollen der jeweiligen Personen
Zeitverteilung der Aktivität am Tisch		mögl. minutengenau
	TN A	
	TN B	
	TN C	
# Wechsel der Initiative		
Bedeutung(en) rot		durch die Benutzer zugewiesene Bedeutung
Bedeutung(en) blau		bei Bedeutungswechsel während der Modellierung:
Bedeutung(en) gelb		alle Bedeutungen in der Reihenfolge des Auftretens angeben
Zeitpunkt der Bedeutungsaushandlung		wann wird die Bedeutung der Elemente festgelegt
Vorgehen bei der Bedeutungsaushandlung		wie wird die Bedeutung der Elemente festgelegt

Abbildung B.1.: Raster der Überblicksauswertung

- 25%-Quantil
- Median
- 75%-Quantil
- 97.5%-Quantil
- Ausreißer (Werte unterhalb des 2.5% und oberhalb des 97.5%-Quantils)

Diese Parameter wurden für die Merkmale aller fünf Evaluierungsblöcke berechnet. Teilweise wurden einzelne Merkmale zueinander in Beziehung gesetzt, um eine Normierung bzw. Vergleichbarkeit der Werte über Anwendungen bzw. Evaluierungsblöcke hinweg gewährleisten zu können.

B.2.4. Signifikanztests

Signifikanztests wurden lediglich für jene Merkmale durchgeführt, die zur Hypothesenprüfung verwendet wurden. Da die Untersuchungen teilweise Bestandteil von für sich genommen umfangreicher angelegter Untersuchungen im Rahmen von Masterarbeiten waren, sind nicht alle erhobenen Merkmale (vor allem in der Benutzerbefragung) für diese Arbeit von Relevanz. Auswahlkriterien für Signifikanztests und Anmerkungen zu deren Durchführung wurden in Abschnitt 11.3.2 angegeben. Signifikanztests wurden in den Evaluierungsblöcken 2 bis 5 durchgeführt.

B.2.5. Codierung offener Items

Bei der Auswertung der für die Hypothesenprüfung relevanten offenen Items in der Benutzerbefragung der Evaluierungsblöcke 4 und 5 wurde jeweils ein Codierungsschema entwickelt, um inhaltlich identische Antworten zusammenzufassen. Dies wurde wiederum nicht für alle in den Fragebögen angeführten offenen Items durchgeführt, die diese teilweise Bestandteil von für sich genommen umfangreicher angelegter Untersuchungen im Rahmen von Masterarbeiten waren.

B.3. Verwendete Fragebögen

Bei der Durchführung der Evaluierungsblöcke 1, 4 und 5 wurden zusätzlich zu den direkt aus der Modellbildung erhobenen Daten auch Benutzerbefragungen mittels Fragebögen durchgeführt. Im Folgenden sind für jeden Evaluierungsblock die verwendeten Fragebögen angeführt. Zusätzlich werden die Fragebögen hinsichtlich ihrer Relevanz für die untersuchten Hypothesen (siehe Kapitel 12 bis 14) eingeordnet. Die Auswertungen der ausgefüllten Fragebögen sind detailliert (siehe Abschnitt B.1) bzw. aggregiert (siehe Abschnitt B.2) in digitaler Form verfügbar.

B.3.1. Fragebögen aus Evaluierungsblock 1

Die Abbildungen B.2 bis B.4 zeigen den in Evaluierungsblock 1 verwendeten Fragebogen für die Modellierenden. Die Abbildungen B.5 bis B.6 zeigen den in Evaluierungsblock 1 verwendeten Fragebogen für die interpretierenden Teilnehmer. Abbildung B.7 zeigt den Fragebogen bezüglich der Korrektheit der Interpretation, der durch die Modellierenden ausgefüllt wurde. Abbildung B.8 zeigt den Fragebogen zur Erhebung der Modellierungsvorkenntnisse. Dieser Fragebogen wurde von allen Teilnehmern ausgefüllt. Der Aufbau der Fragebögen wurde von Bohninger (2010) detailliert beschrieben und begründet.

Fragen für Modellierenden

1) Fragen zur Modellierung allgemein

a. Stellte die Modellierung für Sie eine schwierige Aufgabe dar?

schwierig eher schwierig eher einfach einfach

i. Welche Aspekte der Modellierung empfanden Sie als schwierig?

ii. Warum empfanden Sie die oben genannten Aspekte der Modellierung als schwierig?

b. Wie schätzen Sie die Modellierungsgeschwindigkeit ein?

schnell eher schnell eher langsam langsam

2) Fragen zum Tool

a. War das Modellierungswerkzeug generell einfach zu verwenden?

schwierig eher schwierig eher einfach einfach

b. War Ihnen klar, wie sie mit dem Modellierungswerkzeug umzugehen hatten?

unklar eher unklar eher klar klar

Abbildung B.2.: Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 1

B.3. Verwendete Fragebögen

c. War Ihnen klar, welche Funktion das Modellierungselement XY hatte?

d. Empfinden sie die Modellierung am Tisch als hilfreich bei der Bewältigung der Aufgabe?

hilfreich eher hilfreich wenig hilfreich nicht hilfreich

i. Welche Aspekte des Tisches empfinden sie als hilfreich bzw. nicht hilfreich?

ii. Warum empfinden Sie die oben genannten Aspekte des Tisches als hilfreich bzw. nicht hilfreich?

e. Haben Sie Vorschläge, wie man den Tisch verbessern könnte, um den Ablauf klarer und benutzerfreundlicher zu gestalten?

Abbildung B.3.: Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 2

3) Fragen zum Ergebnis

a. Wie genau gibt das erstellte Modell Ihrer Ansicht nach den beschriebenen Ablauf wieder?

sehr genau eher genau eher ungenau sehr ungenau

b. Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Modellierungsergebnis?

zufrieden eher zufrieden eher unzufrieden unzufrieden

c. Warum sind Sie mit Ihrem Modellierungsergebnis zufrieden/unzufrieden?

Abbildung B.4.: Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 3

Fragen für Interpretierenden

1) Fragen zum Ergebnis

a. Beschreiben Sie bitte kurz in einigen Worten das abgebildete Modell.

b. Welche Bedeutung hat Ihrer Ansicht nach das Modellierungselement XY?

c. Wie einfach war es für Sie das erstellte Modell zu interpretieren und damit auf den beschriebenen Ablauf zu schließen?

i. schwierig eher schwierig eher einfach einfach

ii. Was sind Ihrer Ansicht nach die Gründe für die einfache/schwierige Lesbarkeit des Modells?

Abbildung B.5.: Fragebogen für Interpretierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 1

d. Welche Teile des Modells waren für Sie schwer verständlich?

i. Warum waren die oben genannten Teile des Modells Ihrer Ansicht nach schwer verständlich?

Abbildung B.6.: Fragebogen für Interpretierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 2

Fragen für Modellierer bezüglich des Verständnis des Interpretierenden

1) Fragen zum Verständnis des Interpretierenden

- a. Hat der Interpretierende Ihrer Ansicht nach das von Ihnen erstellte Modell allgemein verstanden?
 - i. gut verstanden eher verstanden eher nicht verstanden
 nicht verstanden

- b. Welche Teile des von Ihnen erstellten Modells hat der Interpretierer Ihrer Ansicht nach nicht verstanden?
 - i. Was waren Ihrer Ansicht nach die Gründe für Missverständnisse?

Abbildung B.7.: Fragebogen bezüglich der Korrektheit der Interpretation in Evaluierungsblock 1

Fragen bezüglich Modellierungsvorkenntnissen

1. Haben Sie schon einmal Prozessmodelle erstellt?
 ja nein

2. Haben Sie Erfahrung mit Programmen zur Prozessmodellierung wie Aris oder Adonis?
 ja nein

3. Haben Sie beruflich mit Prozessmodellierung oder Prozessmanagement zu tun?
 ja nein

4. Haben Sie Lehrveranstaltungen besucht, welche sich mit dem Thema Prozessmodellierung oder Prozessmanagement beschäftigten?
 ja nein

5. Modellieren Sie einen beliebigen Kernprozess aus ihrem beruflichen oder privaten Umfeld. Verwenden Sie max. 10-15 Symbole und geben Sie die Bedeutung der benutzten Symbolarten in einer Legende an.

Abbildung B.8.: Fragebogen bezüglich Modellierungsvorkenntnissen in Evaluierungsblock 1

B.3.2. Fragebögen aus Evaluierungsblock 4

Die Abbildungen B.9 bis B.16 zeigen den ersten in Evaluierungsblock 4 verwendeten Fragebogen. Die Abbildungen B.17 bis B.24 zeigen den zweiten in Evaluierungsblock 4 verwendeten Fragebogen. Der Aufbau der Fragebögen wurde von Wahlmüller (2010) detailliert beschrieben und begründet.

FRAGEBOGEN
Evaluierung Modellierungstisch GWMD

DANKE, dass Sie an der Evaluierung teilnehmen. Da Sie ihre Modellierungstätigkeit beendet haben, bitten wir Sie nun diesen kurzen Fragebogen auszufüllen, um uns Ihre persönliche Meinung zu dem von Ihnen verwendeten Werkzeug mitzuteilen.

Der Fragebogen besteht aus 6 Blöcken. Bei den ersten Blöcken müssen Sie die Aussagen auf einer Skala von 1-7 bewerten. Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“. Am Besten Sie kreuzen die Ziffer an, die Ihnen intuitiv einfällt. Im letzten Fragenblock gibt es dann offene Fragen mit der Möglichkeit, die persönlichen Erkenntnisse auch durch Worte mitzuteilen.

Dieser Fragebogen wird ausschließlich für die Auswertung der Evaluation verwendet. Die Ergebnisse stehen ausschließlich anonymisiert zur Verfügung.

Für die Beantwortung des Fragebogens sind insgesamt etwa 10 Minuten vorgesehen.

Abbildung B.9.: Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 1

Nutzen des Werkzeugs

1 NUTZEN DES WERKZEUGS

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Mit Hilfe des Werkzeugs war die Modellierung schnell und einfach durchführbar.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug hilft mir den Überblick über meine Modellierungstätigkeit zu behalten.	1	2	3	4	5	6	7
Ich stufe das Werkzeug als nützliches Hilfsmittel für meine Modellierungstätigkeit ein.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 2/8

Abbildung B.10.: Erster Fragebogen für Evaluationsblock 4 - Seite 2

Nutzerfreundlichkeit

2 NUTZERFREUNDLICHKEIT

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Das Werkzeug ist umständlich zu verwenden.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs ist oft frustrierend.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug tut was ich will.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug ist starr und unflexibel in der Nutzung.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs fällt mir leicht.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug ist einfach zu bedienen.	1	2	3	4	5	6	7
Ich denke, es benötigt einiges an Aufwand um bei diesem Werkzeug fachkundig zu werden.	1	2	3	4	5	6	7
Die Bedienung des Werkzeugs ist intuitiv.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs ist anstrengend.	1	2	3	4	5	6	7
Insgesamt finde ich das Werkzeug einfach zu nutzen.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 3/8

Abbildung B.11.: Erster Fragebogen für Evaluationsblock 4 - Seite 3

Zufriedenheit des Modellierers

3 ZUFRIEDENHEIT DES MODELLIERERS

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Das Modellierungswerkzeug ist einfach in der Anwendung.	1	2	3	4	5	6	7
Die Informationen waren ausreichend um das Modell zu erstellen.	1	2	3	4	5	6	7
Um mit dem Werkzeug gut zu Recht zu kommen, hätte ich intensivere Vorbereitung benötigt.	1	2	3	4	5	6	7
Die benötigte Zeit um das Modell zu Erstellen empfand ich als angemessen.	1	2	3	4	5	6	7
Das Modellieren ist kompliziert.	1	2	3	4	5	6	7
Ich bin zufrieden mit meinem Beitrag zum Ergebnis.	1	2	3	4	5	6	7
Ich bin zufrieden mit dem Modellierungsergebnis.	1	2	3	4	5	6	7
Das Modellieren ist einfach.	1	2	3	4	5	6	7
Ich würde wieder an anderen Evaluationen teilnehmen.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 4/8

Abbildung B.12.: Erster Fragebogen für Evaluationsblock 4 - Seite 4

Auswirkungen der Modellierung

4 AUSWIRKUNGEN DER MODELLIERUNG

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Die Modellierungstätigkeit hat mein Verständnis des Modellierungsinhalts erhöht.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung hat Verbesserungen für bisherige Tätigkeiten aufgezeigt.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung verhindert Möglichkeiten für Innovationen.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung hat einen Beitrag zur Zielerreichung geleistet.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 5/8

Abbildung B.13.: Erster Fragebogen für Evaluationsblock 4 - Seite 5

Kollaboration beim Modellieren

5 KOLLABORATION BEIM MODELLIEREN

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Die Zusammenarbeit als Team empfand ich als angenehm.	1	2	3	4	5	6	7
Die Zusammenarbeit als Team fand ich als nützlich.	1	2	3	4	5	6	7
Ich konnte meine persönliche Meinung und Ideen ausreichend einbringen.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug hat die Zusammenarbeit als Team erleichtert.	1	2	3	4	5	6	7

Bei den folgenden Fragen können Sie Ihre Antworten frei formulieren:

1. Sind Sie zufrieden mit Ihrem Beitrag zum Modellierungsprozess? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an.

Ja, bin zufrieden

Nein, bin nicht zufrieden

... weil, _____

2. Wie würden Sie Ihre Beziehung im Team während der Modellierung beschreiben?
(zB Gesprächsverlauf, Meinungsverschiedenheiten, gemeinsames Arbeiten mit dem Werkzeug)

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010
Seite 6/8

Abbildung B.14.: Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 6

Persönliche Erfahrung

6 PERSÖNLICHE ERFAHRUNG

Bei den folgenden Fragen können Sie Ihre Antworten vollkommen frei formulieren.

1. Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis Ihrer Modellierung?
Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an (Aussehen, Richtigkeit, Vollständigkeit, Verständlichkeit, ...)

Ja, bin zufrieden

Nein, bin nicht zufrieden

... weil, _____

2. Sind Sie zufrieden mit dem Ablauf Ihrer Modellierung?
Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an (Zusammenarbeit, Kommunikation, Umgang mit dem Werkzeug, ...)

Ja, bin zufrieden

Nein, bin nicht zufrieden

... weil, _____

3. Wie zufrieden waren Sie im Allgemeinen mit dem Werkzeug?
Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an (Traten Probleme auf, Was hat Ihnen besonders gefallen? Was würden Sie ändern, ...)

Ja, bin zufrieden

Nein, bin nicht zufrieden

... weil, _____

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 7/8

Abbildung B.15.: Erster Fragebogen für Evaluationsblock 4 - Seite 7

Persönliche Erfahrung

4. Hier können Sie noch zusätzliche Anmerkungen machen
(Was ist Ihnen weiters aufgefallen? Was würden Sie gerne noch mitteilen?)

DANKE!

Fragebogen – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 8/8

Abbildung B.16.: Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 8

FRAGEBOGEN

Evaluierung Modellierungstisch GWMD

DANKE, dass Sie an der Evaluierung teilnehmen. Sie haben bereits unmittelbar nach der Modellierung einen Fragebogen ausgefüllt. Dieser zweite Fragebogen dient dazu, um die Auswirkungen Ihrer Modellierung nach etwa 3 Monaten zu erkennen und Ihre persönliche Meinung zu dem von Ihnen damals verwendeten Werkzeug ermitteln.

Der Fragebogen besteht aus 5 Blöcken. Bei den Blöcken 1-4 müssen Sie die Aussagen auf einer Skala von 1-7 bewerten. Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“. Am Besten Sie kreuzen die Ziffer an, die Ihnen intuitiv einfällt. Im letzten Fragenblock gibt es dann offene Fragen mit der Möglichkeit, die persönlichen Erkenntnisse auch durch Worte mitzuteilen.

Dieser Fragebogen wird ausschließlich für die Auswertung der Evaluation verwendet. Die Ergebnisse stehen ausschließlich anonymisiert zur Verfügung.

Für die Beantwortung des Fragebogens sind insgesamt etwa 10 Minuten vorgesehen.

Abbildung B.17.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 1

Nutzerfreundlichkeit

1 NUTZERFREUNDLICHKEIT

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

<i>Zutreffendes bitte ankreuzen</i>	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Das Werkzeug ist umständlich zu verwenden.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs ist oft frustrierend.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug tut was ich will.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug ist starr und unflexibel in der Nutzung.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs fällt mir leicht.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug ist einfach zu bedienen.	1	2	3	4	5	6	7
Ich denke, es benötigt einiges an Aufwand um bei diesem Werkzeug fachkundig zu werden.	1	2	3	4	5	6	7
Die Bedienung des Werkzeugs ist intuitiv.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeugs ist anstrengend.	1	2	3	4	5	6	7
Insgesamt finde ich das Werkzeug einfach zu nutzen.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen 2 – Version 01.01
 vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 2/8

Abbildung B.18.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 2

Zufriedenheit des Modellierers

2 ZUFRIEDENHEIT DES MODELLIERERS

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Das Modellierungswerkzeug ist einfach in der Anwendung.	1	2	3	4	5	6	7
Die Informationen waren ausreichend um das Modell zu erstellen.	1	2	3	4	5	6	7
Um mit dem Werkzeug gut zu Recht zu kommen, hätte ich intensivere Vorbereitung benötigt.	1	2	3	4	5	6	7
Die benötigte Zeit um das Modell zu Erstellen empfand ich als angemessen.	1	2	3	4	5	6	7
Das Modellieren ist kompliziert.	1	2	3	4	5	6	7
Ich bin zufrieden mit meinem Beitrag zum Ergebnis.	1	2	3	4	5	6	7
Ich bin zufrieden mit dem Modellierungsergebnis.	1	2	3	4	5	6	7
Das Modellieren ist einfach.	1	2	3	4	5	6	7
Ich würde wieder an anderen Evaluationen teilnehmen.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen 2 – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010
Seite 3/8

Abbildung B.19.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 3

Auswirkungen der Modellierung

3 AUSWIRKUNGEN DER MODELLIERUNG

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Die Modellierungstätigkeit hat mein Verständnis des Modellierungsinhalts erhöht.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung hat Verbesserungen für bisherige Tätigkeiten aufgezeigt.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung verhindert Möglichkeiten für Innovationen.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung hat einen Beitrag zur Zielerreichung geleistet.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modellierung hat bei der Bildung von kreativen Ideen für Verbesserungen geholfen.	1	2	3	4	5	6	7

Fragebogen 2 – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 4/8

Abbildung B.20.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 4

Modellnutzung und Nutzerzufriedenheit

4 MODELLNUTZUNG UND NUTZERZUFRIEDENHEIT

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Ich verwende Prozessmodellierung um Probleme zu analysieren.	1	2	3	4	5	6	7
Ich verwende Prozessmodellierung um Entscheidungen zu begründen.	1	2	3	4	5	6	7
Ich verwende Prozessmodellierung um mit Mitarbeitern zu kommunizieren.	1	2	3	4	5	6	7
Ich verwende Prozessmodellierung um mit meinem Vorgesetzten zu kommunizieren.	1	2	3	4	5	6	7
Prozessmodelle sind leicht zu verstehen.	1	2	3	4	5	6	7
Mit Prozessmodellierung erreiche ich meine Ziele besser.	1	2	3	4	5	6	7
Ich habe Spaß bei der Verwendung von Prozessmodellen.	1	2	3	4	5	6	7
Ich sehe Potenzial für die künftige Verwendung von Prozessmodellen.	1	2	3	4	5	6	7
Die Modelle sind leicht zugänglich.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug ist praxistauglich.	1	2	3	4	5	6	7

Ich kann mir vorstellen, dieses Werkzeug regelmäßig im Unternehmen einzusetzen.

O Ja weil / O Nein weil

Fragebogen 2 – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 5/8

Abbildung B.21.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 5

B.3. Verwendete Fragebögen

The image shows a questionnaire page with a white background and a black border. At the top center, the text "Modellnutzung und Nutzerzufriedenheit" is centered above a horizontal line. Below this line are two more horizontal lines, creating a space for a response. At the bottom left, the text "Fragebogen 2 – Version 01.01" is followed by "vom Sonntag, 9. Mai 2010" on the next line. At the bottom right, the text "Seite 6/8" is displayed.

Abbildung B.22.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 6

Auswirkungen auf die Prozesse

5 AUSWIRKUNGEN AUF DIE PROZESSE

Die Ziffer „1“ bedeutet „Ich stimme der Aussage vollkommen zu“. Die Ziffer „7“ bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab“. Keine Angabe bedeutet, dass Sie keinen Einblick in die Umsetzung haben beziehungsweise Sie im Arbeitsalltag mit dem Thema nicht beschäftigt sind.

Zutreffendes bitte ankreuzen	STIMME ZU			STIMME NICHT ZU			kA ¹
Das Modellierungsergebnis oder Teile davon wurden bereits umgesetzt.	1	2	3	4	5	6	0
			7				
Das Modellierungsergebnis oder Teile davon werden in Kürze umgesetzt.	1	2	3	4	5	6	0
			7				
Es ist geplant die Modellierungsergebnisse oder Teile davon umzusetzen.	1	2	3	4	5	6	0
			7				
Der Alltag hat sich im Umfeld des modellierten Themas geändert.	1	2	3	4	5	6	0
			7				
Unmittelbar nach der Modellierung war klar, dass die Ergebnisse umgesetzt werden.	1	2	3	4	5	6	0
			7				

Welche Ergebnisse hatte die Modellierung:

Welche Auswirkungen konnten Sie persönlich feststellen:

¹ kA: Keine Angabe bedeutet, dass Sie keinen Einblick in die Umsetzung haben beziehungsweise Sie im Arbeitsalltag mit dem Thema nicht beschäftigt sind.

Fragebogen 2 – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 7/8

Abbildung B.23.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 7

B.3. Verwendete Fragebögen

Auswirkungen auf die Prozesse

Welche Auswirkungen erwarten Sie:

Hier können Sie noch zusätzliche Anmerkungen machen
(Was ist Ihnen aufgefallen? Was würden Sie uns gerne mitteilen?)

DANKE!

Fragebogen 2 – Version 01.01
vom Sonntag, 9. Mai 2010

Seite 8/8

Abbildung B.24.: Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 8

B.3.3. Fragebögen aus Evaluierungsblock 5

Die Abbildungen B.25 bis B.31 zeigen den in Evaluierungsblock 5 verwendeten Fragebogen. Der Aufbau des Fragebogens wurde von Bindreiter (2010) detailliert beschrieben und begründet.

Fragebogen zur Studie:

**„Evaluierung von Modellierungswerkzeugen zur Unterstützung von
Concept Mapping“**

Zunächst vielen Dank, dass Sie an unserer Evaluierung teilgenommen haben. Nachdem Sie Ihre Modellierungstätigkeit beendet haben, füllen Sie nun bitte diesen kurzen Fragebogen aus, in dem Sie uns Ihre persönliche Meinung zu dem von Ihnen verwendeten Werkzeug mitteilen.

Der Fragebogen besteht aus fünf unterschiedlichen Blöcken. In Block eins, zwei und drei müssen Sie lediglich die für Sie passende Antwort ankreuzen. Die Ziffer „1“ bedeutet hierbei „*Ich stimme der Aussage vollkommen zu.*“, wobei die Ziffer „7“ hingegen bedeutet „*Ich lehne diese Aussage vollkommen ab.*“. In den anderen Fragenblöcken, haben Sie die Möglichkeit ihre persönlichen Erkenntnisse frei mitzuteilen.

Die Beantwortung des Fragebogens sollte insgesamt etwa 15 Minuten in Anspruch nehmen.

Bevor Sie nun mit der Beantwortung der Fragen beginnen, kreuzen Sie bitte zunächst an, welches Modellierungswerkzeug Sie genutzt haben:

- CMapTools
- Modellierungstisch

Abbildung B.25.: Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 1

B.3. Verwendete Fragebögen

Block 1: wahrgenommener Nutzen des Werkzeugs

Die Ziffer „1“ bedeutet hierbei „Ich stimme der Aussage vollkommen zu.“, wobei die Ziffer „7“ hingegen bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab.“.

<i>Zutreffendes bitte ankreuzen!</i>	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Mit Hilfe des Werkzeugs war die Erstellung einer Concept Map schnell und einfach durchführbar.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug hilft mir den Überblick über meine Modellierungstätigkeit zu behalten.	1	2	3	4	5	6	7
Ich würde das Werkzeug als nützliches Hilfsmittel für meine Modellierungstätigkeit einstufen.	1	2	3	4	5	6	7

Abbildung B.26.: Fragebogen für Evaluationsblock 5 - Seite 2

B.3. Verwendete Fragebögen

Block 2: wahrgenommene Einfachheit der Benutzung des Werkzeugs

Die Ziffer „1“ bedeutet hierbei „Ich stimme der Aussage vollkommen zu.“, wobei die Ziffer „7“ hingegen bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab.“.

<i>Zutreffendes bitte ankreuzen!</i>	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Die Anwendung des Werkzeugs fällt mir leicht.	1	2	3	4	5	6	7
Es fällt mir leicht fachkundig in der Anwendung des Werkzeugs zu werden.	1	2	3	4	5	6	7
Ich finde das Werkzeug einfach zu bedienen.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeuges ist frustrierend.	1	2	3	4	5	6	7
Die Anwendung des Werkzeuges ist anstrengend.	1	2	3	4	5	6	7
Die Bedienung des Werkzeuges ist intuitiv.	1	2	3	4	5	6	7
Die Nutzung des Werkzeuges erfordert hohes Vorwissen um effizientes Arbeiten zu ermöglichen.	1	2	3	4	5	6	7
Es hat mir Freude bereitet mit diesem Werkzeug zu arbeiten.	1	2	3	4	5	6	7

3

Abbildung B.27.: Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 3

Block 3: Zufriedenheit des Modellierers

Die Ziffer „1“ bedeutet hierbei „Ich stimme der Aussage vollkommen zu.“, wobei die Ziffer „7“ hingegen bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab.“.

<i>Zutreffendes bitte ankreuzen!</i>	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Mit dem Werkzeug war ich insgesamt zufrieden.	1	2	3	4	5	6	7
Die vorhandenen Informationen waren ausreichend um mit dem Werkzeug angenehm zu arbeiten.	1	2	3	4	5	6	7
Um mit dem Werkzeug gut zu Recht zu kommen, hätte ich intensivere Vorbereitung benötigt.	1	2	3	4	5	6	7
Die benötigte Zeit um das Modell zu erstellen empfand ich als angemessen.	1	2	3	4	5	6	7
Das Erstellen der Concept Map empfand ich als kompliziert.	1	2	3	4	5	6	7

Abbildung B.28.: Fragebogen für Evaluationsblock 5 - Seite 4

B.3. Verwendete Fragebögen

Block 4: Kollaboratives Modellieren

Die Ziffer „1“ bedeutet hierbei „Ich stimme der Aussage vollkommen zu.“, wobei die Ziffer „7“ hingegen bedeutet „Ich lehne diese Aussage vollkommen ab.“.

<i>Zutreffendes bitte ankreuzen!</i>	STIMME ZU				STIMME NICHT ZU		
Die Zusammenarbeit als Team empfand ich als angenehm.	1	2	3	4	5	6	7
Die Zusammenarbeit als Team empfand ich als nützlich.	1	2	3	4	5	6	7
Ich konnte meine persönliche Meinung und Ideen ausreichend einbringen.	1	2	3	4	5	6	7
Die Zusammenarbeit als Team fiel mir leicht.	1	2	3	4	5	6	7
Das Werkzeug hat die Zusammenarbeit als Team erleichtert.	1	2	3	4	5	6	7

Bei den folgenden Fragen können Sie ihre Antworten vollkommen frei formulieren.

1.) Sind Sie zufrieden mit ihrem Beitrag zum Modellierungsprozess? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an! (*durchgesetzt, Konsens gefunden, aktiv teilgenommen,...*)

- Ja, bin zufrieden...
- Nein, bin nicht zufrieden...

...weil, _____

2.) Wie würden Sie Ihre Beziehung im Team beschreiben? (*Gesprächsablauf, Meinungsverschiedenheiten, gemeinsames Arbeiten mit dem Werkzeug*)

5

Abbildung B.29.: Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 5

Block 5: persönliche Erfahrung

Bei den folgenden Fragen können Sie ihre Antworten vollkommen frei formulieren.

3.) Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis ihrer Tätigkeit? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an! (*Aussehen, Richtigkeit, Vollständigkeit, Verständlichkeit, ...*)

- Ja, bin zufrieden...
- Nein, bin nicht zufrieden...

...weil, _____

4.) Sind Sie zufrieden mit dem Ablauf ihrer Tätigkeit? Geben Sie bitte auch eine kurze Begründung an! (*Zusammenarbeit, Kommunikation, Umgang mit dem Werkzeug, ...*)

- Ja, bin zufrieden...
- Nein, bin nicht zufrieden...

...weil, _____

5.) Wie zufrieden waren sie im Allgemeinen mit dem Werkzeug? (*Traten Probleme auf? Was hat ihnen besonders gefallen? Was würden sie ändern?*)

6

Abbildung B.30.: Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 6

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Forschungsfragen und Fragestellungen	9
1.2.	Zusammenhänge zwischen den Kapiteln der Arbeit	12
1.3.	Zusammenhang zwischen Zielsetzung und Struktur der Arbeit	18
2.1.	Kapitel „Articulation Work“ im Gesamtzusammenhang	22
2.2.	Konzeptualisierung von Arbeitsabläufen	24
2.3.	Articulation Work im Durchführungskontext	38
2.4.	Abzustimmende Arbeitsaspekte	42
2.5.	Zusammenhänge zwischen Arbeitsaspekten	43
2.6.	Artikulations-Prozess	46
2.7.	Mentale Modelle im Kontext der Arbeitsmodellierung	62
3.1.	Kapitel „Mentale Modelle“ im Gesamtzusammenhang	76
3.2.	Schemata und mentale Modelle	79
3.3.	Externalisierung mentaler Modelle	85
3.4.	Struktur einer Concept Map	93
3.5.	Mentale Modelle und Articulation Work im Gesamtzusammenhang	96
4.1.	Kapitel „Methodik und Anwendungsszenarien“ im Gesamtzusammenhang	98
4.2.	Externalisierung mentaler Modelle mittels Strukturlegetechniken und Concept Mapping	101
5.1.	Kapitel „Anforderungen an ein Werkzeug“ im Gesamtzusammenhang	115
6.1.	Kapitel „Grundlagen der Realisierung und verwandte Arbeiten“ im Gesamtzusammenhang	122
6.2.	Tangible Interfaces in Lernprozessen	124
6.3.	Bedeutung von Objekten in TUIs	139
6.4.	Interaktionsmodelle für GUI und TUI	141
6.5.	Arten von Tangible User Interfaces	143
6.6.	Überblick über das MCRit-Modell	153
7.1.	Kapitel „Eingabe und Interpretation“ im Gesamtzusammenhang	173
7.2.	Architektur des TUIpist-Framework	185
7.3.	Zusammenspiel der Komponenten in TUIpist	186

7.4.	AR Toolkit Marker	187
7.5.	Visual Codes – Aufbau und Features	188
7.6.	ReacTIVision Code	189
7.7.	Überblick über den Aufbau des Werkzeugs – Eingabekomponenten	197
7.8.	An Tokens angebrachte ReacTIVision-Codes zur Identifikation	199
7.9.	Arten von Modellierungstokens	199
7.10.	Rückwand von Container Tokens	200
7.11.	Geöffnetes Container Token	201
7.12.	Modellelemente – Taxonomie	202
7.13.	Einbettbare Tokens	203
7.14.	Markierung-Token	204
7.15.	Lösch-Token	205
7.16.	Registrierungstoken	206
7.17.	Snapshot-Token	207
7.18.	History-Token	208
7.19.	Softwarearchitektur zur Erkennung von Benutzerinteraktion	220
8.1.	Kapitel „Ausgabe“ im Gesamtzusammenhang	238
8.2.	Überblick über den Aufbau des Werkzeugs – Ausgabekomponenten	247
8.3.	Softwarearchitektur zur Verwaltung der Ausgabekanäle	254
8.4.	Darstellung von Modellelementen	255
8.5.	Darstellung von Verbindern	256
8.6.	Darstellung gerichteter Verbinder	257
8.7.	Darstellung von Containern und eingebetteten Elementen	258
8.8.	Markierung von Modellelementen	259
8.9.	Darstellung der Modellierungshistorie	261
8.10.	Unterstützung der Wiederherstellung von Modellzuständen	262
8.11.	Zusammenhänge der Klassen zur Ausgabebehandlung	264
9.1.	Kapitel „Persistierung“ im Gesamtzusammenhang	271
9.2.	Grundlegende Elemente einer Topic Map	273
9.3.	Umfassende Darstellung der Elemente einer Topic Map	274
9.4.	Abgrenzung zwischen Subject und Occurrence in Topic Maps	275
9.5.	Benennung von Topics	276
9.6.	Beziehungen in der Metamodellbildung in Topic Maps	279
9.7.	Abbildung von Gültigkeitsbereichen durch Scopes	282
9.8.	Abbildung von Modellinformation in Topic Maps	284
9.9.	Definition des Meta-Modells (ohne Kardinalitäten)	287
9.10.	Einbindung des Meta-Meta-Modells	289
9.11.	Ausschnitt einer mittels GraphViz visualisierten Topic Map	292
9.12.	Modellierungshistorie als exportierte Grafik	295
9.13.	Modell-Hierarchie als exportierte Grafik	297

10.1. Kapitel „Konzeptuelle Einordnung“ im Gesamtzusammenhang	303
11.1. Kapitel „Überblick über die empirische Untersuchung“ im Gesamtzusammenhang	328
12.1. Kapitel „Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs“ im Gesamtzusammenhang	352
12.2. Dauer der Werkzeugverwendung – Überblick	363
12.3. Dauer der Werkzeugverwendung – Evaluierungsblock 3	364
12.4. Dauer der Werkzeugverwendung – Evaluierungsblock 2	365
12.5. Zeitverteilung zwischen den Teilnehmern	367
12.6. Verteilung der Benutzereinschätzungen zum kooperativen Modellieren . .	369
12.7. Zusammenhang zwischen Modellgröße und Modellierungsdauer	374
12.8. Verteilung der Anzahl der Fehlerkennungen je Anwendung – Übersicht .	379
12.9. Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Wirkung des Werkzeugs . . .	380
12.10. Connectedness in den Evaluierungsblöcken 2 und 3	389
13.1. Kapitel „Evaluierung der erstellten Modelle“ im Gesamtzusammenhang .	399
13.2. Anzahl der verwendeten Elemente – Übersicht	408
13.3. Anzahl der verwendeten Verbindungen – Übersicht	409
13.4. Vernetzungsgrad (Verbindungen / Blöcke) – Übersicht	410
13.5. Gegenüberstellung der Modellgrößen in Evaluierungsblock 5	416
13.6. Verteilung der Benutzereinschätzungen zum kooperativen Modellieren . .	422
13.7. Korrekt interpretierbares Modell ohne Verbinder (hierarchisch)	425
13.8. Korrekt interpretierbares Modell ohne Verbinder (ablauforientiert)	426
13.9. Bei Vernachlässigung der Verbinder nur unvollständig interpretierbares Modell	427
14.1. Kapitel „Evaluierung der durchgeführten Articulation Work“ im Gesamtzusammenhang	431
14.2. Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Verständnisbildung durch das Werkzeug – Teil 1	438
14.3. Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Verständnisbildung durch das Werkzeug – Teil 2	438
14.4. Verteilung der Benutzereinschätzungen zur Wirkung der Modellbildung auf die Arbeitsprozesse	442
15.1. Kapitel „Schlussbetrachtungen“ im Gesamtzusammenhang	452
15.2. Gesamtzusammenhang der verwendeten Konzepte	453
A.1. Literatur zu Articulation Work im Kontext	490
B.1. Raster der Überblicksauswertung	496
B.2. Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 1	499

B.3. Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 2	500
B.4. Erster Fragebogen für Modellierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 3	501
B.5. Fragebogen für Interpretierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 1	502
B.6. Fragebogen für Interpretierer in Evaluierungsblock 1 - Seite 2	503
B.7. Fragebogen bezüglich der Korrektheit der Interpretation in Evaluierungs- block 1	504
B.8. Fragebogen bezüglich Modellierungsvorkenntnissen in Evaluierungsblock 1	505
B.9. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 1	507
B.10. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 2	508
B.11. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 3	509
B.12. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 4	510
B.13. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 5	511
B.14. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 6	512
B.15. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 7	513
B.16. Erster Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 8	514
B.17. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 1	515
B.18. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 2	516
B.19. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 3	517
B.20. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 4	518
B.21. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 5	519
B.22. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 6	520
B.23. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 7	521
B.24. Zweiter Fragebogen für Evaluierungsblock 4 - Seite 8	522
B.25. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 1	524
B.26. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 2	525
B.27. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 3	526
B.28. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 4	527
B.29. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 5	528
B.30. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 6	529
B.31. Fragebogen für Evaluierungsblock 5 - Seite 7	530

Tabellenverzeichnis

6.1. Kategorien von konzeptuellen Arbeiten im Gebiet Tangible User Interfaces	157
6.2. Gegenüberstellung der Nomenklatur zur Beschreibung der Elemente eines TUI – Teil 1	160
6.3. Gegenüberstellung der Nomenklatur zur Beschreibung der Elemente eines TUI – Teil 2	161
7.1. Gegenüberstellung der Frameworks für video-basierten Input	192
7.2. Gegenüberstellung der generischen Frameworks	195
10.1. Beurteilung des Werkzeugs hinsichtlich des Degree of Coherence	315
10.2. Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema – Teil 1	317
10.3. Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema – Teil 2	318
10.4. Einordnung des Systems in die Taxonomie nach Fishkin	321
11.1. Ursprüngliches globales Untersuchungsdesign	350
11.2. Einfluss der Untersuchungen auf die zu evaluierenden Aspekte	350
12.1. Hypothesen zur Benutzbarkeit des Werkzeugs und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug	355
12.2. Stichproben der Evaluierung zur Werkzeugverwendung	362
12.3. Dauer der Werkzeugverwendung	363
12.4. Anzahl der Modelle mit Verbindern	365
12.5. Befragung Kooperative Modellierung – Itemauswertung	369
12.6. Anzahl des Einsatzes der Wiederherstellungsfunktion	377
12.7. Fehlfunktionen und Abstürze des Werkzeugs	378
12.8. Befragung über die Wirkung des Werkzeugs – Itemauswertung	380
12.9. Modellierungszeiten in Abhängigkeit der Modellgröße in Evaluierungsblock 2	386
12.10. Anzahl der Fehlbedienungen in Evaluierungsblock 2	387
12.11. Verwendung des Löschtokens	391
13.1. Hypothesen zur Anwendung des Instruments und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug	402
13.2. Stichproben der Evaluierung zur Modellbildung	408
13.3. Anzahl der bedeutungstragenden Elemente je Modell	412

13.4. Korrektheit der Modellinterpretation in Evaluierungsblock 4	418
13.5. Korrektheit der Modellinterpretation in Evaluierungsblock 5	418
13.6. Befragung Kooperative Modellierung im Werkzeugvergleich – Itemauswertung	421
14.1. Hypothesen zur Wirkung des Instruments auf die Articulation Work und deren Bezug zu den Anforderungen an das Werkzeug	433
14.2. Stichproben der Evaluierung zur Articulation Work	436
14.3. Befragung über die Verständnisbildung bei der Modellierung – Itemauswertung Teil 1	437
14.4. Befragung über die Verständnisbildung bei der Modellierung – Itemauswertung Teil 2	438
14.5. Befragung über die Wirkung der Modellbildung auf die Arbeitsprozesse – Itemauswertung	442
14.6. Ergebnis der „Production Work“ in Evaluierungsblock 2	444
14.7. Ergebnis der „Production Work“ ohne Unterstützung der „Articulation Work“	445
15.1. Erfüllung der Anforderungen	465

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Interface
AWT	Abstract Window Toolkit
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CSCL	Computer Supported Cooperative Learning
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
EAN	European Article Number
ECA	Event-Condition-Action
EMF	Eclipse Modeling Framework
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
GB	Gigabyte
GEF	Graphical Editing Framework (Eclipse-Komponente)
GIF	Graphics Interchange Format
GMF	Graphical Modeling Framework (Eclipse-Komponente)
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HCI	Human Computer Interaction
HSLT	Heidelberger Strukturlegetechnik
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group (File Interchange Format)
JRE	Java Runtime Environment
LCD	Liquid Crystal Display (Flüssigkristallanzeige)
LED	Light Emitting Diode (Leuchtdiode)
MaNET	Mannheimer Netzwerk-Elaborations-Technik
MCRit	Model-Control-Representation (intangible and tangible)
MCRpd	Model-Control-Representation (physical and digital)

MVC	Model-View-Controller
OADI	Observe – Assess – Design – Implement
OCR	Optical Character Recognition
ODF	Open Document Format
OLED	Organic Light Emitting Diode
OWL	Ontology Web Language
PMS	Process Modelling Success
PNG	Portable Network Graphics
RDBMS	Relationales Datenbank Management System
RDF	Ressource Description Framework
RFID	Radio Frequency Identification
RMI	Remote Methode Invocation
TAC	Token and Constraint
TCP	Transport Control Protocol
TEL	Technology Enhanced Learning
TUI	Tangible User Interface
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modelling Language
URI	Uniform Resource Identifier
WfMS	Workflow-Management-System
XML	Extensible Markup Language
XTM	XML Topic Map

Abbildungsquellen

Dieser Anhang enthält Quellenangaben für alle in dieser Arbeit verwendeten Abbildungen, sofern sie nicht vom Autor erstellt wurden. Sofern nicht anders angegeben, sind alle Abbildungen und Fotos Werke des Autors und dürfen nicht ohne ausdrückliche Zustimmung verwendet werden.

Abbildung 2.4 Tabelle über abzustimmende Arbeitsaspekte übernommen von (Schmidt und Simone, 1996)

Abbildung 2.5 Abbildung über Zusammenhänge zwischen Arbeitsaspekte übernommen von (Divitini und Simone, 2000)

Abbildung 2.6 Abbildung des Artikulations-Prozesses nach (Mi und Scacchi, 1991) übernommen von ebenda

Abbildung 2.7 Abbildung über Mentale Modelle im Kontext der Arbeitsmodellierung übernommen von (Herrmann et al., 2002)

Abbildung 3.2 Abbildung über den Zusammenhang zwischen Schemata und Mentalen Modellen übernommen von (Ifenthaler, 2006)

Abbildung 3.3 Abbildung über die Externalisierung mentaler Modelle übernommen von (Ifenthaler, 2006)

Abbildung 3.4 Abbildung über die Struktur einer Concept Map übernommen von (Novak und Cañas, 2006)

Abbildung 6.2 Taxonomie von Tangible Interfaces im Kontext von Lernprozessen übernommen von (Marshall, 2007)

Abbildung 6.4 Abbildung des MVC- und MCRpd-Modells übernommen von (Ullmer und Ishii, 2000)

Abbildung 6.5 Abbildung unterschiedlicher Arten von Tangible User Interfaces übernommen von (Ullmer et al., 2005)

Abbildung 6.6 Abbildung des MCRit-Modells übernommen von (Ishii, 2008)

Abbildung 7.4 Bild des AR Toolkit Markers entnommen von www.hitl.washington.edu/artoolkit/ (Website der Entwickler)

Abbildung 7.5 Bild des Visual Code Markers übernommen von (Rohs und Gfeller, 2004)

Abbildung 9.4 Foto der Tasse lizenzfrei unter <http://www.oldschoolman.de/bilder/freigestellte-bilder/essen-trinken/kaffee-tasse-freigestellt/>, übrige Abbildung eigene Darstellung

Abbildungen B.2 bis B.31 Abbildungen der verwendeten Fragebögen übernommen von (Bohninger, 2010), (Wahlmüller, 2010) und (Bindreiter, 2010)

Publikationen im Kontext dieser Arbeit

- Oppl und Stary (2005)** „Towards Human-Centered Design of Diagrammatic Representation Schemes“: Konferenz-Beitrag (8 Seiten ACM), in der erstmals der Ansatz der semantischen Offenheit in der Prozessmodellierung auf einer Fallstudie heraus argumentiert wird und als Mittel der Abbildung individueller Erklärungsmuster oder mentaler Modelle in Prozessmodellen bezeichnet wird.
- Oppl (2006)** „Towards Intuitive Work Modeling with a Tangible Collaboration Interface Approach“: Workshop-Paper (6 Seiten IEEE), das die technologischen Fragen bei der Konzeption eines tangiblen Modellierungswerkzeugs beschreibt und die bei der technischen Umsetzung zu lösenden Probleme aufzeigt.
- Oppl et al. (2006)** „Towards Tangible Work Modeling“: Konferenz-Beitrag (6 Seiten Oldenburg-Verlag), in der die erste Umsetzung des tangiblen Modellierungswerkzeugs beschrieben wird. Die Argumentation erfolgt aus den Arbeiten zur digital augmentierem Montessori-Material heraus, welche auf das Anwendungsgebiet der Aufgabenmodellierung abgebildet werden. Der erste Prototyp des Systems und eine Möglichkeit zur digitalen Repräsentation der individuell eingebrachten Information werden aus technischer Sicht beschrieben.
- Oppl (2007b)** „Spielen Sie noch? – Bausteine im Unternehmenskontext“: Workshop-Paper (4 Seiten Oldenburg-Verlag), das erstmalig den Gegenstands der Modellbildung von Geschäftsprozessen hin zu Arbeitswissen verallgemeinert und den Ansatz aus dem Forschungsgebiet des Organisationalen Lernen heraus argumentiert.
- Oppl (2007a)** „Flexibility of Content for Organisational Learning - A Topic Map Approach“: Master-Arbeit (270 Seiten A4), in der die Repräsentation der Modelle mittels Topic Maps eingeführt wird und deren Notwendigkeit zur erfolgreichen Durchführung von organisationalen Lernprozessen argumentiert wird. Konzeption und Beschreibung der auch in dieser Arbeit zum Einsatz gebrachten Topic-Map-Engine.
- Oppl und Peherstorfer (2007)** „Human Intervention in cross-organizational Process Development“: Konferenz-Beitrag (10 Seiten, A4), der aus einem durchgeführten Projekt heraus für eine humanzentrierte Sichtweise bei der organisationsübergreifenden Festlegung von Arbeitsprozessen argumentiert und darin einen Beitrag zur Fundierung dieser Arbeit liefert.

- Furtmüller und Oppl (2007)** „A Tuple-Space based Middleware for Collaborative Tangible User Interfaces“: Workshop-Paper (6 Seiten IEEE), in dem eine Middleware zur flexiblen und dynamischen Kopplung der Informationserfassungs-, -interpretations- und -ausgabemöglichkeiten am Tabletop Interface beschrieben wird und deren Einsatz im konkreten Werkzeug umrissen wird.
- Oppl (2008b)** „Graspable Work Modeling“: Konferenz-Beitrag (4 Seiten Oldenburg-Verlag), in dem erstmals die aktuelle Implementierung des Werkzeugs und die Umsetzung des zweiten Hardware-Prototypen beschrieben wird. Dabei wird erstmalig auf die Fundierung des Ansatzes durch „Articulation Work“ verwiesen.
- Oppl (2008a)** „Begreifbare Modellierung von Arbeit“: Workshop-Beitrag (3 Seiten GI LNI), der ebenfalls auf die aktuelle Implementierung des Werkzeugs eingeht und den Mehrwert der tangiblen Interaktionsmöglichkeiten im konkreten Anwendungsfall argumentiert.
- Oppl und Stary (2009)** „Tabletop Concept Mapping“: Konferenz-Beitrag (8 Seiten ACM), in dem die Verwendung des Werkzeugs zur Durchführung von Concept Mapping beschrieben wird und in dem erstmalig empirische Ergebnisse der Werkzeugverwendung angeführt sind. Fokus dieser Arbeit war die Modellbildung mit dem Werkzeug, nicht dessen Einsatz zur Durchführung von „Articulation Work“.
- Oppl (2009c)** „Unterstützung expliziter Articulation Work“: Workshop-Beitrag (4 Seiten A4), in der die Wirkung des Werkzeugs im Kontext von technologiegestütztem Lernen (TEL³) betrachtet wird.
- Oppl (2009a)** „A Tabletop Interface to support Concept Mapping“: Workshop-Paper (3 Seiten A4), in dem eine Kurzübersicht über das Werkzeug zum Einsatz im universitären Lern-Kontext gegeben wird.
- Oppl (2009b)** „Konsistente Verwendung von Metaphern als Erfolgskriterium für komplexe Tangible User Interfaces“: Workshop-Paper (4 Seiten GI LNI), in dem die Einflussfaktoren auf die Verständlichkeit von Werkzeugen zur Interaktion mit Tangible Interfaces an einem konkreten Beispiel konzeptuell erörtert und empirisch belegt werden.
- Oppl (2009d)** „Using a Tangible Tabletop Interface to facilitate Articulation Work“: Workshop-Paper (2 Seiten A4), in dem eine Kurzübersicht über das Werkzeug zum Einsatz in der Unterstützung von „Articulation Work“ wiederum in Lernszenarien gegeben wird.
- Oppl (2010)** „Unterstützung expliziter Articulation Work durch Externalisierung von Arbeitswissen“: Buchbeitrag (25 Seiten A4), in dem das gesamte Forschungsprojekt konzeptuell wie in dieser Arbeit beschrieben argumentiert wird und die Umsetzung des Werkzeugs sowie die ersten empirischen Ergebnisse ausführlich dargestellt werden.

³Technology Enhanced Learning

Oppl et al. (2010) „Supporting Self-regulated Learning with Tabletop Concept Mapping“: Buchbeitrag (15 Seiten A4, noch nicht erschienen), in dem das Konzept des hier vorgestellten Werkzeugs mit Ansätzen zur Unterstützung von selbstgesteuertem Lernen und automatisierten, kontextsensitiven Interventionen in den Lernprozess in Zusammenhang gebracht wird und mögliche Anknüpfungspunkte identifiziert werden.

Literaturverzeichnis

- Abecker, A., Bernardi, A., Hinkelmann, K., Kühn, O., und Sintek, M. (1998). Toward a Technology for Organizational Memories. *IEEE Intelligent Systems*, 13(3):40–48. Referenziert auf S. 83
- Allied Vision Technologies GmbH (2008). AVT Guppy. Technical Manual V6.2.0, Allied Vision Technologies GmbH, Stadtroda, Germany. Referenziert auf S. 208
- Argyris, C. (1976). Single-loop and double-loop models in research on decision making. *Administrative Science Quarterly*, Seiten 363–375. Referenziert auf S. 106
- Argyris, C. und Schön, D. (1978). *Organizational Learning: A Theory Of Action Perspective*. Addison-Wesley. Referenziert auf S. 2, 37, 79
- Arnold, K., Scheifler, R., Waldo, J., O’Sullivan, B., und Wollrath, A. (1999). *Jini Specification*. Addison-Wesley Longman Publishing, Boston, MA, USA. Referenziert auf S. 186, 193
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4):355–385. Referenziert auf S. 123
- Baker, K. und Millerand, F. (2007). Articulation work supporting information infrastructure design: Coordination, categorization, and assessment in practice. *Proceedings of HICSS 2007*, Seite 242a. Referenziert auf S. 4, 27, 487
- Bannon, L. und Bødker, S. (1997). Constructing common information spaces. In *Proceedings of the fifth conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, Seiten 81–96. Kluwer Academic Publishers Norwell, MA, USA. Referenziert auf S. 481, 484
- Bannon, L. und Schmidt, K. (1993). Issues of Supporting Organizational Context in CSCW Systems. Deliverable D1.1, The COMIC Project (Esprit Basic Research Action 6225). Referenziert auf S. 480
- Becker, J., Rosemann, M., und von Uthmann, C. (2000). Guidelines of business process modeling. In van der Aalst, W., Sedel, J., und Oberweis, A., editors, *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*, number 1806 in LNCS, Seiten 241–262. Springer. Referenziert auf S. 331

- Bederson, B., Grosjean, J., und Meyer, J. (2004). Toolkit design for interactive structured graphics. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(8):535–546. Referenziert auf S. 248
- Beer, W., Christian, V., Ferscha, A., und Mehrmann, L. (2003). Modeling Context-aware Behavior by Interpreted ECA Rules. In *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Computing (EUROPAR '03)*, volume 2790 of *LNCS*, Seiten 1064–1073. Springer. Referenziert auf S. 183
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W., Grinter, R., Henderson, A., und Lopes, C. (2002). Making sense of sensing systems: five questions for designers and researchers. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, Seiten 415–422. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 144, 313, 326, 458, 460
- Bendifallah, S. und Scacchi, W. (1987). Understanding software maintenance work. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 13(3):311–323. Referenziert auf S. 26, 27, 50, 479
- Berg, M. und Timmermans, S. (2000). Order and their others: On the constitution of universalities in medical work. *Configurations*, 8(1):31–61. Referenziert auf S. 483
- Bindreiter, D. (2010). Kooperative Modellierung von Konzeptwissen – Eine vergleichende Studie. Technical report, University of Linz. Referenziert auf S. 493, 494, 523, 541
- Bloks, R. H. J. (1996). The IEEE-1394 high speed serial bus. *Philips Journal of Research*, 50(1-2):209–216. Referenziert auf S. 209
- Bluetooth SIG (2007). Bluetooth Specification Version 2.1 + EDR. Specification, Bluetooth SIG. Referenziert auf S. 180
- Bohninger, J. (2010). Untersuchung der Benutzbarkeit eines Tabletop Interfaces zur kooperativen Modellbildung. Technical report, University of Linz. Referenziert auf S. 333, 492, 493, 498, 541
- Bortz, J. und Döring, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, 3rd edition. Referenziert auf S. 344, 345, 347
- Bossen, C. (2002). The parameters of common information spaces: the heterogeneity of cooperative work at a hospital ward. In *Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work*, Seiten 176–185. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 484
- Bowers, J. (1994). A Conceptual Framework for Describing Organizations. Deliverable D1.2, The COMIC Project (Esprit Basic Research Action 6225). Referenziert auf S. 480

- Brant, J. M. (1995). HotDraw. Master's thesis, University of Illinois at Urbana Champaign. Referenziert auf S. 249
- Budinsky, F., Brodsky, S., und Merks, E. (2003). *Eclipse modeling framework*. Pearson Education. Referenziert auf S. 248
- Cabitza, F. und Sarini, M. (2007). On the pathway towards ICT-support for a better and sustainable healthcare. In *Proceedings of the second European Conference on eHealth (ECEH07)*, Seiten 89–100. Springer. Referenziert auf S. 488
- Cabitza, F., Sarini, M., Simone, C., und Telaro, M. (2006). Torres, a Conceptual Framework for Articulation Work across Boundaries. In Hassanaly, P., Herrmann, T., Kunau, G., und Zacklad, M., editors, *Cooperative Systems Design: Seamless Integration of Artifacts and Conversations: Enhanced Concepts of Infrastructure for Communication*, volume 137 of *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Seiten 102–119. IOS Press. Referenziert auf S. 2, 69, 102, 487, 488
- Cabitza, F. und Simone, C. (2009a). Active artifacts as bridges between context and community knowledge sources. In *CE&T '09: Proceedings of the fourth international conference on Communities and technologies*, Seiten 115–124, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 488, 489
- Cabitza, F. und Simone, C. (2009b). LWOAD: A Specification Language to Enable the End-User Development of Coordinative Functionalities. In *Proceedings of End User Development: 2nd International Symposium, IS-EUD 2009, Siegen, Germany, March 2-4, 2009. Proceedings*, Seite 146. Springer. Referenziert auf S. 488
- Cabitza, F., Simone, C., und Sarini, M. (2008). Knowledge Artifacts as Bridges between Theory and Practice: The Clinical Pathway Case. In *Proceedings of IFIP 20th World Computer Congress, Conference on Knowledge Management in Action*, Seite 37. Springer. Referenziert auf S. 488
- Cabitza, F., Simone, C., und Sarini, M. (2009). Leveraging Coordinative Conventions to Promote Collaboration Awareness. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 18(4):301–330. Referenziert auf S. 70, 489
- Cañas, A., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., Gómez, G., Arroyo, M., und Carvajal, R. (2004). Cmaptools: A knowledge modeling and sharing environment. In *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra*. Referenziert auf S. 95, 170, 338, 341, 342
- Carriero, N. und Gelernter, D. (1989). Linda in context. *Communications of the ACM*, 32(4):444–458. Referenziert auf S. 184

- Carstensen, P. und Schmidt, K. (1999). Computer supported cooperative work: new challenges to systems design. preprint, to appear in: Itoh, k. (ed.): Handbook of human factors, Center for Tele-Information, Danmarks Tekniske Universite. Referenziert auf S. 39, 482
- Christensen, U. (2001). Conventions and articulation work in a mobile workplace. *ACM SIGGROUP Bulletin*, 22(3):16–21. Referenziert auf S. 483
- Comiskey, B., Albert, J., Yoshizawa, H., Jacobson, J., by Michaels, C., et al. (1998). An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays. *Nature*, 394:253–255. Referenziert auf S. 242
- Convertino, G., Mentis, H. M., Rosson, M. B., Carroll, J. M., Slavkovic, A., und Ganoe, C. H. (2008). Articulating common ground in cooperative work: content and process. In *CHI '08: Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, Seiten 1637–1646, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 488
- Corbin, J. und Strauss, A. (1993). The Articulation of Work through Interaction. *The Sociological Quarterly*, 34(1):71–83. Referenziert auf S. 27, 34, 38, 39, 47, 102, 109, 480, 485
- Crabtree, A., O'Neill, J., Tolmie, P., Castellani, S., Colombino, T., und Grasso, A. (2006). The practical indispensability of articulation work to immediate and remote help-giving. In *CSCW '06: Proceedings of the 2006 20th anniversary conference on Computer supported cooperative work*, Seiten 219–228, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 487
- Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N., und Weerawarana, S. (2002). Unraveling the Web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. *IEEE Internet Computing*, 6(2):86–93. Referenziert auf S. 194
- Dahme, C. und Raeithel, A. (1997). Ein tätigkeitstheoretischer Ansatz zur Entwicklung von brauchbarer Software. *Informatik-Spektrum*, 20:5–12. Referenziert auf S. 29
- Dann, H.-D. (1992). Variation von Lege-Strukturen zur Wissensrepräsentation. In Scheele, B., editor, *Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Ein Zwischenfazit zur Forschungsentwicklung bei der rekonstruktiven Erhebung subjektiver Theorien*, volume 25 of *Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Psychologie*, Seiten 2–41. Aschendorff. Referenziert auf S. 13, 89, 90
- Davenport, E. (2002). Mundane knowledge management and microlevel organizational learning: An ethological approach. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53(12):1038–1046. Referenziert auf S. 2, 60, 71, 73, 484, 487

- de Kleer, J. und Brown, J. (1981). Mental models of physical mechanisms and their acquisition. In Anderson, J., editor, *Cognitive skills and their acquisition*, Seiten 285–309. Erlbaum. Referenziert auf S. 78
- Dey, A. K., Salber, D., und Abowd, G. D. (2001). A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, 16(2-4):97–166. Referenziert auf S. 182, 184
- Diefenbruch, M., Goesmann, T., Herrmann, T., und Hoffmann, M. (2002). KontextNavigator und ExperKnowledge - Zwei Wege zur Unterstützung des Prozesswissens in Unternehmen. In Abecker, A., Hinkelmann, K., Maus, H., und Müller, H., editors, *Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement*, Seiten 275–292. Springer. Referenziert auf S. 83
- Dietz, P. und Leigh, D. (2001). DiamondTouch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Seite 226. ACM. Referenziert auf S. 165
- Divitini, M. und Simone, C. (2000). Supporting different dimensions of adaptability in workflow modeling. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 9(3):365–397. Referenziert auf S. 43, 54, 58, 59, 64, 65, 71, 83, 481, 483, 540
- Do-Lenh, S., Kaplan, F., Sharma, A., und Dillenbourg, P. (2009). Multi-finger interactions with papers on augmented tabletops. In *TEI '09: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, Seiten 267–274, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 91, 169
- Dourish, P. und Bellotti, V. (1992). Awareness and coordination in shared workspaces. In *CSCW '92: Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, Seiten 107–114, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 128
- Downing, T. (1998). *Java RMI: remote method invocation*. IDG Books Worldwide, Inc., Foster City, CA, USA. Referenziert auf S. 194
- Duller, C. (2008). *Einführung in die nichtparametrische Statistik mit SAS und R*. Physica-Verlag, Heidelberg. Referenziert auf S. 344, 345, 346, 347
- Eckert, A. (1998). *Kognition und Wissensdiagnose. Die Entwicklung und empirische Überprüfung des computerunterstützten wissensdiagnostischen Instrumentariums Netzwerk-Elaborierungs-Technik (NET)*. Pabst Science Publishers. Referenziert auf S. 91
- Eclipse Foundation (2009). GMF Documentation. online reference manual (http://wiki.eclipse.org/gmf_documentation), *EclipseFoundation*. Referenziert auf S. 248

- Ellson, J., Gansner, E., Koutsofios, L., North, S., und Woodhull, G. (2002). Graphviz-open source graph drawing tools. In *Graph Drawing*, Lecture Notes in Computer Science, Seiten 483–484. Springer. Referenziert auf S. 292
- Emery, F. und Trist, E. (1960). Socio-technical systems. *Management science, models and techniques*, 2:83–97. Referenziert auf S. 28
- Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding*. Orienta-konsultit, Helsinki. Referenziert auf S. 29
- Engeström, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7):940–974. Referenziert auf S. 55
- Eschenfelder, K. R. (2003). The importance of articulation work to agency content management: Balancing publication and control. In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, volume 5, Seite 135b, Los Alamitos, CA, USA. IEEE Computer Society. Referenziert auf S. 485
- Færgemann, L., Schilder-Knudsen, T., und Carstensen, P. H. (2005). The duality of articulation work in large heterogenous settings - a study in health care. In Schmidt, K., Gellersen, H., Mackay, W., und Beaudouin-Lafon, M., editors, *Proceedings of the 9th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, Seiten 163–183. Springer. Referenziert auf S. 28, 33, 34, 40, 69, 71, 486, 487
- Feiner, T. (2008). Modelleditor auf Basis dynamischer Metamodelle zur Unterstützung partizipativer Modellerfassung und -reflexion. Master’s thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 248, 250, 269
- Ferscha, A., Vogl, S., Emsenhuber, B., und Wally, B. (2008). Physical shortcuts for media remote controls. In *Proceedings of the 2nd international conference on INtelligent TEchnologies for interactive enterTAINment table of contents*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering) ICST, Brussels, Belgium, Belgium. Referenziert auf S. 180
- Firestone, J. und McElroy, M. (2003). *Key Issues in the new Knowledge Management*. Butterworth-Heinemann. Referenziert auf S. 2
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):347–358. Referenziert auf S. 131, 147, 150, 151, 152, 157, 158, 159, 171, 238, 240, 243, 246, 269, 316, 320, 323, 326, 327, 459, 460
- Fitzmaurice, G. (1996). *Graspable User Interfaces*. Phd-thesis, University of Toronto. Referenziert auf S. 122, 131, 132, 134, 158, 163, 305, 324, 325

- Fitzmaurice, G., Ishii, H., und Buxton, W. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 442–449. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY, USA. Referenziert auf S. 122, 131, 132, 134, 158, 167, 302, 303, 305, 324
- Fjeld, M. (2001). *Designing for tangible interaction*. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology. Referenziert auf S. 163
- Fjeld, M., Bichsel, M., und Rauterberg, M. (1997). BUILD-IT: An Intuitive Design Tool Based on Direct Object Manipulation. In *Proceedings of the International Gesture Workshop on Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*, Seiten 297–308. Springer-Verlag London, UK. Referenziert auf S. 163
- Fjuk, A. und Dirckinck-Holmfeld, L. (1997). Articulation of Actions in Distributed Collaborative Learning. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 9(2):3–24. Referenziert auf S. 481
- Fjuk, A., Nurminen, M., und Smørðal, O. (1997). Taking Articulation Work Seriously: An Activity Theoretical Approach. Technical Report TUCS TR 120, Turku Centre for Computer Science. Referenziert auf S. 3, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 40, 55, 56, 71, 103, 106, 331, 481
- Fleischmann, A. (2007). Subjektorientiertes geschäftsprozessmanagement. White paper, jCOM1 AG,, Rohrbach. Referenziert auf S. 337
- Fuchs, L., Poltrock, S., und Wetzel, I. (2001). TeamSpace: an environment for team articulation work and virtual meetings. In *Proceedings of the 12th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, Seiten 527–531. IEEE Press. Referenziert auf S. 57, 71, 83, 483
- Fujimura, J. (1987). Constructing 'Do-Able' Problems in Cancer Research: Articulating Alignment. *Social Studies of Science*, 17(2):257–293. Referenziert auf S. 2, 23, 24, 25, 36, 332, 432, 479, 480
- Furtmüller, F. und Oppl, S. (2007). A Tuple-Space based Middleware for Collaborative Tangible User Interfaces. In *Proceedings of WETICE '07*. IEEE Press. Referenziert auf S. 184, 185, 186, 236, 543
- Furtmüller, F. G. (2007). Implementierung eines Frameworks für berührbare Benutzungsschnittstellen. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 184
- Gamma, E. und Eggenschwiler, T. (1996). The JHotDraw-Framework. online <http://www.jhotdraw.org/>. Referenziert auf S. 15, 248, 249, 269
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., und Vlissides, J. (1995). *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Addison-wesley Reading, MA. Referenziert auf S. 219, 232, 236

- Gasser, L. (1986). The integration of computing and routine work. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 4(3):205–225. Referenziert auf S. 26, 28, 479
- Gellersen, H., Kortuem, G., Schmidt, A., und Beigl, M. (2004). Physical prototyping with smart-its. *IEEE Pervasive Computing*, 3(3):74–82. Referenziert auf S. 180
- Gerson, E. (2004). The organization of reconciliation in distributed work. position paper for workshop "Distributed Collective Practices" at CSCW 04. Referenziert auf S. 485, 486
- Gerson, E. und Star, S. (1986). Analyzing due process in the workplace. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 4(3):257–270. Referenziert auf S. 3, 13, 23, 25, 28, 34, 35, 43, 479
- Goguen, J. (1993). On Notation. Revised version of a paper in TOOLS 10: Technology of Object-Oriented Languages and Systems, edited by Boris Magnusson, Bertrand Meyer and Jean-Francois Perrot (Prentice-Hall, 1993), Department of Computer Science and Engineering, University of California at San Diego. Referenziert auf S. 92
- Griffin, A. und Hauser, J. (1992). Patterns of communication among marketing, engineering and manufacturing - a comparison between two new product teams. *Management Science*, 38(3):360–373. Referenziert auf S. 1
- Grinter, R. (1995). Using a configuration management tool to coordinate software development. In *Proceedings of conference on Organizational computing systems*, Seiten 168–177. ACM Press. Referenziert auf S. 480
- Grinter, R. (1996). Supporting articulation work using software configuration management systems. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 5(4):447–465. Referenziert auf S. 35, 50, 51, 52, 71, 83, 480, 481
- Groeben, N. und Scheele, B. (2000). Dialog-Konsens-Methodik im Forschungsprogramm Subjektive Theorien. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2). Referenziert auf S. 13
- Gross, T. (2003). Ambient Interfaces: Design Challenges and Recommendations. *Human Factors and Ergonomics*, Seite 68. Referenziert auf S. 123, 243
- Grudin, J. (1988). Why CSCW applications fail: problems in the design and evaluation of organizational interfaces. In *Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, Seiten 85–93. ACM. Referenziert auf S. 2, 4, 74, 96
- Grudin, J. (1994). Computer-supported cooperative work: history and focus. *Computer*, 27(5):19 – 26. Referenziert auf S. 2
- GS1 (2008). Introduction to GS1 DataMatrix. Guideline, GS1. Referenziert auf S. 187

- Hampson, I. und Junor, A. (2005). Invisible work, invisible skills: interactive customer service as articulation work. *New Technology, Work & Employment*, 20(2):166 – 181. Referenziert auf S. 26, 28, 31, 34, 35, 107, 487
- Hanke, U. (2006). *Externale Modellbildung als Hilfe bei der Informationsverarbeitung und beim Lernen*. PhD thesis, University of Freiburg. Referenziert auf S. 73, 78, 83, 84, 85
- Hasu, M. (2005). In search of sensitive ethnography of change: Tracing the invisible hand-offs from technology developers to users. *Mind, Culture, and Activity*, 12(2):90 – 112. Referenziert auf S. 486
- Helmberger, P. und Hoos, S. (1962). Cooperative enterprise and organization theory. *American Journal of Agricultural Economics*, 44(2):275. Referenziert auf S. 1
- Herrmann, T., Hoffmann, M., Kunau, G., und Loser, K. (2002). Modelling cooperative work: Chances and risks of structuring. In *Cooperative Systems Design, A Challenge of the Mobility Age. Proceedings of COOP 2002*, Seiten 53–70. IOS press. Referenziert auf S. 4, 61, 62, 63, 71, 72, 73, 83, 98, 102, 117, 484, 540
- Herrmann, T., Hoffmann, M., Kunau, G., und Loser, K. (2004a). A modelling method for the development of groupware applications as socio-technical systems. *Behaviour & Information Technology*, 23(2):119–135. Referenziert auf S. 62, 337
- Herrmann, T., Hoffmann, M., Loser, K., und Moysich, K. (2000). Semistructured models are surprisingly useful for user-centered design. In Dieng, R., Giboin, A., Karsenty, L., und De Michelis, G., editors, *Designing Cooperative Systems. Proceedings of COOP 2000*, Seiten 159–174, Amsterdam. IOS press. Referenziert auf S. 63
- Herrmann, T., Kunau, G., Loser, K., und Menold, N. (2004b). Socio-technical walkthrough: designing technology along work processes. In *Artful integration: interweaving media, materials and practices. Proceedings of the eighth Conference on Participatory design.*, Seiten 132–141. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 62
- Holmquist, L., Redström, J., und Ljungstrand, P. (1999). Token-Based Acces to Digital Information. In *Proceedings of the 1st international Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, Seiten 234–245. Springer-Verlag London, UK. Referenziert auf S. 131, 137, 152, 158, 308, 327, 459
- Holzner, S. (2004). *Eclipse*. O'Reilly Germany. Referenziert auf S. 248
- Hornecker, E. (2001). Graspable interfaces as tool for cooperative modelling. In *Proceedings of IRIS*, volume 24, Seiten 215–228. Referenziert auf S. 125
- Hornecker, E. (2004). *Tangible User Interfaces als kooperationsunterstützendes Medium*. Phd-Thesis, University of Bremen. Dept. of Computing. Referenziert auf S. 125, 126, 127, 129, 344, 348

- Hughes, F. (1971). *The Sociological Eye*. Aldine de Gruyter. Referenziert auf S. 3, 24, 26
- Huss, J. (2003). Diagnose und Unterstützung mentaler Wissensrepräsentationen in Projektteams - Eine Fallstudie. Master's thesis, Technical University of Berlin. Referenziert auf S. 86, 89, 91
- Ifenthaler, D. (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle - Entwicklung der SMD-Technologie als methodologisches Verfahren zur relationalen, strukturellen und semantischen Analyse individueller Modellkonstruktionen*. PhD thesis, University of Freiburg. Referenziert auf S. 13, 78, 79, 81, 82, 83, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 98, 331, 434, 473, 540
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 131, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 324, 540
- Ishii, H. und Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 234–241. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 123, 131, 135, 158, 162, 163, 306, 307, 327, 459
- ISO JTC1/SC31 (2006). Information technology – automatic identification and data capture techniques – qr code 2005 bar code symbology specification. International Standard 18004:2006, ISO/IEC. Referenziert auf S. 176, 187
- ISO JTC1/SC34 (2008). Topic Maps Constraint Language. draft standard, ISO/IEC. Referenziert auf S. 281
- ISO JTC1/SC34/WG3 (2006). Information Technology - Topic Maps - Part 3: XML Syntax. International standard, ISO. Referenziert auf S. 291
- ISO JTC1/SC34/WG3 (2008). Information Technology - Topic Maps - Part 2: Data Model. International Standard 13250-2, ISO/IEC. Referenziert auf S. 15, 272, 273, 276, 291
- James, M. (1997). *Microcontroller Cookbook - PIC & 8051*. Butterworth-Heinemann. Referenziert auf S. 180
- Johnson-Laird, P. N. (1981). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4(1):71–115. Referenziert auf S. 13, 78
- Jordan, B. und Henderson, A. (1995). Interaction Analysis: Foundations and Practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 4(1):39–103. Referenziert auf S. 344, 348
- Jørgensen, H. (2004). *Interactive Process Models*. PhD thesis, Department of Computer and Information Sciences, Norwegian University of Science and Technology Trondheim. Referenziert auf S. 4, 67, 68, 71, 72, 73, 83, 92, 98, 102, 117, 331, 467, 486, 491

- Kaghan, W. und Lounsbury, M. (2004). Articulation Work and the Institutional Elements of Organizational Artifacts: The Case of Contracts and Contracting. preprint, to appear in: Rafaeli, a. & pratt, m.: Artifacts and organizations, Cornell University. Referenziert auf S. 487
- Kaghan, W. N. und Lounsbury, M. (2006). Artifacts, articulation work, and institutional residue. In Rafaeli, A. und Pratt, M. G., editors, *Artifacts and organizations: Beyond mere symbolism.*, Seiten 259 – 275. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. Referenziert auf S. 487
- Kaltenbrunner, M. und Bencina, R. (2007). reacTIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *TEI '07: Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, Seiten 69–74, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 15, 188, 236
- Kaltenbrunner, M., Jorda, S., Alonso, M., und Geiger, G. (2006). The reactable*: A collaborative musical instrument. In *Proceedings of WETICE '06*. IEEE Press. Referenziert auf S. 164, 243, 245
- Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., und Tachibana, K. (2000). Virtual object manipulation on a table-top AR environment. In *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2000. (ISAR 2000). Proceedings*, Seiten 111–119. Referenziert auf S. 176, 187
- Kim, D. (1993). *A Framework and Methodology for Linked Individual and Organisational Learning: Applications in TQM and Product Development*. PhD thesis, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. Referenziert auf S. 2, 84, 107
- Klemmer, S., Li, J., Lin, J., und Landay, J. (2004). Papier-mâché: Toolkit support for tangible input. *CHI Letters, Human Factors in Computing Systems: CHI2004.*, 6(1). Referenziert auf S. 131, 149, 183, 319, 320
- Klemmer, S., Newman, M., Farrell, R., Bilezikjian, M., und Landay, J. (2001). The designers' outpost: a tangible interface for collaborative web site. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Seiten 1–10. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 167
- Klemmer, S., Thomsen, M., Phelps-Goodman, E., Lee, R., und Landay, J. (2002). Where do web sites come from? capturing and interacting with design history. *Human Factors in Computing Systems, CHI Letters*, 4(1). Referenziert auf S. 126, 167, 401
- Kling, R. und Star, S. (1998). Human centered systems in the perspective of organizational and social informatics. *ACM SIGCAS Computers and Society*, 28(1):22–29. Referenziert auf S. 481

- Kluwe, R. H. (1990). Wissen. In Sarges, W., editor, *Management-Diagnostik*, Seiten 174–181. Hogrefe, Göttingen. Referenziert auf S. 89
- Koleva, B., Benford, S., Ng, K., und Rodden, T. (2003). A Framework for Tangible User Interfaces. In *Workshop-Proceedings on Real World User Interfaces, Mobile HCI Conference 03*, Seiten 257–264. Referenziert auf S. 131, 145, 158, 314, 326
- Krasner, G. und Pope, S. (1988). A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80. *Journal of Object-oriented programming*, 1(3):26–49. Referenziert auf S. 248
- Kumar, K. und Van Dissel, H. (1996). Sustainable collaboration: managing conflict and cooperation in interorganizational systems. *MIS Quarterly*, 20(3):279–300. Referenziert auf S. 1
- Larkin, J. und Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, 11(1):65–100. Referenziert auf S. 357, 364
- Larsen, S. B. und Bardram, J. E. (2008). Competence articulation: alignment of competences and responsibilities in synchronous telemedical collaboration. In *CHI '08: Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, Seiten 553–562, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 488
- Lave, J. und Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press. Referenziert auf S. 60
- Lenoir, T. (1994). Was the last turn the right turn? the semiotic turn and a. j. greimas. *Configurations*, 2(1):119–136. Referenziert auf S. 480
- Leont'ev, A. (1972). The Problem of Activity in Psychology. *Voprosy filosofii (english translation)*, (9):95–108. Referenziert auf S. 29, 55
- Leont'ev, A. (1978). *Activity, Consciousness, and Personality*. Prentice-Hall. Referenziert auf S. 28, 86
- Maier, M. (2008). Organizational Memories - Konzepte und Realisierungen. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 83, 485
- Mandl, H. und Fischer, F. (2000). Mapping-Techniken und Begriffsnetze in Lern- und Kooperationsprozessen. In Mandl, H. und Fischer, F., editors, *Wissen sichtbar machen*. Hogrefe. Referenziert auf S. 91
- Mark, G., Gonzalez, V. M., Sarini, M., und Simone, C. (2002a). Reconciling Different Perspectives: An Experiment on Technology Support for Articulation. In Blay-Fornarino, M., Pinna-Dery, A., Schmidt, K., und Zaraté, P., editors, *Proceedings of COOP 2002: Cooperative Systems Design: A Challenge of the Mobility Age*, Fontiers in Artificial Intelligence and Applications, Seiten 23–37. IOS Press. Referenziert auf S. 65, 484

- Mark, G., Gonzalez, V. M., Sarini, M., und Simone, C. (2002b). Supporting articulation with the reconciler. In *CHI Extended Abstracts 2002*, Seiten 814–815. Referenziert auf S. 484
- Marshall, P. (2007). Do tangible interfaces enhance learning? In *TEI '07: Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, Seiten 163–170, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 124, 540
- Mayrhauser, G. (2010). Abbildung der Content Struktur einer eLearning-Plattform auf Semantische Netze. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 281
- McAffer, J. und Lemieux, J. (2005). *Eclipse Rich Client Platform: Designing, Coding, and Packaging Java (TM) Applications*. Addison-Wesley Professional. Referenziert auf S. 250
- Mi, P. und Scacchi, W. (1991). Modeling Articulation Work in Software Engineering Processes. In *Proceedings of the First International Conference on the Software Process*, Seiten 188–201. IEEE Press. Referenziert auf S. 45, 46, 479, 540
- Montessori, M. (2005). *The Montessori Method*. Kessinger Publishing. Referenziert auf S. 123, 168
- Moore, B., Dean, D., Gerber, A., Wagenknecht, G., und Vanderheyden, P. (2004). Eclipse Development using the Graphical Editing Framework and the Eclipse Modeling Framework. Ibm redbooks, IBM. Referenziert auf S. 248, 269
- Mori, R., Toda, N., Wada, Y., Ogawa, T., Kenmotsu, A., Nakamura, M., Eguchi, M., Yamamoto, T., Kobayashi, K., Narita, A., Hirano, M., Nakanishi, H., Tanaka, K., Kase, I., und Ishii, H. (2004). Tangible business process analyzer. project description. Referenziert auf S. 167
- Nardi, B. und Kaptelinin, V. (2006). *Acting with Technology - Activity Theory and Interaction Design*. MIT Press. Referenziert auf S. 29
- Neubauer, M. (2008). Abbildung generischer Modelle auf Topic Maps. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 281, 290, 293
- Neubauer, M., Stary, C., und Oppl, S. (2009). Towards topic map-based e-learning environments (poster). In *Proceedings of TMRA 2009*. Referenziert auf S. 474
- Nonaka, I. und Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. Referenziert auf S. 26, 94
- Norman, D. (1983). Some observations on mental models. In Gentner, D. und Stevens, A., editors, *Mental models*, Seiten 7–14. Lawrence Erlbaum Associates. Referenziert auf S. 80, 81, 252

- Norman, D. (1990). *The design of everyday things*. Doubleday/Currency. Referenziert auf S. 459
- Novak, J. und Cañas, A. J. (2006). The theory underlying concept maps and how to construct them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Florida Institute for Human and Machine Cognition. Referenziert auf S. 13, 91, 92, 93, 94, 95, 100, 331, 474, 540
- Olesen, F. und Markussen, R. (2003). Reconfigured medication: Writing medicine in a sociotechnical practice. *Configurations*, 11(3):351–381. Referenziert auf S. 485
- Oppl, S. (2004). Context-aware Group-Interaction. Master’s thesis, University of Linz, Department for Pervasive Computing. Referenziert auf S. 183
- Oppl, S. (2006). Towards Intuitive Work Modeling with a Tangible Collaboration Interface Approach. In *Proceedings of WETICE '06*. IEEE Press. Referenziert auf S. 542
- Oppl, S. (2007a). Flexibility of Content for Organisational Learning - A Topic Map Approach. Master’s thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 272, 281, 290, 291, 293, 542
- Oppl, S. (2007b). Spielen Sie noch? - Bausteine im Unternehmenskontext. In Paul-Stueve, T., editor, *Workshop-Proceedings der 7. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2007*. Verlag der Bauhaus-Universität Weimar. Referenziert auf S. 542
- Oppl, S. (2008a). Begreifbare Modellierung von Arbeit. In *Workshop-Proceedings der 8. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2008*. logos Verlag. Referenziert auf S. 543
- Oppl, S. (2008b). Graspable work modeling. In *Proceedings of Mensch und Computer 2008*. Oldenbourg Verlag. Referenziert auf S. 543
- Oppl, S. (2009a). A Tabletop Interface to support Concept Mapping. In *Proceedings of EduMedia 2009*. Salzburg Research. Referenziert auf S. 474, 543
- Oppl, S. (2009b). Konsistente Verwendung von Metaphern als Erfolgskriterium für komplexe Tangible User Interfaces. In *Workshop-Proceedings der 9. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2009*. Referenziert auf S. 159, 326, 460, 474, 543
- Oppl, S. (2009c). Unterstützung expliziter Articulation Work – Statement of Interest for Participation in the Session on disruptive or seamless HCI in eLearning. In *Proceedings of IATEL (Interdisciplinary approaches to technology-enhanced learning)*. TU Darmstadt. Referenziert auf S. 543
- Oppl, S. (2009d). Using a Tangible Tabletop Interface to facilitate Articulation Work. In Dillenbourg, P. und Shen, C., editors, *Proceedings of the STELLAR Alpine Rendez-Vous Workshop on Tabletops for Education and Training*. STELLAR. Referenziert auf S. 543

- Oppl, S. (2010). Unterstützung expliziter Articulation Work durch Externalisierung von Arbeitswissen. In Peschl, M. und Risku, H., editors, *Kognition und Technologie im kooperativen Lernen*, Vienna University Press, Seiten 33–56. Vandenhoeck & Ruprecht. Referenziert auf S. 543
- Oppl, S. und Peherstorfer, P. (2007). Human Intervention in cross-organizational Process Development. In *Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Management (ICKM 2007)*. Referenziert auf S. 542
- Oppl, S. und Stary, C. (2005). Towards Human-Centered Design of Diagrammatic Representation Schemes. In Dix, A. und Dittmar, A., editors, *Proceedings of the 4th International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design (TAMODIA 2005)*, Seiten 55–62. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 283, 542
- Oppl, S. und Stary, C. (2009). Tabletop concept mapping. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '09)*. ACM Press. Referenziert auf S. 474, 543
- Oppl, S., Stary, C., und Auinger, A. (2006). Towards Tangible Work Modeling. In *Proceedings of Mensch und Computer 2006*, Seiten 400–405. Oldenburg Wissenschaftsverlag. Referenziert auf S. 542
- Oppl, S., Steiner, C., und Albert, D. (2010). Supporting Self-regulated Learning with Tabletop Concept Mapping. In *Interdisciplinary approaches to technology-enhanced learning*. Waxmann Verlag. Referenziert auf S. 474, 544
- Oppl, S. und Weichhart, G. (2005). Requirements for Collaborative Process Design. In Auinger, A., editor, *Workshop-Proceedings der 5. fachuebergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2005*, volume 197 of *books@ocg.at*, Seiten 15–22. OCG. Referenziert auf S. 104
- Papert, S. (2000). What's the Big Idea: Towards a Pedagogy of Idea Power. *IBM Systems Journal*, 39(3-4):720–729. Referenziert auf S. 123
- Patten, J. und Ishii, H. (2007). Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '07)*, Seiten 809–818, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 123
- Patten, J., Ishii, H., Hines, J., und Pangaro, G. (2001). Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible interfaces. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems 2001 (CHI '01)*. Referenziert auf S. 163, 167
- Pedersen, E. W. und Hornb, K. (2009). mixitui: a tangible sequencer for electronic live performances. In *TEI '09: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible*

- and Embedded Interaction*, Seiten 223–230, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 243, 245
- Pepper, S. (2000). The tao of topic maps. In *Proceedings of XML Europe*. Referenziert auf S. 272
- Phua, F. und Rowlinson, S. (2004). How important is cooperation to construction project success? A grounded empirical quantification. *Engineering Construction and Architectural Management*, 11(1):45–54. Referenziert auf S. 1
- Piaget, J. (1976). *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*. Klett-Cotta. Referenziert auf S. 79, 123
- Pirnay-Dummer, P. N. (2006). *Expertise und Modellbildung - MITOCAR*. PhD thesis, University of Freiburg. Referenziert auf S. 78, 83
- Price, S., Rogers, Y., Scaife, M., Stanton, D., und Neale, H. (2003). Using ‘tangibles’ to promote novel forms of playful learning. *Interacting with Computers*, 15(2):169–185. Referenziert auf S. 124
- Raposo, A., Gerosa, M., und Fuks, H. (2004). Combining Communication and Coordination Toward Articulation of Collaborative Activities. In *Proceedings of Groupware: Design, Implementation, and Use: 10th International Workshop, CRIWG 2004*. Springer. Referenziert auf S. 2, 25, 66, 71, 98, 485, 486
- Raposo, A. und Hugo, F. (2002). Defining task interdependencies and coordination mechanisms for collaborative systems. In *Proceedings of COOP 2002*, Seiten 88–113. IOS Press. Referenziert auf S. 484
- Raposo, A., Magalhães, L., Ricarte, I., und Fuks, H. (2001). Coordination of collaborative activities: A framework for the definition of tasks interdependencies. In *Proceeding of the 7th International Workshop on Groupware-CRIWG*. Referenziert auf S. 71, 484
- Rath, H. (2003). *The Topic Maps Handbook*. empolis GmbH. Referenziert auf S. 272
- Red Hat Middleware (2007). Hibernate Reference Documentation. Reference documentation, Red Hat Middleware. Referenziert auf S. 291
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., und Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, Seiten 281–287, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 123
- Rodden, T. (1995). The COMIC Project - Computer-based Mechanisms of Interaction in Cooperative Work. online: http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/research/soft_eng/comic/, *ESPRIT BasicresearchProject6*

- Rohs, M. (2005). Visual code widgets for marker-based interaction. In *25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2005*, Seiten 506–513. IEEE Press. Referenziert auf S. 187
- Rohs, M. und Gfeller, B. (2004). Using camera-equipped mobile phones for interacting with real-world objects. In *Advances in Pervasive Computing*, Seiten 265–271. Austrian Computer Society (OCG). Referenziert auf S. 188, 540
- Roy, M. (2001). Small group communication and performance: do cognitive flexibility and context matter? *Management Decision*, 39(4):323–330. Referenziert auf S. 1, 2
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., und Booch, G. (2004). *Unified Modeling Language Reference Manual, The*. Pearson Higher Education. Referenziert auf S. 284, 288
- Rumelhart, D. und Norman, D. (1978). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In Cotton, J. und Klatzky, R., editors, *Semantic factors in cognition*, Seiten 37–53. Erlbaum, Hillsdale, N.J. Referenziert auf S. 73
- Sachs, P. (1995). Transforming work: collaboration, learning, and design. *Communications of the ACM*, 38(9):36–44. Referenziert auf S. 37
- Sacks, H., Schegloff, E., und Jefferson, G. (1974). A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation. *Language*, 50(4):696–735. Referenziert auf S. 406
- Sarini, M. (2003). *Alignment of meanings and of protocols as a form of articulation work in cooperation*. PhD thesis, University of Torino. Referenziert auf S. 54, 485
- Sarini, M. und Simone, C. (2002a). Recursive articulation work in ariadne: The alignment of meanings. In *Proceedings of COOP 2002*, Seiten 191–206. Referenziert auf S. 4, 27, 34, 64, 65, 69, 70, 71, 72, 83, 95, 98, 103, 485, 486
- Sarini, M. und Simone, C. (2002b). The Reconciler: supporting actors in meaning negotiation. In *Proceedings of the Workshop on Meaning Negotiation (Mean-02) at AAAI-02*. Referenziert auf S. 71, 485
- Scheele, B. und Groeben, N. (1988). *Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion Subjektiver Theorien Die Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT), konsensuale Ziel-Mittel-Argumentation und kommunikative Flussdiagramm-Beschreibung von Handlungen*. Francke, Tuebingen. Referenziert auf S. 89, 90, 99, 100
- Scheer, A. und Nuetgens, M. (2000). Aris architecture and reference models for business process management. *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*, Seiten 376–389. Referenziert auf S. 337

- Scheer, A.-W. (2003). *ARIS – Business Process Modeling*. Springer, 3 edition. Referenziert auf S. 288
- Schilit, B., Adams, N., und Want, R. (1994). Context-aware computing applications. In *Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Seiten 85–90. Referenziert auf S. 182
- Schmidt, K. (1990). Analysis of Cooperative Work. A Conceptual Framework. Technical Report Risø-M-2890, Risø National Laboratory. Referenziert auf S. 26, 52, 479, 480, 481
- Schmidt, K. (1994). Cooperative Work and its Articulation. *Travail Humain*, 57(4):345–366. Referenziert auf S. 1, 23, 24, 71, 480
- Schmidt, K. (2002). The problem with ‘awareness’. *Computer Supported Cooperative Work*, 11(3):285–298. Referenziert auf S. 485
- Schmidt, K. und Bannon, L. (1992). Taking CSCW seriously: Supporting Articulation Work. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 1(1):7–40. Referenziert auf S. 2, 4, 35, 48, 49, 50, 52, 58, 62, 64, 479, 480, 481, 483
- Schmidt, K. und Simone, C. (1996). Coordination mechanisms: Towards a conceptual foundation of CSCW systems design. *Computer Supported Cooperative Work*, 5(2/3):155–200. Referenziert auf S. 41, 42, 52, 53, 54, 56, 58, 480, 481, 482, 483, 540
- Schmidt, K. und Simone, C. (1999). Cooperative work is seamless: Integrating the support of the many modalities of articulation work. Working paper 52, Center for Tele-Information. Referenziert auf S. 482
- Schmidt, K. und Simone, C. (2000). Mind the Gap!: Towards a unified view of CSCW. In *Proceedings of COOP2000: The Fourth International Conference on the Design of Cooperative Systems*, Sophia Antipolis, France. INRIA. Referenziert auf S. 30, 34, 40, 71, 92, 483
- Schmidt, K., Simone, C., Divitini, M., Carstensen, P., und Sørensen, C. (1995). A ‘contrat sociale’ for cscw systems. Working paper, Roskilde University. Referenziert auf S. 480
- Schön, D. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action*. Basic Books. Referenziert auf S. 124
- Sedera, W., Rosemann, M., und Gable, G. (2002). Measuring process modelling success. In *Proceedings of the 10th European Conference of Information Systems*, Seiten 331–341. Referenziert auf S. 403, 434, 435
- Seel, N. (2003a). Model-centered learning and instruction. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1(1):59–85. Referenziert auf S. 474

- Seel, N. (2003b). *Psychologie des Lernens*. Ernst Reinhardt Verlag, München Basel, 2nd edition. Referenziert auf S. 78, 474
- Seel, N. M. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Hogrefe, Göttingen u.a. Referenziert auf S. 13, 20, 73, 77, 78, 80, 83, 84, 85, 94, 116
- Seiringer, G. (2008). Entwicklung eines Editors für die Erstellung und Visualisierung von Topic Maps. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 248
- Semmer, N. und Udris, I. (2004). Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In Schuler, H., editor, *Lehrbuch Organisationspsychologie*, Seiten 157–195. Huber, Bern, 3rd edition. Referenziert auf S. 1, 23
- Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Doubleday/Currency. Referenziert auf S. 84, 88
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C., und Smith, B. (1994). *The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization*. Broadway Business. Referenziert auf S. 88
- Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez, E., und Jacob, R. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):359–369. Referenziert auf S. 131, 147, 157, 158, 159, 316, 326, 458, 460
- Shapiro, S. und Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52(3):591–599. Referenziert auf S. 345
- Shinar, J. (2004). *Organic light-emitting devices: a survey*. Springer. Referenziert auf S. 242
- Shipman, F. und Hsieh, H. (2000). Navigable history: a reader's view of writer's time. *New review of hypermedia and multimedia*, 6(1):147–167. Referenziert auf S. 117, 118, 401
- Simone, C. (2000). Making classification schemes a first class notion in cscw. In *Proceedings of the 1st CISCPH workshop on Cooperative Organization of Common Information Spaces*. Referenziert auf S. 483, 484, 489
- Simone, C. (2002). Unifying or reconciling when constructing organizational memory? some open issues. In *Knowledge management and organizational memories*, Seiten 137–143. Kluwer Academic Publishers. Referenziert auf S. 485
- Simone, C. und Bandini, S. (1997). Compositional features for promoting awareness within and across cooperative applications. In *Proceedings of GROUP '97*, Seiten 358–367, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 481
- Simone, C. und Divitini, M. (1997). Ariadne: Supporting Coordination through a Flexible Use of the Knowledge on Work Processes. *Journal of Universal Computer Science*, 3(8):865–898. Referenziert auf S. 481

- Simone, C., Divitini, M., und Schmidt, K. (1995). A notation for malleable and interoperable coordination mechanisms for CSCW systems. In *Proceedings of conference on Organizational computing systems*, Seiten 44–54. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 481
- Simone, C., Mark, G., und Giubbilei, D. (1999). Interoperability as a means of articulation work. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 24(2):39–48. Referenziert auf S. 4, 482, 483
- Simone, C. und Sarini, M. (2001). Adaptability of classification schemes in cooperation: what does it mean? In *Proceedings of the 2nd CISCOPH workshop on Cooperative Organization of Common Information Spaces*. Referenziert auf S. 484
- Sparrer, I. (2002). *Wunder, Lösung und System*. Carl-Auer-Systeme Verl. Referenziert auf S. 413, 474
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer Wien. Referenziert auf S. 84, 90, 273
- Star, S. L. (1989). The structure of ill-structured solutions: boundary objects and heterogeneous distributed problem solving. Seiten 37–54. Referenziert auf S. 129
- Star, S. L. und Strauss, A. (1999). Layers of silence, arenas of voice: The ecology of visible and invisible work. *Computer Supported Cooperative Work: The Journal of Collaborative Computing*, 8(1/2):9 – 30. Referenziert auf S. 25, 27, 32, 34, 35, 482
- Stary, C. (1994). *Interaktive Systeme: Softwareentwicklung und Softwareergonomie*. Vieweg. Referenziert auf S. 186
- Strauss, A. (1985). Work and the Division of Labor. *The Sociological Quarterly*, 26(1):1–19. Referenziert auf S. 1, 2, 3, 22, 23, 25, 34, 35, 77, 110, 479
- Strauss, A. (1988). The Articulation of Project Work: An Organizational Process. *The Sociological Quarterly*, 29(2):163–178. Referenziert auf S. 3, 25, 26, 34, 41, 77, 479
- Strauss, A. (1993). *Continual Permutations of Action*. Aldine de Gruyter, New York. Referenziert auf S. 2, 3, 4, 6, 13, 20, 25, 26, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 72, 73, 77, 332, 480, 481
- Suchman, L. (1987). *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge University Press. Referenziert auf S. 53
- Suchman, L. (1995). Making work visible. *Communications of the ACM*, 38(9):56–64. Referenziert auf S. 2, 35

- Suchman, L. (1999). Supporting articulation work: Aspects of a feminist practice of office technology production. In Kling, R., editor, *Computerization and Controversy - value conflicts and social choices*, Seiten 407–423. Academic Press, Inc. Orlando, FL, USA. Referenziert auf S. 35, 482
- Suzuki, H. und Kato, H. (1995). Interaction-level support for collaborative learning: Algo-Block—an open programming language. In *Proceedings of the first international conference on Computer support for collaborative learning table of contents*, Seiten 349–355, Hillsdale, NJ, USA. L. Erlbaum Associates Inc. Referenziert auf S. 122
- Tanenbaum, K. und Antle, A. N. (2009). A tangible approach to concept mapping. In Ao, S.-I., editor, *IAENG TRANSACTIONS ON ENGINEERING TECHNOLOGIES VOLUME 2: Special Edition of the World Congress on Engineering and Computer Science*, volume 1127, Seiten 121–132. AIP. Referenziert auf S. 91, 168
- The LEGO Group (2002). Die Wissenschaft von LEGO SERIOUS PLAY. brochure, The LEGO Group. Referenziert auf S. 124
- Tsai, W. (2002). Social structure of ”coopetition” within a multiunit organization: Coordination, competition, and intraorganizational knowledge sharing. *Organization Science*, 13(2):179–190. Referenziert auf S. 1
- Tyre, M. und Von Hippel, E. (1997). The situated nature of adaptive learning in organizations. *Organization Science*, 8(1):71–83. Referenziert auf S. 1
- Ullmer, B. (2002). *Tangible interfaces for manipulating aggregates of digital information*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology. Referenziert auf S. 131, 143, 147, 157, 158, 159
- Ullmer, B. und Ishii, H. (1997). The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Seiten 223–232, New York. ACM Press. Referenziert auf S. 136, 142, 307
- Ullmer, B. und Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3):915–931. Referenziert auf S. 131, 140, 141, 145, 152, 158, 159, 163, 238, 310, 326, 457, 540
- Ullmer, B., Ishii, H., und Jacob, R. (2005). Token + constraint systems for tangible interaction with digital information. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1):81–118. Referenziert auf S. 143, 144, 152, 154, 312, 313, 324, 326, 540
- Underkoffler, J. und Ishii, H. (1999). Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit*, Seiten 386–393. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 131, 139, 152, 158, 166, 309, 326

- Van Laerhoven, K., Villar, N., Schmidt, A., Gellersen, H., Hakansson, M., und Holmquist, L. (2003). Pin&Play: the surface as network medium. *IEEE Communications Magazine*, 41(4):90–95. Referenziert auf S. 180
- Van Someren, M., Barnard, Y., und Sandberg, J. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes*. Academic Press. Referenziert auf S. 86, 87, 88
- Vatant, B. (2004). Ontology-driven Topic Maps. In *Proceedings of XML Europe 2004*, Amsterdam. Referenziert auf S. 272
- Wagner, D. und Schmalstieg, D. (2003). ARToolKit on the PocketPC platform. In *IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003*, Seiten 14–15. IEEE Press. Referenziert auf S. 191
- Wahlmüller, P. (2010). Evaluation eines Werkzeugs zur Unterstützung von Articulation Work in der Praxis. Master’s thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 105, 339, 372, 403, 434, 493, 494, 506, 541
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265. Referenziert auf S. 123, 135, 182
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36:87–96. Referenziert auf S. 121, 162
- Wellner, P., Mackay, W., und Gold, R. (1993). Computer-augmented environments. back to the real world. *Communications of the ACM*, 36(7):24–26. Referenziert auf S. 162
- Wenger, E. (1998). Communities of practice - learning as a social system. *The Systems Thinker*, 9(5). Referenziert auf S. 484
- Wenger, E. (1999). *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. Cambridge University Press. Referenziert auf S. 60, 61, 71, 82
- ZigBee Alliance (2007). Zigbee Specification. Specification r17, ZigBee Alliance. Referenziert auf S. 180
- Zuckerman, O., Arida, S., und Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 859–868. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 124, 168, 242

Stefan Oppl

Curriculum Vitae

Reithoffergasse 2d
4400 Steyr

+43 660 44 32 616

✉ stefan@oppl.info

Persönliches

Geburtsdatum 10. August 1980
Familienstand verheiratet mit Sabrina
1 Sohn (Felix, geb. 2008)
Staatsbürgerschaft Österreich
Eltern Walter Oppl, Politiker
Ursula Oppl, Lehrerin

Ausbildung

seit 2006 **Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften in Informatik**, *Technische Universität Wien, Interactive Media Systems Group, Wien.*
2005 – 2007 **MBA-Aufbaustudium für Angewandtes Wissensmanagement**, *Johannes Kepler Universität, Linz.*
2000 – 2004 **Diplomstudium der Informatik**, *Johannes Kepler Universität, Linz.*
1994 – 1999 **BHS, HTL-Steyr, Abteilung für Elektronik – Ausbildungszweig Technische Informatik**, Steyr.
1990 – 1994 **AHS Unterstufe**, *Bundesgymnasium Werndlpark, Steyr.*
1986 – 1990 **Volksschule**, *Volksschule 2 Ennsleite, Steyr.*

Abschlüsse & Auszeichnungen

2007 Abschluss des Aufbaustudium für Angewandtes Wissensmanagement an der Johannes Kepler Universität Linz mit ausgezeichnetem Erfolg
Masterarbeit: *Flexibility of Content for Organisational Learning – A Topic Map Approach*
Akad. Grad: **Master of Business Administration (MBA)**
2005 Würdigungspreis der Bundesministerin für Bildung, Wissenschaft und Kultur für hervorragende Studienleistungen
2004 Abschluss des Diplomstudiums Informatik an der Johannes Kepler Universität Linz mit ausgezeichnetem Erfolg
Diplomarbeit: *Context-aware Group-Interaction*, Institut für Pervasive Computing
Akad. Grad: **Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing)**

- 2002 – 2004 Dreimaliger Empfänger eines Leistungsstipendiums der Johannes Kepler Universität Linz
- 1999 Reifeprüfung an der HTL Steyr (Abteilung für Elektronik - Ausbildungszweig Technische Informatik) mit ausgezeichnetem Erfolg

Berufliche Erfahrungen

- seit 2005 **wissenschaftlicher Mitarbeiter**, *Institut für Wirtschaftsinformatik - Communications Engineering*, Johannes Kepler Universität Linz.
Forschung und Lehre im Bereich der Modellierung, Gestaltung und Implementierung interaktiver Systeme
- seit 2007 **externer Lehrbeauftragter**, *FH Campus Steyr, FH OÖ Studienbetriebs GmbH*.
Lehre in den Gebieten „Einführung IT“, „Mobile Computing“ und „Wissenschaftliches Arbeiten“
- 2003 – 2005 **Projektassistent**, *Institut für Pervasive Computing*, Johannes Kepler Universität Linz.
Arbeitsgebiete: mobiles Lernen, kontextsensitive Anwendungen für mobile Endgeräte
- 2003 – 2004 **Tutor für die Lehrveranstaltung „Telekooperation“**, *Institut für Pervasive Computing*, Johannes Kepler Universität Linz.
Studierendenbetreuung, Übungs-Korrektur
- Sommer 2000 – 2004 **2x Rettungsanwärter**, *OÖ Rotes Kreuz, Bezirksstelle Steyr-Stadt*.
Sanitärer, Einsatzfahrer
- Sommer 2000 – 2004 **2x Jugendbetreuer**, *Kinderfreunde OÖ*, in Zusammenarbeit in der Jugendwohlfahrt OÖ.
Betreuer bei Erholungsferien für Kinder aus schwierigen Verhältnissen
- Juli – August 1998 **Ferialarbeit**, *Steyr Daimler Puch Engineering Centre – Abteilung für Akustik und Schwingungstechnik*, Steyr Daimler Puch (heute: Magna Powertrain).
- Juli 1997 **Ferialpraktikum**, *Ennskraftwerke AG*, Steyr.
- Juli 1996 **Ferialpraktikum**, *BMD Computer Systemhaus*, Steyr.

Präsenzdienst

- September 1999 **Sanitätsgehilfe**, Salzburg and Kirchdorf.
- April 2000

Projekte

- MobiLearn **Projektmitarbeiter**, *nationales Projekt in der NML-Initiative – www.mobilearn.at*, Institut für Pervasive Computing – JKU Linz, 2003-2004.
Entwicklung von mobil einsetzbaren Lernunterlagen zum Thema „Pervasive Computing“, Assistenz der Projektleitung
- ONE SmartSpace **Projektmitarbeiter**, *Industrie-Kooperation mit Fa. One (Mobilfunk-Anbieter)*, 2004-2005, Institut für Pervasive Computing – JKU Linz.
Entwicklung und Implementierung von „smart living“-Szenarien im persönlichen Wohnumfeld

- SiLiCon CON **Projektmitarbeiter**, *Industrie-Kooperation mit Siemens Corporate Technology München*, 2003-2005, Institut für Pervasive Computing – JKU Linz.
Entwicklung und Implementierung von Anwendungsszenarien für kontext-sensitive Applikationen, Vorbereitung und Durchführung von Technologietransfer-Workshops
- CrossWork **Projektmitarbeiter**, *EU-Projekt (FP6 IST) – www.crosswork.info*, 2005-2006, Institut für Wirtschaftsinformatik – Communications Engineering – JKU Linz.
operative Leitung der lokalen Arbeitsgruppe, Erhebung der Beschaffungs- und Vernetzungsprozesse der Industriepartner
- SUddEN **Projektmitarbeiter**, *EU-Projekt (FP6 IST) – www.sudden.biz*, 2006-2008, Institut für Wirtschaftsinformatik – Communications Engineering – JKU Linz.
Erhebung der Beschaffungs- und Vernetzungsprozesse und der Industriepartner, Mitarbeit an der Entwicklung von Ansätzen zum Profiling und zur Entwicklung von Netzwerk-Kompetenzen bei SMEs.

Sprachkenntnisse

Deutsch **Fließend**
Englisch **Fließend**

*Muttersprache
in Wort und Schrift*

IT-Kenntnisse

- Betriebssysteme Windows, GNU/Linux, Mac OS X
- System-administration GNU/Linux (Debian, Ubuntu)
- Bürosoftware MS Office (Word, Excel, Powerpoint, Access), Openoffice (gesamte Suite), iWork (gesamt Suite), LaTeX
- Software-entwicklung *Detaillkenntnisse:* Java, C, C++,
Grundkenntnisse: PHP, Bash Scripting, Objective C
- Verteilte Systeme Apache Webserver,
Kryptographisch gesicherte Kommunikationskanäle (SSH, OpenPGP, ...),
CMS- und CSCW-Werkzeuge (Nuxeo, Typo3, CalDAV, MediaWiki, Wordpress, ...)
- Geschäftsprozess-management ARIS Business Architect (Modellierung, Simulation),
JCOM1 Suite (Modellierung, Simulation, Ausführung),
BPMN (Modellierung)

Publikationen

Abschlussarbeiten

S. Oppl. Context-aware Group-Interaction. Master's thesis, University of Linz, Department for Pervasive Computing, September 2004.

S. Oppl. Flexibility of Content for Organisational Learning - A Topic Map Approach. Master's thesis, University of Linz, May 2007.

Zeitschriftenbeiträge

C. Stary and S. Oppl. Konsistente Navigation in stationären und mobilen web-basierten Lehr- & Lern-Umgebungen. *Zeitschrift für e-learning*, 2(4), November 2007.

Buchbeiträge

S. Oppl. Unterstützung expliziter Articulation Work durch Externalisierung von Arbeitswissen. In M.F. Peschl and H. Risku, editors, *Kognition und Technologie im kooperativen Lernen*, Vienna University Press, pages 33–56. Vandenhoeck & Ruprecht, May 2010.

S. Oppl, P. Peherstorfer, and C. Stary. The User Perspective, Automotive Industry Use Cases. In N. Mehandjiev and P. Grefen, editors, *Dynamic Business Process Formation for Instant Virtual Enterprises*, Advanced Information and Knowledge Processing, chapter 9, 11. Springer, 2010.

S. Oppl, C. Steiner, and D. Albert. Supporting Self-regulated Learning with Tabletop Concept Mapping. In *Interdisciplinary approaches to technology-enhanced learning*. to appear, 2010.

Konferenzbeiträge

A. Ferscha, C. Holzmann, and S. Oppl. Context awareness for Group Interaction Support. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobility Management and Wireless Access Protocols (MobiWAC '04)*, pages 88–97. ACM Press New York, NY, USA, September 2004.

A. Ferscha, C. Holzmann, and S. Oppl. Team Awareness in Personalized Learning Environments. In *Proceedings of MLearn 2004*, July 2004.

S. Oppl and C. Stary. Towards Human-Centered Design of Diagrammatic Representation Schemes. In A. Dix and A. Dittmar, editors, *Proceedings of the 4th International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design (TAMODIA 2005)*, pages 55–62. ACM Press New York, NY, USA, September 2005.

S. Oppl and G. Weichhart. Requirements for Collaborative Process Design. In Andreas Auinger, editor, *Workshop-Proceedings der 5. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2005*, volume 197 of *books@ocg.at*, pages 15–22. OCG, September 2005.

S. Oppl. Towards Intuitive Work Modeling with a Tangible Collaboration Interface Approach. In *Proceedings of WETICE '06*. IEEE Press, June 2006.

S. Oppl, C. Stary, and A. Auinger. Towards Tangible Work Modeling. In *Proceedings of Mensch und Computer 2006*, pages 400–405. Oldenburg Wissenschaftsverlag, September 2006.

C. Stary, E. Stary, and S. Oppl. Inclusive Design of Ambient Knowledge Transfer. In *Proceedings of 9th ERCIM Workshop 'User Interfaces For All'*. Springer, September 2006.

G. Weichhart, C. Stary, and S. Oppl. Modelling of Complex Supply Networks. In *Proceedings of WETICE '06*, pages 265–268. IEEE Press, June 2006.

F.G. Furtmüller and S. Oppl. A Tuple-Space based Middleware for Collaborative Tangible User Interfaces. In *Proceedings of WETICE '07*. IEEE Press, June 2007.

S. Oppl. Spielen Sie noch? - Bausteine im Unternehmenskontext. In T. Paul-Stueve, editor, *Workshop-Proceedings der 7. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2007*. Verlag der Bauhaus-Universität Weimar, September 2007.

S. Oppl and P. Peherstorfer. Human Intervention in cross-organizational Process Development. In *Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Management (ICKM 2007)*, August 2007.

S. Oppl. Begreifbare Modellierung von Arbeit. In *Workshop-Proceedings der 8. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2008*. logos Verlag, 2008.

S. Oppl. Graspable work modeling. In *Proceedings of Mensch und Computer 2008*. Oldenburg Verlag, 2008.

M. Neubauer, S. Oppl, and C. Stary. Towards Intuitive Modeling of Business Processes: Prospects for Flow- and Natural-Language-Oriented. In *Proceedings of Tamodia 2009*. Springer, September 2009.

S. Oppl. Konsistente Verwendung von Metaphern als Erfolgskriterium für komplexe Tangible User Interfaces. In *Workshop-Proceedings der 9. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer 2009*, September 2009.

S. Oppl. Using a Tangible Tabletop Interface to facilitate Articulation Work. In Pierre Dillenbourg and Chia Shen, editors, *Proceedings of the STELLAR Alpine Rendez-Vous Workshop on Tabletops for Education and Training*. STELLAR, December 2009.

S. Oppl and C. Stary. Tabletop concept mapping. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '09)*. ACM Press, February 2009.

Sonstiges

G. Weichhart, S. Oppl, and T. Waefler. Flexible and responsive cross-organisational Interoperability. In M. Taisch and K.D. Thoben, editors, *Advanced Manufacturing - an ICT and Systems Perspective*, pages 158–170. Network of Excellence on Intelligent Manufacturing Systems, October 2005.

M. Neubauer, C. Stary, and S. Oppl. Towards topic map-based e-learning environments (poster). In *Proceedings of TMRA 2009*, November 2009.

S. Oppl. A Tabletop Interface to support Concept Mapping. In *Proceedings of EduMedia 2009*. Salzburg Research, May 2009.

S. Oppl. Unterstützung expliziter Articulation Work – Statement of Interest for Participation in the Session on disruptive or seamless HCI in eLearning. In *Proceedings of IATEL (Interdisciplinary approaches to technology-enhanced learning)*. TU Darmstadt, June 2009.

Lehre

Johannes Kepler Universität Linz

- WS 2005/06 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
Kompetenztraining Communications Engineering (2 SWS)
- SS 2006 Übung Communications Engineering (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- WS 2006/07 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- SS 2007 Übung Communications Engineering (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- WS 2007/08 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- SS 2008 Übung Communications Engineering (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- WS 2008/09 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
Seminar Communications Engineering (2 SWS)

- SS 2009 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
 Übung Communications Engineering (2 SWS)
 Seminar Wissensmanagement (2 SWS)
- SS 20010 Übung Prozess- und Kommunikationsmodellierung (2 SWS)
 Seminar Communications Engineering (2 SWS)
- FH OÖ – Campus Steyr
- SS 2007 Vorlesung Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (1 SWS)
 2x Übung IT Introduction 2 - Software Development (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- WS 2007/08 Vorlesung Mobile Computing (1 SWS)
 Übung IT Introduction 1 (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- SS 2008 2x Übung IT Introduction 2 - Software Development (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- WS 2007/08 Vorlesung Mobile Computing (1 SWS)
 Vorlesung Mobile Computing (1 SWS) – *Unterricht in Englisch*
 Übung IT Introduction 1 (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- SS 2009 Übung IT Introduction 2 - Software Development (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- WS 2007/08 Vorlesung Mobile Computing (1 SWS)
 Vorlesung Mobile Computing (1 SWS) – *Unterricht in Englisch*
 Vorlesung IT Introduction 1 (1 SWS) – *Unterricht in Englisch*
 Übung IT Introduction 1 (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*
- SS 2009 Übung IT Introduction 2 - Software Development (2 SWS) – *Unterricht in Englisch*

Diplom- und Masterarbeiten (Mitbetreuung)

Stefan Berger-Schützender and Gernot Hammerle. Konzeption und Implementierung eines Informationsportals anhand der Communications Engineering Webseite. Master's thesis, University of Linz, April 2007.

Eva Doppelhammer. Prototypische Integration von Semantic Web-Technologien in einem Wiki. Master's thesis, University of Linz, June 2007.

Florian Georg Furtmüller. Implementierung eines Frameworks für berührbare Benutzungsschnittstellen. Master's thesis, University of Linz, February 2007.

Sara Bartos. Inquiry-based learning in virtuellen Lernumgebungen. Master's thesis, University of Linz, October 2008.

Thomas Feiner. Modelleditor auf Basis dynamischer Metamodelle zur Unterstützung partizipativer Modellerfassung und -reflexion. Master's thesis, University of Linz, April 2008.

Manuela Maier. Organizational Memories - Konzepte und Realisierungen. Master's thesis, University of Linz, June 2008.

Matthias Neubauer. Abbildung generischer Modelle auf Topic Maps. Master's thesis, University of Linz, March 2008.

Armin Sanders. Ein Portalentwicklungszyklus dargestellt anhand der Neukonstruktion der Seiten "Aufbaustudium Angewandtes Wissensmanagement" und "Zentrum für Wissensmanagement". Master's thesis, University of Linz, October 2008.

Günter Seiringer. Entwicklung eines Editors für die Erstellung und Visualisierung von Topic Maps. Master's thesis, University of Linz, March 2008.

Georg Mayrhauser. Abbildung der Content Struktur einer eLearning-Plattform auf Semantische Netze. Master's thesis, University of Linz, 2010.

Patrick Wahlmüller. Evaluation eines Werkzeugs zur Unterstützung von Articulation Work in der Praxis. Master's thesis, University of Linz, May 2010.

Bachelorarbeiten

Christoph Rampetsreiter. Potential der elektronischen Datenübertragung mittels XML im B2B Laborbereich. bachelor thesis, FH OÖ - Campus Steyr, 2009.

Nicole Reitmayr. Dezentrales Dokumentenmanagement mittels ECM. bachelor thesis, FH OÖ - Campus Steyr, 2009.

Interessen

Sonstige Ausbildungen und Befähigungsnachweise

- Lenkerberechtigung Klasse A und B
- Amateurfunklizenz CEPT 1
- Sanitätsgehilfe (Rettungssanitäter mit Berufsberechtigung)
- Einsatzfahrerberechtigung
- Hochschuldidaktischer Lehrgang an der Johannes Kepler Universität Linz
- Lehrgang „Gruppen führen und leiten“, Fa. OE-263
- Lehrgang für Führungskräfte in Non-Profit-Organisationen, Kinderfreunde OÖ, u.a. Ausbildung in Projektmanagement, Rhetorik, Führungskompetenz
- Segelschein Klasse A

Ehrenamtliche Tätigkeiten

- seit 2009 **Kindergruppenarbeit**, *Eltern-Kind-Zentrum Bärentreff, Steyr.*
Leitung einer Vater-Kind-Gruppe
- seit 1999 **Rettungssanitäter**, *OÖ Rotes Kreuz – Bezirksstelle Steyr Stadt.*
Sanitäter, Einsatzfahrer
- 1996 – 2004 **Jugendgruppenarbeit**, *Kinderfreunde Bezirk Steyr und Land OÖ.*
Landesvorsitzender der Roten Falken OÖ, Mitglied im Landesvorstand der Kinderfreunde OÖ
- 1994 – 1999 **Schülervertreter**, *HTL Steyr.*
u.a. Schulsprecher-Stv.

Sonstige Freizeitaktivitäten

- Landschafts- und Makrofotografie
- Nordic Walking
- Skilauf

Der eine fragt: Was kommt danach?
Der andre fragt nur: Ist es recht?
Und also unterscheidet sich
der Freie von dem Knecht.

Theodor Storm