

Benutzerorientierte Evaluierung von Produktvarianten

Eine Methode basierend auf Feature Models und House of Quality

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Medizinische Informatik

eingereicht von

Emanuel Mätzler BSc

Matrikelnummer 1028420

an der
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung: Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Christian Huemer
Mitwirkung: Dipl.-Ing. Mag. Dr. Alexandra Mazak

Wien, 17.03.2015

(Unterschrift Verfasser)

(Unterschrift Betreuung)

User centric Evaluation of Product Variants

A Method based on Feature Models and House of Quality

MASTER'S THESIS

submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

in

Medical Informatics

by

Emanuel Mätzler BSc

Registration Number 1028420

to the Faculty of Informatics
at the Vienna University of Technology

Advisor: Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Christian Huemer
Assistance: Dipl.-Ing. Mag. Dr. Alexandra Mazak

Vienna, 17.03.2015

(Signature of Author)

(Signature of Advisor)

Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Emanuel Mätzler BSc
Salzgries 3/63, 1010 Wien

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

(Ort, Datum)

(Unterschrift Verfasser)

Danksagung

Ich möchte die Möglichkeit nutzen mich an dieser Stelle bei allen, die mich während meines Studiums und der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben, zu bedanken. Ein besonderer Dank gilt Alexandra Mazak für die einzigartige Betreuung dieser Arbeit. Ohne ihre zahlreichen Anregungen und Ideen wäre diese Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen. Auch bei Professor Christian Huemer darf ich mich für die wertvollen Anregungen und die Betreuung bedanken.

Die Möglichkeit ein Studium zu absolvieren ist keine Selbstverständlichkeit. Ohne die durchgängige Unterstützung meiner Familie wäre das nicht möglich gewesen. Allen voran gilt mein größter Dank meinen Eltern, die zu jeder Zeit den von mir eingeschlagenen Bildungsweg unterstützt haben. Aber auch meinen Schwestern mit Familien danke ich für ihre ständige Unterstützung.

Nicht unerwähnt lassen möchte ich meine Freunde, Studien- und Arbeitskollegen. Es war mir eine Freude, über all die Jahre von so vielen großartigen Menschen begleitet zu werden.

Abstract

The degree of variability in modern products is steadily increasing. Markets have changed in terms of customers with individual requirements and expectations on products. This brings new challenges to the process of product development. The number of possible variants increases more and more, as well as the complexity to handle variability. Therefore, there is a need for supporting information systems, when it comes to selecting the correct variants in terms of, e.g. optimal costs or fulfillment of individual requirements.

Customer requirements different than those of average users create a greater difficulty in the management of product variants. This is especially a struggle when developing or evolving products in the health care domain. Persons with disabilities often have completely different requirements on products than people without do.

This thesis proposes a methodology to analyze and evaluate variable products, in consideration of specific customer requirements. Techniques from Quality Function Deployment – in particular the *House of Quality* – and modeling techniques from variability modeling – namely *Feature Modeling* – are combined. Feature Models are a common variability modeling technique. The House of Quality is a method to evaluate the level of fulfillment of customer requirements by correlating them with technical characteristics. By combining concepts from both techniques, a user centric evaluation of variable products is provided.

In order to prove the feasibility and applicability of this approach, a case study within the health care domain is done as proof-of-concept. *Personas* with disabilities are defined as well as real product configurations. The introduced approach is able to identify the product fitting best for each of the defined personas. The final step evaluates the methodology by means of a case study. This case study also revealed areas for improvement in future work. The approach was presented to and discussed with the variability modeling community at a workshop and further investigations were done by interviews with experts on variability modeling.

Kurzfassung

Variabilität spielt in modernen Produkten eine zunehmende Rolle. Kunden erwarten sich individuelle Produkte, die ihre ganz speziellen Anforderungen erfüllen. Daraus folgt eine zunehmende Herausforderung in der Produktentwicklung und Produktion, geprägt durch die Vielzahl an Produktkonfigurationsmöglichkeiten und die daraus resultierende Komplexität. Aus diesem Grund ist zur Auswahl geeigneter Varianten (z.B. hinsichtlich Kosten und individueller Anforderungen) eine adäquate methodische Unterstützung durch Informationssysteme unabdingbar.

Besonders schwierig ist der Umgang mit Kundenanforderungen, wenn sie von denen eines durchschnittlichen Benutzers abweichen. Ein Problem, wie es vor allem bei der (Weiter-) Entwicklung von medizinischen Produkten oft der Fall ist. In dieser Domäne resultieren individuelle – vom Durchschnittsbenutzer oft stark abweichende – Anforderungen an ein Produkt meist aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen des Endnutzers. Zurzeit ist es nicht möglich, diese individuellen Anforderungen bei der Konfiguration von Varianten zu berücksichtigen.

Diese Arbeit beschreibt eine Methode, mittels der Produktvariabilität bewertet und evaluiert werden kann. Zu diesem Zweck werden Techniken aus dem Quality Function Deployment – im Speziellen das *House of Quality* – und Modellierungsmethoden aus dem Variantenmanagement – nämlich *Feature Models* – miteinander kombiniert. Feature Models sind eine gängige Methode um Varianten zu modellieren. Das House of Quality ist eine Methode, mit der in einer Matrix Kundenanforderungen mit technischen Merkmalen in Korrelation gesetzt und so überprüft werden. Die Zusammenführung von Konzepten beider Techniken verwenden wir, um sie für eine benutzerorientierte Evaluierung von variablen Produkten zu adaptieren.

Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise und als Proof-of-Concept wird eine Fallstudie aus dem Bereich Health Care mit der vorgestellten Methode durchgeführt. Mittels der Fallstudie soll die praktische Durchführbarkeit und Relevanz der Methode geprüft werden. Zu diesem Zweck werden *Personas* mit körperlichen Einschränkungen definiert, für die aus mehreren Varianten eines Produkts die am besten geeignete gefunden wird. Im Anschluss an die Fallstudie wird diese evaluiert, wodurch zusätzliche Problemfelder und noch offene Fragen identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde die Arbeit bei einem internationalen Workshop für Variantenmodellierung einer wissenschaftlichen Community vorgestellt. Zusätzlich wurden auch Interviews mit Experten aus dem Bereich Variantenmodellierung durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Identifikation relevanter Fragestellungen	2
1.4	Erwartetes Resultat	4
1.5	Methodisches Vorgehen	5
1.6	Struktur der Arbeit	7
2	Literaturüberblick	9
2.1	Modellierung von Variabilität	10
2.2	Feature Modeling	12
2.3	Validierungsoperationen auf Feature Models	20
2.4	Feature Models vs. Decision Models	24
2.5	Clafer: Eine moderne Sprache zur Variabilitätsmodellierung	25
2.6	Quality Function Deployment	29
2.7	Das House of Quality	31
3	Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix	35
3.1	Anforderungserhebung	36
3.2	Anforderungspriorisierung	37
3.3	Feature Models als technische Sicht	37
3.4	Befüllung der Korrelationsmatrix	38
3.5	Die Konfiguration des Produktes	39
3.6	Die variable Korrelationsmatrix	39
4	Anwendung der variablen Korrelationsmatrix anhand einer medizinischen Fallstudie	41
4.1	Definition der Personas	42
4.2	Anforderungen der Personas	43
4.3	Auswahl der Produktvarianten	46
4.4	Erstellung der Korrelationsmatrix	47
4.5	Szenario 1: Analyse einer gegebenen Produktvariante	50

4.6	Szenario 2: Analyse mehrerer Produktvarianten basierend auf gegebenen Anforderungen	54
5	Evaluierung	59
5.1	Variability Modeling Workshop (VaMoS)	59
5.2	Experten-Interviews: Vorgehensweise und Zusammenfassung	60
6	Zusammenfassung und Ausblick	65
6.1	Ausblick	66
A	Weitere variable Korrelationsmatrizen der Fallstudie	69
B	Interviews: Fragen und Einzelergebnisse	77
B.1	Interviewfragen	77
B.2	Interview A	78
B.3	Interview B	79
B.4	Interview C	81
B.5	Interview D	82
B.6	Interview E	84
	Literaturverzeichnis	87

Einleitung

1.1 Motivation

Die Individualisierbarkeit von Produkten beeinflusst seit Jahren deren Entwicklung. Konsumenten sind mündiger geworden, wodurch die Nachfrage nach individuellen Produkten stetig ansteigt. Die daraus resultierende Variabilität von Produkten macht es für Unternehmen immer schwieriger mit der Vielfalt möglicher Varianten, die im gesamten Entwicklungsprozess berücksichtigt werden müssen, umzugehen. Stark angestiegen sind insbesondere der Umfang softwarebasierter Funktionen und damit die in Software ausgeprägte Variabilität. Der hohe Vernetzungsgrad zwischen den Systemen, sowie die hohe Varianz führen zu einer komplexen Kombinatorik und stellen damit höchste Ansprüche an den Entwicklungsprozess von Produkten. So führt zum Beispiel in der Automobilindustrie die gestiegene Fahrzeug- und Funktionsvielfalt zu einer immer höheren Anzahl an Produktvarianten pro Produktlinie. In einem modernen Auto werden beispielsweise 50–70 Electronic Control Units mit jeweils bis zu 10.000 Konfigurationsmöglichkeiten verbaut [26]. Diese Tatsache hat uns motiviert nach geeigneten Konzepten zu suchen, mittels derer Produktkonfigurationen unter Berücksichtigung individueller Kundenanforderungen evaluiert werden können.

Im Zuge eines – durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) – geförderten Projekts (Kurztitel: MetaMoV, Projektnummer: 845511) zwischen der TU Wien (Institut für Softwaretechnik und interaktive Systeme, Arbeitsgruppe BIG) und dem wirtschaftlichen Projektpartner SparxSystems Software GmbH wurde nach geeigneten Lösungskonzepten zur Validierung, Handhabung und zum Testen einzelner Konfigurationen einer stetig steigenden Zahl an Varianten gesucht.

1.2 Problemstellung

Um eine praxisrelevante Problemstellung zu erarbeiten, wurde ein Workshop mit einem produzierenden Unternehmen mit eigener Produktentwicklung im Bereich von Leuchten abgehalten.

Die hier identifizierten Fragestellungen sind in Abschnitt 1.3 detailliert beschrieben. Diese Arbeit greift daraus das Problem auf, Kundenanforderungen und deren Priorisierungen bei der Entwicklung von variablen Produkten zu berücksichtigen.

Die Zufriedenheit von Kunden mit einem Produkt steht in direktem Zusammenhang mit dem Grad, mit dem das Produkt die Wünsche und Anforderungen des Kunden erfüllt. Der Grad der Erfüllung von Kundenanforderungen kann bei einem einzelnen Produkt mit etablierten Methoden, wie beispielsweise dem *House of Quality (HoQ)*, einem Instrument aus dem *Quality Function Deployment (QFD)*, einfach evaluiert werden. Schwieriger ist die Beantwortung der Frage nach dem geforderten Erfüllungsgrad bei Produktlinien. Hierbei muss eine Evaluierung aller möglichen Produktausprägungen vorgenommen werden. Aufgrund der großen Anzahl an Möglichkeiten ist das in der Praxis nicht mit angemessenem Aufwand machbar. Um der Berücksichtigung der Erfüllung von Kundenwünschen dennoch Rechnung zu tragen, kommen in der Praxis Instrumente wie Marktanalysen oder Erfahrungswerte zum Einsatz. Diese Instrumente sind jedoch problematisch, wenn es um die Frage der idealen Produktausprägung bei speziellen Kundenanforderungen geht. Dabei sind konkret Anforderungen gemeint, die vom Durchschnitt abweichen. Bei speziellen Produkten, wie beispielsweise Medizinprodukte für den Gesundheitsbereich, ist das sehr oft der Fall. Menschen mit unterschiedlichen Beeinträchtigungen (z.B. körperliche Einschränkungen) haben unterschiedliche Anforderungen an ein Produkt, die von den gängigen Anforderungen eines Menschen ohne Beeinträchtigung (durchschnittlicher Nutzer) abweichen.

Zur Berücksichtigung und Lösung dieses Problems braucht es einen Ansatz, bei dem nicht jede gültige Produktinstanz evaluiert wird, sondern auf der Ebene der Produktvariabilität Analysen angestellt werden. So müssen nicht wie auf der Instanzebene alle gültigen Varianten generiert und einzeln analysiert werden. Für die Betrachtung auf der Ebene der Variabilität ist als Basis eine Methode notwendig mit der Variabilität abgebildet werden kann. In der Praxis haben sich dafür *Feature Models (FM)* bewährt [6]. Die Abbildung von Variabilität in FM ist gut erforscht und bringt zudem ausdrucksstarke Zusatzkonzepte und eine einfache Handhabung mit sich.

Durch die Kombination von Konzepten des HoQ mit FM, lassen sich nun auch variable Produkte auf den Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen hin überprüfen und analysieren. Aufgrund dieser Möglichkeit von Analysen auf Ebene der Variabilität, anstatt wie bisher auf Ebene der Produktinstanzen, können zusätzliche – die gesamte Produktlinie betreffende – Erkenntnisse gewonnen werden. So kann beispielsweise der Effekt einer bestimmten Produktcharakteristik (Feature) auf die Erfüllung der speziellen Kundenanforderungen hin analysiert werden. Es ist durch den Einsatz der vorgestellten Methode nicht mehr notwendig, alle gültigen Produktvarianten einzeln zu analysieren.

1.3 Identifikation relevanter Fragestellungen

Im Zuge des Projekts MetaMoV mit der Firma SparxSystems wurden zum Thema Variantenmanagement praxisrelevante Problemfelder identifiziert. Dafür wurde ein Workshop zum Thema Variantenmodellierung bei der Firma Zumtobel abgehalten. Die Zumtobel Gruppe ist ein weltweit tätiges Unternehmen auf dem Gebiet der Produktion von Leuchten, Leuchtkomponen-

ten und Lichtlösungen mit Sitz in Vorarlberg. Unter anderem bietet das Unternehmen spezielle Lichtlösungen für die medizinische Domäne an.

Workshop zum Thema Variantenmodellierung

Im Rahmen eines Workshops wurde mit den Verantwortlichen des Produktmanagements, Datenmanagements und der Corporate IT praxisrelevante Problemfelder im Umgang mit Variabilität bei Produkten identifiziert. Im Zuge dessen wurden mögliche Einsatzgebiete von Feature Models, die verwendeten Techniken zur Modellierung von Variabilität und sinnvolle Meta-Informationenannotation in der Modellierung erarbeitet.

Für Zumtobel interessante Fragestellungen bei der Modellierung von Varianten sind:

- Feature Models als offene Diskussionsbasis
- Vereinfachung der Datenpflege durch standardisierten Datenaustausch
- Annotation mit (Meta-)Informationen (z.B. Kosten und Sicherheit)
- Verbesserte Entscheidungsfindung bei großen Produktportfolios

Hinsichtlich der Annotation von FMs mit Meta-Information wurden während der Diskussionen folgende Potentiale identifiziert: Auswertungen von FMs wie beispielsweise das Summieren bestimmter Feature-Attribute (z.B. Kosten) ermöglicht das *Erkennen von Preistreibern*. Durch Instanz-Generatoren und Algorithmen auf bereits im Produktportfolio angebotenen Konfigurationen können so Features identifiziert werden, die besonders für bestimmte Eigenschaften eines Produktes verantwortlich sind. Ein oft genanntes Beispiel hierfür ist der Preis. Durch eine Verknüpfung von Produktkonfigurationen mit ERP Systemen könnten mittels der darin vorhandenen Verkaufs- und Nachfragezahlen *Rückschlüsse über Erfolg, Nachfrage und Umsätze* einzelner Features gewonnen werden. Das ist vor allem für die Produktportfolio Planung von großem Interesse. Hierbei ist die *Identifikation von Abhängigkeiten* von Bedeutung. Das betrifft insbesondere Änderungen hinsichtlich Features (z.B. neue Features implementieren, wenig nachgefragte Features auslaufen lassen oder bestehende Features verändern). Ein Beispiel für solche Abhängigkeiten sind die Kundenanforderungen.

Bisher werden bei Zumtobel von den Produktmanagern sogenannte *VIVA (Viele Varianten)* Tabellenblätter auf Excel-Basis verwendet. Diese Tabellenblätter entsprechen Spreadsheets wie in Kapitel 2.1 beschrieben. Dabei werden einzelne Produkte der Produktfamilie in Zeilen dargestellt. Die Spalten stellen die gültigen Optionen für diese Produkte dar. Bei der Analyse eines VIVA-Sheets kann erkannt werden, dass hier nicht nur die einfache Verfügbarkeit einer Option für ein Produkt hinterlegt ist, sondern durch Verwendung von zusätzlichen Symbolen auch Lieferverfügbarkeiten hinterlegt werden können. Durch eine zusätzliche Farbkodierung wird markiert, welche Features für ein Produkt in der Entwicklung sind und welche Features aus dem Portfolio auslaufen. Das bedeutet, dass in der Tabelle abgesehen von booleschen Variablen zwei zusätzliche Dimensionen, nämlich Lieferverfügbarkeiten und Produktlebenszyklus, hinterlegt sind. Bei beiden handelt es sich aus Sicht des Variantenmanagements um Meta-Information, die in diesem konkreten Beispiel für das Produktmanagement von Bedeutung sind. Bei den VIVA Sheets wird immer von Basis-Produkten ausgegangen. Jedes Basis-Produkt hat eine feste

Produkt- bzw. Bestellnummer aus dem ERP System. Das Produkt hat fest definierte (fixe) Charakteristika und variable Komponenten, die als zusätzliche Optionen verfügbar sind. Verglichen mit den in Kapitel 2.2 vorgestellten Konzepten, entspricht das einem teilkonfigurierten Feature Model.

Ein weiterer von den WorkshopteilnehmerInnen angesprochener offener Punkt ist die Herausforderung im Umgang mit der Vielfalt an Informationen, die bei der Produktplanung berücksichtigt werden müssen. Produktfamilien bestehen aus dutzenden Produkten, die wiederum in vielerlei Varianten angeboten werden. Bei der Planung zukünftiger Entwicklungen – auch *Produktportfolio Planung* genannt – geht es darum zu definieren, welche Produkte in welchen Varianten zukünftig angeboten werden sollen. Hierbei ist es nötig, Entscheidungen über angebotene Features zu treffen. Beim Treffen solcher Entscheidungen müssen allerdings vielerlei ökonomische, technische und auch die künftige Nachfrage betreffende Aspekte berücksichtigt werden. Laut den Verantwortlichen wäre hier deshalb eine Unterstützung bei der Entscheidungsfindung hilfreich.

Fragestellungen dieser Arbeit

Aus den im Workshop identifizierten Problemstellungen ergeben sich folgende relevante Fragestellungen, die in dieser Arbeit aufgegriffen werden:

1. Wie gut erfüllt eine Produktvariante unterschiedliche Anforderungen?
2. Welche Produktvariante ist bei bestimmten Anforderungen die geeignetste?

Aus diesen beiden Fragestellungen ergibt sich der Bedarf einer Methode zur Berücksichtigung individueller Kundenanforderungen und deren Priorisierungen bei variablen Produkten. Es soll dabei untersucht werden, welche Auswirkungen variable Komponenten (Features) auf die Erfüllung individueller Anforderungen haben. Die Ergebnisse daraus sollen eine bessere Entscheidungsfindung bei der Planung und (Weiter-)Entwicklung von Produkten ermöglichen.

1.4 Erwartetes Resultat

Im Sinne der Problemstellung wird im Rahmen dieser Arbeit eine Methode vorgestellt, mit der die Auswahl von *Features* eines Produkts im Hinblick auf die Erfüllung von Kundenanforderungen bewertet und verglichen werden kann. Features sind in diesem Kontext Produktcharakteristika, die von Produkt zu Produkt verschieden ausgeprägt sein können und somit die Variabilität darstellen. Die Auswahl der Features wird auch *Konfiguration* genannt.

Für die Bewertung und einen anschließenden Vergleich solcher Konfigurationen sind im Wesentlichen drei Komponenten notwendig: (i) eine Methode mit der die Variabilität eines Produkts modelliert werden kann; (ii) eine Gegenüberstellung der technischen Anforderungen mit den erhobenen Kundenanforderungen und deren Priorisierung (“must have”, “nice-to-have”) und (iii) ein Berechnungsverfahren, um die jeweiligen Konfigurationen vergleichbar zu machen.

(i) Für die Entwicklung eines Berechnungsverfahrens müssen im Vorfeld die genauen Zielsetzungen der Analyse identifiziert werden. Zu diesem Zweck wird ein Workshop mit einem

produzierenden Großunternehmen abgehalten. Hierbei werden relevante Fragestellungen erarbeitet, deren Beantwortung durch die Berechnungen ermöglicht werden soll.

(ii) Unter *Modellierung von Variabilität* werden gängige Techniken der Variantenmodellierung untersucht. Dabei wird ein Überblick über verschiedene Modellierungsnotationen gegeben. Aufgrund der weiten Verbreitung von FM im Bereich der Variantenmodellierung [6] werden FM und die dazugehörigen Konzepte genauer beleuchtet und anhand eines Fallbeispiels (Mobiltelefon) beschrieben. Dabei wird zusätzlich auf die wichtigsten Algorithmen auf FM eingegangen.

(iii) Für die *Gegenüberstellung der technischen Sicht mit der Kundensicht* wird ein Ansatz basierend auf dem House of Quality [17], einer Methode aus dem Quality Function Deployment, vorgestellt und adaptiert. Hierbei werden in einer Korrelationsmatrix gewichtete Kundenanforderungen (Requirements) mit Artefakten zum Erreichen dieser gegenübergestellt. Die Artefakte entsprechen in diesem Fall Features.

Zusammengesetzt ergibt sich aus den Inhalten der drei Punkte eine Methode, die eine Analyse und direkte Vergleichbarkeit von Konfigurationen unter der Berücksichtigung von Kundenanforderungen und deren Priorisierung ermöglicht. Diese Methode wird anhand einer Fallstudie aus der medizinischen Domäne angewendet und evaluiert. Zusätzlich erfolgt eine Evaluierung in Form von Experten-Interviews und die Einreichung eines Papers bei einem international anerkannten Workshop.

1.5 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen orientiert sich an der von Hevner als *Design Science* beschriebenen Methode [32]. Dabei geht es um die Entwicklung von Artefakten, die über den bisherigen Stand der Technik hinausgehen. Nachfolgend werden die in dieser Methode beschriebenen Guidelines und deren Beachtung im Zuge dieser Arbeit näher ausgeführt.

Design as an Artifact: *Design-science research must produce a viable artifact in the form of a construct, a model, a method, or an instantiation.*

Im Zuge dieser Arbeit wird eine Methode entwickelt, die Teile des House of Quality adaptiert und um Feature Models erweitert. Anhand eines Prototyps werden dabei die notwendigen Einzelschritte veranschaulicht. Diese umfassen u.a. die Modellierung der Variabilität, die Gegenüberstellung mit priorisierten Kundenanforderungen und die Errechnung von sich daraus ableitenden Kennzahlen. Aufbauend auf diesen Kennzahlen wird gezeigt, wie die Ergebnisse verglichen und analysiert werden können.

Problem relevance: *The objective of design-science research is to develop technology-based solutions to important and relevant business problems.*

Die Problemrelevanz ergibt sich aus dem Projekt MetaMoV mit der Firma SparxSystems. MetaMoV ist ein von der österreichischen Forschungs- und Förderungsgesellschaft (FFG) gefördertes Projekt. Die sich durch SparxSystems ergebende Nähe zu Kunden aus unterschiedlichen Industriebereichen hat Problemfelder mit hoher praktischer Relevanz aufgezeigt. Im Zuge der Projektarbeit wurde zusätzlich mit der Firma Zumtobel ein Workshop durchgeführt, in dem praxisrelevante Problemstellungen identifiziert wurden. Von den so identifizierten Problemstellun-

gen wurde die in dieser Arbeit behandelte aufgegriffen.

Design Evaluation: *The utility, quality, and efficacy of a design artifact must be rigorously demonstrated via well-executed evaluation methods.*

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode wird anhand einer Fallstudie [21] überprüft. In dieser Fallstudie werden Personas mit und ohne körperliche Einschränkungen und unterschiedlich priorisierten Anforderungen definiert. Zusätzlich werden verschiedene Mobiltelefone als potentielle Produkte festgelegt. Die Fallstudie soll zeigen, wie die in Abschnitt 1.3 definierten Fragestellungen durch die Anwendung der eingeführten Methode beantwortet werden können. In einem weiteren Evaluierungsschritt wird die Methode bei einem international anerkannten Workshop für Variantenmodellierung vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich werden Interviews zum Ansatz, der Methode und über die Beantwortung der identifizierten Fragestellungen mit Experten geführt.

Research contributions: *Effective design-science research must provide clear and verifiable contributions in the areas of the design artifact, design foundations, and/or design methodologies.*

Mit der vorgestellten Methode lassen sich Produktkonfigurationen aus Kundensicht evaluieren. Das ermöglicht die Beantwortung mehrerer in der Produktentwicklung relevanter Fragen. Dabei wird einerseits die Frage beantwortet, ob und zu welchem Grad das angebotene Produkte den Anforderungen der Kunden entspricht. So kann beispielsweise ein bestehendes Produktportfolio evaluiert werden. Zusätzlich kann herausgefunden werden, welche variablen Features besonders zur Erfüllung der Kundenanforderungen beitragen oder welche sich negativ darauf auswirken. Durch die Identifikation solcher Features können dann Entscheidungen getroffen werden, welche Features des Produktes bei künftigen Entwicklungen den höchsten Verbesserungsbedarf haben.

Research rigor: *Design-science research relies upon the application of rigorous methods in both the construction and evaluation of the design artifact.*

Die vorgestellte Methode baut einerseits auf Teilen des House of Quality [17], einem etablierten Instrument im QFD, auf. QFD ist eine Technik mit dem Ziel, Kundenwünsche bei der Entwicklung von Produkten zu berücksichtigen. Diese Methode wird dem Qualitätsmanagement zugeordnet. Für die Modellierung der Variabilität kommen FM zum Einsatz. FM sind die am weitesten verbreitete Methode zur Modellierung von Variabilität [5] [6].

Design as a search process: *The search for an effective artifact requires utilizing available means to reach desired ends while satisfying laws in the problem environment.*

Durch einen Workshop mit einem produzierenden Großunternehmen wird die beschriebene Problemstellung genauer analysiert. Aus den Ergebnissen werden mögliche Szenarien definiert, die mit Hilfe des Prototyps in der Fallstudie gelöst werden. Durch die Durchführung dieser Fallstudie wird einerseits die Machbarkeit und andererseits die Erfüllung der Aufgabenstellung überprüft.

Communication of research: *Design-science research must be presented effectively both to technology-oriented as well as management-oriented audiences.*

Ergebnisse dieser Arbeit werden beim VaMoS Workshop (9th International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems 2015) eingereicht und präsentiert [22].

1.6 Struktur der Arbeit

- Kapitel 2 gibt einen **Literaturüberblick** über die für diese Arbeit benötigten Konzepte. Dabei wird in Abschnitt 2.1 ein Überblick über Methoden zur *Modellierung von Variabilität* gegeben. Im weiteren Verlauf wird in Abschnitt 2.2 auf Feature Models, die am weitesten verbreitete und für die vorgestellte Methode verwendete Modellierungsform eingegangen. Operationen zur Validierung von Feature Models und deren Konfigurationen werden in Abschnitt 2.3 *Validierungsoperationen auf Feature Models* vorgestellt. Abschnitt 2.4 *Feature Models vs. Decision Models* stellt Feature Models den ebenfalls verbreiteten und zum Teil ähnlichen Decision Models gegenüber. Der Abschnitt 2.5 *Clafer: Eine moderne Sprache zur Variabilitätsmodellierung* stellt eine leichtgewichtige Modellierungssprache mit FM Unterstützung vor. Diese Sprache unterstützt allerdings keine direkte Berücksichtigung von Kundenanforderungen. Deshalb wird in Abschnitt 2.6 mit *Quality Function Deployment* ein Konzept vorgestellt, bei dem Kundenorientierung und somit Anforderungen im Vordergrund stehen. Der wichtigste Teil des Quality Function Deployment Prozesses ist die Korrelationsmatrix des *House of Quality*. Das House of Quality wird in Abschnitt 2.7 genauer beschrieben.
- Das Kapitel 3 **Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix** zeigt Schrittweise die Zusammenführung der Konzepte des Quality Function Deployments und Feature Models. Im ersten Schritt wird in Abschnitt 3.1, die für die Erstellung von Korrelationsmatrizen notwendige *Anforderungserhebung* gezeigt. Die in diesem ersten Schritt erhobenen Anforderungen werden im folgenden Schritt der *Anforderungspriorisierung*, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben priorisiert. Die technische Sicht, der in diesem Kapitel erstellten Korrelationsmatrix, wird in Abschnitt 3.3 *Features Models als technische Sicht* modelliert. Bei der *Befüllung der Korrelationsmatrix* in Abschnitt 3.4 werden die Zusammenhänge zwischen den technischen Merkmalen und den Anforderungen der Korrelationsmatrix berücksichtigt. Nach diesem Schritt ist die Korrelationsmatrix fertig erstellt. Die Instanziierung eines bestimmten Produkts erfolgt durch *die Konfiguration des Produktes* wie in Abschnitt 3.5 beschrieben. Dabei entsteht die in Abschnitt 3.6 vorgestellte *variable Korrelationsmatrix*. Diese wird im folgenden Kapitel 4 anhand der Fallstudie im Detail erklärt.
- Zur Veranschaulichung der in Kapitel 3 vorgestellten Methode wird in Kapitel 4 **Analyse der variablen Korrelationsmatrix anhand einer Fallstudie** eine Fallstudie durchgeführt. Anhand eines durchgängigen Beispiels, anwendbar auf den medizinischen Bereich, wird die variable Korrelationsmatrix im Detail erklärt. Stellvertretend für verschiedene Personengruppen mit und ohne gesundheitliche Beeinträchtigung werden in Abschnitt 4.1 *Personas* definiert. Die individuellen *Anforderungen der Personas* werden in Abschnitt 4.2

erhoben und priorisiert. Am Beispiel von Mobiltelefonen werden Produkte auf die Erfüllung der Anforderungen der Personas hin untersucht. Dafür erfolgt in Abschnitt 4.3 eine *Auswahl der Produktvarianten*. Aufbauend auf den Anforderungen und den ausgewählten Produktvarianten wird in Abschnitt 4.4 die dazugehörige Korrelationsmatrix erstellt. Mit Hilfe dieser Korrelationsmatrix werden 2 Szenarios gezeigt. In Abschnitt 4.5 wird die *Analyse einer gegebenen Produktvariante* gezeigt. Dabei geht es darum herauszufinden, wie gut ein bestimmtes Produkt zu unterschiedlichen Anforderungen passt. Im 2. Szenario in Abschnitt 4.6 erfolgt die *Analyse mehrerer Produktvarianten bei gegebenen Anforderungen*. Dabei wird untersucht, wie gut verschiedene Produkte zu den Anforderungen einer bestimmten Persona passen.

- Die vorgestellte Methode (Kapitel 3) und die Beispiele der Fallstudie (Kapitel 4) werden in einer zusätzlichen **Evaluierung** in Kapitel 5 überprüft. Dafür wird die vorgestellte Methode beim VaMoS Workshop vorgestellt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind in Abschnitt 5.1 *Variability Modeling Workshop (VaMoS)* beschrieben. Zusätzlich zum VaMoS-Workshop werden Interviews mit 5 Experten geführt. Die *Vorgehensweise und Zusammenfassung* der Ergebnisse der Interviews ist in Abschnitt 5.2 beschrieben.
- Abschließend werden in Kapitel 6 die **Ergebnisse** dieser Arbeit zusammengefasst. Zusätzlich wird ein **Ausblick** auf zukünftige Arbeiten gewährt.

Anhänge

- Im Anhang A sind weitere variable Korrelationsmatrizen der Fallstudie abgebildet. Diese wurden aus Gründen der Lesbarkeit aus dem Hauptteil der Arbeit ausgliedert.
- Im Anhang B sind die Fragen und die einzelnen Antworten der in Abschnitt 5.2 zusammengefassten Interviews beigefügt.

Literaturüberblick

Dieses Kapitel bietet einen Literaturüberblick über die Bereiche der Modellierung von Variabilität und des *Quality Function Deployments*. Das Thema der Modellierung von Variabilität wurde in einem Projekt mit der Firma Sparx Systems untersucht. Die für dieses Projekt recherchierten Konzepte der Variantenmodellierung werden in diesem Kapitel beschrieben, sofern sie für den Kontext dieser Arbeit nützlich erscheinen.

Der Abschnitt 2.1 bietet einen allgemeinen Überblick über die Methoden, die zum Modellieren von Variabilität zurzeit verwendet werden. Der Fokus liegt auf der expliziten Modellierung von Variabilität, nicht der Variabilität in Modellen. Dabei geht es um die Abbildung von Variabilität in Modellen. In der Folge wird auf *Feature Modeling (FM)*, die am meisten verwendete Modellierungsmethode, genauer eingegangen. In Abschnitt 2.2 werden Feature Models an sich, aber auch weiterführende Konzepte vorgestellt. Dabei handelt es sich in erster Linie um Konzepte, die die Handhabung großer Feature Models erleichtern. Zusätzlich zu diesen Konzepten wird gezeigt, wie sich sowohl die Modelle selbst, als auch die daraus abgeleiteten Instanzen, validieren lassen.

Da Entscheidungsmodelle (*Decision Models*) – ebenfalls eine Methode zur Abbildung von Variabilität – Ähnlichkeiten zu Feature Models aufweisen, werden die beiden Methoden in Abschnitt 2.4 miteinander verglichen und auch Unterschiede herausgearbeitet. Als Beispiel für die Anwendbarkeit von Feature Models wird in Abschnitt 2.5 die Modellierungssprache *Clafar* vorgestellt. Mittels dieser Sprache wurden Anwendungen zur Generierung von Varianten implementiert. *Clafar Multi Objective Optimization (Clafar MOO)* ist ein Anwendungsbeispiel das zeigt, wie auf diverse Eigenschaften (z.B. Kosten) hin optimierte Varianten generiert werden können. Wie gut die so gefundenen Varianten die Kundenanforderungen erfüllen, kann mit *Clafar* nicht festgestellt werden.

Um Kundenanforderungen in Varianten zu berücksichtigen, wird in Abschnitt 2.6 die Methode des *Quality Function Deployments* vorgestellt und das *House of Quality (HoQ)*, ein Teil von *Quality Function Deployment*, dargestellt. Mit dem *House of Quality* ist es möglich, die Kundensicht bei der Entwicklung von Produkten zu berücksichtigen. Zusammen mit *Feature*

Models bilden Teile des House of Quality die Basis für die in dieser Arbeit beschriebene Methode zur benutzerorientierten Evaluierung von Produktvarianten.

2.1 Modellierung von Variabilität

In der Modellierung von Varianten unterscheidet man zwischen *nicht-formalen Notationen* und *formalen Notationen*, deren Semantik eindeutig definiert ist. Zu den nicht-formalen Notationen können Spreadsheets, freie Textbeschreibungen und flache Key-Value Strukturen gezählt werden. Bei Spreadsheets handelt es sich um eine tabellarische Darstellung von Variabilität. Dabei wird in der Darstellungsform einer einfachen booleschen Variablen in einer Tabelle hinterlegt, ob ein Produkt (Zeile der Tabelle) eine bestimmte Option (Spalte der Tabelle) unterstützt oder nicht. Spreadsheets sind zwar sehr übersichtlich, bringen aber Nachteile beispielsweise bei der Interaktion mit anderen Systemen. Da der Aufbau der Tabelle meist manuell durch den Benutzer erfolgt, lassen sich die hinterlegten Daten nicht ohne Zusatzaufwand in andere Systeme wie beispielsweise ERP Systeme oder Produktkataloge portieren. Noch schwieriger bis kaum automatisiert handhabbar sind solche Schnittstellen bei der Beschreibung von Variabilität als freier Text. Diese Methode bietet zwar die größten Freiheitsgrade für den Benutzer, sie ist aber für die rechnergestützte Verarbeitung schlecht geeignet. Als Sonderform von Spreadsheets können Key-Value-Pairs gesehen werden. Diese Art der Modellierung ist für den Menschen nicht so übersichtlich wie die tabellarische Form, allerdings sind XML Dateien sehr gut mit bestehenden Parsern automatisiert verarbeitbar. Alle nicht-formalen Notationen haben gemeinsam, dass sie sehr große Flexibilität zur Modellierung bieten. Sie können an die Domäne oder das Projekt je nach Belieben angepasst werden. Allerdings bringt diese Flexibilität den Nachteil, dass keine standardisierten Methoden oder Schnittstellen angeboten werden können. Deshalb sind diese Notationen als alleinige Technik für die domänenübergreifende, standardisierte Modellierung nicht geeignet werden aus diesem Grund in dieser Arbeit nicht näher erläutert.

Domain-specific Languages (DSL) sind formale Notationen. Dabei werden für den jeweiligen Einsatzzweck bzw. die zu beschreibende Domäne eigene Sprachen definiert, die die Modellierung von Variabilität unterstützen. Da diese Sprachen meist domänen- oder sogar projektspezifisch sind, können sie nicht direkt miteinander verglichen oder für den allgemeinen Anwendungsfall implementiert werden. Bei formalen Notationen geht es um die Erweiterung bestehender Modellierungssprachen. Die Intention der *Object Management Group (OMG)* ist es eine *Common Variability Language (CVL)*¹ als einheitliche Modellierungssprache für Variabilität zu definieren. Die CVL besteht aus mehreren Konzepten, die die Modellierung und das Mapping auf Artefakte beschreibt. Die Modellierung der Variabilität basiert dabei auf dem Konzept von *Feature Models*. Die CVL befindet sich jedoch seit 2012 unverändert im Review Status. Nach dem gleichen Funktionsprinzip werden *Architecture Description Languages (ADL)* für die Modellierung von Systemarchitekturen verwendet. Auch die UML-basierte Repräsentation zählt zu den formalen Notationen. Die Stärke von UML² liegt in der Modellierung von Strukturen und Verhalten. Zwar ist die Modellierung von Variabilität in UML möglich, allerdings werden solche Modelle schnell unübersichtlich und mit steigender Größe nicht mehr handhabbar. Auf Basis

¹<http://http://www.omgwiki.org/variability/doku.php> (Stand: 16.10.2014)

²<http://www.uml.org> (Stand: 16.10.2014)

von *Aspect-oriented Languages (AOL)* konnten im Zuge der Recherchen für diese Arbeit keine direkten Möglichkeiten zur Modellierung von Variabilität gefunden werden. Es gab allerdings Versuche [6], die AOL um Konzepte der Variabilitätsmodellierung zu erweitern. Da es in dieser Arbeit um die Variabilitätsmodellierung bei Produktlinien und nicht um die Modellierung von Variabilität innerhalb anderer Modellierungssprachen geht, wurde diese Methode nicht weiter untersucht.

Gemäß einer Studie aus dem Jahr 2013 von Berger et al. [6] verwenden 74,3% der befragten Personen *Feature Models (FM)* um die Variabilität von Produktlinien abzubilden. Der Begriff "Feature Modeling" wurde erstmals 1990 im Rahmen von *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA)* von Kang et al. [19] eingeführt. Im Jahr 2000 nahmen Czarnecki und Eisenecker dieses Konzept wieder auf, um es für *Generative Programming* – ein Softwareentwicklungs-Paradigma mit automatischer Code-Generation – zu adaptieren [10]. In dieser Arbeit geht es in erster Linie darum, Gemeinsamkeiten und Variabilität in größeren Softwareprojekten zu modellieren. Besonders geeignet ist diese Methode bei der Modellierung sogenannter *Software Produkt Linien (SPLs)*. Bei SPLs handelt es sich um einen Ansatz, bei dem orthogonal in den einzelnen Entwicklungsphasen die Variabilität der einzelnen Produkte berücksichtigt wird. Gemeinsamkeiten werden als Plattform entwickelt, während an sogenannten *Variationspunkten* die Variabilität erst während der später erfolgenden Konfiguration gebunden wird. Die Variationspunkte sind dabei die Stellen, an denen Variabilität in der Produktlinie auftritt. Der Prozess der Entwicklung solcher SPLs wird auch *Software Product Line Engineering (SPLE)* genannt [28] [20].

Um Konzepte der Domänenanalyse für den Anwendungsfall des SPLEs zu adaptieren, wurde die FODA-Methodik durch Czarnecki und Eisenecker beispielsweise um Kardinalitäten erweitert [13] [12] [30]. Die in ihrer Arbeit erweiterten Konzepte sind seither als *Czarnecki-Eisenecker Notation* oder *Cardinality Based Feature Models* bekannt. Diese Notation ist üblicherweise gemeint wenn von *Feature Modeling* oder von *Cardinality Based Feature Modeling* die Rede ist (siehe Abschnitt 2.2).

Bis Mitte der 2000er Jahre wurde im Bereich der Formalisierung und Logik dieser Cardinality Based FM weitergeforscht. Durch die Anwendung dieser Basiskonzepte in der Praxis wurden neue Problemfelder, wie beispielsweise die steigende Komplexität der Modelle realer Produkte, erkannt. Daraus ergeben sich Herausforderungen in der Wartbarkeit und Pflege von Modellen. Um sich diesen Herausforderungen zu stellen, führt Reiser [29] in seiner Dissertation die Konzepte *Subscoping* und *Configuration Links* ein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Vielzahl an Publikationen und als Proof-of-Concept entwickelte Prototypen das Potential von Feature Modeling im Bereich der modellbasierten Variantenmodellierung aufzeigen. Allerdings wird in der gängigen Literatur nur wenig über die Anwendung von FM in realen Anwendungsfällen berichtet. So konnten während der Recherchen keine Publikationen über die Verbindung von FM mit bestehenden Systemen, wie beispielsweise ERP Systemen, gefunden werden. Lediglich ein konkreter Anwendungsfall in der Produktlinien-Entwicklung mittels Clafer wird beschrieben. Clafer ist eine an der Universität Waterloo sich in Entwicklung befindende Modellierungssprache, die das Abbilden von Variabilität unterstützt. Clafer verbindet dabei Konzepte von FM und Meta-Modellierung gemäß *Meta Object Facility*³ (*MOF*) [3]. Clafer wird in Abschnitt 2.5 näher beschrieben.

³OMG: Meta Object Facility (MOF) Core Specification, Version 2006

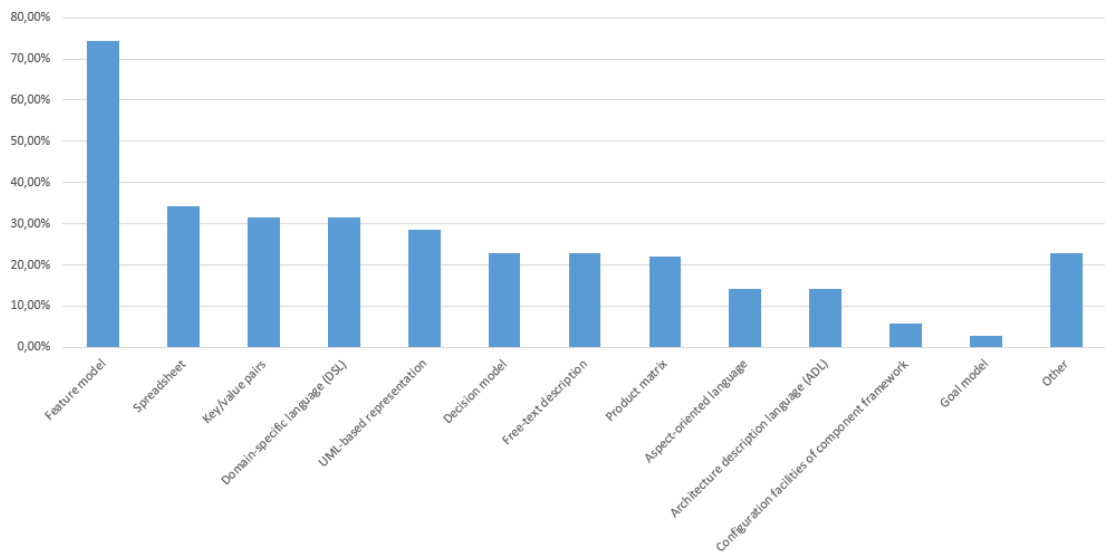


Abbildung 2.1: Notationen für die Modellierung von Variabilität [6]

Da es sich bei FM um eine formale – und mit dem vordergründigen Ziel der Variabilitätsmodellierung konzeptionierte – Modellierungsmethode handelt, erscheint diese für die Zwecke der zu entwickelnden Methode als geeignet (siehe Abschnitt 2.2). Wie Abbildung 2.1 zeigt, ist es zudem die mit Abstand am weitesten verbreitete Modellierungsmethode für Variabilität. Aufgrund dieser Umstände wird im Folgenden in erster Linie auf diese Art der Modellierung vertiefend eingegangen.

2.2 Feature Modeling

Wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, sind FM die gängigste Notation um Varianten abzubilden. Aus diesem Grund werden im Folgenden FM anhand des Fallbeispiels eines Mobiltelefons detailliert beschrieben. Zusätzlich werden die von Reiser [29] im Bereich von FM erweiterten Konzepte wie Composition, Subscoping und Configuration Links in Bezug zu diesem Fallbeispiel gesetzt und beschrieben.

Die Basis jedes FM stellen die Features dar. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass ein Feature eine – für einen Stakeholder bedeutende – Charakteristik eines Produktes darstellt. Ein Feature muss allerdings nicht für jeden Stakeholder gleich “wichtig” sein. Die übliche grafische Repräsentation von FM sind *Feature Diagrams*. Tabelle 2.1 zeigt in der ersten Spalte die Notation von Feature Diagrams. Das Feature mit dem Namen f wird dabei jeweils als Rechteck dargestellt. In der ersten Zeile wird ein *Pflichtfeature* – zu erkennen am gefüllten Kreis – gezeigt. Ein Pflichtfeature muss ausgewählt werden um eine gültige Konfiguration zu erhalten. Das Feature mit dem leeren Kreis in der zweiten Zeile stellt ein *optionales Feature* dar. Dieses kann wahlweise im Produkt enthalten sein oder nicht. Neben diesen zwei Basistypen kann es auch Gruppierungen von mehreren Features geben. Das *gruppierte Feature* wird wie in Zeile drei

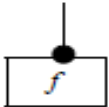
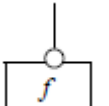
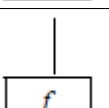


Symbol	Erklärung
	Einzelnes Pflichtfeature mit der Kardinalität [1..1]
	Einzelnes optionales Feature mit der Kardinalität [0..1]
	Gruppiertes Feature
	Xor-Featuregruppe mit der Kardinalität <1..1>
	Or-Featuregruppe mit der Kardinalität <1..N>, wobei N der Anzahl der Sub-features entspricht.

Tabelle 2.1: Czarnecki Eisenecker Notation [14]

ohne Kreis dargestellt und hat verpflichtend Sub-Features. Es gibt zwei Arten von Gruppierungen. Die *Xor-Featuregruppe* bedeutet, dass genau ein Subfeature pro Featuregruppe ausgewählt werden darf. Die Notation dieser Art der Gruppierung ist in Zeile vier abgebildet. Es handelt sich um ein nicht ausgefülltes Kreissegment, das alle Sub-Features verbindet. Die zweite Art von Featuregruppen sind *Or-Featuregruppen*. Hierbei können mehrere Sub-Features pro Gruppe ausgewählt werden. In Tabelle 2.1 ist diese Art der Gruppierung in der letzten Zeile zu sehen. Ihr Symbol ist das ausgefüllte Kreissegment.

Neben der eben beschriebenen grafischen Notation der Feature Diagrams, gibt es die Definition dieser Eigenschaften durch Kardinalitäten. Diese Art der Modellierung wurde durch Czarnecki et al. beschrieben [13] und ist mächtiger als die grafische Notation. Dabei wird ebenfalls zwischen Feature-Kardinalitäten und Gruppen-Kardinalitäten unterschieden. *Feature-Kardinalitäten* werden als Intervalle in der Form [n..m] angegeben, wobei n die untere Grenze und m die obere Grenze für die Anzahl der Instanzen eines Features darstellt. Semantisch ist also die Kardinalität [1..1] gleichzusetzen mit einem Pflichtfeature im Feature Diagram. Ein optionales Feature wird als Kardinalität [0..1] ausgedrückt. Bei den *Gruppen-Kardinalitäten* wird das Intervall in der Form <n..m> angegeben. Hierbei ist n die Mindestanzahl an selektierten Kindern und m die Höchstanzahl. Entsprechend der Notation in Tabelle 2.1 entspricht <1..1> einer Xor-Gruppe (“alternative”) und <1..N> einer Or-Gruppe, wobei N die Anzahl der maximalen Kind-Features angibt.

Wenn von FM die Rede ist, sind oft Feature Diagrams gemeint. Genau genommen handelt es sich bei Feature Diagrams aber um eine grafische konkrete Syntax für FM. Diese wird bei Bedarf um Kardinalitäten erweitert, was auch als Czarnecki-Eisenecker Notation bekannt ist.

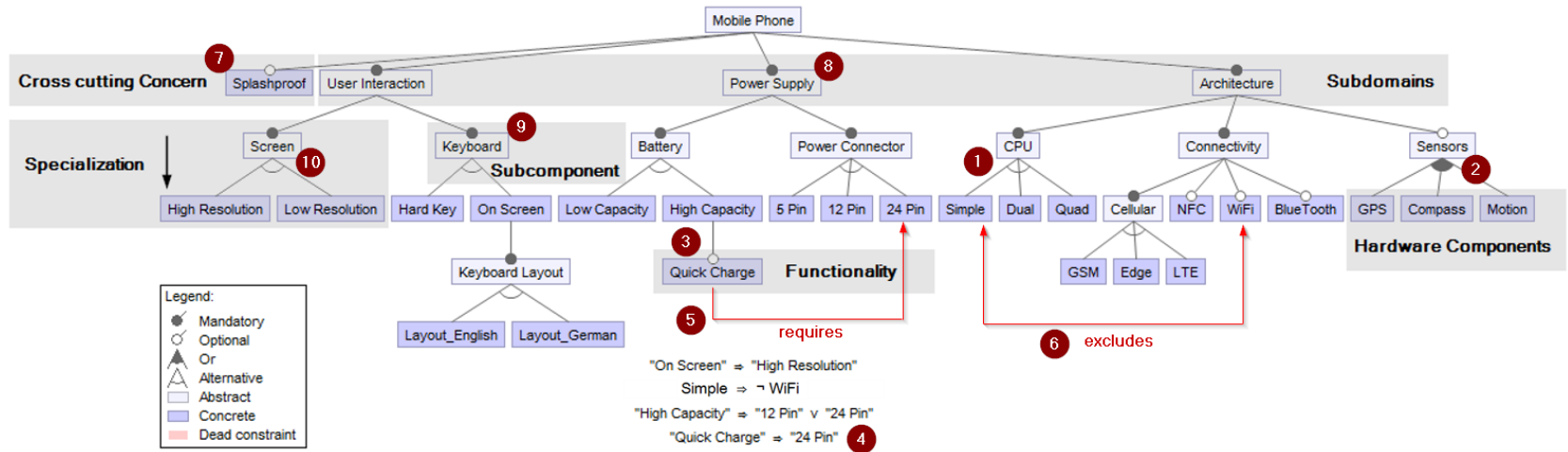


Abbildung 2.2: Beispiel für ein Feature Model eines Mobiltelefons

Bei FM handelt es sich um eine Baumstruktur, deren Kernbestandteil Features sind. Abbildung 2.2 zeigt ein Beispiel eines solchen FM eines Mobiltelefons modelliert mit *featureIDE* [31]. FeatureIDE ist ein frei verfügbares, an der Uni Magdeburg entwickeltes, Eclipse Plugin. Unter Punkt (1) der Abbildung 2.2 wird mit dem Feature CPU ein Beispiel für ein Pflichtfeature gezeigt. Das ist am gefüllten Kreis beim Feature zu erkennen. Da CPU auch mehrere Sub-Features hat, handelt es sich zusätzlich um eine Featuregruppe. Am nicht gefüllten Kreissegment ist zu erkennen, dass es sich um eine Xor-Featuregruppe handelt. Das bedeutet, dass genau eines der drei Subfeatures Simple, Dual und Quad in einer gültigen Konfiguration vorhanden sein darf. Diese drei Features sind *konkrete Features*. Das heißt, sie können bei einer Konfiguration explizit selektiert werden. Das gruppierende Feature CPU ist hingegen ein *abstraktes Feature*. Das ist im konkreten Fall an der hellblauen Darstellung zu erkennen. Ein abstraktes Feature kann, im Gegensatz zu einer konkreten Feature nicht explizit ausgewählt werden. Durch die Auswahl eines konkreten Subfeatures kann es aber zur impliziten Selektion kommen.

Die Feature-Gruppe Sensors ist ein Beispiel für eine Or-Gruppe. Hierbei kann eine beliebige Anzahl an Subfeatures ausgewählt werden. Im Beispiel der Feature-Gruppe Sensors ist auch die Selektion keines Sub-Features gültig. Das setzt allerdings voraus, dass die Gruppierung selbst optional ist. Punkt (3) zeigt mit dem Feature Quick Charge ein Beispiel für ein optionales und somit mit einem leeren Kreis gekennzeichnetes Feature. Dieses kann entweder in der Konfiguration enthalten sein oder nicht.

Zusätzlich zu den gezeigten Beziehungen zwischen Eltern- und Kind-Features gibt es sogenannte *Cross-Tree Constraints*. Die wichtigsten sind hierbei *Requires*-, *Excludes*- und *Threshold-Beziehungen*. Eine Requires-Beziehung zwischen einem Feature A und einem Feature B bedeutet, dass bei der Auswahl von Feature A das Feature B ebenfalls gewählt werden muss. Eine solche Beziehung wurde unter Punkt (5) der Abbildung zwischen Quick Charge und 24 Pin beispielhaft eingezeichnet. Wie hier zu sehen ist, ist diese Beziehung unidirektional. Im Gegensatz dazu ist die Excludes-Beziehung zwischen zwei Features A und B bidirektional. Das bedeutet, dass wenn Feature A das Feature B exkludiert, dies ebenfalls in die entgegengesetzte Richtung gilt. Ein Beispiel dazu wurde unter Punkt (6) skizziert. Thresholds bieten die Möglichkeit, bei der Wahl eines Features A eine definierte Anzahl von Instanzen des Features B zu gewährleisten. Diese Einschränkung ist vergleichbar mit Kardinalitäten. Im Fallbeispiel wurden grundsätzlich keine Kardinalitäten verwendet, weshalb eine Threshold-Beziehung hier wenig Sinn macht.

Je nach verwendetem Tool werden unterhalb der Baumstruktur Constraints durch Aussagenlogik dargestellt. In der Abbildung sind diese Constraints bei Punkt (4) zu sehen. Hierfür werden die Junktoren **Negation** (\neg), **Implikation** (\rightarrow), **Bikonditional** (\leftrightarrow), **Konjunktion** (\wedge) und **Disjunktion** (\vee) verwendet. Die bei Punkt (5) der Abbildung 2.2 eingezeichnete Requires-Beziehung entspricht dem bei Punkt (4) dargestellten Constraint $\text{Quick Charge} \rightarrow 24 \text{ Pin}$. Die Darstellung als Beziehung im Modell ist allerdings nur bei einfachen Constraints möglich. Das Constraint $\text{High Capacity} \rightarrow 12 \text{ Pin} \vee 24 \text{ Pin}$ kann so beispielsweise nicht dargestellt werden, weshalb featureIDE nur aussagenlogische Constraints ermöglicht.

Reiser unterscheidet in seiner Dissertation zwischen verschiedenen Arten von Features [29]. Dabei geht es im Unterschied zu Tabelle 2.1 – hier wird definiert welche Kardinalität ein Feature oder eine Feature-Gruppe hat – um die Frage was genau als Feature modelliert werden kann.

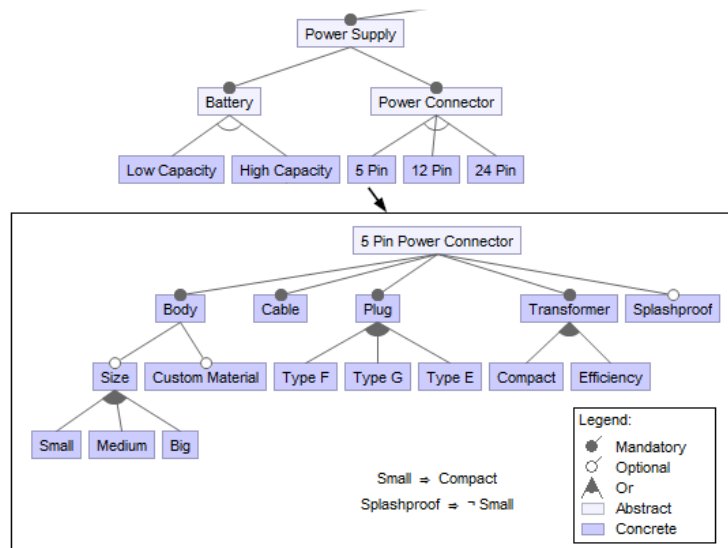


Abbildung 2.3: Feature Model Composition

Tabelle 2.2 zeigt Beispiele für die verschiedenen Arten von Features. Für jeden Typ wird in der zweiten Spalte ein Beispiel in Abbildung 2.2 gezeigt. Zusätzlich wird beschrieben warum es sich um diesen Typ Feature handelt. Beim Feature-Typ “Subdomäne” wird eine mögliche Ausgliederung solcher Features in eigene FM erwähnt. Konzepte dazu werden im folgenden Abschnitt Composition beschrieben.

Wie anhand des Modells in Abbildung 2.2 erkennbar ist, wird die Darstellung als Feature Baum sehr schnell unübersichtlich und komplex. Um diesem Umstand entgegen zu wirken sind entsprechende Erweiterungen der Basis-FM notwendig. Aus diesem Grund werden folgend das Konzept *Composition* und die von Reiser [29] beschriebenen Konzepte *Subscoping* und *Configuration Links* vorgestellt.

Composition

Die Komplexität von FM kann je nach Detaillierungsgrad der Modellierung sehr variieren. Ein sich daraus ergebendes Problem ist beispielsweise die mangelnde Übersichtlichkeit. Je nach Sicht und Modellierungsgranularität kann ein einzelnes Feature aus einem Modell wiederum ein eigenes Modell auf einer feingranulareren Ebene darstellen. Zum Beispiel wird, wie in Abbildung 2.3 gezeigt, die Anzahl der Pins des Ladegeräts als Feature modelliert. Das jeweilige Ladegerät selbst kann wiederum feingranularer als eigenständiges FM definiert werden. So kann es beispielsweise ein FM geben, das den 5-Pin Power Connector beschreibt. Abbildung 2.3 stellt einen solchen Fall dar, bei dem das Feature 5-Pin Power Connector ein Link auf den Wurzelknoten des 5-Pin Power Connector FM ist.

Feature Typ	Beispiel in Abb. 2.2	Beschreibung
<i>Cross-cutting concern</i>	Splashproof (7)	Das Feature Spritzwasserschutz ist ein Beispiel für ein Cross-cutting Concern. Das heißt, die Wahl dieses Features beeinflusst andere Komponenten oder Features des Mobiltelefons.
Technische Funktion	Quick Charge (3)	Quick Charge kann als ein technisches Feature gesehen werden. Dieses wird vom Endprodukt Mobiltelefon entweder zur Verfügung gestellt oder nicht.
Gruppe von Features	Sensors (2)	Das Feature Sensors kann als Gruppierung von Sub-Features gesehen werden. In Abbildung 2.2 sind das GPS, Compass und Motion.
Subdomäne	Power Supply (8)	Bei FM von komplexeren Produkten kann es vorkommen, dass mehrere Subdomänen im Modell vorhanden sind. Ein Beispiel ist die Stromversorgung des Mobiltelefons. Solche Subdomänen bieten sich zum Ausgliedern in eigene FM an.
Subkomponente	Keyboard (9)	Feingranularer als Subdomänen kann es Subkomponenten geben. Keyboard kann als eigene Komponente eines Mobiltelefons gesehen werden.
Hardware Komponente	GPS (2)	Ein Beispiel für eine Hardware Komponente ist das Feature GPS. Durch die Auswahl wird entschieden, ob im Endprodukt ein GPS Sensor verbaut wird oder nicht.
Spezialisierung	Screen (10)	Ein Beispiel für eine Spezialisierungs-Gruppe ist das Feature Screen. Hier findet eine verfeinerte Unterteilung in High Resolution und Low Resolution statt.

Tabelle 2.2: Arten von Features

Subscoping

In realen Anwendungsbereichen werden Produktlinien oft in mehrere Unterlinien aufgeteilt. Diese Aufteilung wird notwendig, weil die Abbildung aller mit Variabilität verbundenen Faktoren in nur einem Modell nicht handhabbar wäre. Die Aufteilung in Unterlinien wird *Subscoping* genannt. Dabei kann eine Produktlinie beispielsweise einerseits in Kundengruppen wie Privatkunden und Geschäftskunden, andererseits aber auch in Absatzmärkte unterteilt werden. Jede Unterteilung findet dabei auf einer separaten Ebene statt. Diese Unterteilungen führen grundsätzlich zu einer Erhöhung der Anzahl nötiger FM. Um den dadurch entstehenden Organisations- und Modellierungsaufwand zu reduzieren, wird mit *Referenzmodellen* gearbeitet.

Durch Referenzmodellierung wird verhindert, dass auf der untersten Ebene ein eigenständiges FM für jede Kombination der Produktlinien-Unterteilungen nötig wird. Dadurch wird sowohl die Erstellung als auch die Pflege der FM vereinfacht. Die referenzierenden FM verweisen auf das Referenzmodell und modellieren lediglich die Unterschiede.

Aufgrund von Faktoren wie beispielsweise Gesetzen, lokalen Gegebenheiten oder Kaufverhalten der Kunden können sich Produkte auf verschiedenen Märkten unterscheiden. Ein solches Beispiel ist in Abbildung 2.4 dargestellt, wo anhand von Subscoping der Stromversorgungsteil des Mobiltelefons aus dem Fallbeispiel in zwei verschiedene Märkte aufgeteilt wird. Das Referenzmodell (1) entspricht einem Teil des FM aus dem Fallbeispiel. Die Variabilität für die Märkte Europa (2) und USA (3) ist in separaten FM modelliert. Anstatt für beide Märkte vollständige FM zu erstellen, wird das Referenzmodell referenziert. Die Features dieser Modelle sind ebenfalls Referenzen auf die Features im Referenzmodell. Die Modelle der Märkte beinhalten also lediglich Referenzen auf das Referenzmodell und dessen Features und die Änderungen im Bezug auf das Referenzmodell. Im FM für Europa ist das beispielsweise das Hinzukommen des Features 220V Adapter und das Fehlen des 5 Pin Steckers. Zusätzlich ist ein Cross-Tree Constraint für Europa nicht gültig (5). Analog zu den Anpassungen für das europäische Modell können im Modell für den US-Markt Änderungen erfolgen. Hier wird beispielsweise kein Quick Charge Feature (6) und kein 24 Pin Adapter (7) angeboten.

Ein Nachteil dieser Art der Referenzmodellierung ist die fehlende Möglichkeit den Grund einer Modifikation zu erkennen. Im US-Markt fehlt beispielsweise die Quick Charge Fähigkeit (6). Ob das Fehlen dieses Features aufgrund des nicht verfügbaren 24 Pin Adapters der Fall ist oder ob diese Funktion aufgrund anderer Umstände nicht angeboten wird, kann aus dem Modell nicht nachvollzogen werden. Kommt beispielsweise zu einem späteren Zeitpunkt die Forderung nach einem Quick Charge Feature für den amerikanischen Markt, kann nicht nachvollzogen werden ob dieses Feature ehemals technisch nicht möglich war oder eventuell aus marketing-strategischen Überlegungen nicht angeboten wird.

Configuration Links

Configuration Links bieten die Möglichkeit Konfigurationsentscheidungen (semi-) automatisiert treffen zu können. Ein Configuration Link ist eine Menge von Konfigurationsentscheidungen. Diese Entscheidungen werden aufgrund eines bereits vorkonfigurierten konfigurierenden FM auf ein Ziel FM angewendet. Ein Beispiel für einen Configuration Link zeigt der markierte Bereich in Abbildung 2.5. Der Configuration Link 1 (CL1) ist dabei im Detail dar-

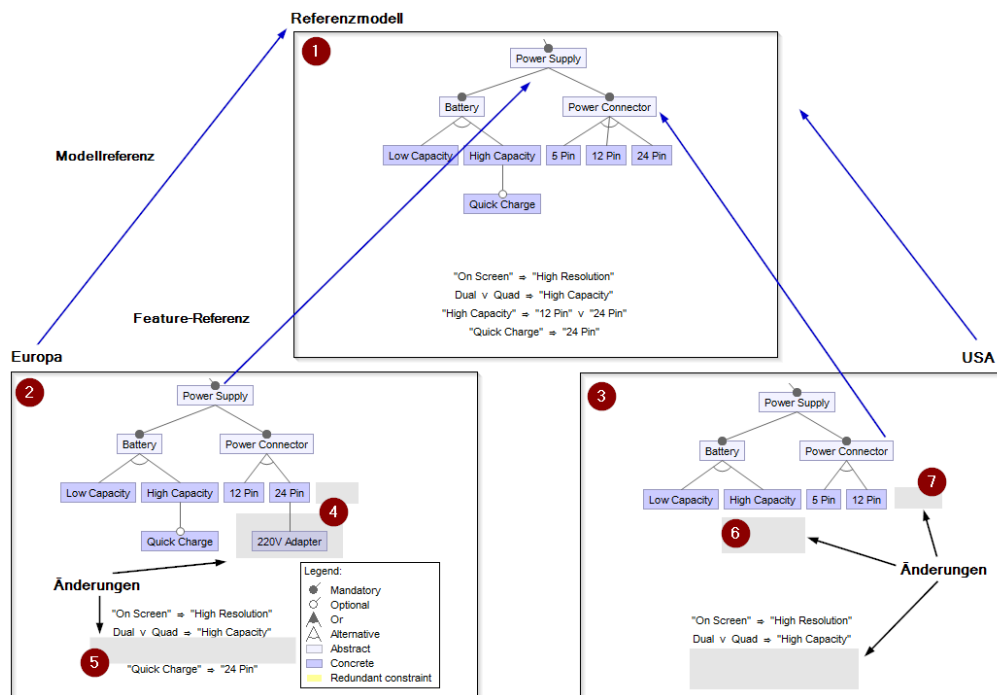


Abbildung 2.4: Beispiel für Referenzmodellierung im Hinblick auf verschiedene Märkte (adaptiert von [29])

gestellt. Dieser erwartet eine (Teil-) Konfiguration eines Land FM als Input und konfiguriert anhand der in der Tabelle dargestellten Konfigurationsentscheidungen die selektierten Features im Ziel FM Technologie. Die Spalte Criterion in der Tabelle beinhaltet die Bedingungen für die Selektion der in der Spalte Features dargestellten Features des Ziel-Models. In diesem Beispiel werden bei der Auswahl des amerikanischen Marktes automatisch die Features UMTS, GPRS und HSPA selektiert, nicht jedoch das Feature LTE. Diese, im Configuration Link definierten Konfigurationsentscheidungen, basieren auf Expertenwissen.

Grundsätzlich können mehrere Configuration Links miteinander verknüpft werden. Dabei ist die Konfiguration des Ziel FM eines Configuration Links das konfigurierende FM eines anderen Configuration Links. Dadurch entsteht ein *Configuration Graph*, wie in Abbildung 2.5 anhand des Fallbeispiels Mobiltelefon gezeigt. Durch die Verknüpfung der Configuration Links zu einem Graphen kann ein Teil der Selektionen und Deselektionen automatisiert anhand der in den Links definierten Regeln erfolgen. Durch zusätzliche Kommentare zu diesen Regeln lassen sich die getroffenen Entscheidungen besser nachvollziehen, d.h. die vom Modellierer getroffenen Entscheidungen werden textuell hinterlegt. Es kann so beispielsweise nachvollzogen werden, dass ein Feature, beispielsweise LTE, im Endprodukt aufgrund des Marktes und nicht wegen einer technischen Einschränkung nicht verfügbar ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die beschriebenen Konzepte zur Komplexitätsreduzierung in Kombination sehr mächtig sind. Mit diesen Konzepten lassen sich große

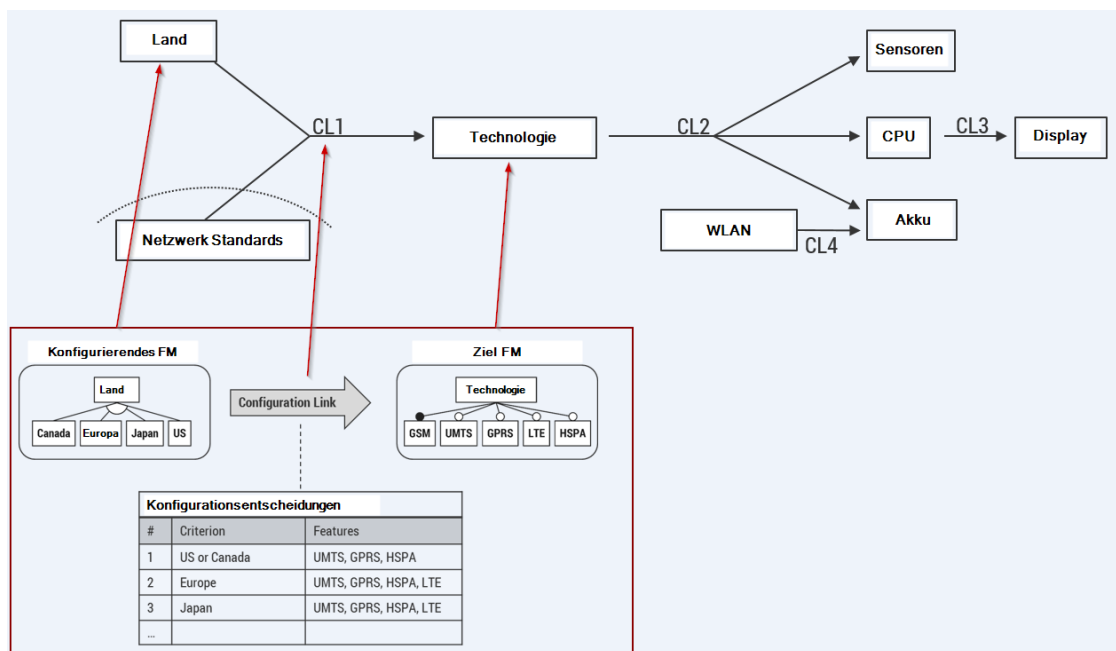


Abbildung 2.5: Verknüpfung von Configuration Links zu einem Configuration Graph (adaptiert von [29])

FM in mehrere kleinere FM aufteilen, was einer Art Sicht auf Teilmodelle entspricht. Methoden wie Configuration Links sind dabei ein wichtiger Beitrag in Richtung schrittweiser Konfiguration. Sie ermöglichen einzelne sequentielle, falls gewünscht auch automatisierte, Teilkonfigurationsschritte bis hin zur vollständigen Konfiguration. Das schafft die Grundlage für einen transparenten, mehrstufigen Konfigurationsprozess und ermöglicht die Beteiligung verschiedener Akteure. Beispiele für solche Akteure in einem Unternehmen sind Einkauf, Konstrukteure, Marketing oder Verkauf. Jeder dieser Akteure hat seine eigene Sicht auf das zu konfigurierende Produkt und trifft Konfigurationsentscheidungen aufgrund seines Expertenwissens. Daher ist es wichtig, getroffene Entscheidungen nachvollziehbar zu machen.

2.3 Validierungsoperationen auf Feature Models

Dieser Abschnitt widmet sich Validierungsmethoden, die auf in Abschnitt 2.2 vorgestellte FM angewendet werden können. Dabei wird die automatisierte Überprüfung von FM auf Gültigkeit detailliert beschrieben. Im Anschluss wird die Anpassung dieser Methode für die Validierung von Konfigurationen näher gezeigt.

Zur besseren Verständlichkeit der nachfolgenden Operationen definieren wir in Definition 2.3.1– in Anlehnung an Benavides et al. in [5] – den Begriff *Konfiguration*.

Definition 2.3.1. Sei ein Feature Model eine Menge von Features F , so ist eine Konfiguration ein Tupel der Form (S, D) für das gilt $S, D \subseteq F$, wobei S der Menge der selektierten und D der Menge der deselektierten Features entspricht, sodass $S \cap D = \emptyset$ gilt.

Für eine *vollständige Konfiguration* gilt $S \cup D = F$. Ein *Produkt* entspricht einer vollständigen Konfiguration. Hierfür muss für jedes Feature festgelegt sein, ob dieses selektiert oder deselektiert ist. Eine *Teilkonfiguration* oder *partielle Konfiguration* liegt vor, wenn $S \cup D \subset F$ gilt. Es gibt also mindestens ein Feature, das weder selektiert noch deselektiert ist.

Validierung des Modells auf Gültigkeit

Bei der Validierung eines FM auf dessen Gültigkeit geht es um die Überprüfung, ob aus einem FM gültige Instanzen konfiguriert werden können. Ist das nicht der Fall, ist von einem *void Feature Model* die Rede.

Die in Tabelle 2.1 dargestellten Basiselemente von FM können anhand weniger Regeln in Ausdrücke der Aussagenlogik umgewandelt werden [4]. Die aussagenlogische Formel für ein FM setzt sich aus folgenden Konjunktionen zusammen: (i) Implikationen aller Kinderknoten zu deren Eltern, (ii) Implikationen von den Eltern zu deren Pflichtfeatures, (iii) Implikationen von Eltern zu Gruppen und (iv) zusätzlichen Constraints in Aussagenlogik [14]. Abbildung 2.6 zeigt ein – aus Gründen der Übersichtlichkeit – vereinfachtes FM des Ladegeräts aus dem Fallbeispiel (Kapitel 2.2). Die Mappings der Elemente des FM auf deren aussagenlogische Terme sind in Tabelle 2.3 zusammengefasst. Unter (i) impliziert das Kind-Feature `Splashproof` das Eltern-Feature `Power Connector` (`Splashproof` \rightarrow `Power Connector`). Unter (ii) impliziert das `Power Connector` Feature das mit dem gefüllten Kreis gekennzeichnete Pflichtfeature `Cable` (`Power Connector` \rightarrow `Cable`). (iii) zeigt ein Beispiel für eine Or-Gruppe. Hierbei impliziert das Feature `Plug` mindestens eines der Kind-Features `Type F`, `Type G` oder `Type E` (`Plug` \rightarrow `Type F` \vee `Type G` \vee `Type E`). Der logische Ausdruck bei der Xor-Gruppe (iiib) bedeutet, dass genau ein Feature der Gruppierung gewählt sein darf: `Transformer` \rightarrow (`Compact` \wedge \neg `Efficiency`) \vee (`Efficiency` \wedge \neg `Compact`). Der logische Ausdruck unter (iv) definiert ein Cross Tree Constraint, das bei der Auswahl von `Splashproof` das Feature `Compact` verbietet (`Splashproof` \rightarrow \neg `Compact`).

Das gesamte FM entspricht dabei der in (2.1) dargestellten Formel. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Features jeweils durch die in Abbildung 2.6 unterstrichenen Buchstaben abgekürzt.

Die zusammengesetzte aussagenlogische Formel kann durch *Satisfiability Solver (SAT Solver)* auf ihre Erfüllbarkeit überprüft werden. Da es bereits fertig implementierte SAT Solver wie z.B. Alloy⁴ [18] gibt, wird hier nicht im Detail auf die Funktionsweise von SAT Solvern eingegangen. Zur Überprüfung eines FM auf dessen Gültigkeit wird die aussagenlogische Formel mit der Prämisse, dass das Root-Feature `true` sein muss, an den SAT Solver übergeben. Findet dieser zumindest eine vollständige Konfiguration, für die die aussagenlogische Formel erfüllbar ist, kann das FM nicht *void* sein und ist somit gültig. Eine vollständige Konfiguration ist gleichzusetzen mit der Belegung aller Variablen der Aussagenformel mit einem booleschen Wert.

⁴<http://alloy.mit.edu/alloy> (Stand: 28.10.2014)

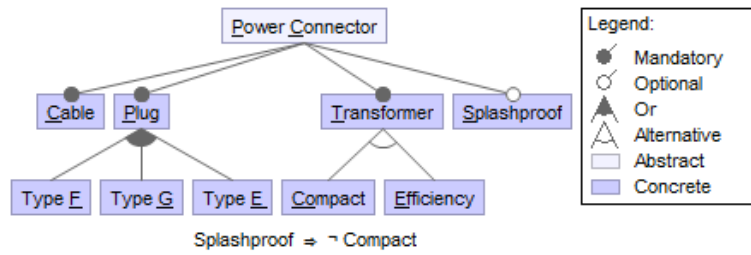


Abbildung 2.6: Feature Model eines Ladegeräts

	Symbol	Logischer Ausdruck
(i)		$\text{Splashproof} \rightarrow \text{Power Connector}$
(ii)		$\text{Power Connector} \rightarrow \text{Cable}$
(iii a)		$\text{Plug} \rightarrow \text{Type F} \vee \text{Type G} \vee \text{Type E}$
(iii b)		$\text{Transformer} \rightarrow (\text{Compact} \wedge \neg \text{Efficiency}) \vee (\text{Efficiency} \wedge \neg \text{Compact})$
(iv)	Cross Tree Constraint	$\text{Splashproof} \rightarrow \neg \text{Compact}$

Tabelle 2.3: FM Elemente als logische Ausdrücke

Void FM können grundsätzlich nur auftreten wenn Cross Tree Constraints vorhanden sind. Im Beispiel in Abbildung 2.6 wäre das beispielsweise der Fall, wenn das Pflichtfeature *Cable* die Pflichtgruppe *Transformer* ausschließt ($C \rightarrow \neg T$) oder wenn eine Requires-Beziehung zwischen Features einer alternierenden Gruppe besteht (z.B. $C_o \rightarrow E$).

$$\begin{aligned}
q = & \\
& (i) (C \rightarrow PC) \wedge \\
& \quad (P \rightarrow PC) \wedge (F \rightarrow P) \wedge (G \rightarrow P) \wedge (E \rightarrow P) \wedge \\
& \quad (T \rightarrow PC) \wedge (Co \rightarrow T) \wedge (E \rightarrow T) \wedge \\
& \quad (S \rightarrow PC) \wedge \\
& (ii) (PC \rightarrow C) \wedge (PC \rightarrow P) \wedge (PC \rightarrow T) \wedge \\
& (iiia) (P \rightarrow (F \vee G \vee E)) \wedge \\
& (iiib) (T \rightarrow ((Co \wedge \neg E) \vee (E \wedge \neg Co))) \wedge \\
& (iv) (S \rightarrow \neg Co)
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Validierungsoperationen auf Konfigurationen

Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Methode zur Überprüfung von FM, lassen sich auch deren Konfigurationen überprüfen. Gemäß der Definition entspricht ein Produkt einer vollständigen Konfiguration. Zur Überprüfung eines Produktes auf dessen Gültigkeit findet ein vollständiges Mapping jedes Features auf eine boolsche Variable statt. Diese boolsche Variable wird in die aussagenlogische Formel eingesetzt. Ist diese Formel erfüllbar, so handelt es sich um ein gültiges Produkt.

Ähnlich ist die Validierung von partiellen Konfigurationen. Der einzige Unterschied zur vollständigen Konfiguration besteht darin, dass kein vollständiges Mapping aller Features durchgeführt wird, da es eine Menge von Features gibt, die weder selektiert noch deselektiert sind. Werden die selektierten Features S und deselektierten Features D in die logische Formel eingesetzt, kann wiederum mittels SAT Solver geprüft werden, ob die Formel in dieser Form noch erfüllbar ist. Ist dies der Fall, ist die Teilkonfiguration gültig.

Ein Sonderfall ist die Suche nach allen gültigen Produktkonfigurationen. Hierbei ist kein Feature selektiert oder deselektiert ($S \cup D = \emptyset$) und somit keine der Variablen belegt. Der SAT Solver liefert dadurch die Kombination aller Features, für die die Formel gültig ist. Diese Methode wird beispielsweise zum Finden neuer Produktkonfigurationen angewendet, auch *Product Derivation* genannt. Einen Überblick über weiterführende Operationen und Metriken auf FM und Konfigurationen bieten Benavides et al. [5].

Sowohl die gezeigte Überprüfung des Modells als auch die beschriebene Überprüfung der (Teil-) Konfigurationen ist durch die Umwandlung des FM in aussagenlogische Formeln relativ einfach. Die Umwandlung kann anhand weniger Regeln erfolgen. Das durch den SAT Solver zu lösende Erfüllbarkeitsproblem fällt allerdings in die Klasse der NP-vollständigen Probleme. Es ist also nur in exponentieller Laufzeit in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Variablen (Features) lösbar. Jedoch zeigen Mendonca et al. [23], das SAT Solver für FM mit bis zu 10.000 zufällig generierten Features gut skalieren. In der Realität ist der Großteil der FM um ein Vielfaches kleiner. Zudem sind reale FM meist “over-constrained”, d.h. es gibt keine gültigen Produkte oder aber “under-constrained”, wodurch sehr viele Produkte erlaubt werden. Beide dieser Fälle sind für SAT Solver einfacher zu lösen als zufällig generierte Modelle [23].

2.4 Feature Models vs. Decision Models

Neben FM sind, wie die Studie von Berger et al. (Abbildung 2.1) zeigt, noch andere Modellierungsmethoden für die Abbildung von Variabilität im Einsatz. Czarnecki et al. zeigen in ihrer Arbeit [11], dass große Ähnlichkeiten zwischen FM und *Decision Models (DM)* bestehen. Laut der Studie von Berger verwenden 22,9% der Befragten DM zur Variantenmodellierung im praxisbezogenen Umfeld [6]. Aus diesem Grund wird hier ein kurzer Überblick über die wichtigsten Unterschiede und Gemeinsamkeiten von FM und DM gegeben.

FM wurden in Kapitel 2.2 bereits genauer erläutert. DM basieren im Gegensatz zu FM auf einer anderen historischen Entwicklung. Beide Konzepte wurden ganz unabhängig voneinander eingeführt. Dabei gehen FM auf den FODA-Ansatz – mit dem Ziel Domänen abzubilden – zurück [19]. Das ursprüngliche Ziel von DM hingegen war die Ableitung neuer Produkte.

Ein direkter Vergleich der beiden Ansätze ist am Beispiel in Abbildung 2.7 dargestellt. Im oberen Bereich ist das FM dargestellt (a), unten das dazu äquivalente DM (b). Während beim FM die Features die Basiselemente darstellen, sind es beim DM Entscheidungen (jede Entscheidung entspricht einer Zeile in der Grafik).

Die im FM dargestellte Feature-Gruppe `audio formats` (1) ist im DM als *Decision* modelliert (2). Die Information, dass es sich um eine Oder-Gruppe handelt ist im FM durch den gefüllten Kreissektor erkennbar. Im DM wird das durch die Kardinalität 1:2 erreicht. Analog dazu wird die alternierende Feature-Gruppe `resolution` (3) im DM als Entscheidung zwischen 2.1MP, 3.1MP und 5MP mit der Kardinalität 1:1 dargestellt (4). Diese Entscheidung wird allerdings nur angezeigt, wenn das Feature `camera` überhaupt ausgewählt wird. Im FM wird das durch das optionale Feature `camera` modelliert (5), ohne das die Kind-Features ebenfalls nicht enthalten sein können. Im FM ist das Cross-tree Constraint `mp3 recording` → `mp3` als unidirektionale Requires-Beziehung dargestellt (6). Dieses Constraint ist im DM unter (7) definiert. Das Pflicht-Feature `playback` (8) zeigt einen der größten Unterschiede zwischen FM und DM. Während mit Hilfe von FM Variabilitäten und Gemeinsamkeiten modelliert werden können, berücksichtigen DM ausschließlich Variabilitäten. Gemeinsamkeiten – das Feature `playback` muss in allen Konfigurationen enthalten sein – bleiben unberücksichtigt. In DM wird durch die Aneinanderreihung von Decisions in jedem Schritt eine Unterscheidung gemacht. Für Gemeinsamkeiten, die in einem FM einfach als Feature modelliert werden können, ist jedoch kein derartiger Entscheidungsschritt nötig. Allerdings kann es auch bei FM vorkommen, dass eine Gemeinsamkeit nicht sofort ersichtlich ist. Gibt es beispielsweise alternative Features die bei allen Produkten einer Produktlinie gleich sind, so ist diese Gemeinsamkeit im einzelnen FM nicht direkt ersichtlich. Dafür müsste sie explizit modelliert sein. Pohl et al. präsentieren dazu in [28] ein Beispiel zum Problem der Mehrdeutigkeit in FM. Diesem Problem kann jedoch durch die Verwendung des – durch Czarnecki et al. [13] eingeführten – Konzepts der Kardinalität entgegengewirkt werden.

Eine der Stärken von DM ist die Konzentration auf Entscheidungs-Workflows und die Filterung von Entscheidungen. Damit kann festgelegt werden, in welcher Reihenfolge und zu welchem Zeitpunkt Entscheidungen getroffen werden und welche Auswirkungen sie auf den Ableitungsprozess haben. Diese Art der Steuerung und Prozessorientierung ist mit FM nicht möglich.

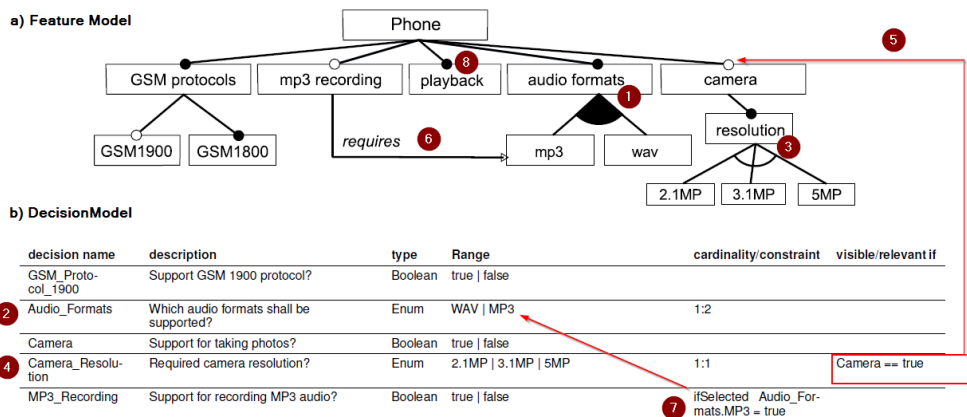


Abbildung 2.7: Feature Models vs. Decision Models [11]

Durch die ständige Erweiterung der Basiskonzepte sind FM und DM bei der Variantenmodellierung zuletzt immer ähnlicher geworden [11]. Die Grundkonzepte und Vorteile beider Ansätze wurden in einem Vorschlag der OMG – einen einheitlichen Standard für die Modellierung von Variabilität zu schaffen – berücksichtigt. Zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit liegt die Common Variability Language⁵ (CVL) als “Revised Submission” vor.

2.5 Clafer: Eine moderne Sprache zur Variabilitätsmodellierung

Clafer⁶ – der Name setzt sich aus Class, Feature und Reference zusammen – ist eine sich an der Universität Waterloo in Entwicklung befindliche Meta-Modellierungssprache mit FM Unterstützung. Mit Clafer können einerseits Strukturen modelliert werden, wie es bei Klassendiagrammen der Fall ist. Zusätzlich wird aber auch Unterstützung für FM angeboten. Bei der Entwicklung der Sprache wurde versucht, nicht zwischen Klassen und Features zu unterscheiden. Der auf Clafer aufbauende Prototyp *Clafer MOO* [24] [25] zeigt, wie in Clafer modellierte variable Produkte optimiert werden können. Diese Anwendung scheint für die Lösung der in dieser Arbeit adressierten Problemstellung interessant, weshalb im Folgenden näher auf Clafer eingegangen wird.

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, wurden FM eingeführt um Variabilitäten und Gemeinsamkeiten mit Hilfe von benutzerrelevanten Features zu modellieren. Weitere Bedeutungen und komplexere Zusammenhänge der einzelnen Features werden bei der Modellierung mittels FM nicht berücksichtigt. Meta-Modellierungssprachen (z.B. UML) bieten hingegen Konzepte die diese Zusammenhänge durch Instanziierung und Referenzierung abbilden. In Clafer werden beide Modellierungsmethoden kombiniert angewendet. Auf das Hinzufügen zusätzlicher Konzepte wurde aus 2 Gründen bewusst verzichtet: (i) Es ist zwar möglich in FM Konzepte wie *Vererbung*

⁵<http://http://www.omgwiki.org/variability/doku.php> (Stand: 16.10.2014)

⁶Version 0.3.6 (Stand: Oktober 2014)

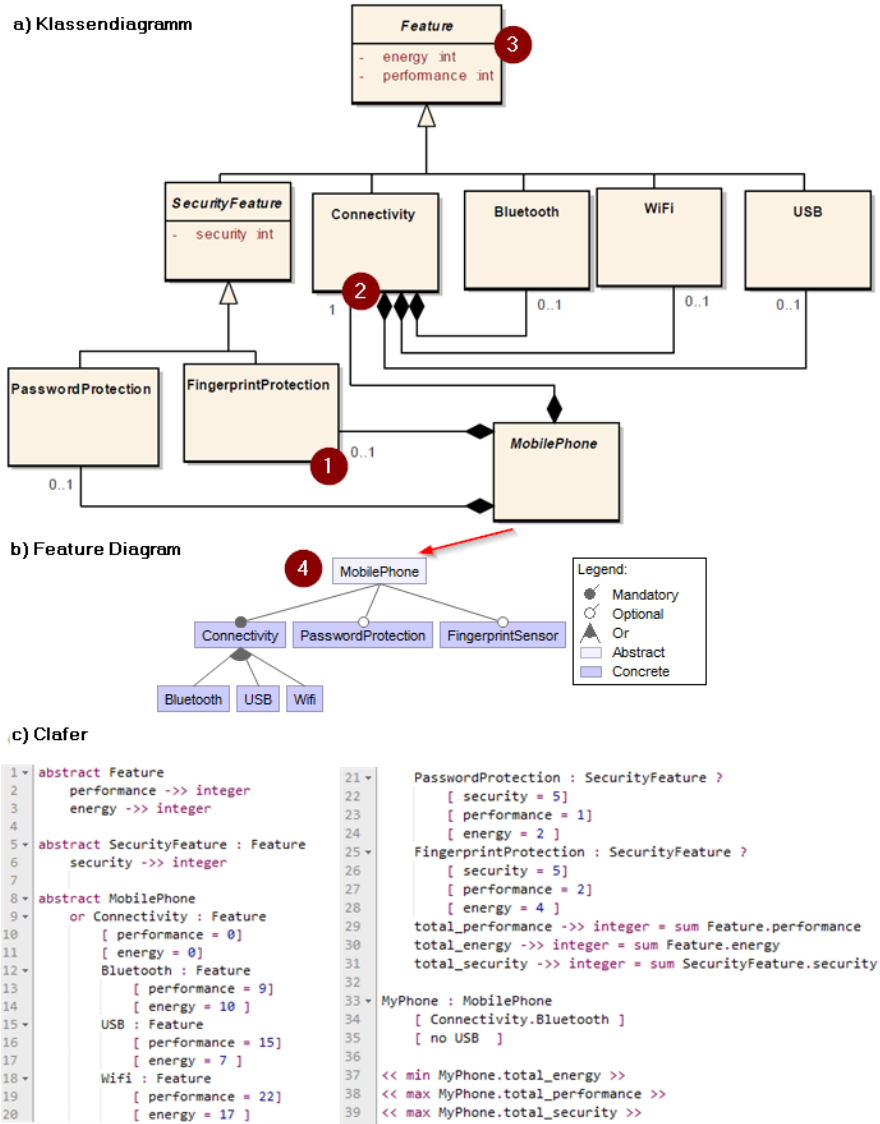


Abbildung 2.8: Gegenüberstellung verschiedener Modellierungsmethoden: Ein Mobiltelefon modelliert als (a) Klassendiagramm, (b) Feature Diagram und (c) Clafer

und *Referenzierung* einzuführen, allerdings kann dann nicht mehr von FM im klassischen Sinne gesprochen werden. (ii) FM kann zwar unter Verwendung von UML Notationen durchgeführt werden, allerdings führt dies zu unerwünscht komplexen Modellen [2].

Abbildung 2.8 soll diese beiden Punkte anhand eines Beispiels verdeutlichen. Die Abbildung zeigt unter (a) das UML Klassendiagramm des FM eines Mobiltelefons. Es beinhaltet sowohl Vererbungshierarchien als auch Referenzen in Form von Aggregationen.

Durch die Aggregationen wird die Baumstruktur, wie sie bei einem FM typisch ist, modelliert. Die Klasse `MobilePhone` stellt im gezeigten Beispiel das Root-Element dar. Dieses aggregiert die Klassen `Password Protection`, `Fingerprint Protection` und `Connectivity`. Dabei haben die Klassen `Password Protection` und `Fingerprint Protection` jeweils eine Kardinalität von `[0..1]` (1). In Anlehnung an Cardinality-based FM bedeutet das, dass beide optional sind. Die Klasse `Connectivity` ist hingegen ein Pflichtfeature mit der Kardinalität `[1..1]` (2). Da diese Klasse die drei Klassen `Bluetooth`, `WiFi` und `USB` aggregiert, ist sie im Sinne von FM eine Gruppierung. Die gesamte Aggregationsstruktur in Kombination mit den angegebenen Kardinalitäten ist semantisch äquivalent mit dem in der Grafik darunter, unter Punkt (4), dargestellten FM.

Die im UML Klassendiagramm unter (a) eingesetzten Vererbungshierarchien werden durch die Ableitungen der verschiedenen Feature-Klassen erkennbar. Die abstrakte Klasse `Feature` (3) definiert die beiden Attribute `energy` und `performance`. Diese werden an alle in der zuvor beschriebenen Aggregationsstruktur vorhandenen Klassen weitervererbt. Die beiden Klassen `Password Protection` und `Fingerprint Protection` erben zusätzlich das Attribut `security` von der abstrakten Klasse `SecurityFeature`. Durch diese Vererbung kann eine Typstruktur modelliert werden, die es erlaubt bestimmte Attribute zu garantieren. Das stellt die Basis für eventuelle Berechnungen oder Metriken, aufbauend auf diesen (Feature-)Attributen, dar.

In Abschnitt (b) der Abbildung 2.8 ist das semantisch äquivalente Modell als Feature Diagramm dargestellt. Dieses Modell erscheint übersichtlicher, bildet aber nur ein Teil der in (a) modellierten Konzepte ab. Modelliert ist die Baumstruktur mit `MobilePhone` als Root-Feature (4). Die Baumstruktur kommt durch die Aggregationen in (a) zustande. Die Kardinalitäten des Klassendiagramms sind im Feature Diagramm durch die Czarnecki-Eisenecker Notation abgebildet. Durch die farbliche Hinterlegung der Features wird dargestellt, ob es sich um konkrete oder abstrakte Features handelt. Vererbungshierarchien wie sie in (a) zu finden sind können in diesem Diagramm nicht dargestellt werden. Dadurch können weder Typinformationen der Features noch Attribute modelliert werden.

Abschnitt (c) der Abbildung zeigt die Kombination von (a) und (b) modelliert in Clafer. Im textuellen Clafer Modell sind sämtliche – durch die anderen beiden Modelle dargestellten – Informationen und Zusammenhänge berücksichtigt. Zusätzlich findet eine Zuweisung von Attributen statt. Bei der Auswahl des Features `Bluetooth` werden in den Zeilen 13 und 14 die Attribute `performance` und `energy` jeweils mit einem Wert belegt. Aufgrund der abstrakten Klassen `Feature` und `Security Feature` wird modelliert, welche Attribute belegt werden müssen. Die Zeilen 29-31 deklarieren weitere Attribute und weisen ihnen mittels Berechnungen (in diesem Beispiel durch Summation) die entsprechenden Werte zu. In Zeile 33 kommt es zu einer Instanziierung der abstrakten Klasse `MobilePhone`. Dabei findet die Selektion des

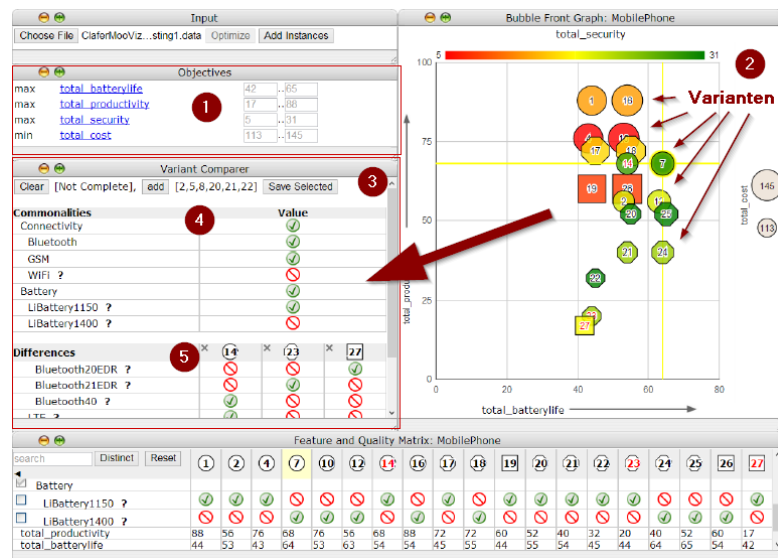


Abbildung 2.9: Clafer Multi Objective Optimization [2]

Features Bluetooth (Zeile 34) und die Deselektion des Features USB statt (Zeile 35). Diese Deselektion ist vom Offenlassen einer Konfigurationsentscheidung zu unterscheiden. Durch die Deselektion wird explizit modelliert, dass dieses Feature nicht vorhanden sein soll. Das ist insbesondere bei der Generierung von Instanzen oder bei Teilkonfigurationen wichtig. Die Zeilen 37-39 sind für einen Instanz-Generator mit Optimierung notwendig. Sie definieren durch die Minimierung und Maximierung von Attributen wie eine optimale Konfiguration aussehen soll.

Aufbauend auf Clafer wurde eine *Multi Objective Optimization (MOO)* realisiert [24] [25]. Dabei werden pareto-optimale Varianten anhand von im Modell hinterlegten Attributen generiert. Dabei geht es darum Konfigurationen zu finden, bei denen sich einzelne Eigenschaften nicht mehr verbessern lassen, ohne andere dabei zu verschlechtern. Abbildung 2.9 zeigt eine MOO am Fallbeispiel des Mobiltelefons. Im Fenster Objectives (1) sind vier Attribute angeführt, anhand derer optimale Instanzen gesucht werden. Die Attribute batterylife (Batterielaufzeit), productivity (Produktivität) und security (Sicherheit) sollen dabei jeweils maximiert werden, während das Attribut costs (Kosten) minimiert werden soll. Das Diagramm im rechten oberen Fenster zeigt die jeweils gefundenen pareto-optimalen Varianten (2). Die Attribute Batterielaufzeit und Produktivität sind in einem zweidimensionalen orthogonalen Koordinatensystem abgebildet. Dabei stellt die Abszisse (x-Achse) die Batterielaufzeit und die Ordinate (y-Achse) die Produktivität dar. Anhand der Flächengröße der eingezeichneten Instanzen lassen sich die jeweiligen Kosten erkennen, wobei eine größere Fläche höhere Kosten bedeutet. Durch ein lineares Farbmapping wird das Attribut Sicherheit beginnend von unsicher (rot) bis sehr sicher (grün) dargestellt.

Die im Koordinatensystem dargestellten Varianten können markiert werden, wodurch sie in den Variant Comparer (Fenster Mitte links) übernommen werden (3). In der Grafik sind

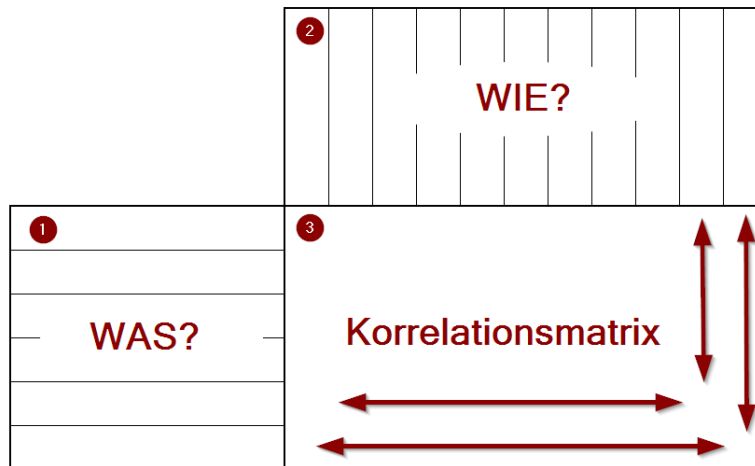


Abbildung 2.10: Die Basisstruktur von QFD – Die Korrelationsmatrix

das die Varianten 2, 5, 8, 20, 21, 22. Dieser Comparer gliedert sich weiter in jeweils einen Bereich, in dem Gemeinsamkeiten (4) und Unterschiede (5) dargestellt werden. Dadurch kann auf einen Blick erkannt werden, welche Feature-Auswahl alle markierten Varianten gemeinsam haben oder wo sich diese unterscheiden. Im Beispiel in Abbildung 2.9 werden die vier in (1) dargestellten Attribute optimiert. Die gezeigte Visualisierung lässt einen übersichtlichen Vergleich der verschiedenen Varianten zu. Eine Berücksichtigung von speziellen Kundenanforderungen ist in Clafer jedoch nicht möglich. Dafür werden weitere Konzepte benötigt.

2.6 Quality Function Deployment

Quality Function Deployment (QFD) ist eine Qualitätssicherungsmethode, bei der die Kundenorientierung im Vordergrund steht. Sie wurde in den 1960er Jahren in Japan entwickelt und erstmals 1966 von Akao beschrieben [1] [15]. Beim damals beschriebenen QFD handelt es sich um ein durchgängiges Prozessmodell zur unternehmensweiten Qualitätskontrolle. Bei der Definition dieses Prozesses wurde besonders auf die Aspekte *Kundenorientierung*, *Teamwork* und *Strukturierung und Verlinkung von Informationen* Wert gelegt [15].

Die Basiselemente von QFD sind Korrelationsmatrizen, die stets den selben Aufbau haben. Abbildung 2.10 zeigt diesen Aufbau. Die Zeilen (1) beschreiben jeweils, *WAS* erreicht werden soll. In den Spalten (2) wird eingetragen, *WIE* etwas erreicht werden kann. In den Zellen der *Korrelationsmatrix* (3) wird die Verbindung zwischen dem *WIE* und *WAS* hergestellt. Hier wird also eingetragen, welche Auswirkungen das *WIE* auf das *WAS* hat.

Wird QFD wie von Akao beschrieben angewandt, besteht der Prozess aus einer Verkettung mehrerer Korrelationsmatrizen. Ein Beispiel für eine mögliche QFD-Kette ist in Abbildung 2.11 dargestellt. Als Vorschrift des gesamten Prozesses muss eruiert werden, was der Kunde will. Dieses *was* in Form von Kundenanforderungen wird in die Zeilen der ersten Korrelationsmatrix

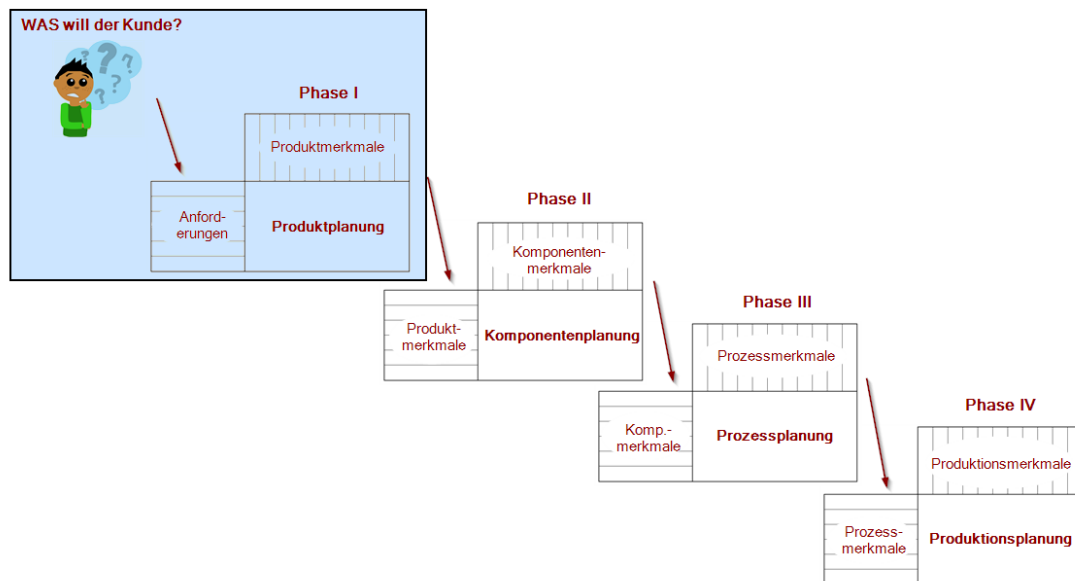


Abbildung 2.11: Verkettete Korrelationsmatrizen beim Quality Function Deployment

eingetragen. Damit beginnt die Erstellung der Matrix, wodurch herausgefunden werden soll, *WIE* diese Kundenanforderungen erfüllt werden können. In der Phase I (Produktplanung) wird nach Produktmerkmalen gesucht, die die Anforderungen möglichst gut erfüllen. Sind die Produktmerkmale gefunden, bilden diese das *WAS* von Phase II (Komponentenplanung). In diesem Schritt wird untersucht, durch welche Komponentenmerkmale die Produktmerkmale erreicht werden können. Diese Vorgehensweise setzt sich mit dem Ziel, in Phase III (Prozessplanung) die Prozesse zu optimieren, fort. Nachdem in der, im gezeigten Beispiel letzten Phase IV (Produktionsplanung) die Produktion optimiert wird, ist die Prozesskette zu Ende. Richtig angewendet, wird das Ziel der optimalen Erfüllung der Kundenwünsche bis auf die Ebene der einzelnen Produktionsschritte verfolgt.

Nachdem diese Vorgehensweise in Japan schon in den 1960er Jahren entwickelt wurde, dauerte es bis in die 1980er Jahre, bis sie in Amerika bekannt und beschrieben wurde. Hier wurde meist die bei Toyota angewendete Korrelationsmatrix gezeigt. Diese Korrelationsmatrix enthielt zusätzlich zur in Abbildung 2.10 gezeigten Matrix einen dreieckigen Bereich über den Spalten, in dem gegenseitige Abhängigkeiten der Spalten untereinander eingetragen wurden. Aufgrund des Aussehens wurde diese Repräsentation der Matrix in den USA unter der Bezeichnung *House of Quality (HoQ)* bekannt (siehe Abbildung 2.12) [1]. Der Begriff HoQ steht also für die angepasste Form der Korrelationsmatrix aus dem QFD, die für die in Abbildung 2.11 blau hinterlegte erste Phase der Produktplanung verwendet wird.

Bei der in dieser Arbeit beschriebenen Methode sollen besondere Anforderungen durch die gezielte Auswahl variabler Produktmerkmale (Features) möglichst gut erfüllt werden. Für diesen Zweck scheint das HoQ geeignet. Deshalb wird im Folgenden näher auf das HoQ im Sinne

der ersten Korrelationsmatrix von QFD eingegangen (blauer Bereich in Abbildung 2.11). Einen ausführlichen Literaturüberblick über QFD bieten Chan et al. in [7].

2.7 Das House of Quality

Das von Hauser und Clausing [17] eingeführte *House of Quality (HoQ)* ist eine Methodik, mit der in einer Matrix Kundenanforderungen mit technischen Merkmalen in Korrelation gesetzt werden. John R. Hauser veröffentlichte 1993 darauf aufbauend einen Bericht mit einem Fallbeispiel, das beschreibt, wie die Firma Puritan-Bennett das HoQ anwendete, um durch eine Steigerung der Kundenzufriedenheit aggressive Mitbewerber abzuwehren [16]. Im beschriebenen Fall ging es darum, die von der Firma angebotenen Produkte, orientiert an den Kundenanforderungen, zu verbessern. Im konkreten Fall waren die Produkte Spirometer, also Instrumente zur Beurteilung der Lungenfunktion durch Messung der Lungenkapazität, sowie der Ein- und Ausatemgeschwindigkeit. Im Folgenden wird erklärt was das HoQ ist und wie es aufgebaut wird.

Das HoQ ist eine erweiterte Form der in Abbildung 2.11 gezeigten Korrelationsmatrix in Phase I. Abbildung 2.12 zeigt ein vollständiges HoQ wie es von Hauser et al. eingeführt wurde. Im gezeigten Beispiel geht es um eine Autotür. Die Kundenanforderungen – von Hauser und Clausing als *customer attributes* beschrieben – werden in die Zeilen der Korrelationsmatrix eingetragen (1). Diese Kundenanforderungen müssen in einem vorausgehenden Schritt erhoben werden. Beispiele im Fall der Autotüre sind das einfache Schließen von außen (blau markiert in der Grafik) oder dass die Türe offen bleibt wenn das Auto schräg steht. Auf das Vorgehen bei der Erhebung der Kundenanforderungen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Zu erwähnen ist, dass für spätere Vergleiche die erhobenen Kundenanforderungen möglichst statisch sein sollten. Ist die Liste an Kundenanforderungen fixiert, werden diese vom Kunden priorisiert. Im Beispiel von Hauser erfolgt diese Priorisierung mit ganzzahligen Werten zwischen 1 und 9. Dabei steht 1 für die niedrigste Priorität. Die höchste Priorität entspricht dem Zahlenwert 9. Die Priorisierungen sind im sogenannten “Kamin” des Hauses (2) eingetragen. Die Anforderung, dass die Türe einfach von außen schließbar ist, hat im Beispiel die Priorität 7. Bei der verwendeten Skala ist diese Anforderung also relativ wichtig (7 von 9 Punkten).

Die technischen Merkmale, die zur Erfüllung der Anforderungen führen sollen, werden in den Spalten des Hauses eingetragen (3). Die in den Spalten enthaltene Information stellt Domänenwissen (z.B. von Technikern) dar. Im Fall der Autotür ist die Energie, die zum Schließen der Türe notwendig ist, eine Beispiel für ein technisches Merkmal (orange markiert in der Grafik). Das Minuszeichen vor dem Merkmal bedeutet, dass diese minimiert werden soll. Im Bereich (4) der Abbildung werden die Relationen zwischen den technischen Merkmalen und den Anforderungen eingetragen. Hier wird festgehalten, welchen Effekt ein technisches Merkmal auf die Anforderungen hat. Im Beispiel wird dieser Effekt vierstufig modelliert. Die Effekt-Klassen sind *stark positiv*, *positiv*, *negativ* und *stark negativ*. Durch die Minimierung des zuvor beschriebenen technischen Merkmals Energie zum Schließen der Tür, wird im Beispiel die Anforderung, dass die Türe sich leicht schließen lässt, stark positiv beeinflusst (grün markierte Zelle in der Grafik).

Nachdem Anforderungen und technische Merkmale einander gegenübergestellt wurden, werden diese Effekte, die technische Merkmale untereinander haben, untersucht. Im “Dach” des Hauses (5) werden diese Effekte eingetragen. Die Effekt-Klassen sind die gleichen, wie die der Korrelationsmatrix. In Abbildung 2.12 ist mit Pfeilen ein Beispiel eingezeichnet, bei dem die Minimierung der zum Schließen der Autotüre erforderlichen Energie einen negativen Effekt auf die Dichtheit dieser hat.

Für die in dieser Arbeit vorgestellte Methode werden die fünf zuvor beschriebenen Elemente des HoQ adaptiert. Der Vollständigkeit halber seien aber auch die anderen Bereiche erwähnt. Im Keller des Hauses (6) werden Attribute der technischen Merkmale eingetragen. Das sind beispielsweise objektive Messwerte, Schätzwerte oder Zielwerte. Die hier eingetragenen Werte können mit Feature-Attributen in Clafer (Kapitel 2.5) verglichen werden. Bei der Schließenergie der Türe wurden für das eigene Produkt 11 ft-lb⁷ gemessen. Bei der Türe des Konkurrenten A sind 9 ft-lb nötig, bei Konkurrent B sind es 9,5 ft-lb. Neben diesen Messwerten werden im Beispiel zusätzlich die technische Schwierigkeit der Umsetzung, die geschätzten Kosten und der gewünschten Zielwerte von 7,5 ft-lb eingetragen.

Im Bereich 7 der Abbildung 2.12 wird die Erfüllung der Anforderungen des eigenen Produktes mit der von Konkurrenzprodukten verglichen. Auf einer Skala von 1 bis 5 ist 1 der schlechteste Erfüllungsgrad und 5 der beste. Am Beispiel der Anforderung des einfachen Schließens von außen kann hier erkannt werden, dass das eigene Produkt diese sehr schlecht erfüllt. Im Vergleich dazu ist die Erfüllung bei den Produkten der Konkurrenten A und B besser. Aus dieser Darstellung lässt sich erkennen, welche Anforderungen durch das eigene Produkt künftig besser erfüllt werden müssen und welche bereits gut erfüllt werden.

Die hier vorgestellten Bereiche (1) bis (5) sind die Grundlage für die in Kapitel 3 vorgestellte Methode, bei der diese Teile des HoQ für die Analyse variabler Produkte adaptiert werden. Die Informationen im Dach des HoQ werden dazu in einem FM modelliert. Direkt wiederzufinden sind jedoch die in der Grafik rot umrandeten Bereiche (1) bis (4). Bei der Wahl der Effekt-Klassen und dem Priorisierungs-Intervall sind in der Praxis je nach Anwendungsfall Variationen möglich. In der im nächsten Abschnitt vorgestellten Methode wurden diese Variationen vom Beispiel des gezeigten HoQ übernommen und teilweise adaptiert. Beispiele für andere Abstufungen finden sich in Chan et al. [8].

⁷ft-lb ist die Abkürzung für die Einheit foot-pound. Dabei handelt es sich um eine US-amerikanische Einheit für Energie.

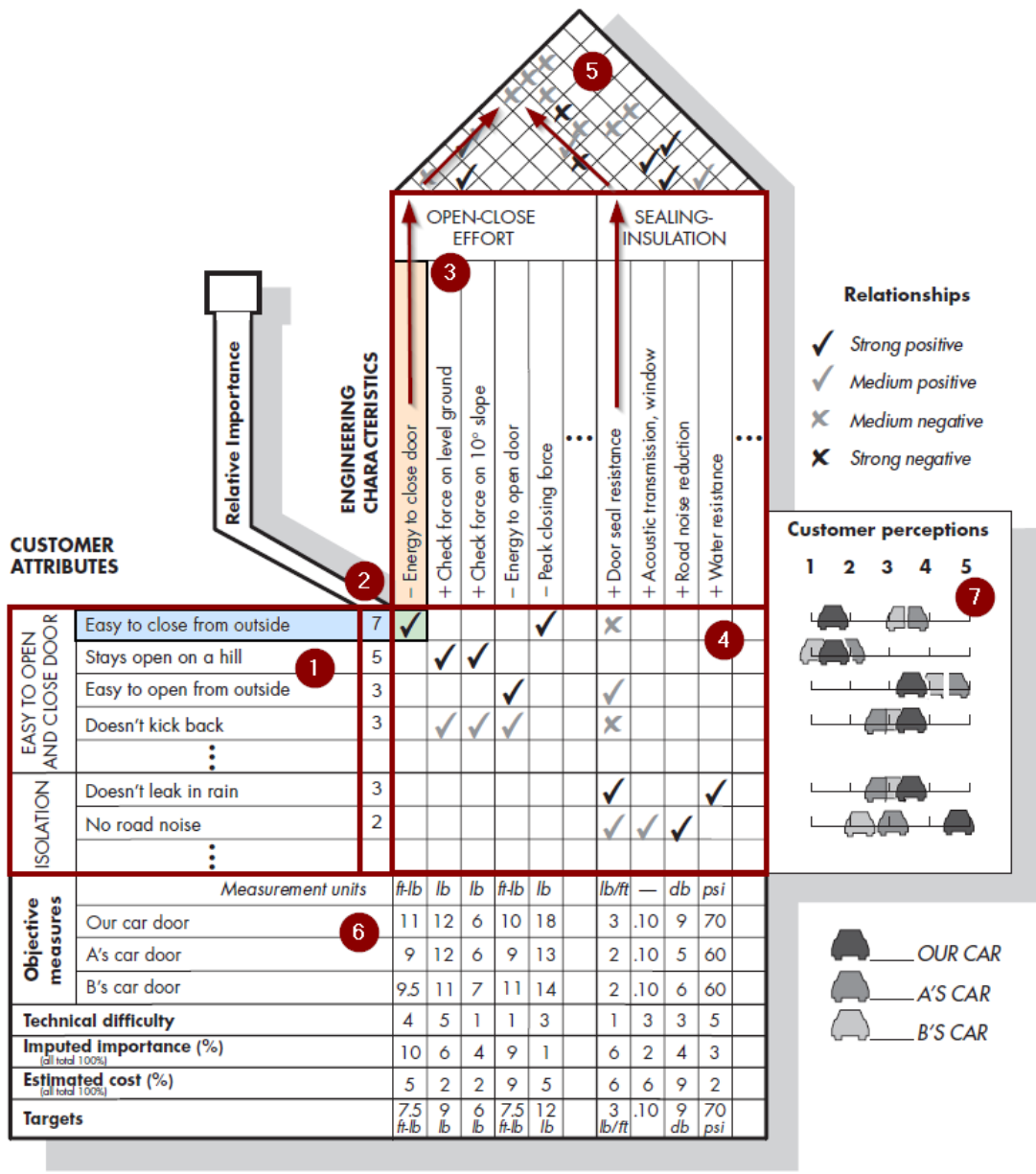


Abbildung 2.12: Das House of Quality [17]

Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix

Dieses Kapitel beschreibt die Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix einer Produktkonfiguration. Zu diesem Zweck werden vom HoQ die in Kapitel 2 beschriebenen Bereiche *Kundenanforderungen*, *Priorisierungen*, *technische Merkmale* und *Relationen* verwendet (Abbildung 2.12, Bereiche 1 - 4). Das in Abbildung 2.12 unter (5) dargestellte Dach des HoQ, das die Abhängigkeiten der technischen Merkmale untereinander modelliert, wird im hier vorgestellten Ansatz durch FM ersetzt. Das FM modelliert dabei die technische Sicht der variablen Korrelationsmatrix. Die Features des FM entsprechen den Spalten. Die Abhängigkeiten der Spalten untereinander können im FM als *Cross-Tree Constraints* (siehe Abschnitt 2.2) modelliert werden. Durch diese Art der Modellierung können Abhängigkeiten genauer ausgedrückt werden als durch die beim HoQ verwendeten Symbole. Während das HoQ nur zur Analyse von statischen Produkten verwendet werden kann, wird in diesem Kapitel gezeigt, wie die Korrelationsmatrix für variable Produkte adaptiert wird. Diese adaptierte Korrelationsmatrix wird im Folgenden als *variable Korrelationsmatrix* einer Produktkonfiguration bezeichnet.

Gleich wie beim HoQ wird bei dieser Methode in einem ersten Schritt eine Korrelationsmatrix erstellt. Im Unterschied zur bekannten Korrelationsmatrix wird bei der variablen Korrelationsmatrix in einem zusätzlichen Schritt nur eine Teilmenge der Spalten berücksichtigt. Dieser Schritt wird *Konfiguration* genannt, dabei erfolgt die Auswahl der berücksichtigten Spalten – im konkreten Fall *Features*. Die Konfiguration erfolgt anhand der im FM definierten Einschränkungen. Das Ergebnis der hier vorgestellten Methode ist die variable Korrelationsmatrix. Gezeigt werden deren Aufbau und die durchgeführten Kalkulationen. Die Analyse der Berechnungsergebnisse erfolgt im Kapitel 4 anhand einer Fallstudie aus dem medizinischen Bereich.

In Abbildung 3.1 wird vom Modellierungsprozess zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix ein Use Case Diagramm (a) und ein Aktivitätsdiagramm (b) dargestellt. Das Use Case Diagramm dient dabei der Darstellung der am Modellierungs- und Konfigurationsprozess beteiligten Akteure. Das rechts daneben befindliche Aktivitätsdiagramm zeigt den logischen Ablauf eines Modellierungs- und Konfigurationsprozesses. Anhand der gezeigten Schritte wird die Vor-

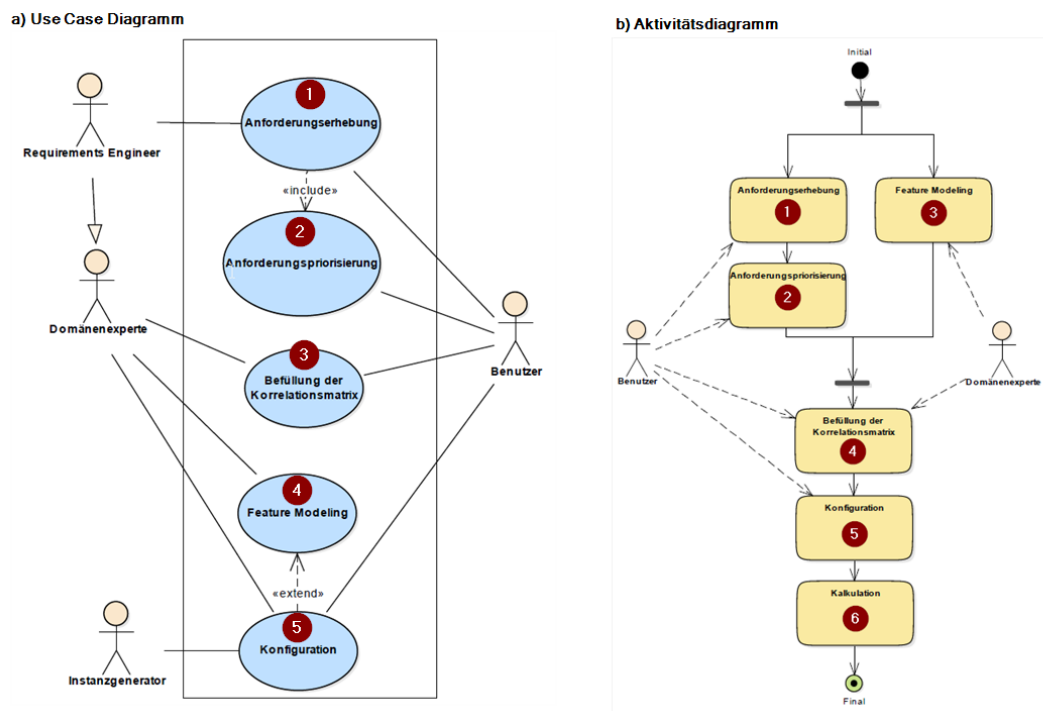


Abbildung 3.1: Use Case Diagramm und Aktivitätsdiagramm zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix

gehensweise zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix im Detail erklärt. Die notwendigen Einzelschritte zum Erstellen der variablen Korrelationsmatrix sind in Abbildung 3.2 dargestellt. Gezeigt werden hier die Ergebnisse der Einzelschritte. Die in Abbildung 3.1 verwendeten Nummerierungen entsprechen denen in Abbildung 3.2. Die in Schritt (4) in Abbildung 3.2 gezeigte Korrelationsmatrix ist beispielsweise das Ergebnis der ebenfalls als (4) gekennzeichneten Aktivität Befüllung der Korrelationsmatrix in Abbildung 3.1.

3.1 Anforderungserhebung

Um die Identifikation der Anforderungen des Endbenutzers des Produktes, geht es bei der als Punkt (1) in Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 gezeigten Anforderungserhebung. Die Liste der so identifizieren Anforderungen muss für die Vergleichbarkeit der Berechnungen möglichst statisch sein und darf sich nicht mehr ändern. Auf den genauen Ablauf der Anforderungserhebung wird in dieser Arbeit nicht vertiefend eingegangen. Detaillierte Informationen zum Thema *Requirements Engineering* gibt Pohl in [27]. In Abbildung 3.2 ist die Liste der fixierten Anforderungen als Ergebnis der Anforderungserhebung unter Punkt (1) gelb markiert dargestellt.

Konzepte und Methoden machen FM zu einem mächtigen Werkzeug für die Modellierung von Variabilität. Anstatt nur positive und negative Effekte wie im bekannten Dach des HoQ darzustellen, lassen sich dadurch komplexe logische Abhängigkeiten modellieren. Durch die erweiterten Konzepte und Algorithmen aus Kapitel 2.3 lassen sich so auch große Modelle handhaben. Zusätzlich kann das Ableiten von gültigen Konfigurationen, bis hin zur vollautomatischen Instanzgenerierung, erheblich erleichtert werden. Die Domänenexperten sind für die Modellierung des FM zuständig. Dieser Use Case ist in Abbildung `Feature Modeling` dargestellt. In Abbildung 3.2 wird unter (3) ein einfaches FM gezeigt. Dieses FM besteht aus zwei Feature Gruppen und 5 Blattfeatures. Zusätzlich ist ein einfaches Cross-Tree Constraint modelliert, das bei der Auswahl von `Feature 2` zusätzlich die Auswahl von `Feature 5` vorschreibt. Das Ergebnis von Schritt (3) ist die Menge aller auswählbaren Features des FM. Die Menge aller auswählbaren Features bildet in der Korrelationsmatrix die Spalten, die in Abbildung 3.2 blau markiert sind.

3.4 Befüllung der Korrelationsmatrix

Wie in Abbildung 3.2 gezeigt, wird auf Basis der erhobenen (1) und priorisierten (2) Anforderungen und der Features (3) die Korrelationsmatrix erstellt. Die priorisierten Anforderungen aus Schritt (1) und (2) bilden die Zeilen der Matrix, die Features aus Schritt (3) die Spalten. Ziel dieses als Punkt (4) in Abbildung 3.2 gezeigten Schrittes ist die Identifikation von Abhängigkeiten zwischen Features und Anforderungen. In Anlehnung an das HoQ [17] wird hier untersucht, welchen Effekt das *WIE* der Spalten auf das *WAS* der Zeilen hat (siehe Abschnitt 2.6). Hauser und Clausing beschreiben in ihrer Arbeit diesen Schritt als einen kollaborativen Prozess, an dem sowohl Domänenexperten als auch Benutzer beteiligt sind. Im Use Case Diagramm in Abbildung 3.1 wurden deshalb sowohl Domänenexperte als auch Benutzer als Akteure modelliert. Im HoQ werden die möglichen Effekte durch die Effektklassen `stark positiv`, `positiv`, `negativ` und `stark negativ` abgebildet. In Anlehnung daran werden in der hier vorgestellten Methode diese Klassen übernommen. Für die späteren Berechnungen wird eine lineare Abstufung im Intervall [-2..2] verwendet. Dabei ist -2 ein stark negativer Effekt und 2 ein stark positiver. Eine leere Zelle oder 0 bedeuten keinen Effekt. Diese Information wird zugunsten der besseren Übersichtlichkeit nicht explizit eingetragen. Neben dieser linearen Skala kann bei Bedarf auch eine andere Skalierung gewählt werden, wie beispielsweise in [8] vorgestellt. Der Einfachheit halber wird hier die lineare Skala von Hauser und Clausing übernommen. Im Beispiel in Abbildung 3.2 hat `Feature 1` einen stark positiven Effekt auf die Erfüllung von `Anforderung 1` und dadurch den Wert 2. `Feature 5` hingegen hat einen stark negativen Effekt auf die Erfüllung von `Anforderung 2` und deshalb den Wert -2. Nachdem alle Effekte identifiziert und bewertet sind, ist die Korrelationsmatrix fertig. Die Korrelationsmatrix ist die Basis für die im folgenden Schritt definierten Produktkonfigurationen. Die Korrelationsmatrix für sich stellt keine gültige Konfiguration dar. Aus der Korrelationsmatrix wird, durch die im nächsten Schritt folgende Konfiguration (Punkt 5), die variable Korrelationsmatrix (Punkt 6).

3.5 Die Konfiguration des Produktes

Bei der Konfiguration (5) kommt es zur Definition einer gültigen Produktkonfiguration. Hierbei erfolgt eine Auswahl der im Produkt enthaltenen Features. Durch die im FM modellierten Regeln wird die Anzahl gültiger Konfigurationen eingeschränkt. Beim Beispiel in Abbildung 3.2 ist das beim Cross-Tree Constraint $\text{Feature } 2 \rightarrow \text{Feature } 5$ der Fall. Nachdem im Konfigurator in Bereich (5) das $\text{Feature } 2$ selektiert wird, kommt es aufgrund des im Bereich 3 modellierten Constraints automatisch zur Selektion von $\text{Feature } 5$. Das ist am ausgefüllten Rechteck vor dem $\text{Feature } 5$ zu erkennen. Durch die Auswahl von $\text{Feature } 5$, darf das $\text{Feature } 4$ nicht mehr gewählt werden. Zu dieser Einschränkung kommt es durch die $\text{Xor-Featuregruppe Feature Gruppe } 2$. Diese definiert, dass entweder $\text{Feature } 4$ oder $\text{Feature } 5$, aber nicht beide selektiert werden dürfen. Zu erkennen ist diese Einschränkung am nicht wählbaren $\text{Feature } 4$ im Bereich (5) der Abbildung. Im abgebildeten Beispiel wurde der Konfigurator des Eclipse Tools *featureIDE* verwendet [31].

Das Ergebnis des Konfigurationsschrittes ist eine vollständige und gültige Konfiguration gemäß Definition 2.3.1 in Kapitel 2. Diese Konfiguration kann sowohl manuell, als auch automatisiert durch einen Instanzgenerator erfolgen. Hierbei werden automatisiert gültige Varianten generiert. Dafür werden meist SAT Solver, wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben werden, eingesetzt. Aus der Menge aller möglichen Features wird beim Konfigurieren eine Menge der im Produkt vorhandenen Features ausgewählt. Die so entstandene variable Korrelationsmatrix enthält nur noch die ausgewählte Untermenge an Features und dient als Basis für alle folgenden Berechnungen.

3.6 Die variable Korrelationsmatrix

Nachdem das Produkt gültig konfiguriert wurde, erfolgen im letzten Schritt die Kalkulationen in der so entstandenen variablen Korrelationsmatrix. Dieser Abschnitt zeigt die Berechnung dieser Werte. Die Bedeutung dieser Werte wird im folgenden Kapitel 4 anhand einer ausführlich Fallstudie detailliert erläutert. In Abbildung 3.2 ist im Bereich (6) zu sehen, dass nur noch $\text{Feature } 2$, $\text{Feature } 3$ und $\text{Feature } 5$ berücksichtigt werden. Die Features $\text{Feature } 1$ und $\text{Feature } 4$ sind nicht mehr in der variablen Korrelationsmatrix enthalten. Für die noch vorhandenen Features werden nun Werte für den relativen Erfüllungsgrad der Anforderungen berechnet. Berechnet wird die Produktsumme pro Zeile. Für die Anforderung j erfolgt diese Berechnung anhand der Formel

$$\text{Erfüllungsgrad}(\text{Anforderung}_j) = \sum_{i=1}^n \text{Zelle}_{ij} \cdot \text{relative Gewichtung}_j$$

wobei n der Anzahl der Features entspricht. Bei der in Abbildung 3.2 rot gekennzeichneten Anforderung 2 ergibt sich so der Wert -9. Dieser Wert alleine sagt wenig über die Erfüllung dieser Anforderung aus. Im Vergleich mit Anforderung 1 zeigt sich, dass Anforderung 2 in dieser Konfiguration schlechter erfüllt wird.

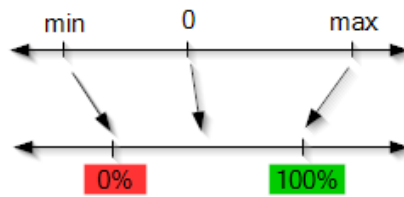


Abbildung 3.3: Normierung der errechneten Werte

Analog zur Berechnung der Produktsummen pro Zeile können diese pro Spalte berechnet werden. Für ein Feature i wird diese mit der Formel

$$Erfüllungsgrad(Feature_i) = \sum_{j=1}^m Zelle_{ij} \cdot relative\ Gewichtung_j$$

gebildet, wobei m der Anzahl der Anforderungen entspricht. Für das im Beispiel blau umrandete Feature 3 ergibt diese Berechnung den Wert 1. Dieser Wert sagt aus, wie sich dieses Feature bei der Erfüllung der Anforderungen auswirkt. Feature 3 hat dabei einen positiven Effekt, da der errechnete Wert positiv ist. Verglichen mit Feature 2 trägt es aber weniger positiv an der Erfüllung der Anforderungen bei. Bei Feature 5 ist der errechnete Wert negativ. Das bedeutet, dass sich dieses Feature negativ auf die Erfüllung der Anforderungen auswirkt. Verglichen mit den anderen Features hat es den niedrigsten Wert.

Die berechneten Werte pro Spalte und Zeile werden auf Prozentwerte normiert. Abbildung 3.3 zeigt diese Normierung schematisch. Der obere Zahlenstrahl stellt den Wertebereich der errechneten Spalten- und Zeilenwerte dar. Diese werden auf Prozentwerte abgebildet, wobei der niedrigst errechnete Wert 0% entspricht und der höchste Wert 100%. Die Minima und Maxima gelten dabei separat für alle Anforderungen (Zeilen) und alle Features (Spalten). Für eine bessere Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit werden die normierten Prozentwerte zusätzlich auf ein Farbspektrum gemappt und farblich hinterlegt. Das Spektrum geht von der Farbe Rot, die 0% entspricht bis zur Farbe Grün bei 100%. Zusätzlich zu den Zeilen- und Spaltensummen wird eine Gesamtsumme für die gesamte Konfiguration berechnet. Diese Gesamtsumme errechnet sich aus der Summe aller Zeilen oder aller Spalten – beide Summen ergeben das gleiche Ergebnis. Die Gesamtsumme ist im Beispiel in Abbildung 3.2 im Bereich (6) blau markiert und hat den Wert -8. Auch dieser Wert hat nur eine relative Aussagekraft und sagt über eine einzelne Konfiguration, wie sie im Beispiel dargestellt wird, kaum etwas aus. Er kann aber für einen einfachen Vergleich mehrerer Konfigurationen verwendet werden. Dabei entspricht eine höhere Gesamtsumme einer besser zu den Anforderungen passenden Konfiguration. Das Ergebnis dieses letzten Schrittes der Methode ist die *variable Korrelationsmatrix* einer Konfiguration. Die vorgestellten Berechnungen sind die Basis für die Vergleiche der Fallstudie im folgenden Kapitel 4. In der Fallstudie wird gezeigt, wie diese Methode angewendet werden kann und was die errechneten Werte aussagen.

Anwendung der variablen Korrelationsmatrix anhand einer medizinischen Fallstudie

In diesem Kapitel wird die im vorigen Kapitel 3 vorgestellte Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix anhand eines durchgängigen Fallbeispiels aus dem medizinischen Bereich angewandt. Dabei soll gezeigt werden, wie mit Hilfe der variablen Korrelationsmatrix, das für die Anforderungen spezieller Personengruppen, passende Produkt gefunden werden kann. Dabei werden in einem ersten Schritt *Personas* definiert und beschrieben. Jede Persona steht dabei stellvertretend für eine Personengruppen mit speziellen Anforderungen. Zwei der drei Personas haben gesundheitliche Beeinträchtigungen. Eine Persona ist ein gesunder junger Mann. Der besseren Verständlichkeit und Einfachheit halber wurde in dieser Fallstudie als variables Produkt ein Mobiltelefon gewählt. Bei einem klassischen Medizinprodukt (z.B. Blutzuckermessgerät) wie in der Problemstellung beschrieben, wäre die Nachvollziehbarkeit für mit der Domäne nicht vertraute Personen vermutlich schwierig.

Nachdem die Anforderungen zu den in Abschnitt 4.1 definierten Personas entsprechend erhoben und priorisiert sind (Abschnitt 4.2), werden in Abschnitt 4.3 drei reale Produkte beschrieben. Aufbauend auf den erhobenen Anforderungen und den Charakteristika der ausgewählten Produkte, erfolgt in Abschnitt 4.4 die Erstellung der Korrelationsmatrix gemäß der in Abschnitt 3.4 beschriebenen Vorgehensweise. Anhand von zwei Szenarien wird gezeigt, welche Analysen und Auswertungen durch die variable Korrelationsmatrix möglich sind. In Szenario 1 (Abschnitt 4.5) wird ein Produkt mit Hilfe der variablen Korrelationsmatrix analysiert. Hierbei wird visualisiert, welches Feature welche Auswirkungen auf die Erfüllung bestimmter Anforderungen hat. Dadurch kann die Frage beantwortet werden, wie gut sich ein bestimmtes Produkt für eine bestimmte Personengruppen eignet. In einem weiteren Schritt kann dadurch geklärt werden, wie gut sich ein bestimmtes Produkt für verschiedene Anforderungen eignet. Dafür werden die berechneten Ergebnisse direkt miteinander verglichen. In Abschnitt 4.6 wird das Szenario 2

vorge stellt. Hierbei werden drei verschiedene Produkte einander direkt gegenüber gestellt. Bei diesem Szenario wird von den Anforderungen einer bestimmten Persona ausgegangen. Es wird so gezeigt, wie aus mehreren Produkten das beste Produkt für eine bestimmte Personengruppe gefunden werden kann.

4.1 Definition der Personas

Zur besseren Veranschaulichung verschiedener Anforderungen, werden in diesem Abschnitt drei fiktive Personen definiert. Diese Personen werden wie Figuren einer Geschichte beschrieben. Dieses Vorgehen bedingt den Nutzer (z.B. den Requirements Engineer) sich in die Lage der jeweiligen Figur zu versetzen. Dadurch sollen reale Besonderheiten identifiziert werden und in weiterer Folge in die Entwicklung passender Produktvarianten einfließen. Diese Vorgehensweise wurde von Alan Cooper eingeführt und wird allgemeinen *Personas* genannt [9]. Die Evaluierungstechnik *Personas* wird dem Bereich *Human Computer Interaction (HCI)* zugeordnet und wird in der Softwareentwicklung für den Health Care Bereich verbreitet eingesetzt.

Die nachfolgend definierten *Personas* stehen jeweils stellvertretend für eine bestimmte Personengruppe. Zwei der *Personas* haben körperliche Einschränkungen, eine *Persona* repräsentiert zum Vergleich die Personengruppe von gesunden jungen Erwachsenen.

Persona 1: Melanie

Melanie ist eine 16 jährige Jugendliche. Sie besucht derzeit eine AHS. Da sie seit ihrer Geburt an einer schweren Erkrankung der Augen leidet, ist sie im Alltag in vielen Bereichen eingeschränkt. Ihre größte Hilfe im Alltag ist ihr Blindenführhund Bello. Trotz ihrer Einschränkung ist Melanie eine lebensfrohe junge Frau, die sich in ihrer Freizeit gerne mit Freunden trifft. Diese unterstützen sie in schwierigen Situationen gerne, was aber in den meisten Fällen nicht nötig ist. Melanie hat gelernt mit ihrem Handicap selbständig den Alltag zu bewältigen. Ihre Lieblingsbeschäftigung in der Freizeit ist Klavierspielen. Melanie ist äußerst musikalisch und konnte schon mehrere Wettbewerbe gewinnen. Zum sportlichen Ausgleich geht Melanie 1-2 mal wöchentlich schwimmen.

Persona 2: Johannes

Johannes ist 27 und kurz vor seinem Studienabschluss. Vor 4 Jahren hat er angefangen zu laufen. Nach den ersten mühsamen Trainingsläufen stellte sich bald eine konditionelle Steigerung ein. Seither läuft Johannes regelmäßig und trainiert dabei für 2-3 Laufveranstaltungen, an denen er jährlich teilnimmt. Um das Training zu optimieren und aus Neugier läuft Johannes immer mit einem pulsmessenden Brustgurt. Er zeichnet sowohl seine Herzfrequenz als auch die gelaufene Strecke für spätere Auswertungen auf. Neben dem Sport liebt es Johannes sich mit Freunden zu treffen und so oft es die finanzielle Lage zulässt zu reisen. Besonders interessieren ihn dabei Städte und fremde Kulturen. Bei den Sightseeingtouren macht er gerne Fotos, die er auch regelmäßig über soziale Netzwerke teilt.

Persona 3: Anna

Anna ist eine 72 Jahre alte, pensionierte Einzelhandelsverkäuferin. Sie ist verwitwet und lebt alleine in einer Wohnung einer Kleinstadt. Seit einigen Jahren leidet Anna an Diabetes Mellitus Typ II (Altersdiabetes). Dank medikamentöser Therapie hat sie die Krankheit gut unter Kontrolle. Dafür wurden ihr Tabletten zur mehrmaligen täglichen Einnahme verschrieben. Trotzdem leidet Anna seit kurzem zusätzlich an einer Gehunsicherheit, die auf eine durch die Diabetes-Grunderkrankung induzierte periphere Polyneuropathie (Schädigung der feinen Nervenfasern) zurückzuführen ist. Daneben leidet Anna an kleineren altersbedingten Leiden wie Weitsichtigkeit und Schwerhörigkeit. Anna löst gerne Kreuzworträtsel. Aufgrund dieser gesundheitlichen Einschränkungen hat sich Anna in Absprache mit ihrer 15 Autominuten entfernt lebenden Tochter dazu entschlossen, dreimal wöchentlich die Dienstleistungen der örtlichen Hauskrankenpflege in Anspruch zu nehmen. Außerdem trägt Anna einen Rufhilfe-Sender an ihrem Handgelenk, über den sie im Notfall per Knopfdruck Hilfe holen kann.

Überblick über die Personas

Die wichtigsten Merkmale der drei zuvor beschriebenen Personas sind in Tabelle 4.1 nochmal zusammengefasst. Diese Merkmale dienen dem Verständnis der wesentlichen, die jeweilige Persona betreffenden, Eigenschaften und Lebensumstände.

4.2 Anforderungen der Personas

Aufbauend auf den in Abschnitt 4.1 definierten Personas wird eine Auswahl an Anforderungen definiert. Dieses Festlegen der Anforderungen entspricht der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Anforderungserhebung. Die gewählten Anforderungen an ein Mobiltelefon sind in der Spalte Anforderungen der Tabelle 4.2 aufgelistet. In die Spalten rechts davon sind die Priorisierungen der jeweiligen Persona eingetragen. Diese Anforderungspriorisierung erfolgt wie in Abschnitt 3.2 beschrieben in einem Intervall von [0..9].

Folgend werden die wichtigsten Priorisierungen der drei Personas textuell näher beschrieben.

Persona 1: Melanies Anforderungen

Aufgrund ihrer schweren Augenerkrankung und damit einhergehenden Sehbehinderung sind für Melanie die Anforderungen Sprachsteuerung und Bedienhilfen von höchster Priorisierung. Diese beiden Anforderungen wurden daher mit 9 Punkten bewertet. Weitere Anforderungen wie Lange Standbyzeit und Lange Gesprächszeiten, Robustheit, Geringes Gewicht und eine Vielzahl verfügbarer Applikationen haben für Melanie eine Priorität zwischen 6 und 7. Mit einer Bewertung von 2 sind ihr die Anforderungen Regionenauswahl, Hohe Bandbreite und die Exakte Positionsbestimmung eher unwichtig. Das Hochauflösende Display ist aufgrund von Melanies Handicap völlig unbedeutend und daher mit 0 priorisiert. Die Hörgeräte Kompatibilität spielt ebenfalls keine Rolle.



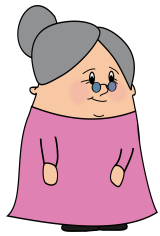
	Melanie	Johannes	Anna
Alter	16	27	72
Geschlecht	w	m	w
Beruf	Schülerin	Student	Pensionistin
Erkrankungen	Lebersche Kongenitale Amaurose (Sehbehinderung)	keine bekannt	Diabetes Melittus Typ II, Periphere Polyneuropathie, Weitsichtigkeit, leichte Schwerhörigkeit
Einschränkungen	Durch die Sehbehinderung bedingte Erschwernisse im alltäglichen Leben	keine	Regelmäßige Medikamenteneinnahme, durch die Polyneuropathie hervorgerufene Gefühlsstörungen in Händen und Beinen und damit einhergehende Gangunsicherheiten
Interessen	Freunde treffen, Klavier spielen, schwimmen	Sport (vor allem laufen), reisen	Kreuzworträtsel
Symbolbild			

Tabelle 4.1: Überblick über die 3 Personas

Persona 2: Johannes Anforderungen

Für Johannes ist aufgrund seiner Aufzeichnungen beim Sport eine Genaue Positionsbestimmung von größter Bedeutung. Diese Anforderung und Viele Applikationen bewertet er mit der höchstmöglichen Priorisierung. Für eine flüssige Bedienung der Applikationen legt Johannes Wert auf eine Hohe Rechenleistung. Ein Hochauflösendes Display unterstützt die Darstellung von Auswertungen und wird daher ebenfalls mit 8 priorisiert. Um nicht Gefahr zu laufen, dass das Mobiltelefon bei schlechtem Wetter in seiner Funktion eingeschränkt ist, wird die Robustheit mit 7 Punkten bewertet. Mit 7 Punkten werden auch die Anforderungen Lange Standbyzeit und Lange Gesprächsdauer bewertet. Eine Geringe Größe und eine Regionenauswahl spielen eine eher untergeordnete Rolle (Prioritäten 3-4). Als vernachlässigbar können die Anforderungen Sprachsteuerung, Einhändige Bedienbarkeit und Tasten mit Druckpunkt gesehen werden (Prioritäten 1-2). Von gar keiner Bedeutung und somit mit 0 priorisiert ist die Kompatibilität zu Hörgeräten und zusätzlichen Bedienungshilfen.

Anforderungen	Melanie	Johannes	Anna
Hohe Reichweite	5	8	4
Lange Standbyzeit	7	7	9
Lange Gesprächszeit	7	7	8
Kurze Ladedauer	6	4	3
Robustheit	6	7	8
Geringes Gewicht	6	5	4
Hochauflösendes Display	0	8	2
Geringe Größe	5	4	2
Regionenauswahl	2	3	9
Hohe Bandbreite	2	6	1
Exakte Positionsbestimmung	2	9	0
Hohe Rechenleistung	5	8	1
Sprachsteuerung	9	2	1
Bedienhilfen	9	0	7
Einhändige Bedienbarkeit	5	1	3
Tasten mit Druckpunkt	4	1	9
Hörgeräte Kompatibilität	0	0	9
Viele Applikationen	6	9	1

Tabelle 4.2: Liste der Anforderungen und deren Priorisierung für die Personas

Persona 3: Annas Anforderungen

Annas wichtigste Ansprüche an ein Mobiltelefon sind eine Lange Standbyzeit. Sie möchte das Gerät nicht ständig aufladen müssen. Sie vergisst gelegentlich darauf, wenn sie nicht daran erinnert wird. Bei der Langen Gesprächszeit schlägt sich das Aufladen weniger nieder, da sie nur wenig und wenn nur kurz telefoniert. Sie legt einen hohen Wert auf eine deutsche Menüführung, da sie keinerlei Fremdsprachen beherrscht (hohe Priorisierung der Anforderung Regionenauswahl). Anna besteht außerdem darauf, dass das Gerät Tasten mit Druckpunkt hat. Geräte mit Tasten ist sie gewöhnt, und will daran nichts ändern. Da sie aufgrund ihrer altersbedingten Schwerhörigkeit bereits ein Hörgerät besitzt, bietet sich eine Kopplung zwischen diesem und dem Mobiltelefon an. Neben dieser Anforderung sollte das Gerät robust sein, da es gelegentlich zu Boden fallen kann. Eine Hohe Reichweite, Geringes Gewicht und Geringe Größe sind in diesem Fall nebensächlich, da das Mobiltelefon lediglich zu Hause zum Einsatz kommt. Da Anna mit dem Mobiltelefon hauptsächlich telefonieren möchte, sind Anforderungen wie Exakte Positionsbestimmung, Viele Applikationen oder ein Hochauflösendes Display nebensächlich und mit Werten zwischen 0 und 2 priorisiert.



Abbildung 4.1: Drei auf dem Markt erhältliche Produktvarianten eines Mobiltelefons

4.3 Auswahl der Produktvarianten

Zur Vorstellung der Szenarien in der Fallstudie werden folgend drei sich auf dem Markt befindende Handymodelle vorgestellt. Diese Produktvarianten sind in Abbildung 4.1 dargestellt und dienen der besseren Veranschaulichung der gewählten Modelle. Um die Variabilität der drei Produkte hervorzuheben, sind die gewählten Modelle sehr unterschiedlich ausgeprägt. Produkt 1 und Produkt 2 sind jeweils Handyvarianten, die auf ältere Kunden abzielen. Produkt 2 ist eine Mischung aus klassischem Mobiltelefon und Smartphone. Produkt 3 ist im Vergleich dazu ein durchschnittliches Smartphone. Die in den folgenden Produkten beschriebenen Features sind im FM in Abbildung 4.2 modelliert.

Produkt 1: emporiaPURE

Beim Produkt 1 handelt es sich um das Modell *emporiaPURE*. Es verfügt über ein Farbdisplay mit niedriger Auflösung (Low Resolution Screen) und hat ein klassisches Tastenfeld (Hard Key Keyboard). Das *emporiaPURE* ist robust und verfügt über Funktionstasten mit vordefinierten Funktionen wie beispielsweise Taschenlampe oder Notruftaste. Das *emporiaPURE* ist auf einfache Bedienung ausgelegt. Daher verzichtet der Hersteller auf die Möglichkeit weitere Applikationen zu installieren oder Feinanpassungen vorzunehmen. Zudem bietet das *emporiaPURE* Bluetooth. Die Features WiFi oder GPS sind allerdings nicht verfügbar.

Produkt 2: Doro 740

Das *Doro 740* ist eine Mischung aus klassischem Handy und Smartphone. Es verfügt sowohl über ein ausziehbares Tastenbedienfeld Hard Key Keyboard, als auch über ein Touchdisplay (On Screen Keyboard). Das Mobiltelefon ist auf Robustheit und einfache Bedienung ausgelegt, verzichtet jedoch auf neueste technische Komponenten wie einen schnellen Prozessor

und ein Hochauflösendes Display. Was die Kommunikation angeht bietet es die gängigen Technologien wie WiFi, Bluetooth und GPS.

Produkt 3: Galaxy S III

Beim *Galaxy S III* handelt es sich um ein beliebtes Smartphone. Es bietet ein großes Touchscreen Display (On Screen Keyboard) mit hoher Auflösung (High Resolution Screen). Weiters sind alle verbreiteten Kommunikations- und Positionierungstechnologien wie Quad Band, WiFi, Bluetooth, GPS und Bewegungssensor (Motion Sensor) integriert. Auf Basis des Android Betriebssystems lässt sich das Mobiltelefon flexibel konfigurieren. Des Weiteren sind eine Vielzahl an Applikationen (Additional Apps) für dieses Betriebssystem auf dem Markt erhältlich.

4.4 Erstellung der Korrelationsmatrix

Auf der Basis der erhobenen Anforderungen und dem FM wird die Korrelationsmatrix wie in Kapitel 3 beschrieben erstellt (Abbildung 4.3). Die Korrelationsmatrix ist die Grundlage für die in Kapitel 3 neu eingeführte variable Korrelationsmatrix (dargestellt in den einzelnen Szenarien). Die Tabelle 4.2 zeigt die bei der Anforderungserhebung fixierte Anforderungsliste. In der Korrelationsmatrix ist sie als Bereich (1) gekennzeichnet. Die hier dargestellten Anforderungen wurden für die jeweilige Persona wie in Abschnitt 3.2 beschrieben priorisiert. Die Priorisierungen sind im Bereich (2) eingetragen. Da es sich hier um 3 verschiedene Priorisierungen handelt, werden diese in 3 Spalten dargestellt. Die Spalte `Priorisierung P1` steht für die Priorisierung von Persona 1 (Melanie), die Spalte `Priorisierung P2` enthält die Prioritäten von Persona 2 (Johannes). Annas Anforderungspriorisierung (Persona 3) ist in der Spalte `Priorisierung P3` eingetragen. Mit einem FM wird die Variabilität der Mobiltelefone wie in Abschnitt 3.3 beschrieben modelliert. Das FM ist die Basis für die Spalten der Korrelationsmatrix. Das für die Fallstudie erstellte FM ist in Abbildung 4.2 zu sehen. Anhand der in der Fallstudie ausgewählten Produkte wurden Gemeinsamkeiten und Variabilität im FM abgebildet. Aus der Menge der selektierbaren Features dieses FM ergeben sich die im Bereich (3) der Abbildung 4.3 dargestellten Spalten. Die Features sind alle in Englisch modelliert. Dadurch ergeben sich Vorteile in der Lesbarkeit, da Features englische Bezeichnungen haben und Anforderungen deutsche. Im 4. Schritt der Erstellung der Korrelationsmatrix werden die Effekte der Features auf die Anforderungen in die Zellen der Matrix (4) eingetragen. Die nun vollständige Korrelationsmatrix ist in Abbildung 4.3 dargestellt und ist die Basis für alle in dieser Fallstudie gezeigten Szenarien. Die folgenden zwei Szenarien beschreibe jeweils die erstellte variable Korrelationsmatrix. Weitere variable Korrelationsmatrizen sind in Anhang A beigefügt.

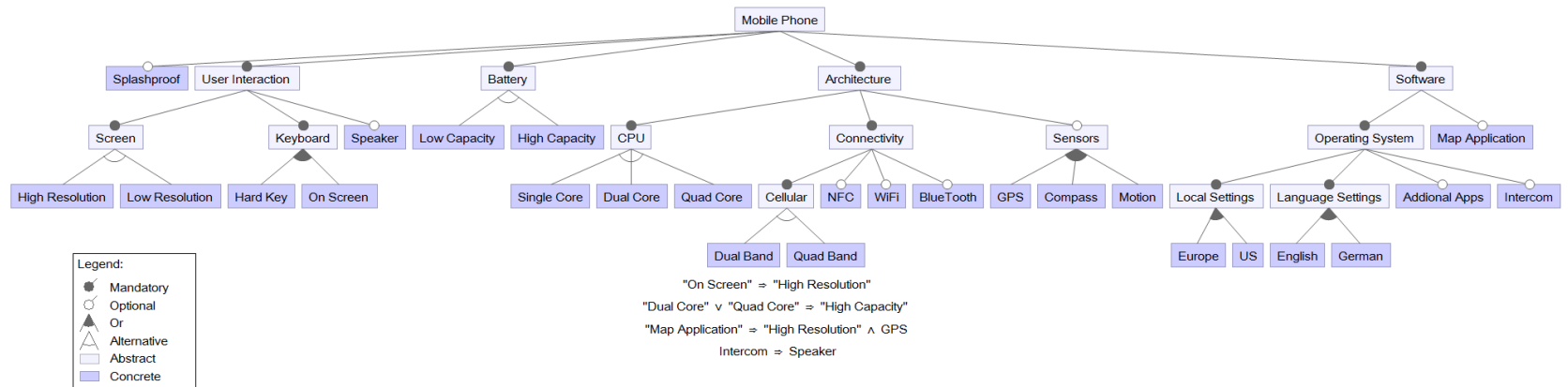


Abbildung 4.2: Feature Model für die Mobiltelefone der Fallstudie

4.5 Szenario 1: Analyse einer gegebenen Produktvariante

Im Szenario 1 geht es um die Analyse eines gegebenen Produktes. Im aktuellen Beispiel wird dazu das Produkt 1 (emporiaPURE) ausgewählt. Die Charakterisierung von Produkt 1 erfolgt durch die Auswahl der im Produkt enthaltenen Features bei der Konfiguration. Folgend wird in einem ersten Schritt die daraus entstehende variable Korrelationsmatrix erklärt. In einem weiteren Schritt wird gezeigt, wie ein gegebenes Produkt hinsichtlich verschieden priorisierter Anforderungen analysiert werden kann.

Analyse von Produkt 1 basierend auf den Anforderungen von Persona 1

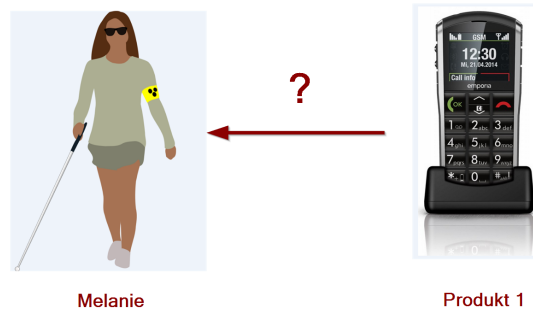


Abbildung 4.4: Analyse des emporiaPURE bezogen auf Melanies Anforderungen

Im ersten Beispiel soll die Frage geklärt werden, wie gut Produkt 1 bestimmte Anforderungen erfüllt. Dabei geht es um die in Abbildung 4.4 skizzierte Fragestellung, wie gut das Produkt 1 (emporiaPURE) die speziellen Anforderungen von Melanie (siehe Abschnitt 4.2), einer sehbehinderten jungen Frau, erfüllt. Durch die Konfiguration der Korrelationsmatrix ergibt sich die variable Korrelationsmatrix in Abbildung 4.5. In der Spalte *Priorität Persona 1* sind die Priorisierungen von Melanie eingetragen (1). Im Bereich (2) werden nur noch die ausgewählten Features berücksichtigt. Die Spalte *Bewertung Persona 1* (3) zeigt die Berechnungen der Erfüllungsgrade in Bezug auf Melanies Anforderungen. Im Bereich (4) sind die Berechnungen der Auswirkungen der Features auf die Erfüllung der Anforderungen dargestellt. Unter (5) ist die Gesamtbewertung für das Produkt zu finden.

Die im grün markierten Bereich (6) gezeigten Anforderungen *Sprachsteuerung* und *Bedienhilfen* haben bei Melanie die höchst mögliche Priorisierung von 9 Punkten. Diese hohe Priorisierung resultiert aus der Sehbehinderung von Melanie. In den Zellen der Matrix sind die Effekte der Features auf diese Anforderungen zu erkennen. Die Features *Speaker* und *Intercom* haben jeweils einen positiven Effekt (+1) auf die Erfüllung der Anforderung *Sprachsteuerung*. Durch die hohe Priorisierung ergibt sich so ein Erfüllungsgrad von 18 Punkten bei der Anforderung *Sprachsteuerung*. Das ist das Maximum der gesamten variablen Korrelationsmatrix. Die Anforderung *Bedienhilfen* wird vom Feature *Intercom* positiv beeinflusst (+1). Bei der Priorisierung von 9 ergibt sich so ein Erfüllungsgrad von 9 Punkten für die Anforderung *Bedienhilfen*.

sierung werden beim Produkt 1 die Lange Standby-Zeit und Lange Gesprächszeit – verglichen mit den anderen Anforderungen – am schlechtesten erfüllt. Am besten erfüllt wird die Sprachsteuerung, sie hat den höchsten Punktwert. Die gleichen Berechnungen sind auch für einzelne Features möglich. Das bei (8) blau markierte Feature Low Capacity hat einen negativen Effekt (-1) auf die Anforderung Lange Standby-Zeit, einen stark negativen Effekt (-2) auf die Lange Gesprächszeit und einen positiven Effekt (+1) auf die kurze Ladedauer. Jeder Effekt wird hier mit der Priorisierung der jeweiligen Anforderung multipliziert. Alle Effekte werden summiert und ergeben den am unteren Ende der Spalte dargestellten Wert -15 (in Abbildung 4.5 blau umrandete Spalte). Dieser Wert ist beim Feature Low Capacity der Minimalwert aller Features und erhält 0%. Den höchsten Wert hat mit 19 Punkten das Feature Hard Key. Diese Werte lassen Rückschlüsse zu, welchen Effekt bestimmte Features auf die Erfüllung der Anforderungen haben. Das Feature Hard Key hat eine hohe Punktezahl und trägt somit positiv zur Erfüllung von Melanies Anforderungen bei. Low Capacity hingegen hat den niedrigsten Wert und somit negative Auswirkungen auf die Erfüllung der Anforderungen. Bei der Frage wie ein Produkt verbessert werden könnte, geben diese Werte erste Hinweise darauf, welche Features verbessert, ersetzt oder wenn erlaubt entfernt werden sollten. Das ist beispielsweise bei der Entwicklung von Produktlinien von Interesse. So können Produkte für spezielle Personengruppen verbessert werden. Im gezeigten Beispiel repräsentiert Melanie die Personengruppe von jungen sehbehinderten Personen.

Die bei Punkt (5) dargestellte Gesamtbewertung ist die Summe der Erfüllungsgrade der Anforderungen bzw. der Features (beide Summen ergeben den gleichen Wert). Der hier gezeigte Wert von 44 hat bei diesem einzelnen Beispiel keine Aussagekraft. Er kann aber bei den folgenden Beispielen für einen direkten Vergleich bei verschiedenen priorisierten Anforderungen dienen.

In Anhang A sind weitere variable Korrelationsmatrizen beigelegt. Abbildung A.1 zeigt die variable Korrelationsmatrix von Produkt 2 bei den Anforderungen von Melanie. In Abbildung A.2 wird Produkt 3 bei Melanies Anforderungen gezeigt.

Analyse von Produkt 1 basierend auf unterschiedlichen Anforderungen

In diesem Beispiel wird ein gegebenes Produkt bei unterschiedlich priorisierten Anforderungen analysiert. Anstatt wie im vorhergehenden Beispiel nur die Anforderungen von Melanie zu berücksichtigen, werden jetzt zusätzlich die Anforderungen von Johannes und Anna betrachtet. Die Ergebnisse der Berechnungen bei diesen unterschiedlichen Priorisierungen werden einander dabei direkt gegenübergestellt. Damit kann (wie in Abbildung 4.6 skizziert) die Frage beantwortet werden, welche Anforderungen der drei Personas das Produkt 1 am besten erfüllt.

Die variable Korrelationsmatrix für diese Fragestellung ist in Abbildung 4.7 dargestellt. Anstatt nur einer Spalte mit Priorisierungen wie im vorigen Beispiel, enthält diese variable Korrelationsmatrix 3 Spalten. In diese im Bereich (1) dargestellten Spalten werden die Priorisierungen aller 3 Personas eingetragen. Die Spalte Priorisierung P1 entspricht den Priorisierungen von Melanie, Spalte Priorisierung P2 denen von Johannes und Priorisierung P3 denen von Anna. Im Bereich (2) sind wie im vorigen Beispiel die in Produkt 1 enthaltenen Features dargestellt. Diese sind gleich wie in Abbildung 4.5. Die Spalten Bewertung P1, Bewertung P2 und Bewertung P3 zeigen die berechneten Ergebnisse für Persona 1, Persona 2 und Persona 3. Diese entsprechen den berechneten Produktsummen der Anforderungen.



Abbildung 4.6: Analyse des emporiaPURE bezogen auf die Anforderungen von Melanie, Johannes und Anna

Bereich (3) zeigt die Anforderung Tasten mit Druckpunkt und die 3 unterschiedlichen Priorisierungen dieser Anforderung. Für die etwas betagtere Anna (Persona 3) ist diese Anforderung aufgrund ihrer bisherigen Gewohnheiten sehr wichtig (Priorität 9). Für die sehbehinderte Melanie (Persona 1) sind Tasten mit Druckpunkt mit 4 priorisiert. Für Johannes hat diese Anforderung die sehr niedrige Priorität 1. Das Feature Hard Key ist das einzige, das sich auf die Anforderung Tasten mit Druckpunkt auswirkt. Es hat einen stark positiven Effekt (+2) auf die Erfüllung dieser Anforderung. Durch die Multiplikation dieses Effekt-Wertes mit der Priorisierung der jeweiligen Persona kommt es zu den rechts dargestellten Bewertungen. Bei Annas Priorisierung ist die Anforderung Tasten mit Druckpunkt bei dieser Produktvariante mit 18 Punkten sehr gut erfüllt. Das ist der höchste Wert aller Anforderungsbewertungen, wodurch er mit 100% gekennzeichnet wird. Bei der Bewertung P1 (Melanie) ergeben sich 8 Punkte. Dieser Wert entspricht erwartungsgemäß dem selben Ergebnis wie im vorigen Beispiel in Abbildung 4.5. Grund dafür ist, dass sich weder das Produkt noch die Priorisierungen von Melanie verändert haben. Allerdings kommt es bei diesem Beispiel zu einem Unterschied bei den Prozentwerten. Das kommt von einem veränderten Wertebereich bei der Normalisierung. Der Wertebereich erstreckte sich beim vorigen Beispiel in Abbildung 4.5 von -7 bis 18. Im aktuellen Beispiel erstreckt er sich von -9 bis 18. Der Minimalwert hat sich also von vormals -7 auf nun -9 bei der markierten Bewertung in Bereich (5) verändert. Bei der vorgestellten Berechnung wird immer der Wertebereich aller Bewertungen berücksichtigt. Der Bereich (6) zeigt die Gesamtbewertungen bei den unterschiedlichen Anforderungspriorisierungen der 3 Personas. Persona 1 hat wie in Abbildung 4.5 eine Summe von 44. Bei Persona 2 sind es 16 Punkte. Bei Persona 3 ergibt die Gesamtbewertung 64 Punkte. Während der Gesamtwert von 44 Punkten im vorigen Beispiel in Abbildung 4.5 keine direkten Aussagen zulässt, können die Gesamtbe-

	1			2									4			5	
	Priorisierung P1	Priorisierung P2	Priorisierung P3	Low Resolution	Hard Key	Speaker	Low Capacity	Single Core	Dual Band	BlueTooth	Europe	German	Intercom	Bewertung P1	Bewertung P2	Bewertung P3	
Hohe Reichweite	5	8	4							1				5 52%	8 63%	4 48%	
Lange Standby-Zeit	7	7	9				-1	1		-1				-7 7%	-7 7%	-9 0%	
Lange Gesprächszeit	7	7	8	1			-2							-7 7%	-7 7%	-8 4%	
Kurze Ladedauer	6	4	3				1							6 56%	4 48%	3 44%	
Robustheit	6	7	8		1									6 56%	7 59%	8 63%	
Geringes Gewicht	6	5	4											0 33%	0 33%	0 33%	
Hochauflösendes Display	0	8	2											0 33%	0 33%	0 33%	
Geringe Größe	5	4	2											0 33%	0 33%	0 33%	
Regionenauswahl	2	3	9								1	1		4 48%	6 56%	18 100%	
Hohe Bandbreite	2	6	1						1					2 41%	6 56%	1 37%	
Exakte Positionsbestimmung	2	9	0											0 33%	0 33%	0 33%	
Hohe Rechenleistung	5	8	1					-1						-5 15%	-8 4%	-1 30%	
Sprachsteuerung	9	2	1			1							1	18 100%	4 48%	2 41%	
Bedienhilfen	9	0	7										1	9 67%	0 33%	7 59%	
Einhändige Bedienbarkeit	5	1	3		1									5 52%	1 37%	3 44%	
Tasten mit Druckpunkt	4	1	9		2									8 63%	2 41%	18 100%	
Hörgeräte Kompatibilität	0	0	9							2				0 33%	0 33%	18 100%	
Vielfältiges Angebot an Applikationen	6	9	1											0 33%	0 33%	0 33%	
Gesamtbewertungen														44	16	64	6

Abbildung 4.7: Analyse von Produkt 1 bei den verschiedenen Anforderungen der 3 Personas

wertungen in Abbildung 4.7 direkt miteinander verglichen werden. Im aktuellen Beispiel zeigt sich, dass Produkt 1 am besten zu den Anforderungen von Persona 3 (Anna) passt. Für Melanie (Persona 2) passt Produkt 1 am zweit besten. Am wenigsten gut werden durch dieses Produkt die Anforderungen von Persona 2 (Johannes) erfüllt.

Die variablen Korrelationsmatrizen für die Produkte 2 und 3 sind im Anhang A beigefügt. In Abbildung A.3 wird Produkt 2 bei den verschiedenen Anforderungen der 3 Personas gezeigt. Abbildung A.4 zeigt die Gegenüberstellung der Erfüllung der verschiedenen Anforderungen bei Produkt 3.

4.6 Szenario 2: Analyse mehrerer Produktvarianten basierend auf gegebenen Anforderungen

Szenario 2 behandelt die Analyse mehrerer Produktvarianten bei gegebenen Anforderungen einer Persona. In diesem Beispiel werden dafür die Anforderungen von Melanie gewählt. Es wird dadurch analysiert, welches der drei Produkte die Anforderungen von Melanie am besten erfüllt. Dieses Szenario ist in 4.8 schematisch skizziert.

Für den Vergleich der 3 Produkte muss für jedes Produkt zuerst die variable Korrelationsmatrix gebildet werden. Dieser Schritt entspricht dem im vorigen Abschnitt 4.5 beschriebenen Schritt zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix. In Abbildung 4.9 wird dieser Schritt



Abbildung 4.8: Analyse der 3 Produkte bezogen auf Melanies Anforderungen

durch die Punkte (1) - (3) gekennzeichnet. Die so erstellte variable Korrelationsmatrix für Produkt 1 ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Die variablen Korrelationsmatrizen für die Produkte 2 und 3 sind dem Anhang A beigefügt. Die variable Korrelationsmatrix für Produkt 2 ist in Abbildung A.1 dargestellt, die von Produkt 3 in Abbildung A.2. Alle diese Berechnungen basieren auf den Anforderungspriorisierungen von Melanie (Bereich (4) in Abbildung 4.9). Wie in Kapitel 3 beschrieben, sollte die Anforderungsliste möglichst statisch sein. Der Grund dafür zeigt sich in diesem Beispiel, da nur durch eine gleichbleibende Anforderungsliste der direkte Vergleich von Produkten möglich ist. In Szenario 2 ist dies der Vergleich von 3 Produkten. Für diesen Vergleich der 3 Produkte werden die kalkulierten Erfüllungsgrade der einzelnen variablen Korrelationsmatrizen in einer Matrix zusammengeführt. Diese kalkulierten Erfüllungsgrade entsprechen den blau hinterlegten Spalten (siehe Bereiche (1) - (3) in der Abbildung). In der so erstellten Matrix sind links die priorisierten Anforderungen von Melanie dargestellt (4). Die aus den variablen Korrelationsmatrizen übertragenen Werte sagen aus, wie gut die 3 Produkte (Spalten) die jeweilige Anforderung (Zeile) erfüllen. Ein Beispiel zeigt, die bei Punkt (5) dargestellte Anforderung *Lange Gesprächszeit*. Diese wurde von Melanie mit dem Wert 7 priorisiert. Produkt 1 erfüllt diese mit -7 Punkten am schlechtesten. Produkt 3 hat 14 Punkte. Am besten wird diese Anforderung von Produkt 2 mit 21 Punkten erfüllt. Die hier dargestellte Tabelle bietet einen direkten Vergleich der Erfüllungsgrade. Für eine detaillierte Analyse dieser Werte kann auf die variablen Korrelationsmatrizen der einzelnen Produkte zurückgegriffen werden. Dort kann festgestellt werden, welche Features ausschlaggebend für den entsprechenden Wert sind (siehe Abschnitt 4.5). Für alle errechneten Werte erfolgt, wie schon bei den vorigen Beispielen, eine Normierung auf Prozentwerte zwischen 0% und 100% und ein Farbmapping zwischen Rot und Grün. Wie bei den Vergleichen in Szenario 1 wird auch hier der Wertebereich aller Berechnungen und nicht nur der Wertebereich pro Spalte berücksichtigt. Der Minimalwert von -8 bei der Erfüllung der Anforderung *Tasten mit Druckpunkt* durch das Produkt 3 entspricht

0% und wird rot hinterlegt. Die Maximalwerte werden mit 36 Punkten von den Produkten 2 und 3 bei der Erfüllung der Anforderung *Sprachsteuerung* erreicht. Somit sind diese grün gekennzeichnet und erhalten 100%. Unterhalb der Spalten mit den Bewertungen pro Produkt sind im Bereich (6) die Gesamtbewertungen der 3 Produkte zu sehen. Diese ergeben sich wie bei der variablen Korrelationsmatrix aus der Summe der einzelnen Erfüllungsgrade. Sie geben Auskunft, welches der verglichenen Produkte die gegebenen Anforderungen am besten erfüllen. Im aktuellen Beispiel erfüllt Produkt 2 die Anforderungen von Melanie mit 137 Punkten am besten. Am zweitbesten ist Produkt 3 mit 104 Punkten. Vergleichsweise wenig Punkte erhält das Produkt 1. Es ist also am schlechtesten für die gegebenen Anforderungen von Melanie geeignet. Da Melanie ein Beispiel aus der Personengruppe von jungen sehbehinderten Personen ist, lässt das Rückschlüsse zu, wie gut die jeweiligen Produkte für diese Personengruppe passen.

Die Produktvergleiche für die Anforderungen von Johannes (Persona 2) und Anna (Persona 3) sind im Anhang A beigefügt. Abbildung A.5 zeigt die Analyse der 3 Produkte bei gegebenen Anforderungen von Johannes, Abbildung A.6 bei den Anforderungen von Anna.

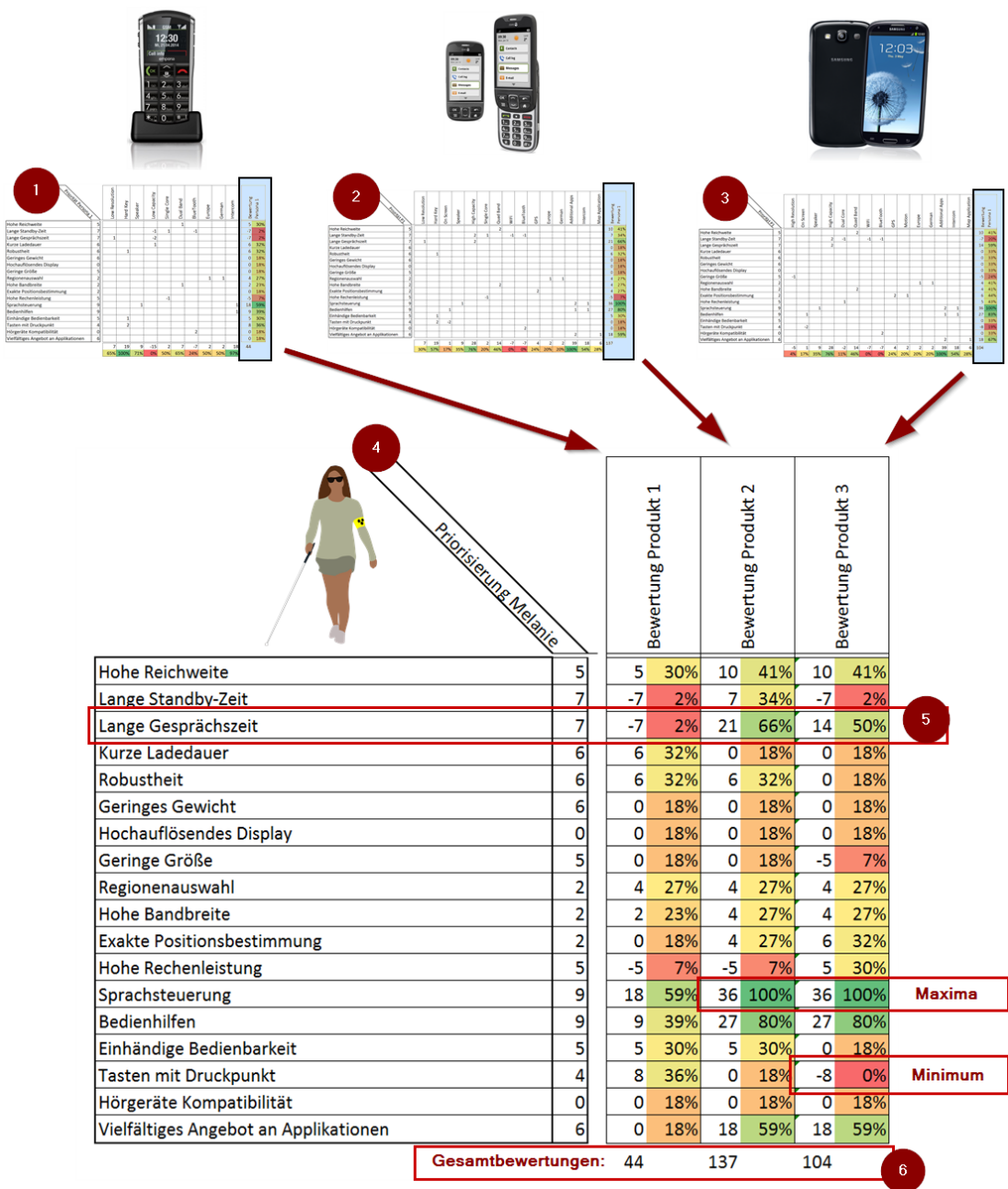


Abbildung 4.9: Vergleich der drei Produkte bei gegebenen Anforderungen von Melanie

Evaluierung

Über die vorgestellte Methode wurde ein Paper verfasst, das beim *VaMoS Workshop* (Variability Modeling in Software-intensive Systems) im Jänner 2015 in Hildesheim vorgestellt und diskutiert wurde [22]. Die Kernthemen der Diskussionen in der Community, sowie das zum Paper und der Präsentation erhaltene Feedback sind in Abschnitt 5.1 zusammengefasst.

Zur zusätzlichen Evaluierung wurde die Methode und die Fallstudie fünf Experten aus den Bereichen Modellierung, Variantenmodellierung und Produktlinienplanung präsentiert. Im Anschluss an die Präsentation wurden die Interviewpartnerinnen und Interviewpartner qualitativ befragt. Die Ergebnisse dieser Befragungen sind in in Abschnitt 5.2 beschrieben.

5.1 Variability Modeling Workshop (VaMoS)

Das eingereichte Paper *A Common Home for Features and Requirements: Retrofitting the House of Quality with Feature Models* [22] wurde von 3 Reviewern begutachtet und von allen drei akzeptiert. Das Paper enthält eine Beschreibung der in Kapitel 3 vorgestellten Methode zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix. Für die zwei in Kapitel 4 gezeigten Szenarios wurden jeweils Minimalbeispiele gezeigt. Die Methode wurde in den Reviews grundsätzlich sehr positiv bewertet, wobei eine Bewertung ein “strong accept” war und 2 Bewertungen einem “weak accept” entsprachen. Die gezeigte Methode war für alle nachvollziehbar und wurde als praktisch anwendbar befunden. Die zwei “weak accepts” wurden mit formalen Fehlern im Paper begründet. Bei der vorgestellten Methode wurden Bedenken wegen Feature-Interaktionen geäußert. Zudem wurde für künftige Arbeiten der Wunsch geäußert, auch die objektiven Messwerte im Keller des klassischen HoQ mit zu berücksichtigen. In einem Review wurde auch vorgeschlagen, die vorgestellten Berechnungen mit Clafer durchzuführen.

Der VaMoS Workshop¹ in Hildesheim war in Themenblöcke gegliedert, wobei pro Themenblock zwei Papers vorgestellt und diskutiert wurden. Vorgesehen war eine 25-minütige Präsentation mit anschließender Diskussion in der Dauer von 20 Minuten pro Paper. Für die Diskussion

¹<http://vamos.sse.uni-hildesheim.de/program> (Stand: 30.01.2015)

Zentrale Erkenntnisse des VaMoS Workshops	
Positiv	Neuer und bisher nicht beschriebener Ansatz
	Die Menge gültiger Konfigurationen lässt sich durch die Verwendung von Feature Models stark einschränken
	Die Methode scheint schlüssig und in der Praxis anwendbar
Offen	Feature-Interaktionen sollten näher betrachtet werden
	Der Keller des klassischen HoQ mit den objektiven Messungen wird in der Methode nicht berücksichtigt
	Instanzgenerierung (Finden von optimalen Konfigurationen) wäre interessant näher zu erforschen. Vor allem im Vergleich mit Clafer

Tabelle 5.1: Diskutierte Punkte beim VaMoS Workshop

wurde eine verantwortliche Person bestimmt, die das Paper im Vorfeld zur kritischen Betrachtung erhielt und die Diskussion moderierte.

Die Diskussionspunkte nach der Vorstellung des Papers deckten sich größtenteils mit den bereits in den Reviews angesprochenen Punkten. Einige Teilnehmer waren von der Einfachheit der Vorgehensweise überrascht. Trotzdem waren sich alle über die praktische Anwendbarkeit einig. Ein dabei diskutierter Aspekt war das Level der Modellierung. Sowohl die Beispiele im Paper als auch die in dieser Arbeit vorgestellten Beispiele sind zugunsten der Verständlichkeit auf einem sehr groben Modellierungslevel. Das FM des Mobiltelefons wurde auf einem Modellierungslevel erstellt, bei dem nur Features einer sehr oberflächlichen Sicht selektiert werden können. Hier wäre es interessant, die Methode auf einer Ebene mit einem höheren technischen Detaillierungsgrad zu untersuchen. Ein Beispiel dafür wäre die noch feinere Modellierung der Prozessoren. Im in Abbildung 4.2 gezeigten FM sind diese lediglich als *Single Core*, *Dual Core* und *Quad Core* modelliert. In der Realität hat aber jedes dieser Features weitere Charakteristika, die auf einer feingranulareren und damit detaillierteren Ebene ebenfalls als Features modelliert sein können.

In Tabelle 5.1 sind die zentralen positiven und verbesserungswürdigen Punkte der Reviews und Diskussionen zusammengefasst.

5.2 Experten-Interviews: Vorgehensweise und Zusammenfassung

Im Sinne einer qualitativen Evaluierung wurden Interviews mit fünf Experten aus den Bereichen Modellierung, Variantenmodellierung und Produktlinienplanung geführt. Die Antworten der Interviews sind anonymisiert dem Anhang B beigelegt. Durch die Anonymisierung wird im Folgenden durch die Bezeichnung Person A - E auf die jeweilige befragte Person verwiesen. Von den fünf Befragten sind die Personen B, C und E aus dem universitären Umfeld. Diese drei Experten beschäftigen sich mit den Themen Modellierung und Requirements Engineering. Interviewpartner A ist Mitarbeiter des wirtschaftlichen Projektpartners SparxSystems. Er ist Experte im Bereich der Modellierung und Trainer bei Kundens Schulungen. Das Interview mit Person D wurde beim VaMoS Workshop geführt. Dieser Experte forscht im Bereich Variantenmodellierung. Dabei legt er sein Hauptaugenmerk auf Decision Models. Trotz des Versuchs, die Inter-

views mit gleich vielen weiblichen wie männlichen Experten zu führen, waren im Umfeld dieser Arbeit fast ausschließlich männliche Interviewteilnehmer zu finden. Aufgrund dieses Umstandes wurde lediglich eine weibliche Expertin (Person E) interviewt. Sie gehört der Gruppe der 3 Interviewten aus dem universitären Umfeld an. Die restlichen 4 Interviewteilnehmer sind männlich.

Im Vorfeld jedes Interviews wurde eine Einführung in die Thematik in Form einer Präsentation gegeben. Diese beinhaltete eine kurze Einführung in Feature Models und das House of Quality. Im Anschluss wurde die in Kapitel 3 beschriebene Methode erläutert. Aufbauend darauf wurden in einer zirka 20 minütigen Präsentation die beiden in Kapitel 4 gezeigten Szenarien vorgestellt. Im Anschluss daran war es den InterviewpartnerInnen möglich, mittels eines Prototyps der variablen Korrelationsmatrix eigenständig Berechnungen durchzuführen. Diese Möglichkeit wurde in unterschiedlichem Ausmaß in Anspruch genommen. Diese reichte von einem zügigen durchklicken der Kalkulationen bis hin zu einem mehrfachen, experimentellen Verändern von Werten in der Matrix und Konfigurationen. Zum Abschluss wurden alle Teilnehmenden anhand der zuvor ausgearbeiteten Fragen interviewt. Die Antworten der Befragten wurden dabei handschriftlich stichwortartig notiert. Diese Notizen wurden digitalisiert und sind dem Anhang B *Interviews: Fragen und Einzelergebnisse* beigelegt. Im Durchschnitt dauerten die Präsentation, das Experimentieren mit dem Prototyp und das Beantworten der Fragen eine Stunde.

Die insgesamt 18 Interviewfragen sind in fünf Gruppen thematisch zusammengefasst:

- **Vorwissen:** Die erste Fragenkategorie soll feststellen, inwiefern die befragte Person Vorwissen im Bereich der Modellierung im Allgemeinen, Modellierung von Variabilität und Quality Function Deployment hat. Basierend auf diesen Fragen soll eruiert werden, ob es bei der Nachvollziehbarkeit der vorgestellten Methode und dem Fallbeispiel Unterschiede gibt, die sich auf die Erfahrung der befragten Person zurückführen lassen.
- **Methode:** Bei dieser Fragenkategorie geht es um die Nachvollziehbarkeit und Schlüssigkeit der in Kapitel 3 beschriebenen Methode. Es soll festgestellt werden, ob die befragte Person der Meinung ist, die Methode in der vorgestellten Form in der Praxis unter angemessenem Zeitaufwand anwenden zu können.
- **Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration):** Das in Abschnitt 4.5 der Fallstudie beschriebene Szenario 1 bildet die Grundlage der dritten Fragenkategorie. Es soll herausgefunden werden, ob das beschriebene Szenario so durchführbar ist und ob sich aus den Berechnungen für die Interviewpartnerinnen und Interviewpartner ein Mehrwert ergibt.
- **Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen):** Das zweite, in Abschnitt 4.6 der Fallstudie beschriebene, Szenario ist Inhalt dieser Fragenkategorie. Analog zu Szenario 1 soll festgestellt werden, ob die errechneten Werte einen Mehrwert bringen und die Ergebnisse für die Befragten Sinn machen.
- **Allgemeine Fragen:** Im letzten Fragenblock geht es um positive und negative Beobachtungen, sowie Verbesserungsvorschläge seitens der interviewten Personen. Zudem wird nach weiteren Anwendungsfällen und möglichen Erweiterungen gefragt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragungen pro Fragenkategorie zusammengefasst.

- **Vorwissen:** Die fünf InterviewpartnerInnen unterschieden sich beim Vorwissen in den Bereichen Feature Modeling, House of Quality und Variantenmodellierung stark voneinander. Person A hat in allen Bereichen rudimentäres Vorwissen. Zwei Personen (Person B und Person D) haben solides Vorwissen im Bereich von Feature Modeling und auch Grundkenntnisse im Bereich der Variantenmodellierung. Person C gibt an, wenig bis kein Vorwissen über Variantenmodellierung zu haben. Person E kennt zumindest die Abbildung von Variabilität in Tabellenform (Spreadsheets). Die Technik House of Quality ist 4 von 5 InterviewpartnerInnen gar kein oder nur ein vager Begriff. Lediglich Person E hat Erfahrung mit QFD und dem House of Quality.
- **Methode:** Alle befragten Personen beurteilten die vorgestellte Methode als verständlich und nachvollziehbar. Lediglich für Person D ist dabei anfangs unklar, welche Rolle bei der variablen Korrelationsmatrix Feature Models spielen. Diese Unklarheit hat sich durch eine kurze Erklärung des Interviewers aufgelöst. Die praktische Anwendbarkeit wird grundsätzlich von allen Befragten positiv bewertet. Hier wird von Person B ein mögliches Problem aufgezeigt, insbesondere Kommunikationsschwierigkeiten die innerhalb interdisziplinärer Teams auftreten können (“vom Gleichen reden”). Für Person D ist die Frage der Anwendbarkeit bei feingranulareren Feature Models als den gezeigten interessant. Für Person E hängt der für die Durchführung der Methode benötigte Zeitaufwand vom Grad der bereits vorhandenen Informationen ab. Darunter sind Informationen gemeint, wie beispielsweise bereits erhobene Anforderungen und Feature Models der Produkte. Wenn die Anforderungen erst erhoben werden müssen, wäre laut Person E der Aufwand zur Anwendung der Methode erheblich höher. Person A, Person C und Person D machen den für die Erstellung der variablen Korrelationsmatrix notwendigen Aufwand vom Tool Support und der Usability der Tools abhängig. Laut Person C ist die Methode mit dem Excel Prototyp nicht praktikabel. Person B befindet den Detaillierungsgrad und die Semantik der Modelle entscheidend für den Aufwand zur Durchführung der Methode.
- **Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration):** Die berechneten Werte in Szenario 1 sind für alle befragten Personen gut nachvollziehbar. Für Person C sind die Prozentwerte zu Beginn etwas verwirrend. Person E gibt an, dass die Prozentwerte ein Umdenken von ihr bekannten Berechnungen erfordert. Für Person B sind die Metriken zwar leicht nachvollziehbar, aber generell schwierig auf einen Blick zu erfassen. Alle Befragten befinden, dass sich in Szenario 1 Fragen über den Erfüllungsgrad von Anforderungen beantworten lassen und die errechneten Werte eine praktische Relevanz haben. Bei der Frage, ob die errechneten Werte Rückschlüsse über die Auswahl bestimmter Features zulassen, befinden die Personen A, B und D dass solche Rückschlüsse über die errechneten Werte direkt möglich sind. Für Person C sind solche Rückschlüsse nur bedingt möglich, da erst bei genauerer Analyse klar ist, ob beispielsweise ein stark positiver Effekt durch einen stark negativen Effekt aufgehoben wird. Produkt 2 des Mobiltelefons hat im Fallbeispiel (Kapitel 4) Drucktasten und ein Touchscreen. Wirken sich nun die Drucktasten positiv auf

eine Anforderung aus und das Touchscreen negativ, so heben sich die Effekte in Summe auf. Die Personen B, C und D geben an, dass die Ergebnisse in Szenario 1 ihrer Intuition entsprechen. Für Person E entsprechen die Ergebnisse zumindest auf den ersten Blick der Intuition. Person A würde gerne mit weiteren Beispielen genauer überprüfen, ob die errechneten Ergebnisse in Szenario 1 den Erwartungen entsprechen.

- **Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen):** Die in Szenario 2 gezeigten Berechnungen bei der Gegenüberstellung von verschiedenen Produktvarianten werden in 4 der 5 Antworten (Personen B, C, D und E) als nachvollziehbar bewertet. Für Person A wären weitere Metriken wünschenswert. Alle InterviewpartnerInnen befinden, dass die vorgestellte Methode eine detaillierte Sicht auf die Erfüllung der Kundenanforderungen bringt. In der Antwort von Person E wird die Methode zwar als praxisrelevant beschrieben, allerdings wird die Übersichtlichkeit bei vielen zu vergleichenden Varianten als Herausforderung gesehen. Person D gibt an, dass ihre Einschätzungen bezüglich der Erfüllung von Anforderungen durch die einzelnen Produkte manchmal daneben liegen. Durch die variablen Korrelationsmatrizen lassen sich die Gründe für diese Abweichungen aber herausfinden. Die Frage, ob das Ergebnis den intuitiven Erwartungen entspricht, beantworten alle Interviewten außer Person A damit, dass dies meistens der Fall ist. In manchen Fällen können der erste Blick oder die “emotionalen Erwartungen” (Person B) aber täuschen. Person A gibt an, mehr Erfahrungswerte in der Anwendung der Methode zu brauchen, um die Ergebnisse intuitiv einschätzen zu können. Alle Befragten empfinden, dass die Methode bei der Entscheidungsfindung hilft. Vor allem komplexe Zusammenhänge können laut Person A besser erfasst werden. Zudem lassen sich laut Person B Zusatzinformationen durch den direkten Vergleich verschiedener Produktvarianten gewinnen, die bei Einzelbetrachtungen übersehen werden würden. Als Voraussetzung dafür wird allerdings genannt, dass die Priorisierungen der Realität entsprechen und die Kundenanforderungen repräsentativ sein müssen.
- **Allgemeine Fragen:** Die Ergebnisse dieser Fragenkategorie werden aufgrund der besseren Übersichtlichkeit in Tabelle 5.2 zusammengefasst.

Die Antworten der einzelnen Interviews sind dem Anhang B beigelegt. Diese Einzelergebnisse sind die Grundlage der hier zusammengefassten Ergebnisse pro Fragenkategorie.

Allgemeine Fragen	
Positiv	Nachvollziehbares Vorgehen
	Klare Aussagen über Auswirkungen und Zusammenhänge
	Plakative Art der Modellierung und Visualisierung
	Einzelne Elemente können gut verstanden und umgesetzt werden
	Gezeigte Resultate haben "Aufforderungscharakter" die Ursachen für spezifische Unterschiede herauszufinden und eventuell Verbesserungen in der Produktfamilie umsetzen zu können
	Das HoQ wird dynamischer, dadurch ergeben sich neue Anwendungsgebiete
	Möglichkeit ganze Produktfamilien zu untersuchen/vergleichen
Verbesserungswürdig	Feinere Granularität (z.B. Aufklappen von Anforderungs-Gruppen)
	Weitere Berechnungsmethoden (z.B. absolute Werte)
	Der Detaillierungsgrad der Gewichtung ist eventuell zu gering
	Metriken weg von Prozentwerten
	Prototyp entwickeln und veröffentlichen
	Integration objektiver/gemessener Eigenschaften (Keller des HoQ)
	Schnittstellen zu anderen Systemen beschreiben/entwickeln
Mögliche Probleme	Unübersichtlich bei großer Anzahl von Requirements
	Schwierigkeiten bei Modellierung der Requirements und Feature Models
	Anständiger Toolsupport ist unabdingbar
	Übersichtlichkeit bei großen Modellen (das Erkennen von „Problem-Features“ kann dann schwierig sein)
	Falsche Ergebnisse bei unüberlegt gewählten Priorisierungen oder unvollständigen Requirements
Weitere Szenarien	Aggregierte Zahlen bei Szenario 2
	Die Berechnungsergebnisse als Analysetool für Feature Models verwenden (Streichen von unnützen Features)
	Erstellung der Matrizen in einem Tool mit guter Usability
	Kombination von Anforderungen mit objektiv gemessenen Attributen (z.B. Stromverbrauch einer Komponente) wäre interessant
	Auslaufprodukte in Produktfamilien identifizieren

Tabelle 5.2: Interview-Ergebnisse des allgemeinen Fragenblocks

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wird das Problem der Berücksichtigung besonderer Anforderungen bei Produktvarianten aufgegriffen. Im Zuge des Projekts MetaMoV wurden in einem Workshop mit der Firma Zumtobel im Bereich der Variantenmodellierung praxisrelevante Fragestellungen identifiziert. Die im Workshop identifizierten Problemfelder sind in Abschnitt 1.3 beschrieben. Von den identifizierten Fragestellungen haben wir das Problem der Berücksichtigung individueller Kundenanforderungen und deren Priorisierungen herausgegriffen und im Zuge dieser Arbeit prototypisch gelöst.

Im Hauptteil dieser Arbeit werden in Kapitel 2 die wichtigsten Konzepte von Feature Models gezeigt. Damit erfolgt eine Einführung in die wichtigsten der weitreichenden Konzepte dieser Modellierungsmethode. Zusätzlich wird in diesem Kapitel der Prozess des *Quality Function Deployments* und das *House of Quality* gezeigt. In Kapitel 3 wird schrittweise eine Methode vorgestellt, bei der Feature Models mit Teilen des House of Quality kombiniert werden. Das zentrale bei dieser Kombination entstehende Element ist die *variable Korrelationsmatrix*. Die variable Korrelationsmatrix bringt die Sicht der variablen Produktmerkmale mit der Sicht der Anforderungen zusammen und ermöglicht dadurch verschiedene Analysen. In einer Fallstudie aus dem Gesundheitsbereich wird die vorgestellte Methode in Kapitel 4 angewendet. Basierend auf der Annahme von Personas und drei realen Produkten wird die vorgestellte Methode in zwei Szenarios durchgeführt. Szenario 1 zeigt, wie mit Hilfe der variablen Korrelationsmatrix analysiert werden kann, wie gut ein Produkt unterschiedlich priorisierte Anforderungen erfüllt. In Szenario 2 wird untersucht, welche Produktvariante bei bestimmten Anforderungen die passendste ist. Die Fallstudie in Kapitel 4 dient hierbei als Proof-of-Concept.

Die zusätzlich zur Fallstudie durchgeführte Evaluierung besteht aus zwei Teilen. Zum einen wurden persönlich Interviews mit Experten geführt. Diese dienten dem Zweck, die vorgestellte Methode auf ihre Praxistauglichkeit hin zu überprüfen. Dabei wurde überprüft, ob die Befragten der Meinung sind, durch die Anwendung der Methode in der Praxis nützliche Zusatzinformationen gewinnen zu können. Eine solche Zusatzinformation ist beispielsweise der Erfüllungsgrad (in Prozent) der priorisierten Anforderungen. Ein weiteres Ziel der Interviews war die Identifikation möglicher Problemfelder und potentieller Schwierigkeiten im praktischen Einsatz der

Methode. Im zweiten Teil der Evaluierung wurde die Methode anhand vereinfachter Beispiele der Fallstudie in einem Paper veröffentlicht und beim VaMoS 2015 Workshop eingereicht. Experten im Bereich der Variantenmodellierung haben die im Paper beschriebene Methode begutachtet und für gut befunden. Sowohl durch die Reviews des Papers, als auch durch den interaktiven Workshop und die damit einhergehende fachliche Diskussionsrunde wurden Stärken und Schwachstellen der Methode und offene Punkte für künftige Arbeiten identifiziert.

Die wichtigsten Erkenntnisse beider Evaluierungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der vorgestellte Ansatz einer Kombination von FM und Teilen des HoQ war in der vorgestellten Form weder den Teilnehmern des VaMoS-Workshops, noch den befragten Personen der Interviews bekannt. Es handelt sich dabei um einen neuen Ansatz zur Berücksichtigung besonders priorisierter Anforderungen bei der Variantenmodellierung. Der Ansatz und die darauf aufbauende Methode wurden gut aufgenommen und als durchgängig und nachvollziehbar beschrieben.
- Die praktische Relevanz der vorgestellten Methode (gemäß Hevner et al. [32]) wird in beiden Teilen der Evaluierung bestätigt. Die interviewten Personen sehen einen Mehrwert in den Berechnungen der variablen Korrelationsmatrix und den dadurch möglichen Analysen und Gegenüberstellungen. Beide vorgestellten Szenarios beantworten die ihnen zugrundeliegenden Fragestellungen.
- Die in Kapitel 3 gezeigten Einzelschritte zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix werden als gut nachvollziehbar und einfach durchführbar beschrieben.

6.1 Ausblick

Folgend werden offene Punkte aufgelistet, die Themen für künftige Arbeiten sein könnten. Dabei handelt es sich einerseits, um bei der Evaluierung identifizierte Problemfelder, und andererseits, um weitere Untersuchungen und Verbesserungen der in dieser Arbeit vorgestellten Methode.

- Die Anwendbarkeit der vorgestellten Methode bei größeren Feature Models und vielen Anforderungen ist ein Punkt für künftige Untersuchungen. Dabei sind einerseits FM mit einem höheren technischen Detaillierungsgrad und der dadurch steigenden Komplexität interessant. Andererseits sind Untersuchungen bei einer sehr großen Anzahl an Anforderungen von Interesse. Eine Herausforderung ist hier die übersichtliche Visualisierung bei sehr großen variablen Korrelationsmatrizen.
- Für die zuvor genannten Versuche mit großen Modellen und mit vielen Anforderungen ist eine angemessene Unterstützung durch Software-Tools unabdingbar. Die prototypischen Berechnungen mit einem Tabellenkalkulationsprogramm zeigen zwar die grundsätzliche Vorgehensweise zur Erstellung der variablen Korrelationsmatrix, für größer angelegte Studien mit verschiedenen Modellgrößen sind manuell zu befüllende Tabellen jedoch nicht

mehr handhabbar. Die Erstellung eines Prototyps – nach Möglichkeit bereits mit Schnittstellen zu bestehenden Modellierungswerkzeugen (Enterprise Architect, Eclipse Modeling Framework) ist ein nötiger Schritt für zukünftige Arbeiten in diesem Bereich.

- Für die Implementierung eines erweiterten Prototyps erscheint es interessant, in künftigen Arbeiten eine mögliche Zusammenführung der in dieser Arbeit vorgestellten Methode mit der Modellierungssprache Clafer zu untersuchen. Clafer hat sich während der Erstellung dieser Arbeit weiterentwickelt und bietet interessante Konzepte und Anwendungen wie Instanzgenerierung und Multi-Object-Optimization und deren Visualisierung auf Basis von Feature-Attributen. Durch eine Kombination mit Clafer würden gemessene oder geschätzte Attribute, wie sie im klassischen House of Quality beschrieben werden, in die hier vorgestellte Methode einfließen. Umgekehrt würde die in dieser Arbeit beschriebene Modellierung gewichteter Kundenanforderungen in Clafer die Möglichkeit mit sich bringen, diese beim Szenario der bereits in Clafer implementierten Instanzgenerierung ebenfalls zu berücksichtigen. Die Möglichkeit der Kombination des hier beschriebenen Ansatzes mit Clafer erscheint also als eine interessante Weiterentwicklung in zukünftigen Arbeiten.
- In der gezeigten Fallstudie werden bei der variablen Korrelationsmatrix einfache Metriken angewendet. Zum Vorstellen der Methode sind diese Metriken ausreichend. In künftigen Arbeiten erscheint die Erweiterung der Metriken interessant. Hierfür müssen in einem ersten Schritt weitere Erhebungen stattfinden, die spezielle Fragestellungen bei der Analyse der variablen Korrelationsmatrix identifizieren. Das Anpassen der Berechnungen auf diese speziellen Fragestellungen macht die Ergebnisse allerdings spezifischer. Diese Spezifität ist bei einer allgemeinen Vorstellung der Methode, wie sie in dieser Arbeit beabsichtigt war, nicht erforderlich.
- Mit der variablen Korrelationsmatrix kann herausgefunden werden, welche Auswirkung die Selektion eines einzelnen Features auf die Erfüllung der Kundenanforderungen hat. In der Praxis kann es jedoch vorkommen, dass die Einzelauswirkung eines Features eine andere ist als die Auswirkung einer bestimmten Feature-Kombination. Der Effekt auf die Kundenanforderungen bei Interaktionen zwischen Features wird in der vorgestellten Arbeit nicht berücksichtigt. Ein Ansatz um diese Effekte korrekt abbilden zu können ist ebenfalls ein offener Punkt für künftige Arbeiten.

Abschließend kann gesagt werden, dass in dieser Arbeit aufbauend auf die Literaturrecherche (Kapitel 2) eine neuartige Methode vorgestellt wurde. Diese Methode adressiert eine, der beim Workshop mit der Firma Zumtobel identifizierten Problemstellungen (siehe Abschnitt 1.3). Dabei handelt es sich um das Problem der Berücksichtigung besonderer Anforderungen bei Produktvarianten. Die hierfür entwickelte *variable Korrelationsmatrix* ist das zentrale Element bei der *benutzerorientierten Evaluierung von Produktvarianten*. Sie wurde anhand eines *Fallbeispiels aus dem Bereich Health Care* vorgestellt und evaluiert. Durch das Fallbeispiel wurde die Durchführbarkeit und Praxisrelevanz der gezeigten Methode überprüft. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen eine solide Grundlage für weitere wissenschaftliche Arbeiten in diesem Bereich bieten.

Weitere variable Korrelationsmatrizen der Fallstudie

In diesem Anhang sind weitere variable Korrelationsmatrizen aus dem Fallbeispiel in Kapitel 4 beigefügt. Sie wurden nach der in Kapitel 3 vorgestellten Methode erstellt. Tabelle A.1 gibt einen Überblick über die einzelnen Abbildungen. Anhand der mit (*) gekennzeichneten Abbildungen wird die *Analyse der variablen Korrelationsmatrix* in Kapitel 4 beschrieben. Die entsprechenden Abbildungen sind in Kapitel 4 zu finden.

Abbildung	Szenario	Beispiel
Abb. 4.5(*)	1	Wie gut erfüllt Produkt 1 die Anforderungen von Melanie?
Abb. A.1	1	Wie gut erfüllt Produkt 2 die Anforderungen von Melanie?
Abb. A.2	1	Wie gut erfüllt Produkt 3 die Anforderungen von Melanie?
Abb. 4.7(*)	1	Wie gut erfüllt Produkt 1 die Anforderungen aller 3 Personas?
Abb. A.3	1	Wie gut erfüllt Produkt 2 die Anforderungen aller 3 Personas?
Abb. A.4	1	Wie gut erfüllt Produkt 3 die Anforderungen aller 3 Personas?
Abb. 4.9(*)	2	Welches Produkt erfüllt die Anforderungen von Melanie am besten?
Abb. A.5	2	Welches Produkt erfüllt die Anforderungen von Johannes am besten?
Abb. A.6	2	Welches Produkt erfüllt die Anforderungen von Anna am besten?

Tabelle A.1: Übersicht über die dargestellten variablen Korrelationsmatrizen

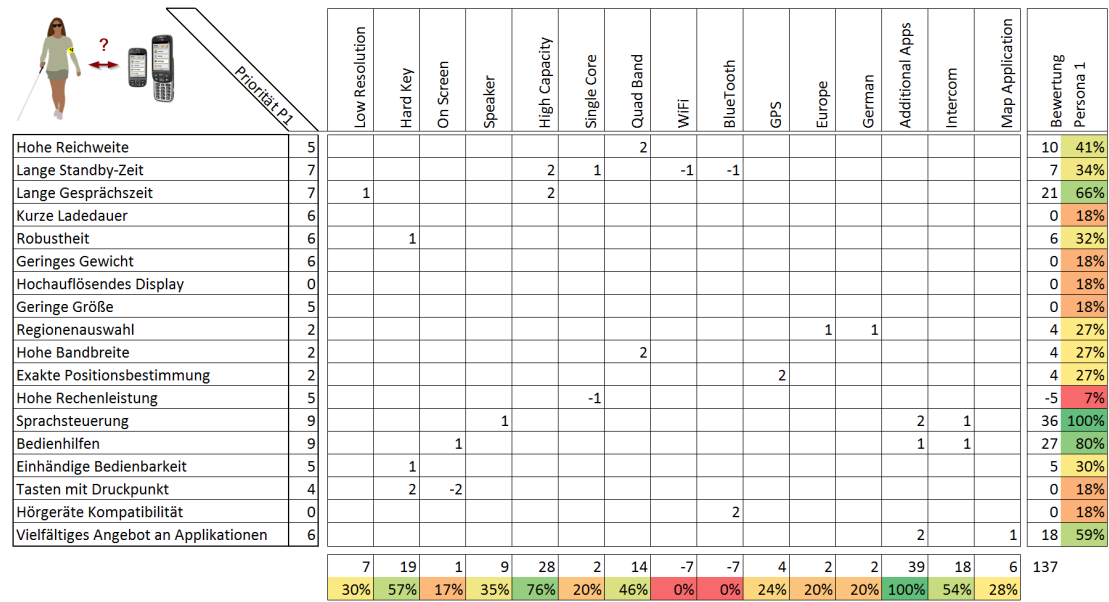



Abbildung A.1: Analyse von Produkt 2 in Bezug auf Melanies Anforderungen



Priority P1

	High Resolution	On Screen	Speaker	High Capacity	Dual Core	Quad Band	WiFi	Bluetooth	GPS	Motion	Europe	German	Additional Apps	Intercom	Map Application	Bewertung Persona 1
Hohe Reichweite						2										10 41%
Lange Standby-Zeit				2	-1		-1	-1								-7 20%
Lange Gesprächszeit				2												14 59%
Kurze Ladedauer																0 33%
Robustheit																0 33%
Geringes Gewicht																0 33%
Hochauflösendes Display																0 33%
Geringe Größe		-1														-5 24%
Regionenauswahl											1	1				4 41%
Hohe Bandbreite						2										4 41%
Exakte Positionsbestimmung									2	1						6 44%
Hohe Rechenleistung					1											5 43%
Sprachsteuerung			1										2	1		36 100%
Bedienhilfen		1											1	1		27 83%
Einhändige Bedienbarkeit																0 33%
Tasten mit Druckpunkt			-2													-8 19%
Hörgeräte Kompatibilität								2								0 33%
Vielfältiges Angebot an Applikationen													2		1	18 67%
	-5	1	9	28	-2	14	-7	-7	4	2	2	2	39	18	6	104
	4%	17%	35%	76%	11%	46%	0%	0%	24%	20%	20%	20%	100%	54%	28%	

Abbildung A.2: Analyse von Produkt 3 in Bezug auf Melanies Anforderungen

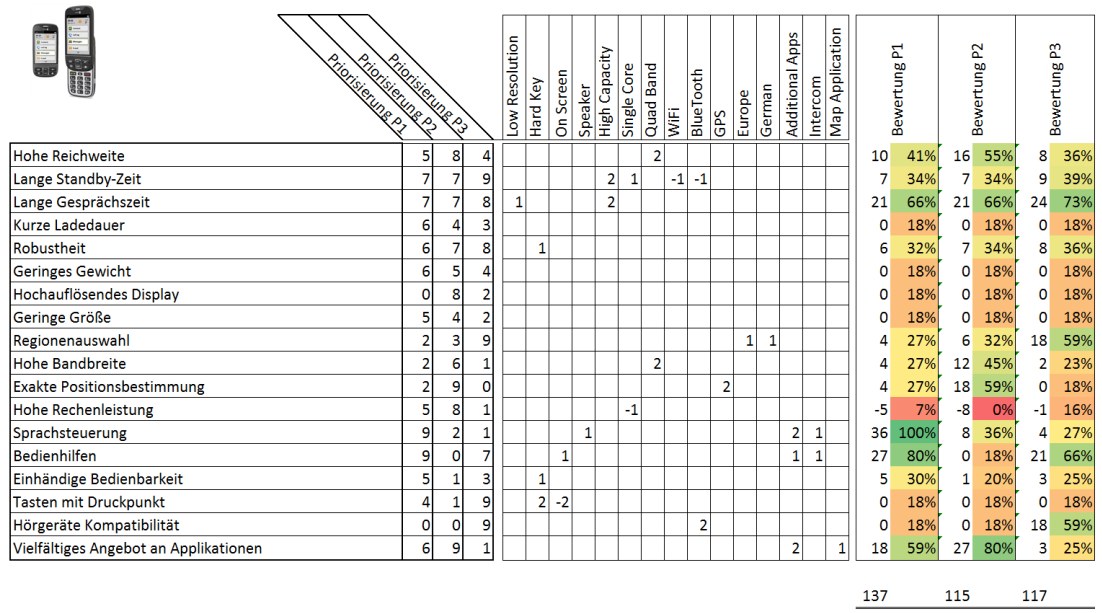


Abbildung A.3: Analyse von Produkt 2 bei den verschiedenen Anforderungen der 3 Peronas

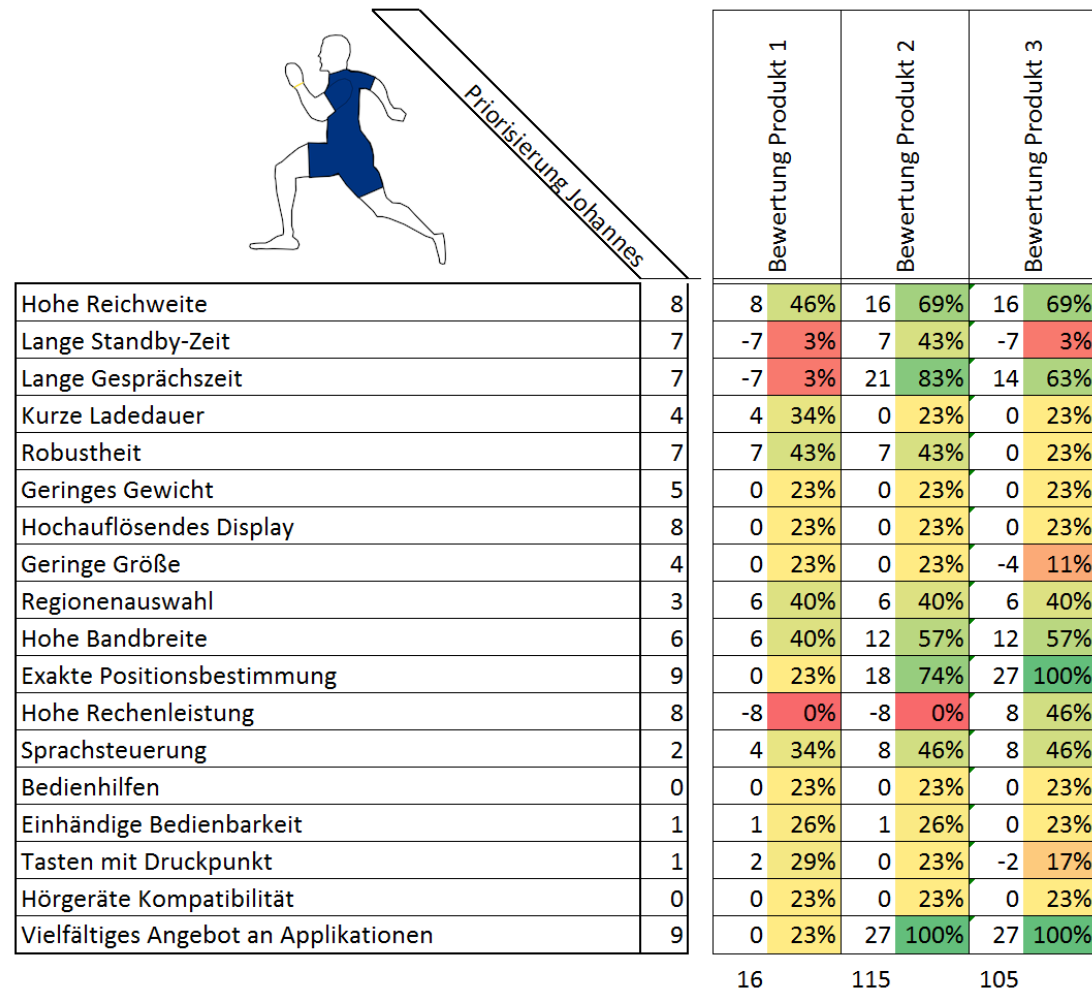


Abbildung A.5: Vergleich der drei Produkte bei gegebenen Anforderungen von Johannes



Priorisierung Anna

		Bewertung Produkt 1	Bewertung Produkt 2	Bewertung Produkt 3
Hohe Reichweite	4	4 52%	8 62%	8 62%
Lange Standby-Zeit	9	-9 21%	9 64%	-9 21%
Lange Gesprächszeit	8	-8 24%	24 100%	16 81%
Kurze Ladedauer	3	3 50%	0 43%	0 43%
Robustheit	8	8 62%	8 62%	0 43%
Geringes Gewicht	4	0 43%	0 43%	0 43%
Hochauflösendes Display	2	0 43%	0 43%	0 43%
Geringe Größe	2	0 43%	0 43%	-2 38%
Regionenauswahl	9	18 86%	18 86%	18 86%
Hohe Bandbreite	1	1 45%	2 48%	2 48%
Exakte Positionsbestimmung	0	0 43%	0 43%	0 43%
Hohe Rechenleistung	1	-1 40%	-1 40%	1 45%
Sprachsteuerung	1	2 48%	4 52%	4 52%
Bedienhilfen	7	7 60%	21 93%	21 93%
Einhändige Bedienbarkeit	3	3 50%	3 50%	0 43%
Tasten mit Druckpunkt	9	18 86%	0 43%	-18 0%
Hörgeräte Kompatibilität	9	18 86%	18 86%	18 86%
Vielfältiges Angebot an Applikationen	1	0 43%	3 50%	3 50%
		64	117	62

Abbildung A.6: Vergleich der drei Produkte bei gegebenen Anforderungen von Anna

Interviews: Fragen und Einzelergebnisse

B.1 Interviewfragen

Vorwissen

1. Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models?
2. Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality?
3. Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung?

Methode

1. Ist die Vorgehensweise verständlich?
2. Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?
3. Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?
2. Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?
3. Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu?
4. Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?
2. Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?
3. Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?
4. Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung?

Allgemeine Fragen

1. Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes?
2. Was ist verbesserungswürdig?
3. Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten?
4. Was sind weitere denkbare Szenarien?

B.2 Interview A

Vorwissen

1. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models?* Rudimentäres Vorwissen ist vorhanden;
2. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality?* Ebenfalls rudimentär;
3. *Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung?* Basiswissen;

Methode

1. *Ist die Vorgehensweise verständlich?* Ja, ist nachvollziehbar;
2. *Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?* Vermutlich anwendbar da klar nachvollziehbar; Der Nutzen ist eindeutig erkennbar;
3. *Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?* Wenn der Tool-Support und Usability passen ist der Aufwand gerechtfertigt; sehr interessantes und praxisrelevantes Wissen (über Anforderungen und wie sie erfüllt werden);

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Ja;
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Aufgrund der Zahlen erkennbare Zusammenhänge;
3. *Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu?* Ja, klar erkennbar welche Features sich wie auswirken;
4. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Wurde nicht überprüft; bräuchte mehr Erfahrungswerte;

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Weitere Metriken/Berechnungen wären wünschenswert;
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Ja
3. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Wurde nicht überprüft; bräuchte mehr Erfahrungswerte;
4. *Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung?* Ja! Vor allem bei komplexen Zusammenhängen;

Allgemeine Fragen

1. *Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes?* Nachvollziehbares Vorgehen; Klare Aussagen über die Auswirkungen und Zusammenhänge
2. *Was ist verbesserungswürdig?* Skalierung: Feinere Granularität z.B. durch "Aufklappen" von Requirements-Gruppen; Weitere Berechnungsmethoden (z.B. zusätzlich absolute Werte)
3. *Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten?* Bei sehr großer Anzahl von Requirements könnte die Darstellung unübersichtlich werden;
4. *Was sind weitere denkbare Szenarien?* z.B. aggregierte Zahlen bei Szenario 2

B.3 Interview B

Vorwissen

1. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models?* Solides Vorwissen; Hat einen eigenen Feature Model Editor implementiert;

2. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality?* Wenig;
3. *Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung?* Hat sich damit bereits beschäftigt;

Methode

1. *Ist die Vorgehensweise verständlich?* Ist verständlich und nachvollziehbar;
2. *Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?* Prinzipiell ja; Mögliche Probleme bei Interdisziplinarität (Translationsaufwand, Verständnisschwierigkeiten, „vom Gleichen reden“);
3. *Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?* Hängt vom Detaillierungsgrad und semantischer Richtigkeit der Modelle ab;

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Leicht nachvollziehbar, aber schwierig auf einen Blick zu erfassen;
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Die praktische Relevanz ergibt sich aus dem realen Einsatz eines Rechentools;
3. *Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu?* Ja, eindeutig;
4. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Entspricht prinzipiell den intuitiven Erwartungen; Erleichtert das Erfassen von weniger prominenten Faktoren (Kundenanforderungen/Features);

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Die Berechnung ist nachvollziehbar;
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Einzelne Details können Aufschluss über mögliche Verbesserungspotentiale geben; Der Vergleich mit anderen Konfigurationen erleichtert das;
3. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Intuitiv ja, kann aber den emotionalen Erwartungen widersprechen;
4. *Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung?* Ja, auf jeden Fall; Die Gegenüberstellung bringt zusätzliche Informationen die bei der Einzelbetrachtung untergehen würden;

Allgemeine Fragen

1. *Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes?* Plakative Art der Modellierung und Visualisierung; Einzelne Elemente können gut verstanden und umgesetzt werden; Die gezeigten Resultate haben Aufforderungscharakter die Ursachen für spezifische Unterschiede herauszufinden und eventuell Verbesserungen in der Produktfamilie umsetzen zu können;
2. *Was ist verbesserungswürdig?* Detaillierungsgrad der Gewichtung eventuell zu gering;
3. *Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten?* Eventuell Schwierigkeiten bei der Modellierung der Requirements und Feature Models;
4. *Was sind weitere denkbare Szenarien?* Ergebnis als Analysetool für Feature Models (Streichen von „unnützen“ Features)

B.4 Interview C

Vorwissen

1. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models?* Hat davon gehört, aber kein Detailwissen;
2. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality?* Hat davon im Zuge einer Lehrveranstaltung an der TU Wien gehört;
3. *Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung?* Nein;

Methode

1. *Ist die Vorgehensweise verständlich?* Ja
2. *Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?* Ja; z.B. mit Instanzgeneratoren und Vergleich von Varianten; Das HoQ wird ja auch in der Praxis angewandt.
3. *Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?* Kommt auf das Tool an; Nur in Excel vermutlich nicht praktikabel;

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Auf den ersten Blick nicht ganz ersichtlich warum z.B. Reihensumme mit 0 “nur” 18% bekommt; Prozentwerte manchmal etwas verwirrend;
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Ja, direkte Auswirkungen auf Reihensumme wenn eine Variante Kundenanforderungen schlecht erfüllt;

3. *Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu? Bedingt; Die Matrix muss genauer analysiert werden; Beispiel: etwas stark negatives wird durch etwas stark Positives aufgehoben;*
4. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen? Ja;*

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar? Ja, ist ähnlich wie bei Szenario 1;*
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz? Die Frage, welche Konfiguration die Kundenanforderungen wie erfüllt, kann beantwortet werden;*
3. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen? Im ersten Moment denkt man, dass das 3. Produkt besser ist. Bei genauerer Betrachtung wird aber klar warum Produkt 2 das bessere ist;*
4. *Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung? Ja, absolut;*

Allgemeine Fragen

1. *Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes? Das House of Quality wird dynamischer; Dadurch ergeben sich neue Anwendungsgebiete;*
2. *Was ist verbesserungswürdig? Metriken weg von Prozentwerten;*
3. *Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten? Anständiger Toolsupport; Dynamisch machen; Verschiedene Fragestellungen mit einem einzigen Tool abdecken;*
4. *Was sind weitere denkbare Szenarien? Weitere Berechnungen mit einem einzigen Tool wären wünschenswert;*

B.5 Interview D

Vorwissen

1. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models? Ja, hat sich im Rahmen eines Projektes mit Variantenmodellierung beschäftigt. Kennt Feature Models, hat aber mehr mit Decision Models gearbeitet.*
2. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality? Nein, beide Begriffe sind nicht bekannt.*
3. *Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung? Wie in der vorigen Frage beantwortet: hat sich mit Decision Models beschäftigt und kennt die gängigen Arten Variabilität zu modellieren.*

Methode

1. *Ist die Vorgehensweise verständlich?* Anfangs war etwas unklar, welche Rolle Feature Models bei der vorgestellten Methode spielen. Nach kurzer Diskussion war das aber nachvollziehbar. Die restliche Vorgehensweise ist verständlich.
2. *Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?* Zumindest auf High-Level Ebene zeigen die vorgestellten Beispiele die Anwendbarkeit. Interessant wären Untersuchungen über die Anwendbarkeit und Übersichtlichkeit bei sehr feingranularen Feature Models.
3. *Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?* Grundsätzlich ja. Kommt allerdings drauf an, wie die Modellierungs- und Auswertungswerkzeuge aufeinander abgestimmt sind. Wie in der vorigen Frage wären ein Beispiel mit sehr großen Modellen interessant.

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Die Berechnungen sind einfach gehalten und intuitiv.
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Die Methode lässt die einzelnen Kundenanforderungen miteinander vergleichen. Das ist sicher eine praktisch relevante Information.
3. *Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu?* Über die Spaltenergebnisse, ja. Allerdings sind diese nur ein Anhaltspunkt. Für genaue Analysen dürften die Werte zu wenig aussagekräftig sein.
4. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Ja, in den gezeigten Beispielen schon.

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Die Berechnungen entsprechen denen aus Szenario 1, also ja.
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Der Vergleich der Produkte ist sehr interessant. Bei den gezeigten Beispielen (Handys für verschiedene Kundenanforderungen) wäre die eine oder andere Einschätzung daneben gelegen. Die Berechnungen lassen den Grund der Fehleinschätzung aber herausfinden.
3. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Wie bereits zuvor beschrieben meistens, aber nicht immer. Aber genau diese Fälle sind die interessantesten, die analysiert gehören.

4. *Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung?* Kommt auf die zu treffenden Entscheidungen an. Vermutlich für manche Stakeholder mehr als für andere (z.B. für Management mehr als für Modellierer).

Allgemeine Fragen

1. *Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes?* Es ist eine neue Herangehensweise, wie sie bisher nicht bekannt war. Im Bereich nicht-funktionaler Properties ist in diesem Umfeld noch nicht so viel erforscht.
2. *Was ist verbesserungswürdig?* Ein Prototyp mit dem die Methode durchgängig erforscht werden kann wäre wünschenswert. Die Integration objektiver/gemessener Eigenschaften wäre ebenfalls interessant (eventuell Bewertung unter funktionalen und nicht-funktionalen Aspekten?).
3. *Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten?* Bei großen und komplexen Modellen könnte die Übersichtlichkeit leiden. Auch das Erkennen von "Problem-Features" könnte dann schwieriger werden.
4. *Was sind weitere denkbare Szenarien?* Weitere Beispiele mit größeren Feature Models wären wünschenswert. Die Kombination von Requirements und objektiven Attributen wäre interessant.

B.6 Interview E

Vorwissen

1. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Feature Models?* Nicht direkt. Weiß was Features sind, hat aber nie mit Feature Models gearbeitet.
2. *Haben Sie Vorkenntnisse im Bereich Quality Function Deployment oder im Speziellen dem House of Quality?* Hat von QFD gehört. Hat im Zuge des Studiums auch vom House of Quality gehört. Hat aber nur gelegentlich mit gewichteten Matrizen gearbeitet.
3. *Haben Sie sonstige Vorkenntnisse im Bereich von Variantenmodellierung?* Kennt die Darstellung von Variabilität in Tabellen. Auch Online-Konfiguratoren sind ein Begriff.

Methode

1. *Ist die Vorgehensweise verständlich?* Ja, ist verständlich. Obwohl keine Erfahrung mit FM ist vorstellbar wie es funktioniert (auch aufgrund von verbreiteten Konfiguratoren). Der Aufbau des HoQ ist "straight-forward".
2. *Ist die vorgestellte Methode in der Praxis anwendbar? Wo könnten hier Probleme auftreten?* Das HoQ lässt sich relativ einfach aufbauen. Bei den Komponenten ist Frage ob Informationen vorhanden sind (Variantenmodelle).

3. *Ist die Methode mit einem angemessenen Aufwand durchführbar?* Kommt drauf an welche “Komponenten” bereits vorhanden sind. Die Erhebung von Anforderungen ist sicher aufwändig, sollte aber sowieso gemacht werden. Bei der Einschätzung des Modellierungsaufwandes fehlt die Erfahrung. Eventuell weniger wenn bestehende Tabellen automatisiert gelesen werden könnten.

Szenario 1 (Analyse einer Produktkonfiguration)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Die Berechnungen sind vom “normalen” House of Quality bekannt. Dementsprechend sind sie nachvollziehbar, ja. Bei verschiedenen Gewichtungen muss allerdings bei den Prozentwerten etwas umgedacht werden. Aber Berechnung könnte notfalls ja geändert werden.
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Die Ergebnisse erlauben direkte Rückschlüsse über Erfüllungsgrad... daher ist auch praktische Relevanz gegeben.
3. *Lassen die errechneten Werte Rückschlüsse auf die Auswahl von Features zu?* Das ist im Gegensatz zum klassischen HoQ neu und etwas ungewohnt. Aber gleich wie die Ergebnisse der Zeilen sagen auch Ergebnisse pro Spalte etwas über Erfüllungsgrad aus.
4. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Aufgrund anderer Domäne so nicht direkt einschätzbar. Auf den ersten Blick ja.

Szenario 2 (Vergleich mehrerer Produktkonfigurationen)

1. *Sind die gezeigten Berechnungen/Metriken nachvollziehbar?* Ja, sind ebenfalls verständlich.
2. *Lassen sich durch die vorgestellte Methode zusätzliche Fragen über die Erfüllung der Kundenanforderungen beantworten? Haben diese eine praktische Relevanz?* Ja, vor allem die direkte Gegenüberstellung von Produkten ist interessant. Bei vielen Varianten könnte das aber unübersichtlich werden. Daher eventuell nur repräsentative Auswahl nehmen.
3. *Entspricht das Ergebnis den intuitiven Erwartungen?* Zumeist ja. Zum Teil sind die Punktabstände aber größer/kleiner als erwartet (z.B. Seniorensmartphone vs. Standard-Smartphone).
4. *Hilft die Methode bei der Entscheidungsfindung?* Ja. Allerdings unter der Voraussetzung, dass die Priorisierungen der Realität entsprechend und die Anforderungen repräsentativ sind.

Allgemeine Fragen

1. *Was ist besonders positiv aufgefallen, was sind mögliche Stärken dieses Ansatzes?* Mit den bisherigen gewichteten Matrizen konnte immer nur ein Produkt bewertet und analysiert werden. Dieser Ansatz ist natürlich auch für ganze Produktlinien interessant. Auch die Vergleiche können den einen oder anderen “Aha-Effekt” bringen.

2. *Was ist verbesserungswürdig?* Müsste sich mehr mit Feature Models beschäftigen bzw. würde gerne Berechnungen für eigene Produkte ausprobieren. Schnittstellen zu anderen Systemen wären sicher wichtig um an Daten zu kommen.
3. *Wo könnten bei der Anwendung Probleme auftreten?* Eventuell bei leichtsinnig gewählten Priorisierungen oder unvollständigen Requirements.
4. *Was sind weitere denkbare Szenarien?* Berechnungen für gesamten Produktkatalog machen und Auslaufprodukte identifizieren. Eventuell schlechte oder wenig gebrauchte Features identifizieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Yoji Akao and Glenn H Mazur. The leading edge in qfd: past, present and future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1):20–35, 2003.
- [2] Michal Antkiewicz, Kacper Bąk, Alexandr Murashkin, Rafael Olaechea, Jia Hui (Jimmy) Liang, and Krzysztof Czarnecki. Clafer tools for product line engineering. In *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference Co-located Workshops, SPLC '13 Workshops*, pages 130–135, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [3] Kacper Bąk, Krzysztof Czarnecki, and Andrzej Wąsowski. Feature and meta-models in clafer: Mixed, specialized, and coupled. In Brian Malloy, Steffen Staab, and Mark van den Brand, editors, *Software Language Engineering*, volume 6563 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 102–122. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [4] Don Batory. Feature models, grammars, and propositional formulas. In Henk Obbink and Klaus Pohl, editors, *9th International Conference on Software Product Lines (SPLC 2005)*, volume 3714 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 7–20, Berlin Heidelberg, 2005. Springer.
- [5] David Benavides, Sergio Segura, and Antonio Ruiz-Cortes. Automated analysis of feature models 20 years later: A literature review. *Information Systems*, 35(6):615 – 636, 2010.
- [6] Thorsten Berger, Ralf Rublack, Divya Nair, Joanne M. Atlee, Martin Becker, Krzysztof Czarnecki, and Andrzej Wąsowski. A survey of variability modeling in industrial practice. In *Proceedings of the Seventh International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems, VaMoS '13*, pages 7:1–7:8, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [7] Lai-Kow Chan and Ming-Lu Wu. Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3):463 – 497, 2002.
- [8] Lai-Kow Chan and Ming-Lu Wu. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. *Omega*, 33(2):119–139, 2005.
- [9] Alan Cooper et al. *The inmates are running the asylum: [Why high-tech products drive us crazy and how to restore the sanity]*, volume 261. Sams Indianapolis, 1999.
- [10] Krzysztof Czarnecki and Ulrich W Eisenecker. Generative programming. 2000.

- [11] Krzysztof Czarnecki, Paul Grünbacher, Rick Rabiser, Klaus Schmid, and Andrzej Wasowski. Cool features and tough decisions: a comparison of variability modeling approaches. In *Proceedings of the sixth international workshop on variability modeling of software-intensive systems*, pages 173–182. ACM, 2012.
- [12] Krzysztof Czarnecki, Simon Helsen, and Ulrich Eisenecker. Staged configuration using feature models. In Robert L. Nord, editor, *Proceedings of the Third International Conference on Software Product Lines (SPLC 2004)*, volume 3154 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 266–283, Berlin Heidelberg, 2004. Springer.
- [13] Krzysztof Czarnecki, Simon Helsen, and Ulrich Eisenecker. Formalizing cardinality-based feature models and their specialization. *Software Process: Improvement and Practice*, 10(1):7–29, 2005.
- [14] Krzysztof Czarnecki and Andrzej Wasowski. Feature diagrams and logics: There and back again. In *Proceedings of the 11th International Conference on Software Product Lines (SPLC 2007)*, pages 23–34. IEEE, September 2007.
- [15] C.P.M. Govers. What and how about quality function deployment (qfd). *International Journal of Production Economics*, 46-47(0):575 – 585, 1996. Proceedings of the 8th International Working Seminar on Production Economics.
- [16] John R Hauser. How puritan-bennet used the house of quality. *Sloan Management Review*, 34(3):61–70, 1993.
- [17] John R Hauser and Don Clausing. The house of quality. *Harvard Business Review*, May–June 1988.
- [18] Daniel Jackson. *Software Abstractions: Resources and Additional Materials*. MIT Press, 2006.
- [19] Kyo C. Kang, Sholom G. Cohen, James A. Hess, William E. Novak, and A. Spencer Peterson. Feature-oriented domain analysis (FODA) feasibility study. Technical Report CMU/SEI-90-TR-21, DTIC Document, November 1990.
- [20] Kyo C. Kang, Jaejoon Lee, and Patrick Donohoe. Feature-oriented product line engineering. *IEEE Software*, 19(4):58–65, 2002.
- [21] Allen S Lee. A scientific methodology for mis case studies. *MIS quarterly*, pages 33–50, 1989.
- [22] Emanuel Mätzler, Bernhard Wally, and Alexandra Mazak. A common home for features and requirements: Retrofitting the house of quality with feature models. In *Proceedings of the Ninth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems, VaMoS '15*, pages 75–79, New York, NY, USA, 2015. ACM.

- [23] Marcilio Mendonca, Andrzej Wąsowski, and Krzysztof Czarnecki. Sat-based analysis of feature models is easy. In *Proceedings of the 13th International Software Product Line Conference*, SPLC '09, pages 231–240, Pittsburgh, PA, USA, 2009. Carnegie Mellon University.
- [24] Alexandr Murashkin, Michal Antkiewicz, Derek Rayside, and Krzysztof Czarnecki. Visualization and exploration of optimal variants in product line engineering. In *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference*, SPLC '13, pages 111–115, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [25] Rafael Olaechea, Steven Stewart, Krzysztof Czarnecki, and Derek Rayside. Modelling and multi-objective optimization of quality attributes in variability-rich software. In *Proceedings of the Fourth International Workshop on Nonfunctional System Properties in Domain Specific Modeling Languages*, page 2. ACM, 2012.
- [26] Sebastian Oster, Philipp Ritter, and Andy Schürr. Featuremodellbasiertes und kombinatorisches testen von software-produktlinien. In *Software Engineering*, pages 177–188, 2010.
- [27] Klaus Pohl. *Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2010.
- [28] Klaus Pohl, Günter Böckle, and Frank J. van der Linden. *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2005.
- [29] Mark-Oliver Reiser. *Managing Complex Variability in Automotive Software Product Lines with Subscoping and Configuration Links*. PhD thesis, Technische Universität Berlin, December 2008.
- [30] Matthias Riebisch, Kai Böllert, Detlef Streitferdt, and Ilka Philippow. Extending feature diagrams with UML multiplicities. In *Proceedings of the Sixth Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT 2002)*, Pasadena, CA, 2002.
- [31] Thomas Thüm, Christian Kästner, Fabian Benduhn, Jens Meinicke, Gunter Saake, and Thomas Leich. Featureide: An extensible framework for feature-oriented software development. *Sci. Comput. Program.*, 79:70–85, January 2014.
- [32] R Hevner von Alan, Salvatore T March, Jinsoo Park, and Sudha Ram. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 28(1):75–105, 2004.