



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Entwicklung und Validierung einer Webanwendung zur Aufnahme von Arbeitsanweisungen für Werkerinformationssysteme

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Gerhard Reisinger

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Bernhard Schauer

01257881

Kirchbach 27

4720 Kallham

Wien, im Oktober 2020

Bernhard Schauer



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2020

Bernhard Schauer

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben. Zuerst möchte ich mich bei Dipl.-Ing. Gerhard Reisinger bedanken, der meine Masterarbeit betreut und überprüft hat. Ich möchte ihm besonders für seine konstruktiven und hilfreichen Anregungen während der Erstellung dieser Arbeit danken.

Spezieller Dank gebührt auch den Beteiligten der Validierung, ohne die diese Arbeit nicht zu realisieren gewesen wäre. Ich danke allen für die Bereitschaft zur Mitarbeit und für die interessanten Anregungen und Lösungen meiner Fragen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern, Anna und Gerold, bedanken, die durch ihre überaus großzügige Unterstützung mein Studium ermöglicht haben und immer ein offenes Ohr für mich hatten.

Besonders danken möchte ich Martin und Claudia für den großartigen Rückhalt und die Unterstützung während meines Studiums.

Kurzfassung

Durch den Trend zur kundenindividuellen Massenproduktion sinken Losgrößen, während die Variantenvielfalt in der Produktion steigt. Trotz der gesteigerten Anforderungen werden weiterhin kostengünstige und hochqualitative Produkte erwartet. Die gesteigerte Komplexität führt zu erhöhtem Abstimmungsaufwand, einer gesteigerten Anzahl an möglichen Arbeitsinhalten und daher zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für Montagefehler. Daher sollen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Montage optimal bei dieser zunehmenden Variantenvielfalt unterstützt werden.

Hierzu werden vermehrt Werkerinformationssysteme eingesetzt, welche Arbeitsanweisungen für die entsprechenden Montageschritte darstellen. Neben aus CAD-Systemen abgeleiteten Anweisungen werden vielfach auch Aufzeichnungen, welche von realen Prozessen stammen, benötigt. Die Aufnahme und Übertragung von Arbeitsanweisungen ist bisher zeitaufwendig und teilweise nur mit proprietären Lösungen möglich.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, eine Anwendung zu schaffen, mit der Arbeitsanweisungen in der Form von Aufnahmen von Realinhalten für Werkerinformationssysteme mit geringem Zeitaufwand und in hoher Zuordnungsgenauigkeit erfasst werden können.

Dabei wird folgende Forschungsfrage gestellt: Wie kann eine Anwendung entwickelt und evaluiert werden, die den Zeitaufwand für die Erfassung und Übertragung von Arbeitsanweisungen in digitale Informationssysteme deutlich reduziert?

Um die Forschungsfrage in Bezug auf wissenschaftliche Anforderungen zu beantworten, wurde die Lösung nach dem DSRM-Prozess-Modell abgeleitet. Bei diesem Modell wird zuerst das Problem identifiziert und das Ziel definiert. Im Anschluss wird der aktuelle Stand der Technik untersucht und eine Demonstratoranwendung als Artefakt konzipiert und definiert. Die Funktionsfähigkeit des Softwareartefakts wird nachfolgend demonstriert und unter qualitativen und quantitativen Gesichtspunkten evaluiert.

Die Ergebnisse dieser Evaluierung zeigten beim Einsatz des Softwareartefakts eine erhebliche Zeitersparnis im Vergleich zum bisherigen Lösungsansatz. Darüber hinaus war stets eine fehlerfreie Zuordnung zu den Arbeitsschritten sichergestellt und es gab ein sehr positives Feedback der Anwenderinnen und Anwender zur Qualität der Demonstratoranwendung.

Abstract

The trend towards mass customization is reducing batch sizes while the number of variants in production is increasing. Despite the increased requirements, cost-effective and high-quality products are still expected. The increased complexity leads to a higher coordination effort, an increased number of possible work contents and therefore to a higher probability of assembly errors. For this reason, employees in the assembly department are to be optimally supported with this increasing variety of variants.

For this purpose, worker information systems are increasingly used, which represent work instructions for the corresponding assembly steps. In addition to instructions from CAD systems, recordings from real processes are widely required. The recording and transmission of work instructions has been time-consuming up to now and in some cases only possible with proprietary solutions.

The aim of this research work is to create an application with which work instructions in the form of recordings of real contents for worker information systems can be recorded with a low expenditure of time and with high allocation accuracy.

The following research question is posed: How can an application be developed and evaluated that significantly reduces the time needed to capture and transfer work instructions to digital information systems?

In order to answer the research question in terms of scientific requirements, a solution was derived based on the DSRM process model. In this model, the problem is first identified and the goal is defined. Subsequently, the current state of the art is examined and a demonstrator application is designed and defined as an artefact. The functionality of the software artefact is subsequently demonstrated and evaluated from both qualitative and quantitative aspects.

The results of this evaluation showed a considerable time saving when using the artefact compared to the previous solution approach. Furthermore, an error-free allocation to the work steps was always ensured and there was a very positive feedback from the users regarding the quality of the demonstrator application.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Einleitung und Motivation.....	5
1.2	Problemstellung und Ziele der Arbeit.....	6
1.3	Methodisches Vorgehen	8
2	Theoretische Grundlagen.....	10
2.1	Industrielle Produktionsprozesse.....	10
2.1.1	Einteilung von industriellen Produktionsprozessen.....	10
2.1.2	Montage als Kernelement der Produktion.....	11
2.1.3	Überblick Montagetätigkeiten.....	12
2.1.4	Zusammenfassung.....	13
2.2	Digitalisierung des industriellen Produktionsumfelds.....	13
2.2.1	Industrie 4.0 als Teil der Digitalisierung	13
2.2.2	Marktorientierung als Treiber der Digitalisierung	17
2.2.3	Auswirkungen durch die zunehmende Digitalisierung	18
2.2.4	Zusammenfassung.....	19
2.3	Werkerinformationssysteme	19
2.3.1	Definition von Werkerinformationssystemen.....	19
2.3.2	Unterteilung von Werkerassistenzsystemen	20
2.3.3	Anforderungen an Werkerinformationssysteme.....	21
2.3.4	Praxisorientierter Überblick Werkerinformationssystemen	21
2.3.5	Zusammenfassung.....	26
2.4	Hardware	27
2.4.1	Smartphones und Tablets	27
2.4.2	Notebooks und PCs	29
2.4.3	Einplatinencomputer	30
2.4.4	Webserver.....	31
2.5	Webanwendungen.....	32
2.5.1	Funktionsweise von Webanwendungen.....	32
2.5.2	Aufbau und Struktur mit HTML.....	33
2.5.3	Design und Gestaltung einer Anwendung mit CSS	35

2.5.4	Anwenderseitige Funktionalitäten mit JavaScript.....	35
2.5.5	Serverseitige Funktionalitäten mit PHP.....	36
2.5.6	Bindeglied zwischen realer und digitaler Welt: QR-Codes.....	36
2.6	Vorgehensmodelle und IT-Entwicklungsstrategien.....	37
2.6.1	Wasserfallmodell.....	37
2.6.2	Agile Methoden	38
2.6.3	Scrum.....	38
2.6.4	Kanban in der Software-Entwicklung	40
2.6.5	Hybride Struktur	41
2.6.6	Entwicklungsstrategien für Software	41
3	Aktueller Stand der Technik	42
3.1	Existierende Lösungsansätze für die Problemstellung.....	42
3.1.1	Bildaufnahme und Hinzufügen der Annotationen.....	43
3.1.2	Videoaufnahme und Editierung.....	44
3.1.3	Audioaufnahme	44
3.1.4	Übertragung auf den Server.....	44
3.2	Ähnliche Lösungsansätze für die Problemstellung	45
3.2.1	AssemblyApp	45
3.2.2	Cioplenu	48
3.3	Sonstige relevante Arbeiten zur Problemstellung.....	50
3.3.1	Sony Transfer & Tagging Add-on.....	50
3.3.2	FTPcam.....	52
3.4	Übersicht.....	52
4	Konzeption	54
4.1	Grundkonzeption	54
4.1.1	Anwendungslandschaft.....	54
4.1.2	Aufbau nach dem Client-Server-Modell	55
4.1.3	Bereitstellung von Schnittstellen	56
4.1.4	Datenstruktur.....	56
4.2	Anforderungsdefinition.....	57
5	Umsetzung	61
5.1	Vorauswahl Lösungsansätze.....	61

5.1.1	Webanwendung	61
5.1.2	Design mittels Bootstrap	61
5.1.3	Bildbearbeitung mit Fabric.js	63
5.1.4	Sprachaufnahmen mit Recorder.js	64
5.1.5	Mehrsprachigkeit	64
5.2	Praktische Umsetzung	65
5.2.1	Vorgehensmodell	65
5.2.2	Atom	66
5.2.3	Server	67
5.3	Präsentation der Demonstratoranwendung	68
5.3.1	Startbildschirm	68
5.3.2	Übergabe Arbeitsschritt als URL-Parameter	68
5.3.3	QR-Code-Scanner	69
5.3.4	Aufnahme von Audio	69
5.3.5	Aufnahme von Bildern	70
5.3.6	Aufnahme von Videos	71
5.3.7	Übertragung der Dateien auf den Server	72
5.3.8	Zugriff auf die aufgenommenen Daten	72
6	Evaluierung	73
6.1	Vorgehensweise	73
6.2	Festlegung der Testinhalte	74
6.3	Quantitative Auswertung	77
6.3.1	Ergebnisse – Aufkleben eines Stickers	79
6.3.2	Ergebnisse – Audioaufnahme Deutsch	81
6.3.3	Ergebnisse – Gummifuß tauschen	83
6.3.4	Ergebnisse – Kabel crimpen	85
6.3.5	Ergebnisse – Dichtmittel aufbringen	87
6.3.6	Ergebnisse – Batterie 2025 tauschen + Kreis um Batterie	89
6.3.7	Ergebnisse – Audioaufnahme Englisch	91
6.3.8	Ergebnisse – Gesamtes Arbeitspaket	93
6.4	Qualitative Auswertung	94
6.4.1	Aufgabenangemessenheit	94

6.4.2	Selbstbeschreibungsfähigkeit	96
6.4.3	Steuerbarkeit.....	97
6.4.4	Fehlertoleranz	99
6.4.5	Individuelle Anmerkungen.....	100
6.4.6	Ergebnisübersicht	101
6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	103
7	Diskussion und Ausblick.....	104
7.1	Diskussion der Ergebnisse	104
7.2	Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse	104
7.3	Mögliche Erweiterung des Einsatzpotenzials	105
7.4	Ausblick	105
7.5	Zusammenfassung	106
8	Anhang	107
8.1	Ordnerstruktur.....	107
8.2	Code	108
8.2.1	index.html.....	108
8.2.2	success.html	115
8.2.3	failed.html.....	116
8.2.4	app.js.....	117
8.2.5	translate.js.....	120
8.2.6	upload.php	121
8.3	Detaillierte Zeiten der Benutzer	124
8.3.1	Vergleichszeit (herkömmlicher Ansatz).....	124
8.3.2	Benutzer 1 (Demonstratoranwendung).....	124
8.3.3	Benutzer 2 (Demonstratoranwendung).....	125
8.3.4	Benutzer 3 (Demonstratoranwendung).....	125
8.3.5	Benutzer 4 (Demonstratoranwendung).....	126
8.3.6	Benutzer 5 (Demonstratoranwendung).....	126
8.4	Fragebogen	127
9	Literaturverzeichnis	133
10	Abbildungsverzeichnis	143
11	Abkürzungsverzeichnis	146

12	Tabellenverzeichnis	148
----	---------------------------	-----

1 Einleitung

1.1 Einleitung und Motivation

Das Schlagwort Industrie 4.0 umfasst den Trend zur Vernetzung des Maschinenparks, sich verändernde Organisationsstrukturen, die Einbindung und Qualifizierung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in vernetzte Arbeitsprozesse sowie IT-Lösungen zum Schutz wertvoller Unternehmensdaten.¹ Vernetzte intelligente Maschinen, Anlagen und Produkte unterstützen dabei das Personal bestmöglich.² Das Ziel ist eine intelligente Fabrik, in welcher Mensch und Maschine durch integrierte Technologien optimal zusammenarbeiten.³

Flexiblere und dezentral koordinierte Produktionsprozesse sind die Weichensteller dieses Paradigmenwechsels (Abbildung 1). Mittels Low-Cost-Automation und durch die Nutzung von Mobilgeräten wird eine Automatisierung für immer kleinere Serien möglich und ökonomisch sinnvoll. Die menschliche Arbeit bleibt jedoch weiterhin ein elementarer Bestandteil der Produktion und erfordert eine Qualifizierung des Produktionspersonals für kurzfristige, verschiedenartige Arbeitstätigkeiten während der Ausgabenausführung.⁴



Abbildung 1 – Kooperative Vernetzung von Menschen und Objekten⁵

Kleinere Losgrößen – bedingt durch das Kundenbedürfnis nach zunehmender Individualisierung – sind Hauptbeweggründe für die Digitalisierung. Dies stellt besonders für Montage- und Produktionsprozesse eine Herausforderung dar. Die sich

¹ vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2017), S. 5

² vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2020), S. 10

³ vgl. Niggemann et. al. (2014), S. 173

⁴ vgl. Spath et. al. (2013), S. 4ff

⁵ ebd., S. 117

dadurch ergebende Varianten- und Konfigurationsvielfalt führt somit zu komplexeren Abläufen.⁶

Mobile Endgeräte eröffnen dabei neue Möglichkeiten bei der Nutzung aktueller Produktionsdaten und können den Aufwand für Dokumentation reduzieren und deren Qualität steigern.⁷ Aufgrund der Popularität von Smartphones und Tablets gibt es eine enorme Anzahl an internetfähigen Geräten, welche für diese Zwecke eingesetzt werden können.

Diese Forschungsarbeit soll dies am Beispiel einer Anwendung zur Aufnahme von Arbeitsanweisungen für den Import in digitale Assistenzsysteme veranschaulichen. Es soll dabei eine schlanke und kosteneffiziente Lösung für dieses Anwendungsfeld entwickelt und validiert werden.

1.2 Problemstellung und Ziele der Arbeit

Werkerinformationssysteme verwenden Arbeitspläne, welche aus einer Abfolge von Arbeitsanweisungen bestehen. Hierfür muss zunächst ein Medienarchiv aufgebaut werden, welches Aufnahmen von Arbeitsanweisungen enthält. Diese Inhalte können dabei Screenshots von 3D-CAD-Modellen oder Aufnahmen von realen Montageschritten sein. Der Aufnahmeprozess von realen Arbeitsinhalten ist arbeitsintensiv⁸ und kann dadurch besonders fehlerbehaftet sein.⁹

Mit dieser Forschungsarbeit soll eine Anwendung zur Aufnahme von realen Arbeitsvorgaben in digitale Werkerinformationssysteme umgesetzt werden. Ziel ist die Entwicklung und Validierung einer schlanken und kostengünstigen Lösung für dieses Anwendungsgebiet. Infolge der höheren Datenverfügbarkeit direkt am Entstehungsort besteht eine stärkere Einbindung in den Fertigungsprozess.¹⁰ Entsprechend dem Gemba-Prinzip (japanisch für „Ort des Geschehens“) sollte auch die Aufnahme der Inhalte direkt vor Ort und mit möglichst wenig Aufwand funktionieren. Dabei führt der Lösungsweg nicht über komplexe Automatisierungsprojekte, sondern geht vielmehr über kleine, praktikable Schritte in Richtung einer flexiblen und schlanken Produktion.¹¹

Die bisherigen Lösungen zur Erfassung realer Inhalte für Mitarbeiterinformationssysteme waren durch proprietäre Anwendungen, fehlende Arbeitsabläufe, eingeschränkte Funktionalität und komplizierte Arbeitsschritte

⁶ vgl. Ternès et. al. (2015)

⁷ vgl. Spath et. al. (2013), S. 60ff

⁸ vgl. Wilhelm (2006), S. 137

⁹ vgl. Feldmann / Lang (2007), S. 725

¹⁰ vgl. Spath et. al. (2013), S. 128

¹¹ vgl. leanmagazin.de (2020)

gekennzeichnet.¹² Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Entwicklung eines Konzepts zur Erfassung realer Inhalte für Werkerinformationssysteme. Dieses System soll möglichst universell einsetzbar sein und ohne großen Implementierungsaufwand in die verschiedenen am Markt verfügbaren Werkerinformationssysteme integrierbar sein.

Auf Grundlage dieses Konzepts soll ein Softwareartefakt (Demonstratoranwendung) entwickelt und umgesetzt werden.¹³ Dieser Demonstrator soll anschließend entsprechend den Zielsetzungen erprobt und validiert werden. Die Ziele definieren sich dabei sowohl in quantitative als auch in qualitative Ziele: Zum einen soll der Zeitaufwand für die Aufnahme und Übertragung von realen Prozessschritten in digitale Informationssysteme deutlich reduziert werden. Andererseits muss auch eine korrekte Zuordnung zu den Prozessschritten sowie eine angemessene Bedienbarkeit sichergestellt werden.

Industrie 4.0 zeichnet sich durch eine Vielzahl an Interaktionen zwischen Mensch und Maschine aus. Diese Interaktionen verändern Arbeitsplätze in der Industrie und werden bedeutende Auswirkungen auf die Art der Arbeit haben, um der zunehmenden Produktionsvariabilität zu entsprechen.¹⁴ Die Grundannahme ist, dass in einer zunehmend komplexen und dynamischen Umgebung die traditionellen Qualifikationsprozesse allmählich in Richtung Vor-Ort-Unterstützung („Learning by Doing“) laufen werden.¹⁵

¹² vgl. Überblick in Kapitel 2.3 sowie aktueller Stand der Technik in Kapitel 3

¹³ vgl. Peffers et. al. (2007), S. 55

¹⁴ vgl. Romero et. al. (2016)

¹⁵ vgl. Zamfirescu et. al. (2014), S. 97

1.3 Methodisches Vorgehen

Die Lösungsentwicklung für das in Kapitel 1.2 erörterte Problem wird nach dem Prozess Modell nach DSRM (Design Science Research Methodology) durchgeführt.¹⁶ Diese Methodologie baut auf bisherige Modelle für Informationssysteme auf und stellt ein Prozessmodell für die Durchführung von Forschung zur Verfügung.¹⁷

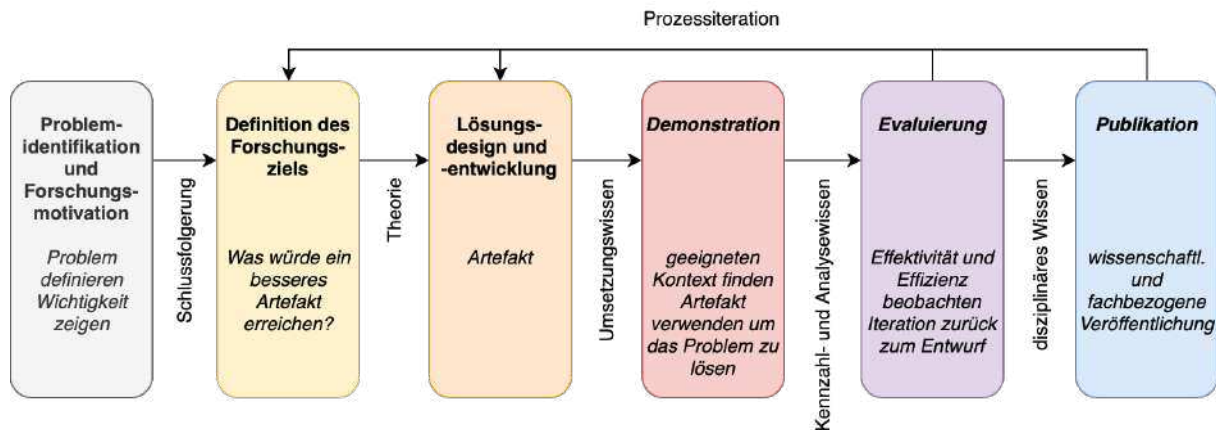


Abbildung 2 – Ausschnitt DSRM-Prozess-Modell¹⁸

Das DSRM-Prozess-Modell gliedert sich dabei in sechs Aktivitäten (Abbildung 2). Diese setzen sich wie folgt zusammen:

a. Problemidentifikation und Forschungsmotivation¹⁹

Die Grundanforderung an die Lösung (Artefakt) ist es, Instruktionsmedien für Werkerinformationssysteme schnell, einfach und vor Ort erstellt zu können. Dazu wird das in Kapitel 1.2 identifizierte Problem in Kombination mit theoretischen Grundlagen (Kapitel 2) und dem aktuellen Stand der Technik (Kapitel 3) vorgestellt und analysiert.

b. Definition des Forschungsziels²⁰

Ausgehend von der Problemidentifikation und der Forschungsmotivation werden als Nächstes konkrete Ziele für das Forschungsvorhaben abgeleitet. Im Zuge des Überblicks über am Markt verfügbare Werkerinformationssysteme können Anforderungen und ein notwendiger minimaler Funktionsumfang definiert werden (Kapitel 4).

¹⁶ vgl. Peffers et. al. (2007), S. 52

¹⁷ vgl. ebd., S. 46

¹⁸ eigene Darstellung (Übersetzung, Ausschnitt), vgl. Peffers et. al. (2007), S. 54

¹⁹ vgl. Peffers et. al. (2007), S. 52

²⁰ vgl. ebd., S. 55

c. Lösungsdesign und -entwicklung²¹

Das Ergebnis dieser Tätigkeit ist eine Lösung in Form eines Artefakts. Wesentlich für ein Artefakt im ingenieurwissenschaftlichen Sinn ist, dass dieses sowohl auf den Stand der Technik Bezug nimmt und gleichzeitig eine Weiterentwicklung dessen beinhaltet. Dazu werden aufbauend auf die Anforderungen in Kapitel 5.1 Lösungsansätze gesucht und im Kapitel 5.2 praktisch umgesetzt.

d. Demonstration²²

Für das konzipierte Artefakt muss gezeigt werden, dass es im Hinblick auf die Problemstellung eine Lösung darstellt (z.B. durch Experimente, Fallstudien, Simulationen, Tests oder Feldstudien). In Kapitel 5.3 wird das Artefakt mit seinem Funktionsumfang demonstriert und im Anschluss von einer Testgruppe überprüft und mittels Fragebogen bewertet.

e. Evaluierung²³

Hierbei erfolgt die systematische Auswertung der aus der Demonstration gewonnenen Daten. Dabei werden diese mit den Zielen entsprechend gegenübergestellt und es werden geeignete Auswertungsverfahren gewählt. Die Auswertung und der Vergleich erfolgen in Kapitel 6.

f. Publikation²⁴

Im letzten Schritt erfolgt die Publikation und die dafür notwendige Diskussion der Ergebnisse sowie die Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse. Darüber hinaus werden weitere Entwicklungsschritte und ein möglicher Ausblick gezeigt. In dieser Forschungsarbeit erfolgt dies in Kapitel 7.

²¹ vgl. Peffers et. al. (2007), S. 55

²² vgl. ebd., S. 55

²³ vgl. ebd., S. 56

²⁴ vgl. ebd., S. 56

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Industrielle Produktionsprozesse

2.1.1 Einteilung von industriellen Produktionsprozessen

Die Wertschöpfung der Industrie stellt nach dem Dienstleistungssektor den größten Anteil am Bruttoinlandsprodukt innerhalb der Europäischen Union dar. In Österreich beträgt der Anteil 21,9 % des BIP, in Deutschland 24,2 % und innerhalb der EU (27) 19,7 %.²⁵

Traditionell wurde der industrielle Produktionsprozess in Einzel- und Serienproduktion sowie Massenproduktion unterschieden. Die Einzel- und Serienproduktion ist definiert durch eine hohe Teilevielfalt, unterschiedliche Teilegeometrie sowie einer hohen Abhängigkeit von Kundenwünschen und einer groben Arbeitsunterweisung. In Massenherstellung wiederum werden ähnliche Teile zu sehr großen Losgrößen und mit geringer Abhängigkeit von Kundenwünschen produziert (Abbildung 3).²⁶

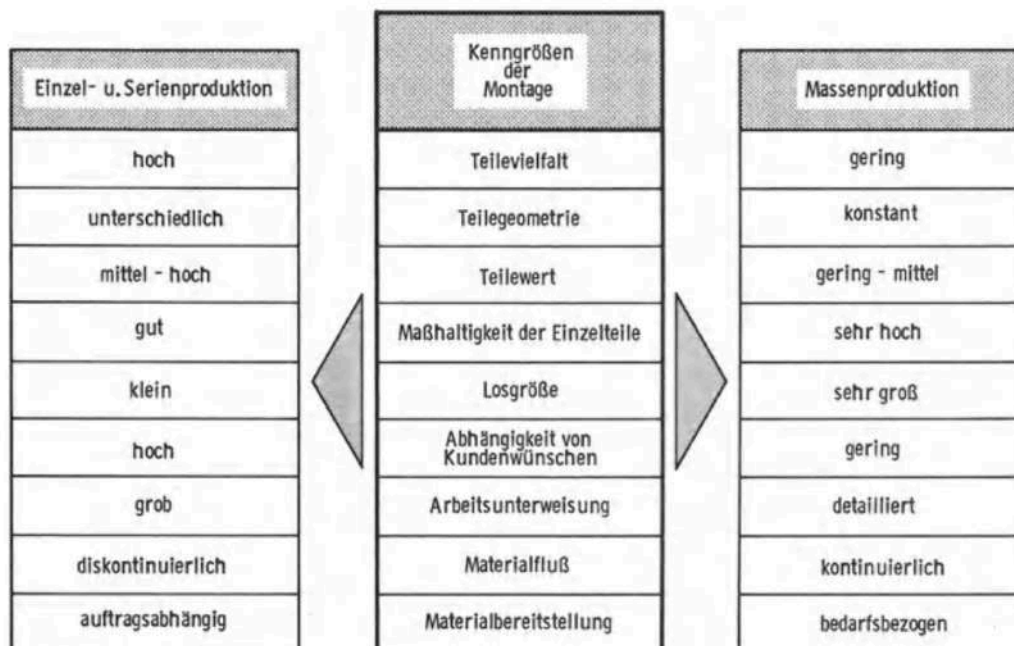


Abbildung 3 – Kenngrößen der Montage²⁷

²⁵ vgl. Wirtschaftskammer Österreich (2020)

²⁶ vgl. Eversheim (1989), S. 141

²⁷ ebd.

Diese strikte Trennung hat sich zunehmend gelöst und viele Merkmale der Einzel- und Serienproduktion sind im Laufe der Zeit und Digitalisierung in der Massenproduktion (beispielsweise Built-to-Order) angekommen.²⁸

So können millionenfach verkaufte Massenprodukte²⁹, wie der VW Golf, nach Kundenwünschen mit verschiedensten Ausstattungen und Motorisierungen konfiguriert und individualisiert werden.³⁰ Mit diesem Beispiel zeigt sich ein möglicher Einsatzbereich von Industrie 4.0: Mass Customization. Darunter wird die Verknüpfung von Massenproduktion und individuellen Produkten verstanden. Durch höhere Anforderungen von Kundinnen und Kunden wird die Produktion somit deutlich komplexer.³¹

2.1.2 Montage als Kernelement der Produktion

„Industriell hergestellte Produkte bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Einzelteilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt werden. Es ist Aufgabe der Montage, aus diesen Teilen ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen in einer bestimmten Zeit zusammenzubauen.“

– Definition nach Montagetechnik. Krauskopf Verlag, Mainz 1975³²

Die Montage stellt dabei ein Kernelement der Produktion dar. Je nach Produkt liegt der Anteil an der Gesamtfertigungszeit bei 15 bis 70 % (Tabelle 1).

<i>Branche</i>	<i>Anteil</i>
<i>Maschinenbau</i>	20 bis 45 %
<i>Fahrzeugbau</i>	30 bis 50 %
<i>Elektro- und Feinwerktechnik</i>	40 bis 70 %

Tabelle 1 – Anteil Montage an Gesamtfertigungszeit³³

Je nach verwendetem Montagesystem ist die Montage personalintensiv und variantenreich. Die automatische Montage erfordert große Stückzahlen und Investitionen, wobei die Flexibilität stark eingeschränkt ist. Die manuelle Montage wiederum bietet ein sehr hohes Maß an Flexibilität bei niedrigen Investitionskosten, während jedoch die Arbeitszeit pro Stück höher sind und diese eher für kleinere Losgrößen geeignet ist. Als Mittelweg gibt es halbautomatische Lösungen

²⁸ vgl. Ternès et. al. (2015), S. 14

²⁹ vgl. focus.de (2020)

³⁰ vgl. konfigurator.volkswagen.at (2020)

³¹ vgl. Westkämper / Löffler (2016), S. 14

³² Warnecke et. al. (1975), S. 11

³³ vgl. Lotter / Wiendahl (2006), S. 3

(Hybridsysteme), bei diesen sind qualitätsbestimmende Füge- und Prüfvorgänge automatisiert (Abbildung 4).³⁴

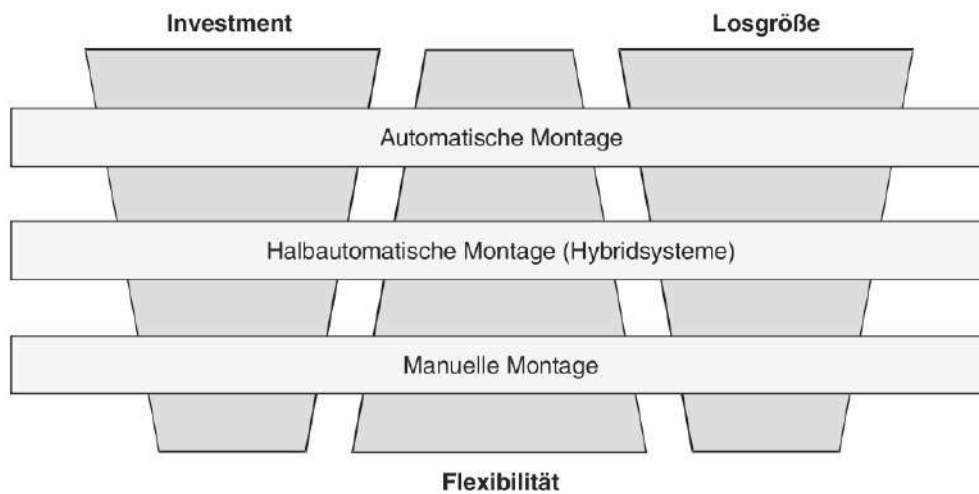


Abbildung 4 – Übersicht Montagesysteme³⁵

2.1.3 Überblick Montagetätigkeiten

Montagetätigkeiten können in eine Vielzahl an Kategorien unterschieden werden. Die Hauptkategorien sind dabei Fügen, Handhaben, Kontrollieren, Justieren und Sonderoperationen (Abbildung 5). Da die Montage besonders personalintensiv ist, wird sie als ein Kernelement der industriellen Produktionsprozesse gesehen.³⁶

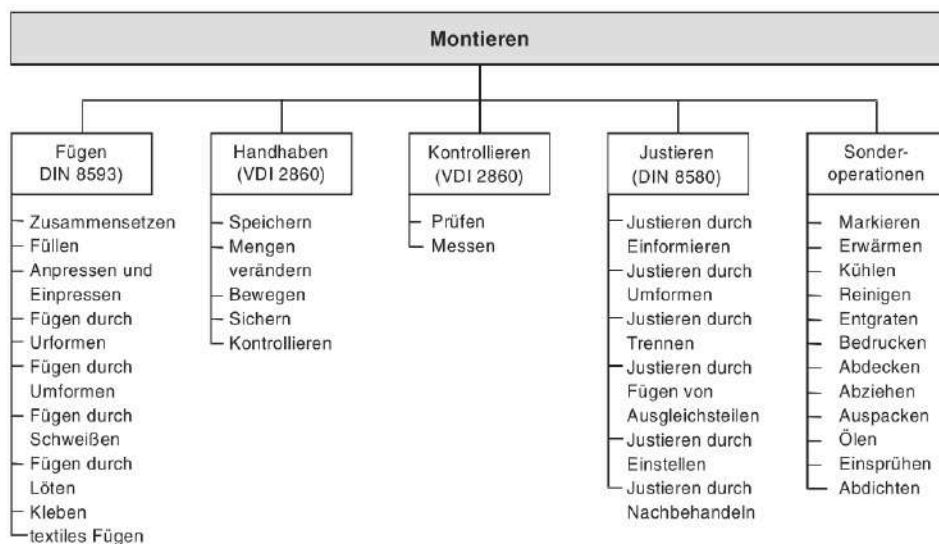


Abbildung 5 – Übersicht Montagetätigkeiten³⁷

³⁴ vgl. Lotter / Wiendahl (2006), S. 3

³⁵ ebd., S. 3

³⁶ vgl. ebd., S. 2

³⁷ ebd., S. 2

2.1.4 Zusammenfassung

Der Industriesektor stellt nach wie vor einen sehr bedeutenden Anteil an der Wertschöpfung innerhalb der Europäischen Union dar. Somit hat das erfolgreiche Bestehen am Markt eine signifikante Auswirkung auf den Wohlstand. Die Montage, welche personalintensiv ist und dadurch besonders in Wettbewerb mit Niedriglohnländern steht, bietet einen besonderen Fokuspunkt. Werkerinformationssysteme können hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unterstützen, individualisierte Produkte schnell und preiswert herzustellen. Somit kann es auch EU-Staaten gelingen, sich gegenüber Niedriglohnländern zu behaupten.

Durch das Bedürfnis von Kundinnen und Kunden zu individualisierter Produktion (Mass Customization) in Kombination mit der zunehmenden Digitalisierung (Kapitel 2.2) besteht hiermit eine Chance, den Anteil der Industrie innerhalb der EU zu halten und gegebenenfalls auszubauen. Da der Mensch in der Montage viel schneller als ein Roboter auf geänderte Gegebenheiten und Arbeitsinhalte reagieren kann (kein Umprogrammieren notwendig), sollte Fokus auf optimierte, qualifizierte Handarbeitsplätze für Einzel und Kleinserien gelegt werden.³⁸

2.2 Digitalisierung des industriellen Produktionsumfelds

In diesem Kapitel wird die zunehmende Digitalisierung im industriellen Produktionsumfeld beleuchtet. Nach einem einführenden Teil werden Gründe dafür als auch Herausforderungen erörtert.

2.2.1 Industrie 4.0 als Teil der Digitalisierung

Nach dem Gabler Wirtschaftslexikon zeichnet sich die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) durch Individualisierung und Hybridisierung von Produkten sowie der Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäftsprozesse aus.³⁹

Durch die Einführung von mechanischen Produktionsanlagen im 18. Jahrhundert, welche mit Dampf- und Wasserkraft betrieben wurden, folgte die erste technologiegetriebene Revolution. Ein Meilenstein war dabei die Ablösung von Muskelkraft und die Unabhängigkeit von Wind und Wetter. Bedeutende Vertreter sind dabei Werkzeugmaschinen, der Webstuhl oder erste Eisenbahnen Anfang des 19. Jahrhunderts.

³⁸ vgl. Zamfirescu et. al. (2014), S. 97

³⁹ vgl. Bendel (2019a)

Aufbauend auf der Weiterentwicklung dieser Technologien und dem zunehmenden Einsatz von Elektrizität folgte gegen Ende des 19. Jahrhunderts die zweite Stufe der industriellen Entwicklung. Es war der Beginn der Massenfertigung, die Kopf- und Handarbeit wurde getrennt (Frederick W. Taylor) und Fließbänder wurden eingeführt (Schlachthöfe von Cincinnati, Automobilproduktion durch Henry Ford).

Mit Anfang der 1970er führten der zunehmende Einsatz von Elektronik und IT zu einer Automatisierung der Produktion. Numerische Steuerungen wurden entwickelt und erste CNC-Werkzeugmaschinen und Industrieroboter kamen auf den Markt (3. Stufe der industriellen Revolution). Vielfach wird „Automatisierung“ als Synonym für Industrie 4.0 verwendet, jedoch war dies bereits mit der 3. Stufe gegeben.

Die vierte Stufe (daher die Bezeichnung Industrie 4.0) besteht aus Cyber-physischen Systemen. Dadurch sind reale Objekte und virtuelle Prozesse miteinander verknüpft und Menschen in offene Regelkreise eingebunden. Zusätzlich zur Automatisierung in der vorigen Stufe können kostengünstige Komponenten, welche flexibel und vernetzt über das Internet der Dinge zusammenarbeiten, verwendet werden (Abbildung 6).⁴⁰

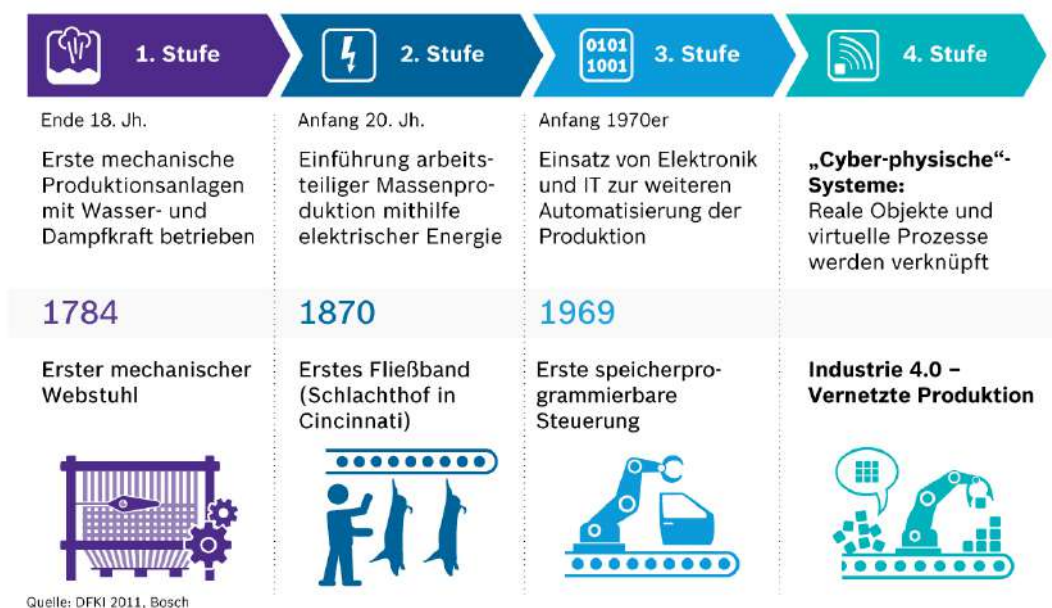


Abbildung 6 – Vier Stufen der Industriellen Revolution⁴¹

Um die Digitalisierung der Industrie voranzutreiben, wurden zahlreiche betriebliche und überbetriebliche Initiativen gestartet (Abbildung 7 zeigt die Initiativen innerhalb der EU). Im deutschsprachigen Raum geht damit vorwiegend der Begriff „Industrie 4.0“ einher.

⁴⁰ vgl. Robert Bosch GmbH (2018); Reinhart (2017), S. XXXIff

⁴¹ Robert Bosch GmbH (2018)

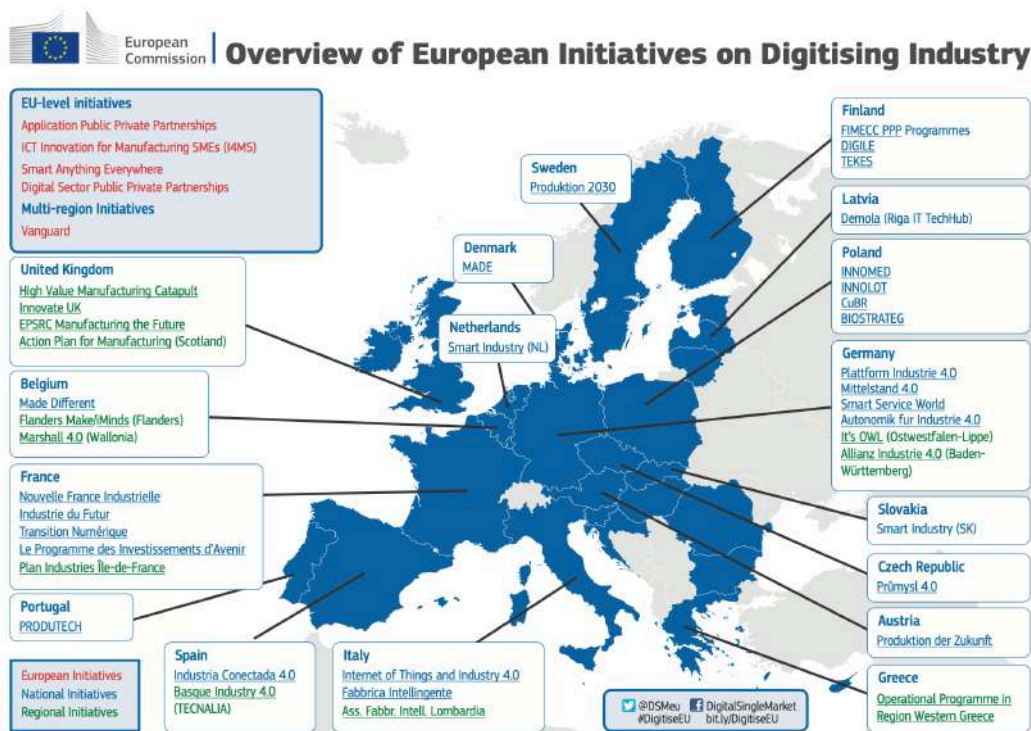


Abbildung 7 – Übersicht Europäische Initiativen zur Digitalisierung der Industrie⁴²

Neben Industrie 4.0 ist besonders im englischsprachigen Raum der Begriff Industrial Internet of Things (IIoT) verbreitet. Trotz großer Schnittmengen (Abbildung 8) können Industrie 4.0 und IIoT unterschieden werden:

- Industrie 4.0 konzentriert sich auf den Produktionssektor, während IIoT alle Bereiche abdeckt, in denen eine industrielle Ausrüstung verwendet wird.⁴³
- Industrie 4.0 deckt nicht nur die reine Verbindung von Anlagen- und Datenmanagement ab, sondern die Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette (Stichwort: CPS).⁴⁴
- Bei IIoT (Industrial Internet of Things) wird das Internet nicht für die Kommunikation zwischen Menschen genutzt. Stattdessen wird Maschinen der gleiche Zugang gegeben, damit diese verfügbare Daten bereitstellen und nutzen können.⁴⁵
- Industrial IIoT (IIoT) ist für den industriellen Einsatz gedacht und soll eine klare Abgrenzung von der IIoT-Welt der Endkonsumenten ermöglichen.⁴⁶

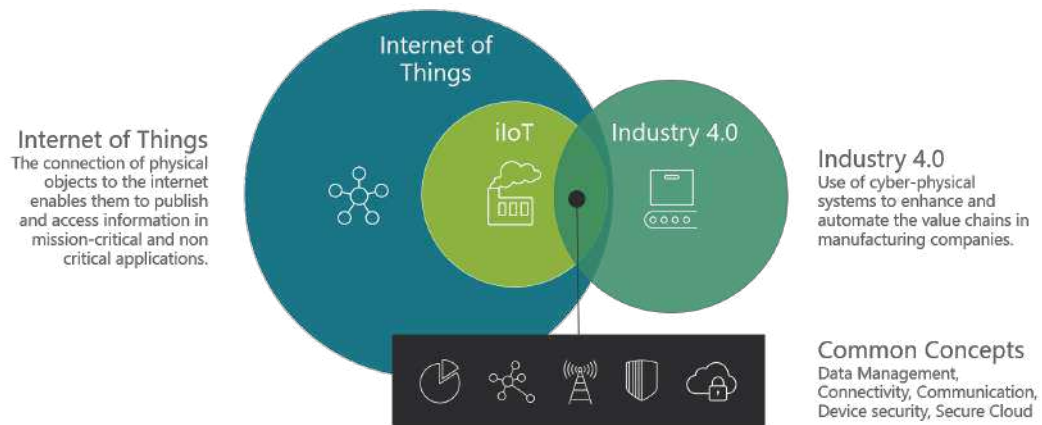
⁴² Europäische Kommission (2016)

⁴³ vgl. Sonntag (2018)

⁴⁴ vgl. ebd.

⁴⁵ vgl. ebd.

⁴⁶ vgl. Sudip (2017)



Source: Daniel Sontag

Abbildung 8 – Einordnung Internet of Things und Industrie 4.0⁴⁷

Neben IIoT werden Big Data, autonome Roboter, Simulation (z.B. digitaler Zwilling), gesteigerte horizontale und vertikale Systemintegration, Cybersecurity, Cloud Computing, additive Fertigung (z.B. 3D Druck) sowie Augmented Reality (AR) als weitere Bestandteile von Industrie 4.0 gesehen (Abbildung 9).⁴⁸

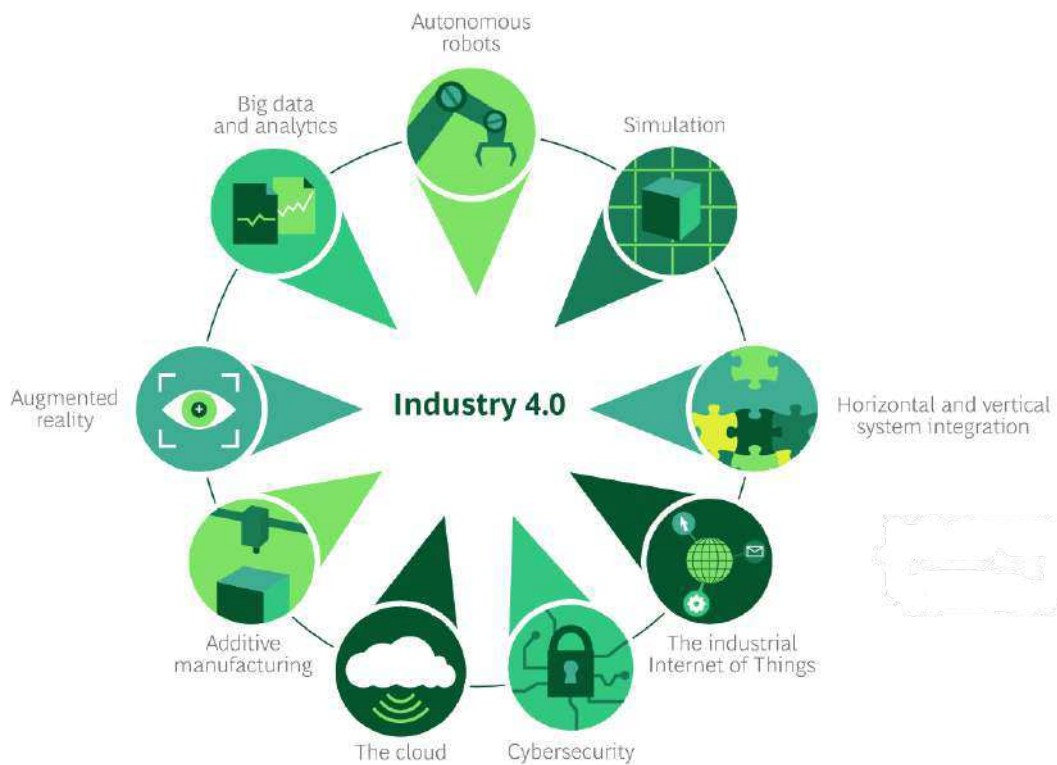


Abbildung 9 – Die neun Technologien für Industrie 4.0⁴⁹

⁴⁷ vgl. Sontag (2018)

⁴⁸ vgl. Boston Consulting Group (2020)

⁴⁹ ebd.

2.2.2 Marktorientierung als Treiber der Digitalisierung

Die Gründe für die zunehmende Digitalisierung und Flexibilisierung der Produktion sind vor allen den steigenden Anforderungen des Marktes geschuldet.⁵⁰ Während früher eine Massenproduktion möglich war, wird heutzutage eine Individualisierung der Produkte erwartet (Abbildung 10).⁵¹ Durch die zunehmenden Erwartungen von Konsumentinnen und Konsumenten hinsichtlich Individualisierung kommt es zu einer Reduzierung des Produktionsvolumens pro Variante bis hin zur Produktherstellung in Losgröße 1. Dies führt zu einer nie da gewesenen Produktvielfalt und Komplexität der Systeme.⁵²

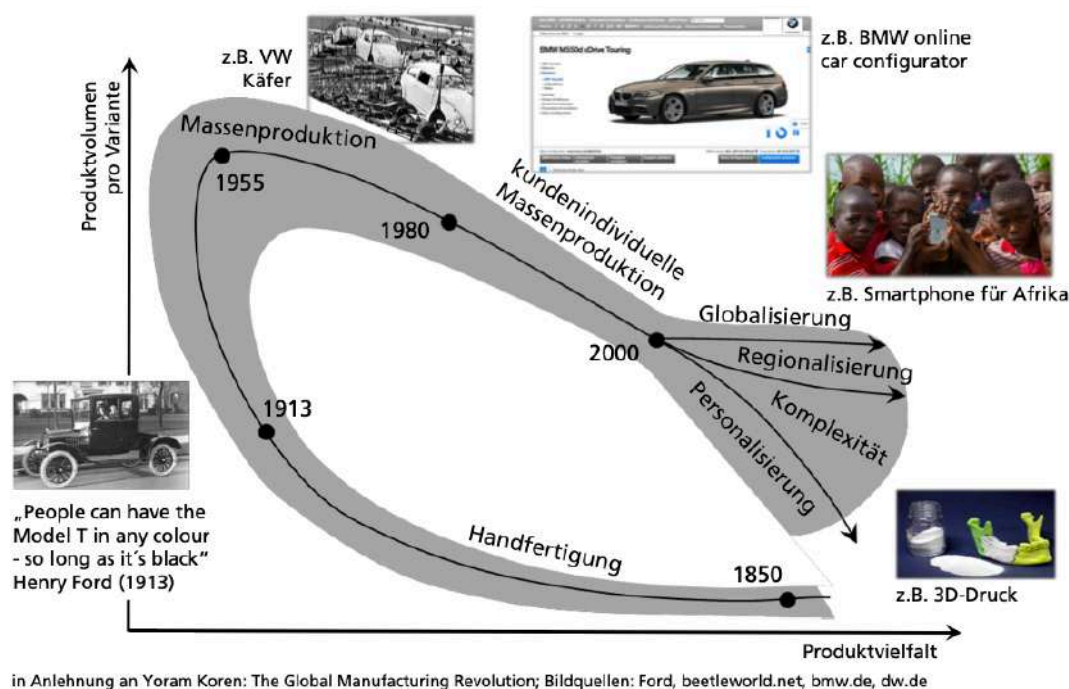


Abbildung 10 – Entwicklung der Produktvielfalt und -volumen über die Zeit⁵³

Unter Zuhilfenahme der aktuellen technischen Lösungen wie additiver Fertigung, Lasertechnik und digitaler Assistenzsysteme bietet sich die Verknüpfung zu kombinierten Lösungen an. So kann mittels additiver Fertigung und Lasertechnik ohne Formen produziert werden. Dies ermöglicht, jedes Bauteil individuell zu gestalten, ohne dass hierfür zusätzliche Kosten innerhalb der Produktion anfallen („Complexity for free“).⁵⁴

Zudem bietet sich mit Industrie 4.0 die Möglichkeit, echtzeitnah zu arbeiten. Cyber-Physische Systeme wie beispielsweise Maschinen und Anlagen erhalten eine eigene

⁵⁰ vgl. Hu (2013), S. 5

⁵¹ vgl. Fraunhofer IPA / Bildstein (2016), S. 12

⁵² vgl. Bednar / Modrak (2014), S. 418

⁵³ Fraunhofer IPA / Bildstein (2016), S. 12

⁵⁴ vgl. Kirchheim et. al. (2018), S. 330

Identität. Dadurch können diese miteinander und mit der Umwelt kommunizieren.⁵⁵ Diese Identität ermöglicht, dass Systeme über das Internet der Dinge und Dienste nicht nur dezentral kommunizieren können, sondern auch auf Basis von aktuellen Betriebsdaten Aufgaben selbsttätig lösen können. CPS, welche in der Produktion eingesetzt sind, werden daher als Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) bezeichnet.⁵⁶

Außerdem ermöglicht der Einsatz von Industrie 4.0 eine deutliche Senkung von Bestands-, Fertigungs-, Logistik-, Komplexitäts-, Qualitäts- und Instandhaltungskosten (siehe Tabelle 2).⁵⁷ Zusätzlich kann der Ressourcenverbrauch über neue, innovative Life-Cycle-Modelle und durch effiziente Prozesse gesenkt werden und der Materialnutzungsgrad gesteigert werden. Eine transparente Struktur und Offenheit der Systeme ermöglichen die Einbindung von Entwicklern und Kunden über Open-Innovation-Konzepte.⁵⁸

Kosten	Effekte	Potenziale
■ Bestandskosten	■ Reduzierung Sicherheitsbestände ■ Vermeidung Bullwhip- und Burbridge-Effekt	-30% bis -40%
■ Fertigungskosten	■ Verbesserung OEE ■ Prozessregelkreise ■ Verbesserung vertikaler und horizontaler Personalflexibilität	-10% bis -20%
■ Logistikkosten	■ Erhöhung Automatisierungsgrad (milk run, picking, ...)	-10% bis -20%
■ Komplexitätskosten	■ Erweiterung Leitungsspannen ■ Reduktion trouble shooting	-60% bis -70%
■ Qualitätskosten	■ Echtzeitnahe Qualitätsregelkreise	-10% bis -20%
■ Instandhaltungskosten	■ Optimierung Lagerbestände Ersatzteile ■ Zustandsorientierte Wartung (Prozessdaten, Messdaten) ■ Dynamische Priorisierung	-20% bis -30%

Tabelle 2 – Geschätzte Kosteneinsparungen durch Industrie 4.0⁵⁹

2.2.3 Auswirkungen durch die zunehmende Digitalisierung

Während eine Mehrzahl der Betriebe durch den Umstieg auf Industrie 4.0 eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit sieht, kann dies besonders für mittelständische Unternehmen eine Herausforderung darstellen. Es besteht zum Teil erheblicher Investitionsbedarf in die digitale Transformation sowie die Notwendigkeit hoher

⁵⁵ vgl. Jazdi (2014)

⁵⁶ vgl. Wagner (2018), S. 18

⁵⁷ vgl. Vogel-Heuser et. al., S. 27

⁵⁸ vgl. Fraunhofer IPA (2014)

⁵⁹ ebd.

Anpassungsbereitschaft.⁶⁰ Zusätzlich ist es notwendig, in Europa eine digitale Souveränität zu schaffen. Somit sollen die Datensicherheit und der Zugang zu vertrauenswürdiger Technologie gewährleistet werden und Abhängigkeitsverhältnis von anderen Regionen vermieden werden.⁶¹

Die kundenindividuelle, angepasste Produktion mit geringen Losgrößen erfordert dabei auch Anpassungen an Produktionssysteme, um das Produktionspersonal in hohem Maße zu unterstützen.⁶² Ein Beispiel hierfür sind Werkerassistenzsysteme, welche die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dieser zunehmenden Variantenvielfalt unterstützen.⁶³ Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 2.3 angeführt.

2.2.4 Zusammenfassung

Um den Digitalisierungsgrad in der europäischen Industrie zu steigern, wurden zahlreiche betriebliche und überbetriebliche Initiativen gestartet. Das Ziel liegt dabei von einer zentral gesteuerten Industrie (Industrie 3.0) zu einem System aus dynamisch zusammenarbeitenden Maschinen und Anlagen („Cyber-Physische Systeme“) zu gelangen. Dieser Wechsel erfordert teilweise hohe Investitionsvolumen und Anpassungen innerhalb der Unternehmensorganisationen, bietet im Gegenzug jedoch erhebliche Einsparungs- und Wachstumspotenziale.

Ein Treiber dieses Paradigmenwechsels ist der Megatrend „Mass Customization“, welcher den zunehmenden Wunsch von Konsumentinnen und Konsumenten nach Individualisierung ihrer Produkte beschreibt. Daraus wird aus einem Massenprodukt ein Produkt mit geringer Losgröße, welches mit Industrie 4.0 weiterhin unter der Nutzung von Skaleneffekten produziert werden kann.

2.3 Werkerinformationssysteme

2.3.1 Definition von Werkerinformationssystemen

Durch die laufende Entwicklung der IT ist es möglich, eine Vielzahl an Informations- und Assistenzsystemen in der Montage einzusetzen.

Die Unterscheidung ist dabei nach verschiedenen Kriterien möglich:⁶⁴

⁶⁰ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015a), S. 30

⁶¹ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015b), S. 5

⁶² vgl. Wagner (2018), S. 63

⁶³ vgl. Kompetenzzentrum Saarbrücken (2020)

⁶⁴ Schlund et. al. (2018), S. 283

- Art der Unterstützung (physisch, kognitiv, organisatorisch, kommunikativ)
- Umfang der Unterstützung (in Teilbereichen bis vollständig)
- Frequenz der Unterstützung (fakultativ bis dauernd)
- Medium (Papier, Bildschirm, Brille, Projektion, ...)
- Design und Gestaltung, Softwareergonomie
- Informationsumfang und -granularität
- Interaktion (Ein-/Ausgabe)
- Statische oder dynamische (auf die momentane Arbeitsaufgabe oder Erfordernis angepasste) Informationsbereitstellung/Assistenz
- Kompetenzniveaus der Nutzer

Werkerinformationssysteme, welche dynamisch Informationen zu den auszuführenden Arbeitsschritten darstellen, können besonders für folgende Produkte nützlich sein: Bei fehleranfälligen Produkten oder Arbeitsschritten, hier können die Informationen in den Fokus gerückt werden und die Arbeitsschritte besonders sorgfältig ausgeführt werden. Außerdem bieten sie Vorteile bei geänderten Produkten, damit die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter nicht versehentlich alte Tätigkeitsmuster durchführt. Besonders bei Abweichungen von in größerer Anzahl produzierten Produkten kann dies relevant sein, da hierbei durch Übung und Gewohnheit auf das laufende Einholen von Informationen verzichtet wird. Auch bei seltenen oder einmaligen Produkten bietet ein dynamisches Werkerinformationssystem erhebliche Vorzüge.⁶⁵

2.3.2 Unterteilung von Werkerassistenzsystemen

Bei Werkerassistenzsystemen handelt es sich um Systeme, welche die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei der täglichen Arbeit unterstützen. Die Unterstützung kann dabei sowohl auf physischer (körperliche Entlastung des Personals) als auch auf kognitiver Ebene geschehen.⁶⁶ Werkerassistenzsysteme sollten dabei zu einer Humanisierung der Arbeitsschritte führen.⁶⁷

Auf kognitiver Ebene erfolgt die Entlastung durch das Bereitstellen von relevanten Prozessinformationen und die Führung durch komplexe Prozesse. Die Informationen werden zur richtigen Zeit am richtigen Ort und in der richtigen Form zur Verfügung gestellt. Kognitive Werkerassistenzsysteme werden auch als Werkerinformationssysteme oder Werkerführungssysteme bezeichnet. Unter Werkerführung wird insbesondere das gezielte Führen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (Werkern) durch Produktionsprozesse verstanden.⁶⁸

⁶⁵ vgl. Reinhart (2017), S. 77

⁶⁶ vgl. Kompetenzzentrum Saarbrücken (2020)

⁶⁷ vgl. Hold et. al. (2016)

⁶⁸ vgl. Grobe (2018)

2.3.3 Anforderungen an Werkerinformationssysteme

Werkerinformationssysteme unterstützen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei der täglichen Arbeit. Durch die Bereitstellung der relevanten Prozessinformationen kommt es zu einer Entlastung als auch zu gesteigerter Qualität durch vorgegebene Prozesse. Die wichtigen Erfolgsfaktoren für Werkerinformationssysteme sind dabei die vielseitige Informationsbereitstellung, Interaktivität, Flexibilität, vielfältige Einsatzmöglichkeiten sowie die Skalierbarkeit und Zukunftsorientierung.⁶⁹

Werkerinformationssysteme, welche Schritt für Schritt entsprechende Informationen darstellen, werden als vielseitig und interaktiv angesehen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erhalten Hinweise zu wiederholten Fehlern und möglichen Gefahren. Durch das stückweise Aufrufen der Informationen werden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht mit Informationen überflutet.⁷⁰

Besonders beim Erlernen neuer Arbeitsanweisungen und den erstmaligen Durchführungen bieten interaktive Lösungen eine deutliche Zeitersparnis.⁷¹ Durch die Anpassung der Unterstützung von Werkerinformationssystemen an das Kompetenzniveau des Anwendenden ergeben sich ein großes Potenzial für Lernen und Effizienzsteigerungen. Außerdem lassen sich die Akzeptanz und die Nutzungsintensität steigern.⁷²

Optimale kognitive Werkerassistenzsysteme sind nicht nur auf einen bestimmten Vorgang (z.B. Montage) eingeschränkt, sondern lassen sich übergreifend für die gesamte Produktion (z.B. Instandhaltung, Qualitätsprüfung, Mitarbeiterschulung) einsetzen.⁷³ Zusätzlich sollte ein Werkerinformationssystem skalierbar und zukunftsorientiert sein. Dadurch kann dieses mit dem Unternehmen mitwachsen. Außerdem sollte durch eine einfache Benutzeroberfläche (GUI) der Schulungsaufwand gering gehalten werden und eine Kompatibilität mit bestehenden Systemen (z.B. ERP) möglich sein.⁷⁴

2.3.4 Praxisorientierter Überblick Werkerinformationssysteme

Werkerinformationssysteme zeigen Arbeitsanweisungen auf Bildschirmen, AR-Brillen oder Mobilgeräten an. Sie führen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Handarbeitsplatz Schritt für Schritt durch die Arbeitsabläufe und können teilweise auch Automatisierungseinheiten steuern. Ein intelligentes Assistenzsystem nach den Idealen der Industrie 4.0 ermöglicht auch die Dokumentation der Prozesse,

⁶⁹ vgl. Grobe (2018)

⁷⁰ vgl. ebd.

⁷¹ vgl. Watson et. al. (2010), S. 89

⁷² vgl. Schlund et. al. (2018), S. 281

⁷³ vgl. Grobe (2018)

⁷⁴ vgl. ebd.

Rückverfolgbarkeit, visuelle Arbeitsanweisungen und eine schnelle Einarbeitung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.⁷⁵

Ein Überblick über mögliche Funktionen von Werkerinformationssystemen wird nun anhand von Lösungen aus der Praxis gegeben:

- SK Assembly
- MiniTec
- ELAM-Software
- AssemblyVision
- SAP Manufacturing Execution (SAP ME)
- Demonstrator für die Pilotfabrik der TU Wien

Bei dieser Auflistung handelt es sich vor allem um Lösungen aus Mitteleuropa, diese wurden exemplarisch genannt, um typische Funktionen zu zeigen. Es gibt selbstverständlich Lösungen außerhalb der EU wie beispielsweise Job Element Monitor⁷⁶ und Tulip⁷⁷.

SK Assembly⁷⁸

SK Assembly, auch bekannt als „der schlaue Klaus“, ist eine Lösung für Werkerführung in der THT-Bestückung und der manuellen Montage der Optimum datamangement solutions GmbH aus Karlsruhe. Abbildung 11 zeigt einen beispielsweise Aufbau samt Touchscreen, LED-Flächenbeleuchtung, Kamera, RGB-Unterleuchte sowie Bearbeitungsrechner samt Zubehör. Über die integrierte Kamera und den Touchscreen erfolgt das Einlernen neuer Arbeitsanweisungen über die bereitgestellte Software.

Diese Lösung bietet eine Echtzeitüberwachung des Montageprozesses, welche automatisch auf den nächsten Schritt schaltet, sobald der Montageschritt korrekt ausgeführt wurde. Zusätzlich kann jeder Montageschritt automatisch dokumentiert werden und es besteht auch die Möglichkeit, Montagewerkzeuge zu integrieren.

SK Assembly zeigt, wie die Kombination von Hardware und Software zu einer deutlichen Vereinfachung der Montageprozesse führen kann. Um die Kameraüberwachung effektiv nutzen zu können, ist jedoch das Anlernen an den jeweiligen Arbeitsschritt notwendig und daher ist diese Lösung eher für die Serienfertigung geeignet. In diesem Fall bietet sich durch die laufende Überwachung die Möglichkeit, laufend die korrekte Erledigung der Arbeitsinhalte zu überprüfen.

⁷⁵ vgl. Concepts / Approaches (2017), S. 77

⁷⁶ vgl. eFlex Systems (2020)

⁷⁷ vgl. Tulip Interfaces (2020)

⁷⁸ vgl. Optimum datamangement solutions GmbH (2020)

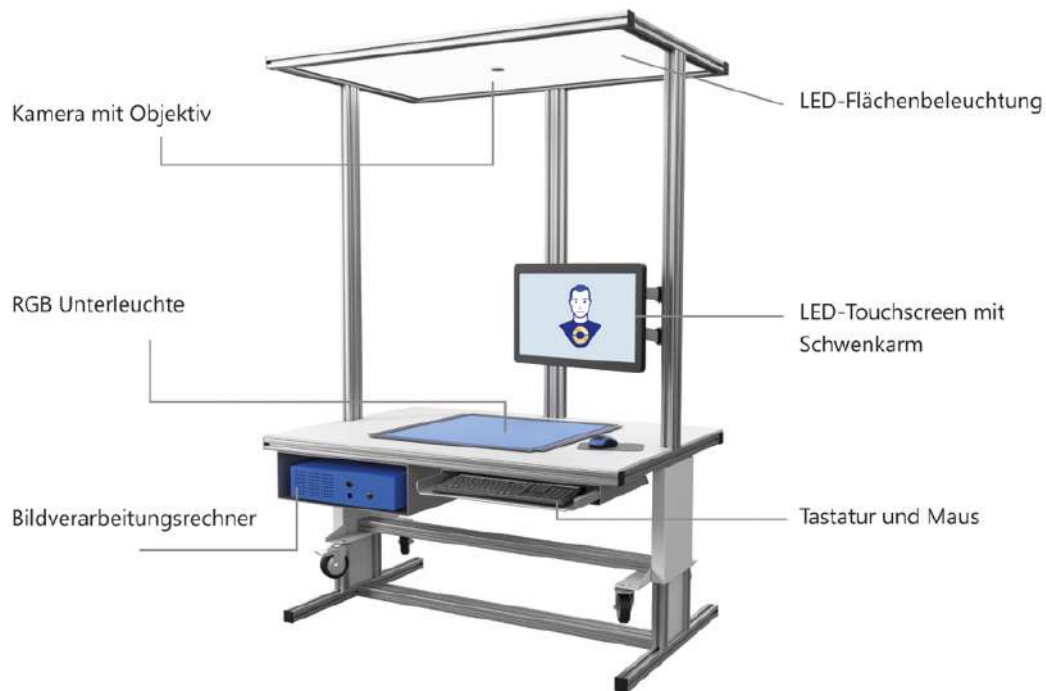


Abbildung 11 – typischer Aufbau SK Assembly⁷⁹

MiniTec⁸⁰

Die MiniTec GmbH & Co. KG aus Schönenberg bietet neben den technischen Bauteilen für den mechanischen Aufbau von Arbeitsplätzen die Anbindung von Pick2Light-Systemen (für Pick- und Put Vorgänge, Abbildung 12), sowie eine Touchscreen Bedienung für komplexe Arbeitsabläufe.



Abbildung 12 – MiniTec Pick2Light Arbeitsplatz⁸¹

⁷⁹ Optimum datamangement solutions GmbH (2020)

⁸⁰ vgl. MiniTec GmbH & Co. KG (2020)

⁸¹ ebd.

Dieses System kann für die Schulung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die Unterstützung von Montagetätigkeiten (insbesondere bei variantenreichen Produkten) oder bei der Qualitätskontrolle eingesetzt werden.

ELAM-Software

Die ELAM-Software der Armbruster Engineering GmbH & Co. KG aus Bremen ist ein Assistenzsystem für die manuelle Montage. Die Anwendung findet im Wareneingang, in der Kommissionierung, Montage, Prüftechnik sowie in Verpackung und Versand ihren Einsatz.⁸² Über Schnittstellen besteht die Möglichkeit zur Integration und Verknüpfung mit anderen Systemen sowie die Anbindungen von Hardware wie Schraubern und Barcode Handscannern (Abbildung 13).⁸³ Über die integrierte Software können Schritt für Schritt elektronische Prozessanweisungen erstellt werden.⁸⁴

Durch die Möglichkeit der Anbindung an andere Hard- und Software zeigt sich, dass ein Assistenzsystem nicht für sich betrachtet werden kann, sondern eingebettet in das gesamte Fertigungsumfeld betrachtet werden muss. Für eine Lösung ist es daher elementar, dass bei dieser auf größtmögliche Kompatibilität und Anpassbarkeit Wert gelegt wird.



Abbildung 13 – ELAM Bildschirm samt verknüpftem Handscanner⁸⁵

AssemblyVision⁸⁶

AssemblyVision von WIBOND Informationssysteme GmbH aus Parkstein bietet eine interaktive, visuelle Montagehilfe für Einzelarbeitsplätze, um Arbeits- und Prüfanweisungen, Stücklisten, Zeichnungen, Bilder, Videos und Probleme sowie Störungen anzuzeigen.

⁸² vgl. Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020a)

⁸³ vgl. Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020b)

⁸⁴ vgl. Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020c), S. 10

⁸⁵ Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020a)

⁸⁶ vgl. WIBOND Informationssysteme GmbH (2016)

Laut Hersteller stehen dabei eine papierlose, zentrale Bearbeitung und die Speicherung der Montage- und Prüfanleitungen im Vordergrund. Abbildung 14 zeigt dabei den typischen Aufbau der Systemarchitektur. Diese besteht aus mehreren Touchscreens in der Fertigung an den Arbeitsplätzen, zusätzlichen Bildschirmen über die Fertigungsinformationen sowie einem Server mit Datenbank und Verwaltungssoftware im Hintergrund für die Arbeitsvorbereitung. Die Arbeitsanweisungen können darüber zentral verwaltet werden.

Das System ist in Kombination mit einem Pick-to-Light-System, E-Kanban-Sensoren, sowie Schraubern, Scannern, Kameras und Signalleuchten möglich und bestätigt daher die Anforderung nach größtmöglicher Kompatibilität und Anpassbarkeit.

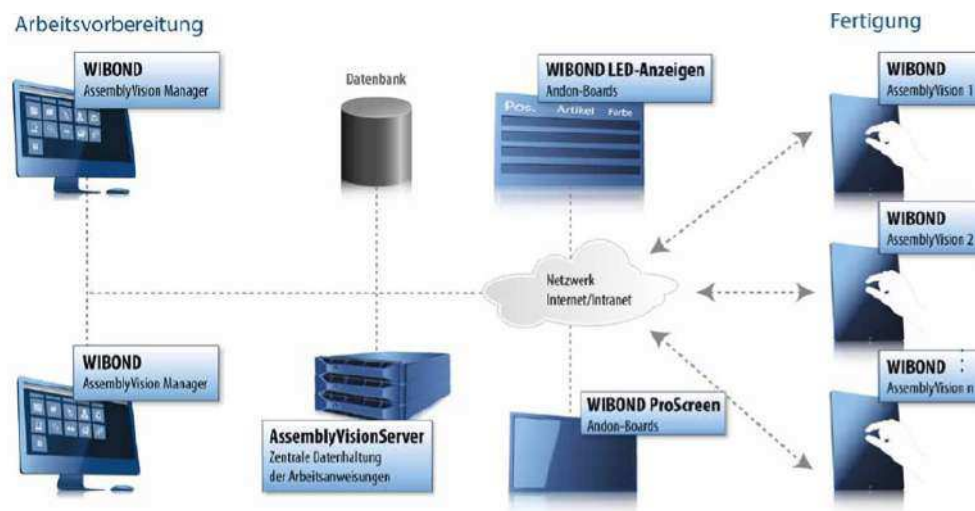


Abbildung 14 – AssemblyVision Systemarchitektur⁸⁷

SAP Manufacturing Execution (ME)

SAP ME bietet sich durch fertige Schnittstellen besonders für Unternehmen an, welche bereits SAP ERP verwenden. Aufgrund des Einsatzgebiets von SAP ERP wird diese Fertigungslösung bei vielen globalen Herstellern eingesetzt. Im Gegensatz zu bisher genannten Lösungen handelt es sich um eine weniger montagezentrierte Lösung, sondern eine Lösung, welche vor allem Echtzeitdaten aus der Produktion an die Unternehmensplanung liefern soll und eine Überwachung der Arbeitsschritte ermöglicht.⁸⁸

Über das Steuerrezept aus SAP ERP können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durch den Herstellungsprozess geführt (Electronic Work Instructions) werden. Dabei können Herstellungsanweisungen, Prozessmeldungen, Prozessvorgabewerte, Gefahrenstoffhinweise und mehr angezeigt werden.⁸⁹

⁸⁷ WIBOND Informationssysteme GmbH (2016)

⁸⁸ vgl. SAP AG (2014)

⁸⁹ vgl. IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH (2020)

Demonstrator für die Pilotfabrik der TU Wien⁹⁰

Alternativ bietet sich eine vergleichsweise einfache Lösung mittels HTML, JavaScript und MQTT an. Die Montageanleitungen liegen dabei auf einem Server und die Kommunikation mit dem Client (z.B. Tablet) erfolgt mittels MQTT. Dabei wird nur die ID des nächsten Aufgabenschrittes übergeben und automatisch die restlichen Informationen aufgerufen. Gesteuert wird die einfache Benutzeroberfläche über einen „Bestätigen“- und einen „Abbrechen“-Button (Abbildung 15). Sobald der Arbeitsschritt bestätigt ist, wird der nächste Arbeitsschritt für den Arbeitsplatz angezeigt.

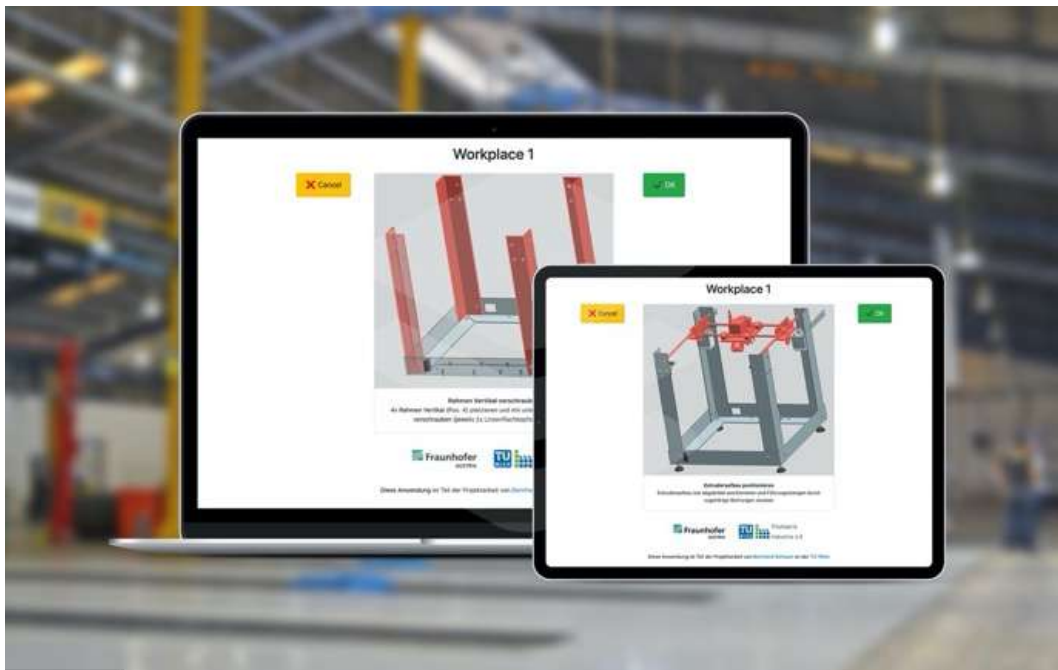


Abbildung 15 – Benutzeroberfläche Demonstratoranwendung Werkerführung⁹¹

Beim Aufbau der Anwendung für die Projektarbeit wurde ein ähnlicher technischer Ansatz wie beim Demonstrator in dieser Diplomarbeit verfolgt. Für nähere Informationen wird auf die Projektarbeit von Bernhard Schauer mit dem Titel „GUI for decentralized assembly control“, 2020 verwiesen.

2.3.5 Zusammenfassung

Werkerinformationssysteme ermöglichen eine rasche und einfache Einarbeitung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die kognitive Unterstützung während Montageprozessen.

Besonders in variantenreichen Produktionsprozessen und Produktionsprozessen mit Losgröße gegen 1 wird – soweit die Inhalte entsprechend vorhanden und automatisch

⁹⁰ vgl. Schauer (2020)

⁹¹ ebd., S. 12

zugewiesen werden – eine deutliche Entlastung erreicht. Zusätzlich ist in Kombinationen mit Kameras wie bei SK Assembly eine Überwachung des Montageprozesses möglich, wodurch Montagefehler vermieden werden können.

Als Mensch-Maschine-Schnittstellen für die Arbeitsinhalte können Bildschirme, AR-Brillen (computergestützte Erweiterung der Realität) oder Mobilgeräte zum Einsatz kommen. Als Arbeitsinhalte kommen dabei Bilder, Videos als auch Sprachaufnahmen zum Einsatz. Daneben ermöglichen Pick-to-Light-Lösungen (z.B. MiniTec) ein einfaches Konfektionieren von Baugruppen aus fertigen Einzelteilen.

Das Ergebnis dieser Forschungsarbeit wird nicht auf Montagetätigkeiten eingeschränkt sein, jedoch wird das Softwareartefakt (Demonstratoranwendung) zunächst hierfür ausgelegt werden. Grund hierfür ist, dass es notwendig ist, gewisse Anforderungen festzulegen, und dies unter dem Gesichtspunkt der Arbeitsinhalte für Montagetätigkeiten erfolgt (z.B. Art der aufzunehmenden Inhalte und Annotationen). Innerhalb der Demonstratoranwendung selbst gibt es jedoch keine Beschränkungen für anderweitige Verwendungen.

2.4 Hardware

Unter Hardware werden technische Maschinenelemente der IT bezeichnet. Die Funktionen der Hardware werden von Programmen (Software) ausgelöst, gesteuert und kontrolliert.⁹² Als mobile Hardware werden Geräte, welche während des Transports nutzbar sind, bezeichnet (z.B. Smartphone, Tablets, Notebooks). Server und Desktop-Rechner zählen dagegen zu den stationären Geräten. Die Grenze ist jedoch nicht trennscharf, so können manche Geräte (z.B. Raspberry Pi) für stationäre als auch für mobile Anwendungen eingesetzt werden.⁹³

2.4.1 Smartphones und Tablets

Durch die steigende Verbreitung mobiler Geräte wie Smartphones und Tablets rücken diese vermehrt als Mensch-Maschine-Schnittstelle in den Fokus. Dies erfordert ein Design der Anwendungen, welches sich dynamisch an die Gerätedisplays anpasst.⁹⁴

Der Anteil der Nutzer von Smartphones in Österreich im Jahr 2019 lag bereits bei 97 % (Abbildung 16). Diese Signifikanz zeigt sich auch bei der größten Websuchmaschine Google, welche 2015 erstmals mehr Suchanfragen über Mobilgeräte als über Desktopgeräte vermeldete und daher den Suchmaschinenalgorithmus auf einen

⁹² vgl. Siepermann (2018)

⁹³ vgl. Saville (2020)

⁹⁴ vgl. Tompson (2019)

Mobile-First-Ansatz änderte. Dies bedeutet, dass die Inhalte der Mobilversion gereiht werden und nicht mehr der Desktopversion.⁹⁵

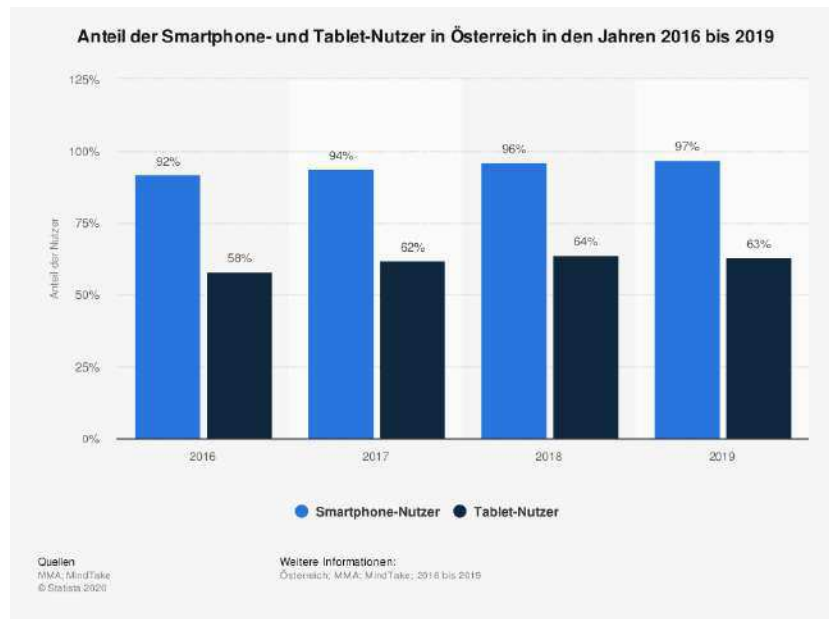


Abbildung 16 – Anteil Smartphone- und Tablet-Nutzer in Österreich⁹⁶

Eine Untersuchung der Boston Consulting Group zeigte die enorme Beliebtheit (oder Abhängigkeit)⁹⁷ von Smartphones damit, dass Nutzer befragt wurden, worauf diese stattdessen verzichten würden (Abbildung 17):⁹⁸

- Drei von zehn Nutzern würden darauf verzichten Freunde persönlich zu treffen.
- Ein Drittel der Amerikaner würde ein Jahr auf Sex verzichten.
- 45 % würden auf den Urlaub verzichten.
- 46 % würden einen freien Tag pro Woche aufgeben.
- 55 % würden für ein Jahr auf Restaurantbesuche verzichten.

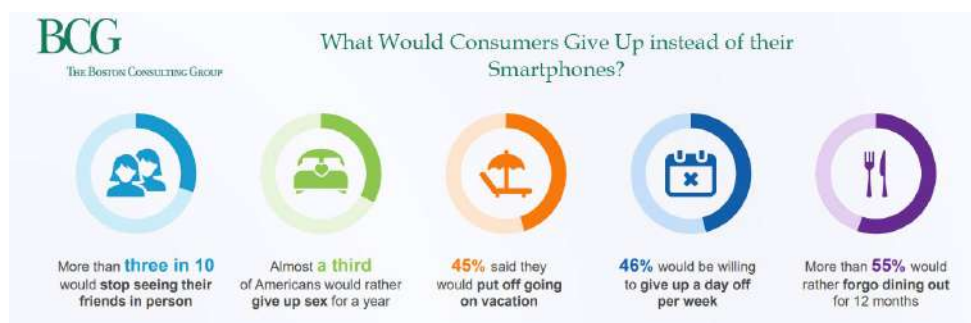


Abbildung 17 – Worauf Nutzer von Smartphones stattdessen verzichten würden⁹⁹

⁹⁵ vgl. 1&1 IONOS SE (2019)

⁹⁶ Statista (2020a)

⁹⁷ Eigene Anmerkung des Autors

⁹⁸ vgl. Berthelot (2019)

⁹⁹ ebd.

Durch die hohe Geräteverbreitung und Akzeptanz der Anwenderinnen und Anwender bietet sich der Einsatz ebenso im industriellen Umfeld an. Die Konzeption von Mensch-Maschine-Schnittstellen als dynamische Systeme mit wiederverwendbaren Komponenten erlaubt dabei die Erstellung von benutzerfreundlichen Schnittstellen, die sich an die Bildschirmgröße und den Gerätetyp jedes Benutzers anpassen.¹⁰⁰

Als Anwendungen kommen auf Smartphones neben nativen Apps auch Webapps zum Einsatz. Während native App speziell für ein Betriebssystem programmiert und optimiert wurden, handelt es sich bei Webapps um Anwendungen, welche auf Webstandards (HTML,...) aufgebaut sind und daher auf jedem Endgerät über den Webbrowser aufgerufen werden können.¹⁰¹ Die beiden dominierenden mobilen Betriebssysteme sind dabei Android von Google und iOS von Apple (Abbildung 18).¹⁰²

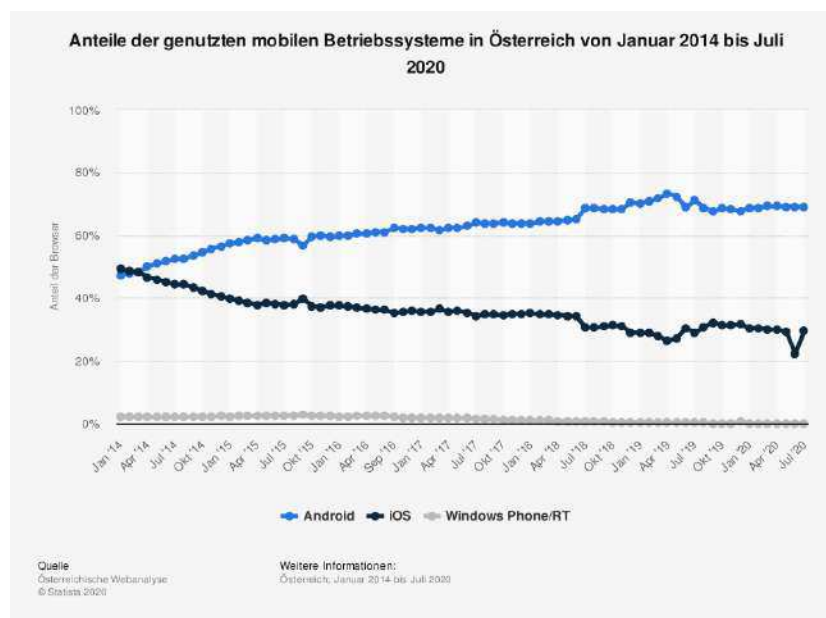


Abbildung 18 – Marktanteile mobile Betriebssysteme in Österreich¹⁰³

2.4.2 Notebooks und PCs

Neben der Verwendung von Mobilgeräten besteht außerdem die Möglichkeit, die Anwendungen auf Rechnern wie Notebooks oder PCs auszuführen. Zu beachten ist dabei, dass für die Aufnahme der Arbeitsanweisungen diese teilweise von einer Kamera auf den Rechner übertragen werden müssen oder die Webcam des Computers verwendet werden muss. Es erscheint jedoch aufgrund der Bauart in der Handhabung umständlich, wenn die integrierte Webcam verwendet werden muss.

¹⁰⁰ vgl. Thompson (2019)

¹⁰¹ vgl. app-entwickler-verzeichnis.de (2017)

¹⁰² vgl. Statista (2020b)

¹⁰³ ebd.

Abhilfe kann in diesem Fall die Verwendung einer externen Webcam (verbunden mit einem USB-Kabel) schaffen. Marktführer bei Betriebssystemen für PCs und Notebooks ist nach wie vor Microsoft Windows, gefolgt von macOS und Linux (Abbildung 19).¹⁰⁴

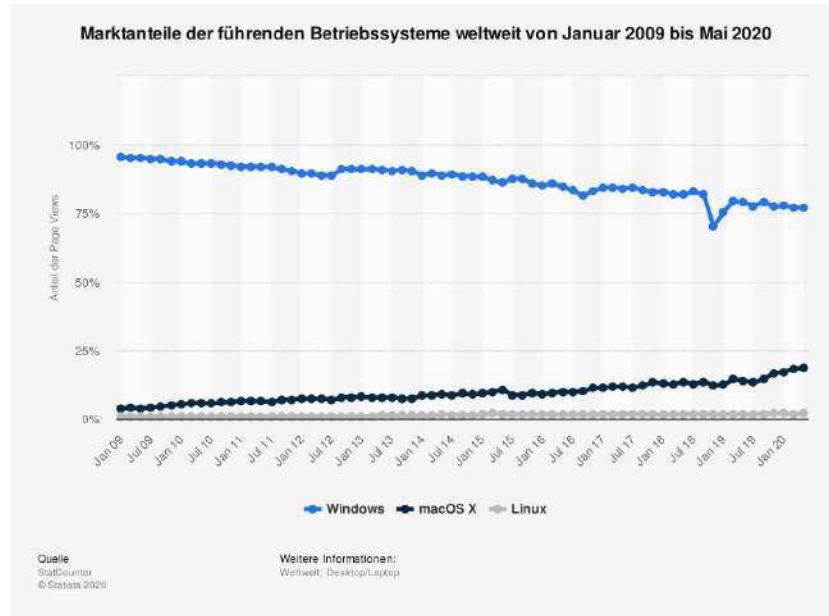


Abbildung 19 – Marktanteile Betriebssysteme für Notebooks und PCs¹⁰⁵

2.4.3 Einplatinencomputer

Einplatinencomputer wie der Raspberry Pi (Abbildung 20) können sowohl als Webserver als auch als Eingabegerät verwendet werden. Mit einem dieser kostengünstigen Geräte (Startpreis: 35 \$) kann sogar ein fixes Setup für die Aufnahme von Arbeitsschritten aufgebaut werden.¹⁰⁶

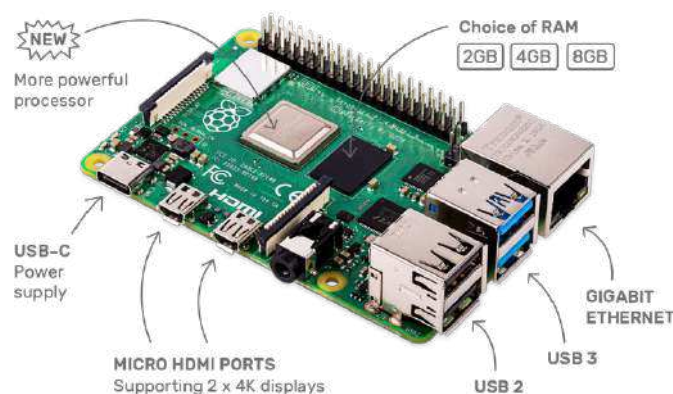


Abbildung 20 – Einplatinencomputer Raspberry Pi 4¹⁰⁷

¹⁰⁴ vgl. Statista (2020c)

¹⁰⁵ ebd.

¹⁰⁶ vgl. Raspberry Pi Foundation (2020a)

¹⁰⁷ ebd.

Diese Rechner verfügen über mehrere Anschlüsse, einen ARM-Prozessor und können über Touchscreen und Kamera erweitert werden (Abbildung 21). Als Betriebssystem kommt beispielsweise die Linux Distribution „Raspbian“ zum Einsatz.



Abbildung 21 – Kameramodul¹⁰⁸ und Touchscreen¹⁰⁹ für Raspberry Pi

2.4.4 Webserver

Ein Server bezeichnet einen Computer in einem Netz, der den im Netz verbundenen Arbeitsstationen bestimmte Dienste (z.B. Datenverwaltung) zur Verfügung stellt.¹¹⁰ Obwohl die Daten dann nicht am eigenen Rechner liegen, kann mittels verschiedener Schnittstellen auf die Rechner zugegriffen werden, beispielsweise können mit FTP die Daten am Server verwaltet werden.

Liegen die Daten zentral auf einem Webserver, wird dies auch als „Cloud Computing“ bezeichnet. Dabei werden nach flexiblen Modellen IT-Ressourcen dynamisch zur Verfügung gestellt. Es gibt dabei sowohl unternehmensinterne Rechenzentren als auch spezialisierte Dienstleister wie Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure oder auch konventionelle Webhoster wie IONOS. Dezierte Cloud-Anbieter ermöglichen vorwiegend ein flexibles Skalieren der Rechenleistung (variable Bezahlung), während bei Webhostern vielfach Pakete zu einem Pauschalpreis angeboten werden.¹¹¹

Neben den großen Rechenzentren („Cloud“) werden die Geräte am Rande des Netzwerks („Edge Computing“) für verteilte Rechenleistung genutzt. Beispiele sind hierfür die Milliarden an IoT-Geräten. Zwischen diesen Edge-Geräten und der Cloud liegt dabei größtenteils eine Zwischenebene, welche als „Fog Computing“ bezeichnet wird. Diese bündeln die IoT-Knoten und übermitteln die Daten an die zentralen Datencenter (Abbildung 22).¹¹²

¹⁰⁸ Raspberry Pi Foundation (2020b)

¹⁰⁹ Raspberry Pi Foundation (2020c)

¹¹⁰ vgl. Lackes (2018)

¹¹¹ vgl. Leymann / Fehling (2018)

¹¹² vgl. Höß (2018)

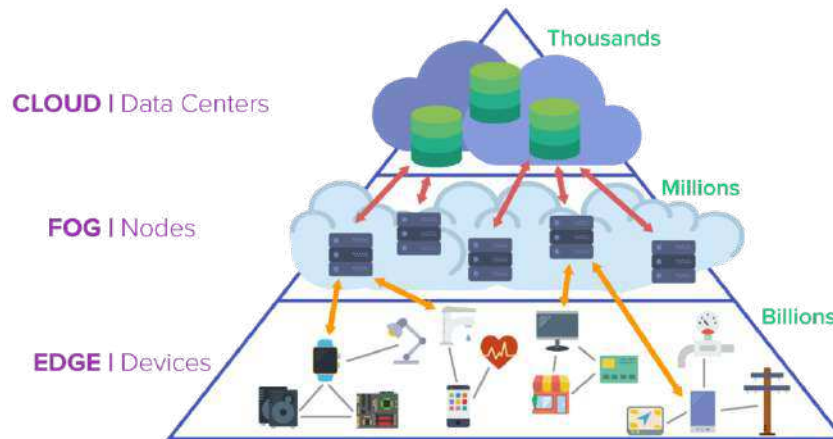


Abbildung 22 – Strukturpyramide Cloud, Fog und Edge Computing¹¹³

2.5 Webanwendungen

Der Einsatz von Webtechnologien wie HTML und JavaScript ermöglicht den Zugriff auf eine große Anzahl von Entwicklern und vorhandenen Ressourcen, während die Kosten für diese Entwickler verglichen mit anderen Programmiersprachen im niedrigeren Bereich liegen.¹¹⁴ Auch Anfänger können sich bei Bedarf schnell in das Thema einarbeiten. Durch die Vielzahl an Bibliotheken und Ressourcen können Entwicklungszeiten verkürzt und Projekte kostengünstig umgesetzt werden.

2.5.1 Funktionsweise von Webanwendungen

Webseiten bestehen zumindest aus einer HTML-Datei. Zusätzlich existiert meist daneben eine CSS-Datei, in welcher das „Design“ der Website hinterlegt ist.¹¹⁵ Um Seiten dynamischer zu machen, wird JavaScript eingesetzt. Somit können Webseiten, welche direkt im Browser am Gerät des Benutzers ausgeführt werden, eine gewisse Interaktivität bieten.

Die notwendigen Daten werden dabei von einem Webserver bereitgestellt (Client-Server-Modell, vgl. Abbildung 23). Dieser kann je nach Anwendungsfall über eine interne Datenbank verfügen und dynamisch Inhalte bereitstellen. Dazu können am Server Programme ausgeführt werden (z.B. mit PHP).¹¹⁶ Um einen Webserver zu erreichen, wird im Allgemeinen eine URL (z.B. workstep.me) verwendet. Alternativ können auch direkt IP-Adressen (z.B. 1.1.1.1) aufgerufen werden.

¹¹³ pubnub.com (2017)

¹¹⁴ vgl. stackoverflow.com (2019)

¹¹⁵ vgl. Mozilla Foundation (2020a)

¹¹⁶ vgl. McLaughlin (2012)

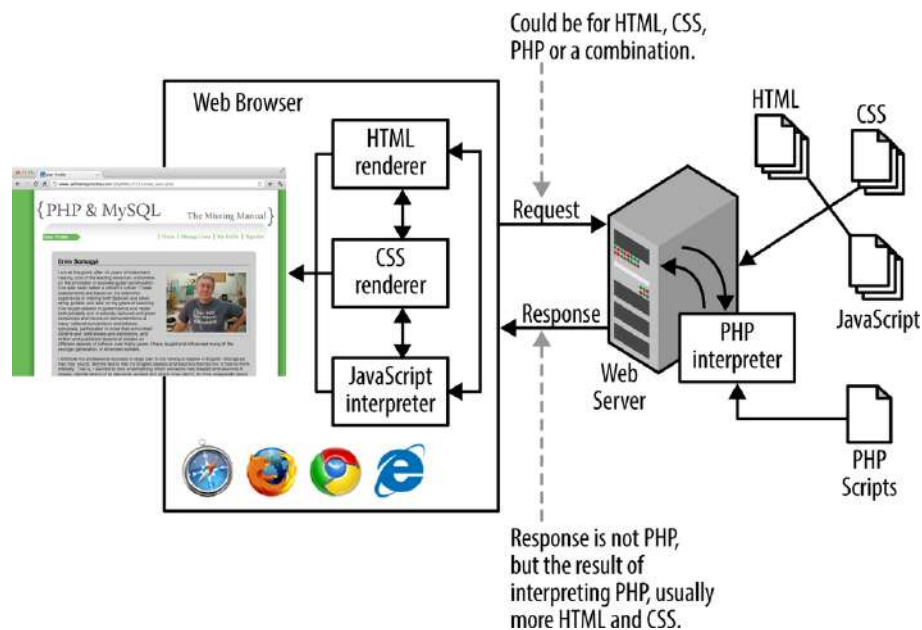


Abbildung 23 – Zusammenwirken der Webtechnologien¹¹⁷

Besonders funktionsreiche Webseiten werden auch als Webanwendungen, Webapplikationen oder Webapps bezeichnet, da diese einen ähnlichen Funktionsumfang wie installierte PC-Anwendungen bieten können und wie Webseiten nach dem Client-Server-Modell funktionieren. Vorteile dieses Aufbaus sind im Allgemeinen sehr niedrige Kosten und die Möglichkeit die Anwendung in Echtzeit zu aktualisieren. Für den Aufruf reicht ein Webbrowser aus. Dadurch ist eine lokale Installation der Anwendung nicht erforderlich.¹¹⁸

Als etwaiger Nachteil wäre zu nennen, dass für den Großteil an Webanwendungen eine Internetverbindung notwendig ist. Mit „Progressive Web Apps“ gibt es nun jedoch auch die Möglichkeit, diese Anwendungen offline (ohne momentane Internetverbindung) auszuführen.¹¹⁹ Weitere Punkte zu den einzelnen Technologien werden in den nachfolgenden Abschnitten im Detail erläutert.

2.5.2 Aufbau und Struktur mit HTML

HTML (Abkürzung für Hypertext Markup Language) zeigt die Grundstruktur einer Website oder Webapplikation. Im HTML ist somit der Inhalt der Seite definiert. Eine Website funktioniert ohne JavaScript, PHP oder CSS jedoch nicht ohne HTML.¹²⁰ HTML wurde erstmals 1989 von Tim Berners-Lee vorgeschlagen. Später wurde es spezifiziert und 1990 mit einem eigenen Browser eingeführt.¹²¹

¹¹⁷ McLaughlin (2012)

¹¹⁸ vgl. Billomat GmbH & Co. KG (2020)

¹¹⁹ vgl. ebd.

¹²⁰ vgl. W3Schools (2020b)

¹²¹ vgl. Web Hypertext Application Technology Working Group (2020)

Es folgt nun ein Beispiel für eine einfache HTML-Seite. Der Abschnitt im Kopfbereich wird auf der Seite selbst nicht angezeigt, z.B. wird er als Name der Registerkarte oder des Fensters angezeigt.

Die Teile innerhalb des „Body“ werden auf der Seite angezeigt:

- ein Absatz mit grünem Text
- einen Link und
- ein Bild

Die Elemente innerhalb des < > werden für Angaben wie die Farbe des Textes, die URL des Links oder den Ort, an dem sich ein Bild befindet, verwendet.

```
1. <!DOCTYPE html>
2. <html>
3.   <head>
4.     <title>This is the title of the page.</title>
5.   </head>
6.   <body>
7.     <p style="color:green" >This is a paragraph.</p>
8.     <a href="https://www.bernhardschauer.com">This is a link</a>
9.     
10.  </body>
11. </html>
```

Durch die laufende Weiterentwicklung des HTML-Standards gibt es eine Vielzahl neuer Features, welche die Möglichkeiten immer wieder erweitern. So können heutzutage in modernen Browsern ohne Plugins Aufgaben ausgeführt werden, welche früher undenkbar waren. Mit „Progressive Web Apps“ (PWA) bieten sich dabei sehr viele Möglichkeiten wie Zwischenladen und Offline-Verwendung. So kann ein Anwender beispielsweise eine Webanwendung auch ohne aktiver Internetverbindung verwenden. Mit PWAs gibt es einen guten Standard, jedoch führt dies unweigerlich zu erhöhter Komplexität im System (Aktualisierungen, Uploads, Zwischenspeichern)¹²²

Webbrowser haben auch die Möglichkeit, auf die Kamera oder das Mikrofon des Gerätes zuzugreifen. Um ein unerwünschtes Ausspionieren der Benutzer durch Webseiten zu verhindern, müssen diese hierfür im Browser die Berechtigung geben.

Im Gegensatz zu nativen Apps, welche am Gerät installiert sind, hat eine Webanwendung keinen fixen Platz im Startmenü oder am Startbildschirm. Jedoch besteht auf Mobilgeräten (z.B. iOS und Android) die Möglichkeit, eine Website als Favorit am Startbildschirm abzulegen.¹²³

¹²² vgl. 1&1 IONOS SE (2020b)

¹²³ vgl. app-entwickler-verzeichnis.de (2017)

2.5.3 Design und Gestaltung einer Anwendung mit CSS

Cascading Style Sheets (CSS) sind ein Mechanismus zum Hinzufügen von Stilen (z.B. Schriftarten, Farben, Abstände) zu Web-Dokumenten. Es ermöglicht die Definition von Stilen für HTML-Elemente an einer Stelle, anstatt sie für jedes Element selbst zu setzen. Mit CSS kann somit zentral gesteuert werden, wie beispielsweise Überschriften und Inhalte auszusehen haben, welche Farbe der Hintergrund hat oder wie das generelle Design der Website auszusehen hat.

In folgendem Beispiel werden alle Absätze (p) auf einer HTML-Seite grün und 10 % größer als normaler Text eingestellt:

```
1. p {  
2.   color: green;  
3.   font-size: 110 %;  
4. }
```

2.5.4 Anwenderseitige Funktionalitäten mit JavaScript

JavaScript (JS) ist eine Programmiersprache, welche auf Webseiten verwendet wird. Obwohl sie ähnlich wie die Programmiersprache „Java“ heißt, hat sie eine sehr unterschiedliche Syntax, Semantik und Verwendung.¹²⁴

Eine Funktion von JavaScript ist es, dass es Webseiten dynamischer macht. In diesem Beispiel führt ein Klick auf eine Schaltfläche eine Funktion aus, die ein Pop-up „Hello World!“ öffnet:

```
1. <script>  
2.   function myfunction() {  
3.     alert(„Hello World!“);  
4.   }  
5. </script>  
6.  
7. <button onclick="myfunction()"> Click me </button>
```

JavaScript Bibliotheken, wie Fabric.js und Recorder.js, enthalten vorgefertigt Bausteine und können relativ einfach eingebunden werden und die Funktionalität einer Webanwendung erweitern. JavaScript wird heutzutage nicht nur aufseiten des Anwenders verwendet, sondern vermehrt auch im Server-Backend als Alternative zu PHP (z.B. node.js).¹²⁵

¹²⁴ vgl. Mozilla Foundation (2020b)

¹²⁵ vgl. OpenJS Foundation (2020)

2.5.5 Serverseitige Funktionalitäten mit PHP

PHP (rekursives Akronym für PHP: Hypertext Preprocessor)¹²⁶ wird besonders für serverseitige Tasks eingesetzt. In der Demonstratoranwendung dient PHP als Schnittstelle zwischen der Webanwendung und der Datenablage. PHP nimmt dabei die Uploads entgegen und legt diese im entsprechenden Ordner ab.

Ein beispielhafter PHP-Code welcher eine HTML-Seite mit dem Inhalt „Hallo Welt!“ ausgibt, ist im Folgenden zur Veranschaulichung der Semantik definiert.

```
1. <?php
2.     echo „Hallo Welt!“;
3. ?>
```

2.5.6 Bindeglied zwischen realer und digitaler Welt: QR-Codes

Bei QR-Codes handelt es sich um 2D-Codes, welche unter anderem von Smartphones und Tablets eingescannt und ausgelesen werden können.¹²⁷ Bei vielen Smartphones ist die Funktion in der mitgelieferten Kameraanwendung integriert. Alternativ kann auch eine entsprechende App oder Webapp verwendet werden. Die Verwendung von QR-Codes ist sehr vielfältig: QR-Codes können beispielsweise für digitale Visitenkarten (vCard), Links, hinterlegten Text, WLAN Passwörter oder Geo-Daten verwendet werden.¹²⁸

Die Entwicklung von QR-Codes stammt von einem Tochterunternehmen des Toyota-Konzerns und fand daher schnell Anwendung im Kanban-System der Automobilindustrie. Heutzutage werden diese auf Flugtickets, Eintrittskarten und vielem mehr verwendet.¹²⁹ QR-Codes zeichnen sich durch eine hohe Datenkodierungskapazität, kleine Druckausgabegröße und eine hohe Fehlertoleranz (resistent gegen Verschmutzungen und Beschädigungen) aus und können aus allen Richtungen gelesen werden.¹³⁰ Mit ISO/IEC 18004:2015 gibt es eine entsprechende Standardisierung.¹³¹

¹²⁶ The PHP Group (2020a)

¹²⁷ vgl. Bendel (2019b)

¹²⁸ vgl. Hlavac (2020)

¹²⁹ vgl. Neidhart (2014)

¹³⁰ vgl. Denso Wave Incorporated (2020)

¹³¹ vgl. ISO/IEC JTC 1/SC 31 (2020)

2.6 Vorgehensmodelle und IT-Entwicklungsstrategien

Die folgenden Vorgehensmodelle und Entwicklungsstrategien sind nicht auf die Softwareentwicklung eingeschränkt, werden jedoch in Hinblick auf die Entwicklung der Demonstratoranwendung vorgestellt. Bei den Vorgehensmodellen gibt es zwei sich gegenüberstehende Ansätze: das Wasserfallmodell (Waterfall) und die Lean-Methoden. Zusätzlich ist eine Kombination dieser möglich (Abbildung 24).¹³²

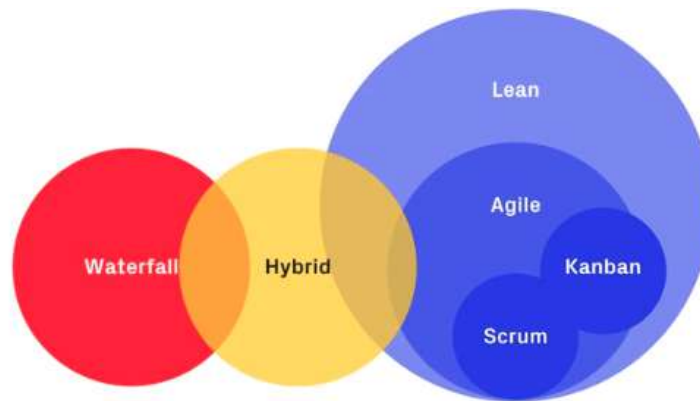


Abbildung 24 – Übersicht Vorgehensmodelle¹³³

2.6.1 Wasserfallmodell

Im Wasserfallmodell werden die notwendigen Schritte im Voraus geplant und dann Schritt für Schritt abgearbeitet (Abbildung 25). Das Wasserfallmodell wird z.B. bei der Konstruktion von Gebäuden, Autos oder anderen Produkten mit vorhersehbaren Teilen verwendet. Die Methode gibt es seit den 1950er-Jahren und wird seit den 1970er-Jahren auch so bezeichnet. Sie folgt vor allem dem traditionellen Fertigungs- oder Konstruktionsaufbau.¹³⁴ Da beim Wasserfallmodell bereits am Anfang der gesamte Aufwand festgelegt wird, kann es schwerfallen, währenddessen noch Änderungen durchzuführen. Das Wasserfallmodell eignet sich somit weniger gut für Projekte, bei denen die Anforderungen noch nicht definiert sind und erst im Laufe der Umsetzung erarbeitet werden.¹³⁵



Abbildung 25 – Ablauf Wasserfallmodell¹³⁶

¹³² vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020a)

¹³³ ebd.

¹³⁴ vgl. ebd.

¹³⁵ vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020b)

¹³⁶ ebd.

2.6.2 Agile Methoden

Agile Methoden gehören zu den Lean-Methoden. Diese werden oft als Gegensatz zum Wasserfallmodell gesehen. Anders als beim Wasserfallmodell, bei welchem der Versuch gemacht wird, alles zu planen, wird bei den Lean-Methoden der Aufwand für die Planung minimiert und der Fokus auf das Liefern von Lösungen gelegt.

Bei agilen Methoden wird in inkrementellen Schritten entwickelt, sodass die Publikationszyklen wesentlich kürzer gehalten werden können und die Ergebnisse kontinuierlich integriert werden können (Abbildung 26). Im Beispiel werden in der ersten Zeitperiode daher alle vier Aufgaben Stück für Stück ausgeführt. Auf diese Weise kann das Feedback sofort in den folgenden Zeitraum (2) integriert werden.¹³⁷

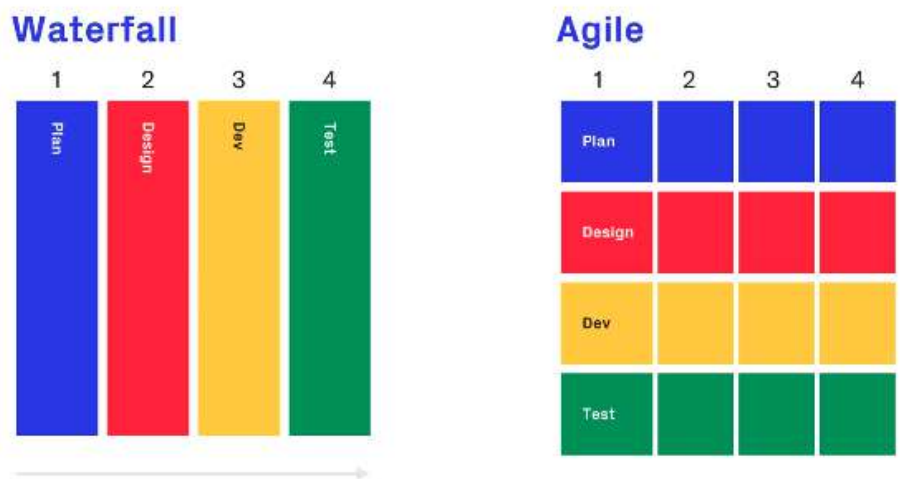


Abbildung 26 – Vergleich Wasserfallmodell und agile Methoden¹³⁸

Die Kernpunkte agiler Methoden sind (basierend auf Agile Manifesto):¹³⁹

- Individuen und Interaktionen gehen Prozessen und Tools vor.
- Funktionierende Software geht ausführlicher Dokumentation vor.
- Kollaboration mit Kunden statt Vertragsverhandlungen.
- Auf Änderungen reagieren, statt einem starren Plan folgen.

2.6.3 Scrum

Scrum ist eine Unterkategorie der agilen Methoden und besteht aus mehreren spezifischen Ritualen wie der täglichen Kommunikation und der flexiblen Überprüfung der Arbeit. Scrum Rituale sind kurze, iterative Arbeitsgliederungen wie Sprint, Sprint Planung, Daily Scrum, Sprint Review und Sprint Retrospektive (Abbildung 27). Die

¹³⁷ vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020c)

¹³⁸ ebd.

¹³⁹ vgl. Beck et. al. (2001)

Arbeit selbst gliedert sich in Backlog, Topics und User Stories, welche vom Scrum Team (Product Owner, Scrum Master und Entwicklungsteam) abgearbeitet werden.¹⁴⁰

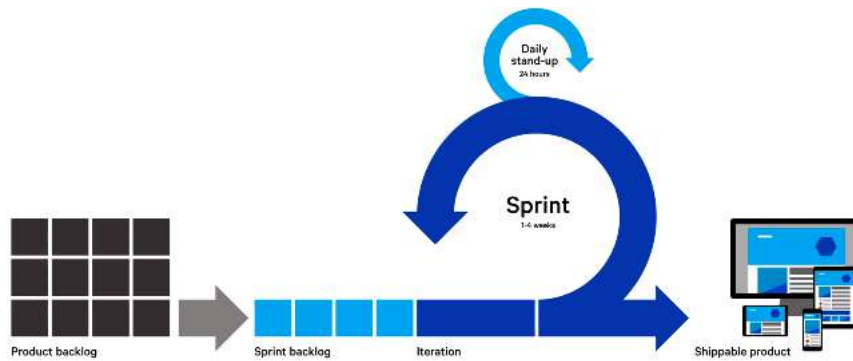


Abbildung 27 – SCRUM Methode¹⁴¹

Die Anforderungen an das Produkt werden dabei vom Product Owner in sogenannten „User Stories“ festgelegt: „Als [Rolle] möchte ich [Funktion] um [Nutzen].“ Dabei handelt es sich um Anforderungen an das Produkt. Jedoch werden diese Anforderungen weniger nach technischen Aspekten definiert, sondern nutzerzentriert. Dabei werden die Aktionen des Anwenders beschrieben und dem umsetzenden Scrum Mitglied obliegt die genaue Wahl der Umsetzung.

Mehrere „Stories“ können dabei zu einem „Epic“, einem Element höherer Abstraktionsstufe zusammengefasst werden. Andererseits können die Stories auch in kleinere Aufgaben („Tasks“) unterteilt werden (Abbildung 28).¹⁴²

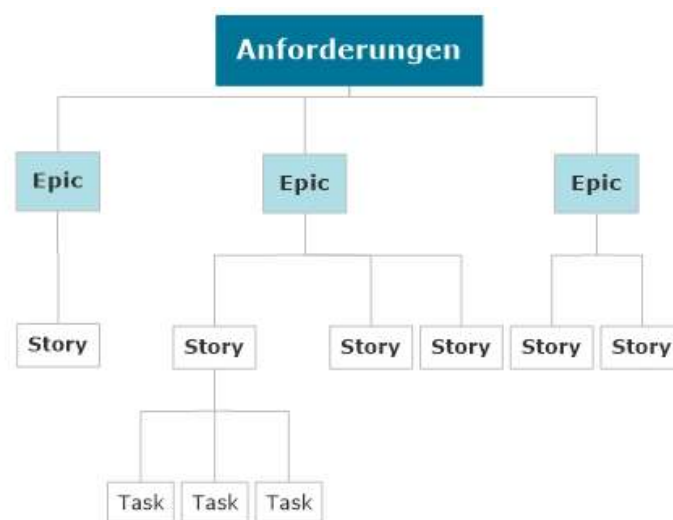


Abbildung 28 – Anforderungsbeschreibung in SCRUM¹⁴³

¹⁴⁰ vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020d)

¹⁴¹ ebd.

¹⁴² vgl. Plewa (2019)

¹⁴³ ebd.

2.6.4 Kanban in der Software-Entwicklung

Kanban verwendet ebenso einen Lean-Ansatz, wobei die Methode nicht zwangsweise agil umgesetzt werden muss. Hierbei können die Aufgaben auch ähnlich wie im Wasserfallmodell abgearbeitet werden. Kanban ist eine lose strukturierte Projektmanagementmethode, welche auf dem Modell von Toyota über den Lebenszyklus in der Produktionslinie basiert. Übersetzt bedeutet es „Karte“ (japanisch) und es verspricht den Flow: einen visuellen Prozess, kontinuierliche Verbesserung, Reduktion von Verschwendung und das Limitieren von begonnener Arbeit.¹⁴⁴

Durch das Limitieren von Aufgaben in einzelnen Spalten wie „in Arbeit“ kann verhindert werden, dass zu viele Aufgaben gleichzeitig abgearbeitet werden. Somit kann erst eine neue Aufgabe gestartet werden, wenn die bereits angefangenen Aufgaben abgeschlossen wurden. Die allgemeine Empfehlung liegt bei ungefähr 5 Karten pro Person. Im Kern wird dadurch ein visueller Arbeitsfluss sichtbar. Dies fördert die Übersicht über zu erledigende, fertigzustellende und bereits abgeschlossene Aufgaben (Abbildung 29). Weitere Spalten wie beispielsweise „Warte auf Rückmeldung“, „in Review“, „im Versuch“ können individuell hinzugefügt werden.¹⁴⁵

Im Unterschied zum Wasserfallmodell gibt es keine Vorgabe, die Aufgaben in einer bestimmten Reihenfolge durchzuführen. Die Karten können regelmäßig neu angeordnet werden und es gibt keine Regeln, wer welche Aufgaben bekommt. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können sich die Aufgabe selbst zuweisen.¹⁴⁶ Dies fördert einerseits die Selbstständigkeit der Teammitglieder, kann andererseits jedoch auch höheren Kommunikationsaufwand und höhere Fähigkeiten der Teammitglieder erfordern.



Abbildung 29 – Aufbau Kanban Modell¹⁴⁷

¹⁴⁴ vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020e)

¹⁴⁵ vgl. ebd.

¹⁴⁶ vgl. ebd.

¹⁴⁷ ebd.

2.6.5 Hybride Struktur

Bei hybriden Strukturen handelt es sich um eine individuelle Kombination von Komponenten und Prinzipien aus Wasserfall, Lean, Scrum, Kanban für ein oder mehrere Projekte. In den meisten Fällen werden die bereits erwähnten Vorgehensmodelle nicht exakt nach Definition umgesetzt, sondern an die entsprechenden Sympathien und Gegebenheiten angepasst. Somit können für die Projektumsetzung die Vorteile der Vorgehensmodelle maximiert und die Nachteile minimiert werden.¹⁴⁸ Auch beim später gewählten Vorgehensmodell für die Umsetzung des Softwareartefakts handelte es sich um ein Modell mit hybrider Struktur (Kapitel 5.2.1)

2.6.6 Entwicklungsstrategien für Software

Nach Gabler ist ein MVP (Minimum Viable Product) ein Produkt oder eine Dienstleistung in einem Entwicklungsstadium. In dieser Stufe ist erstmals möglich, das Produkt oder die Dienstleistung unter realistischen Bedingungen bei Kunden zu testen. Es werden nur Funktionen implementiert, die für den eigentlichen Zweck absolut notwendig sind. Dies kann auch nur eine einzige Funktion sein. Dies beschleunigt die Produktentwicklung erheblich und spart Ressourcen.¹⁴⁹

Als Beispiel für die Entwicklung mittels MVP lässt sich die Produktion eines Autos nennen: Anstatt von Beginn an einem Auto zu arbeiten und die Anforderungen dafür zu definieren, wird zuerst ein Skateboard, dann ein Scooter, dann ein Fahrrad, dann ein Motorrad und dann das Auto gebaut (Abbildung 30). So kann bei jedem Zwischenschritt ein Feedback für die nächste Version gesammelt werden.¹⁵⁰

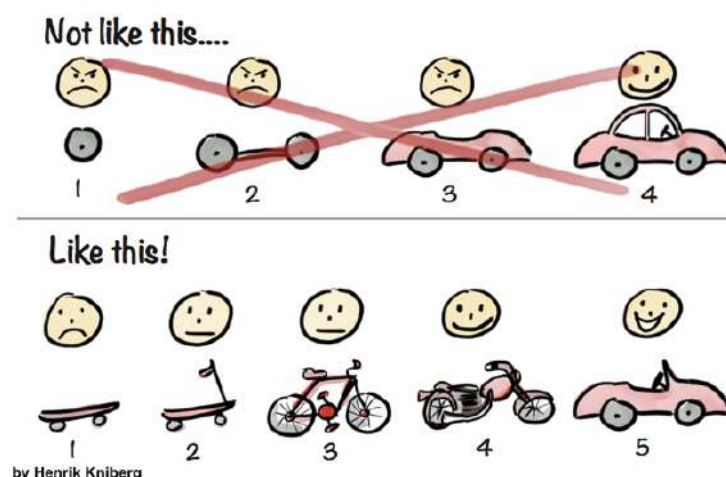


Abbildung 30 – MVP Ansatz¹⁵¹

¹⁴⁸ vgl. Gertz / Louder Than Ten Industries Inc. (2020f)

¹⁴⁹ vgl. Kuenen (2020)

¹⁵⁰ vgl. Kniberg (2016)

¹⁵¹ ebd.

3 Aktueller Stand der Technik

Bei den bisherigen Lösungen zur Erfassung realer Inhalte für Mitarbeiterinformationssysteme handelt es sich größtenteils um proprietäre Anwendungen oder um manuelle Prozesse, welche durch fehlende Arbeitsabläufe, eingeschränkte Funktionalität und komplizierte Arbeitsschritte gekennzeichnet sind.

Bezüglich der Datenverarbeitung in Arbeitsassistenzsystemen kann auf die Dissertation von Wölfle (2014)¹⁵² verwiesen werden. Als Datenverarbeitung wird Erzeugung von Ausgangsdaten verstanden, welche aus Eingangsdaten nach einem definierten Algorithmus erzeugt werden. Die Hauptaufgabe ist es dabei für die Anwender verständliche und für die aktuelle Aufgabe relevante Informationen zu generieren (Abbildung 31).

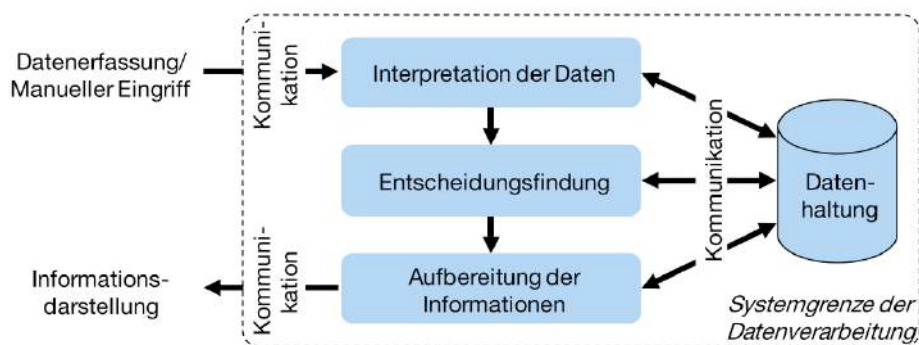


Abbildung 31 – Datenverarbeitung in Arbeitsassistenzsystemen¹⁵³

Während der Fokus der Forschung im Bereich der Datenerfassung insbesondere im Bereich des „Maschinellen Sehens“, also der Erkennung, Erfassung und Analyse von Bewegungen sowie des Einsatzes von erweiterter Realität gelegen ist¹⁵⁴, besteht noch Forschungsbedarf hinsichtlich der effizienten, automationsgestützten Aufnahme von Arbeitsanweisungen zur Verwendung in Werkerinformationssystemen. Mithilfe dieser Forschungsarbeit soll diese Lücke erheblich verkleinert werden.

3.1 Existierende Lösungsansätze für die Problemstellung

Der bisherige Lösungsansatz ist nicht automatisiert: Nachdem der Inhalt der aufzunehmenden Arbeitsanweisung definiert ist, kann eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) z.B. aus dem ERP System für die Arbeitsanweisung

¹⁵² vgl. Wölfle (2014), S. 67ff

¹⁵³ ebd., S. 68

¹⁵⁴ vgl. Apt et. al. (2018), S. 24f; Bannat (2014), S. 49

festgelegt werden. Die Arbeitsanweisungen werden dann als Foto, Video oder Sprachaufnahme mittels Kamera, Smartphone oder Diktiergerät aufgenommen.

Diese Aufnahmen werden dann auf einen Computer übertragen und dort bearbeitet. Dabei können beispielsweise Annotationen (Rechtecke, Kreise, Pfeile oder Text, welche einen Bereich hervorheben sollen) bei Bildern hinzugefügt werden. Dadurch können bestimmte wichtige Bereiche hervorgehoben werden. Dazu kann die Anwendung Photoshop oder ein anderes Bildbearbeitungsprogramm verwendet werden.

Da im Allgemeinen mehr als nur eine Aufnahme erstellt werden, ist es notwendig, die korrekte Zuordnung der Inhalte sicherzustellen. Dies kann bei Fotos oder Videos mit einem Foto einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) vor dem eigentlichen Inhalt geschehen. Bei Audiodateien erfolgt dies in ähnlicher Art mit einem Einleitungssatz wie „es folgt Arbeitsschritt ID 123456“.

Um eine saubere Kategorisierung zu gewährleisten, empfiehlt sich das Erstellen von Ordnern, welche den Namen der ID beinhalten. Im Anschluss werden die Aufnahmen am Zielort (FTP-Server) abgelegt.

Zusammenfassung

- Es ist keine besondere Software notwendig, soweit Inhalte nicht bearbeitet werden müssen und eine WebFTP-Anwendung zur Verfügung steht oder eine FTP-Anwendung vorhanden ist.
- Die Zuordnung bei vielen Arbeitsschritten kann mühsam werden.
- Die korrekte Zuordnung der Arbeitsschritte zur ID ist nicht gewährleistet.
- Schwere Automatisierbarkeit und keine Spezifizierung der Aufgaben.
- Hoher Einführungsaufwand für neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.
- Verschiedene Geräte notwendig, außer wenn Smartphone mit diversen Apps verwendet wird.

3.1.1 Bildaufnahme und Hinzufügen der Annotationen

Zur Aufnahme von Arbeitsanweisungen können Smartphones, System- oder Kompaktkameras verwendet werden. Zusätzlich wird vor der Arbeitsanweisung ein Bild der ID aufgenommen, um später eine Zuordnung sicherzustellen. Die geläufigste Vorgehensweise ist es, die Fotos mit der Kamera aufzunehmen, die Speicherkarte im Anschluss am Computer anzustecken und die Bilder zu übertragen.

Die Bilder können dann am Computer bearbeitet werden, Annotationen können beispielsweise mit Photoshop oder anderer Software hinzugefügt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, mittels „WLAN-SD-Karten“ oder AirDrop (iOS – Mac) die Daten kabellos auf den Rechner zu übertragen. Im Anschluss wird die Datei auf den

Server übertragen und in einem der ID entsprechenden Ordner abgelegt (Kapitel 3.1.4).

3.1.2 Videoaufnahme und Editierung

Ähnlich wie die Aufnahme der Fotos erfolgt auch die Aufnahme der Videos. Zur Identifizierung des Arbeitsschrittes wird ein kurzes separates Video aufgenommen, in welchem der Arbeitsschritt identifiziert wird (z.B. ist die ID auf einem Papier oder Bildschirm angeführt). Im Anschluss wird die Datei auf den Server übertragen und in einem der ID entsprechenden Ordner abgelegt (Kapitel 3.1.4).

3.1.3 Audioaufnahme

Die Audioaufnahme kann beispielsweise mittels Diktiergerät oder entsprechender App am Smartphone erfolgen. Wie auch bei Fotos und Videos ist eine Identifizierung des Arbeitsschrittes bei Audioaufnahmen notwendig. Am einfachsten geschieht dies durch eine zweite kurze Sprachaufnahme vor der eigentlichen Aufnahme, in welcher die ID des folgenden Arbeitsschrittes genannt wird (z.B. „es folgt Arbeitsschritt ID 123456“). Im Anschluss wird die Datei auf den Server übertragen und in einem der ID entsprechenden Ordner abgelegt (Kapitel 3.1.4).

3.1.4 Übertragung auf den Server

Für die Übertragung auf den Server gibt es verschiedene Möglichkeiten. Im Allgemeinen reicht es nicht aus, die Daten nur am lokalen Gerät verfügbar zu haben, sondern es ist erforderlich diese anderen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Dadurch kann eine dezentrale Datenbereitstellung und Datenvisualisierung direkt an der Produktionsmaschine oder am Montageplatz gewährleistet werden.¹⁵⁵ Mittels FTP-Anwendung (Anwendung am Rechner oder App am Mobilgerät) oder WebFTP können die Dateien in das entsprechende Verzeichnis am Server übertragen werden. Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass nicht sichergestellt wird, dass die Ordner wirklich korrekt benannt sind. Der dafür notwendige Einrichtungsaufwand für den Zugriff auf den FTP-Server auf jedem Gerät stellt dabei einen nicht unerheblichen Aufwand dar.

Als Alternative zur FTP-Anwendung oder WebFTP besteht die Möglichkeit, ein einfaches HTML-Formular (Abbildung 32) zur Verfügung zu stellen, welches dann die Daten auf den Server überträgt. Die Verwendung des Formulars ist sowohl am Rechner als auch auf Mobilgeräten möglich. Normalerweise müssen Bilder oder Videos ausgewählt werden und können dann hochgeladen werden. Bei HTML-Formularen ist der Umfang der Möglichkeiten oft eingeschränkt, jedoch kann durch mehrere Einstellungsmöglichkeiten gewährleistet werden, dass nur gewisse

¹⁵⁵ vgl. Apt et. al. (2018), S. 13

Dateitypen hochgeladen werden und dass die Dateien an einem entsprechenden Ort abgelegt werden. In der Basisversion bieten Webformulare einen Button und keine Möglichkeit Bilder zu bearbeiten oder direkt im Browser eine Audioaufnahme zu starten.

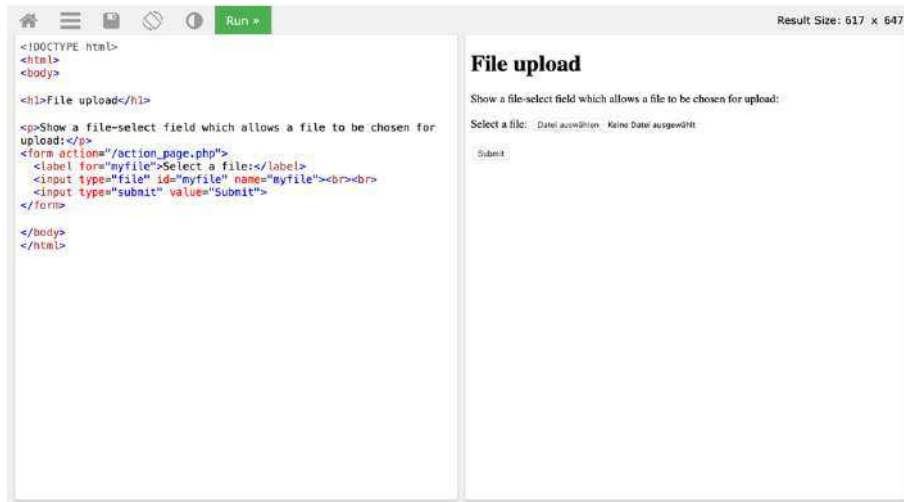


Abbildung 32 – Screenshot einfaches Webformular samt HTML-Code (links)¹⁵⁶

3.2 Ähnliche Lösungsansätze für die Problemstellung

Um Arbeitsanweisungen aufzunehmen, gibt es Lösungsansätze, mit denen ein ähnliches, wenn auch nicht vollständiges Durchführen der Aufgabe möglich ist. So können beispielsweise mit AssemblyApp und Cioplenu Inhalte in gewissem Umfang aufgezeichnet werden und für Berichte oder Anleitungen verwendet werden.

3.2.1 AssemblyApp¹⁵⁷

Die AssemblyApp von fertigungs.team bietet die Möglichkeit zum Generieren von PDF-Anleitungen, in welchen Bilder und MTM-Normzeiten hinterlegt werden können. Die Arbeitsschritte sind dabei folgendermaßen definiert:

Schritt 1: Fotos aufnehmen

Fotos können direkt über die Webanwendung aufgenommen werden. Die Aufnahme kann dabei direkt über ein Mobilgerät erfolgen (Abbildung 33).

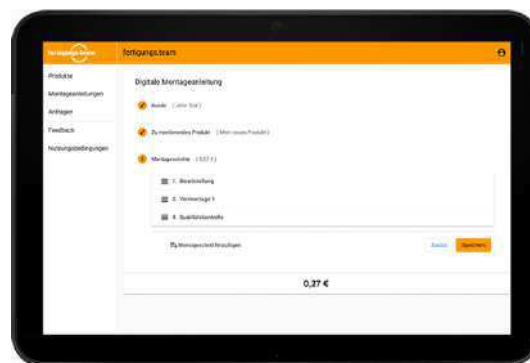
¹⁵⁶ W3Schools (2020a)

¹⁵⁷ vgl. fabnamix GmbH (2020)

Abbildung 33 – Bildaufnahme mittels AssemblyApp¹⁵⁸

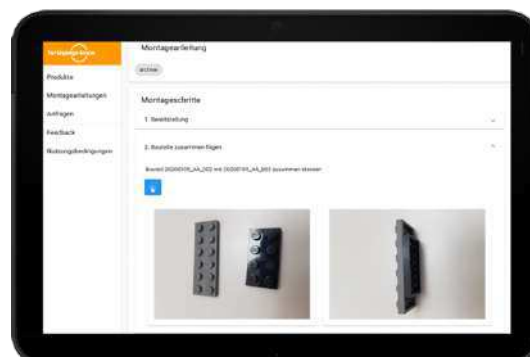
Schritt 2: Produkte anlegen

Im nächsten Schritt werden die notwendigen Montageschritte inklusive Kostenbewertung angelegt (Abbildung 34).

Abbildung 34 – Produkte anlegen mittels AssemblyApp¹⁵⁹

Schritt 3: Schritte erfassen

Die Bilder für die Arbeitsschritte werden erfasst und zugeordnet (Abbildung 35).

Abbildung 35 – Zuordnung Bilder zu Arbeitsschritten mit AssemblyApp¹⁶⁰

¹⁵⁸ fabnamix GmbH (2020)

¹⁵⁹ ebd.

¹⁶⁰ ebd.

Schritt 4: Zeit definieren (MTM-Normzeiten)

Zusätzlich können den Montageschritten MTM-Normzeiten hinzugefügt werden (Abbildung 36).



Abbildung 36 – Hinterlegung MTM-Normzeiten mittels AssemblyApp¹⁶¹

Schritt 5: PDF generieren

Im Anschluss kann ein PDF-Bericht generiert werden, welcher als Anleitung verwendet werden kann (Abbildung 37).



Abbildung 37 – PDF als Anleitung generieren mit AssemblyApp¹⁶²

Zusammenfassung

Bei dieser Anwendung handelt es sich um eine einfache Lösung mit übersichtlicher Benutzeroberfläche. Vorteilhaft ist, dass MTM-Normzeiten und komplette Anleitungen definiert werden können und nicht nur die Medien dafür.

Als nachteilig erweist sich jedoch, dass die Daten bei Dritten liegen, was besonders im Hinblick auf Datenschutz bei internen Prozessen heikel sein kann. Außerdem gibt es kaum Anpassungsmöglichkeiten und keine Audio- oder Videoaufnahmen. Eine Integration in andere Anwendungen oder ein Export ist mit Stand September 2020

¹⁶¹ fabnamix GmbH (2020)

¹⁶² ebd.

nicht möglich. Ebenso wenig ist ein lokaler Betrieb innerhalb eines Netzwerks möglich. Eine Internetverbindung ist somit Voraussetzung.

3.2.2 Cioplenu

Bei Cioplenu handelt es sich um eine Software für digitale Arbeitsanweisungen und Checklisten in der Industrie. Die Anwendung ist für Produktion, Qualitätsprüfung, Instandhaltung und Training geeignet. Dabei können Arbeitsanweisungen erstellt werden (Abbildung 38).¹⁶³

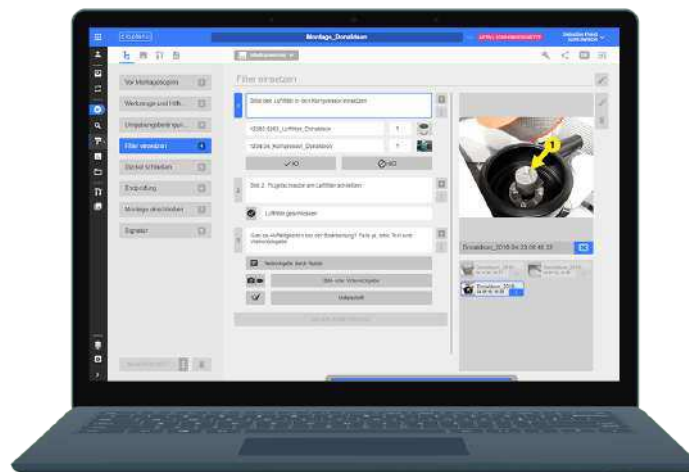


Abbildung 38 – Benutzeroberfläche Cioplenu¹⁶⁴

Bilder oder Videos können über Tablet oder Smartphone aufgenommen werden und hinterlegt werden (Abbildung 39).

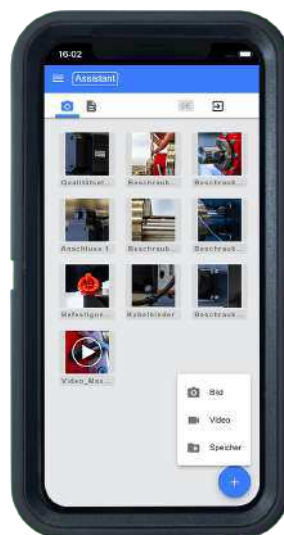


Abbildung 39 – Aufnahme von Medien mit Cioplenu¹⁶⁵

¹⁶³ vgl. cioplenu GmbH (2020a)

¹⁶⁴ ebd.

¹⁶⁵ ebd.

Diese Anweisungen können beispielsweise für Montageanweisungen, Unterweisungen, Aufbaudokumentationen, Verpackungsanweisungen, Inbetriebnahmeanleitungen oder Abnahmeprotokolle verwendet werden. Außerdem können QR-Codes auf Bauteile oder Maschinen gedruckt werden und dann später die Dokumentation dazu aufgerufen werden (z.B. für Instandhaltung). Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Reports zu erstellen und Bilder in der Webanwendung zu bearbeiten (Abbildung 40).¹⁶⁶

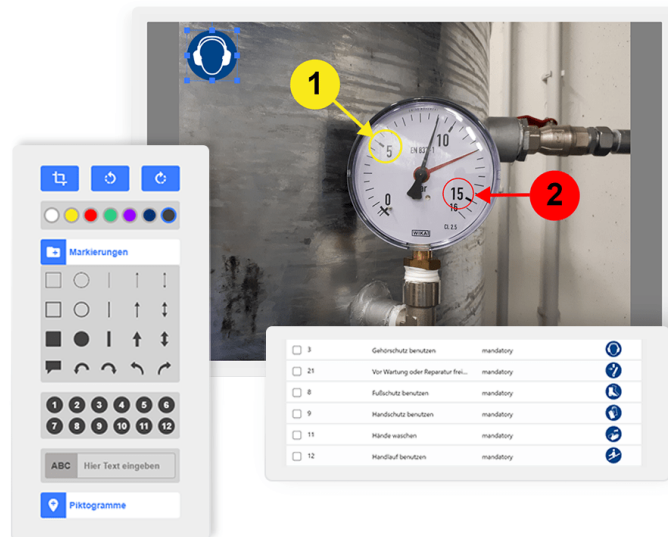


Abbildung 40 – Hinzufügen von Annotationen in Cioplenu¹⁶⁷

Zusammenfassung

Bei Cioplenu handelt es sich um ein ausgereiftes Produkt, welches vor allem für Checklisten und starre Instandhaltungsanleitungen eingesetzt werden kann. Insbesondere für wiederkehrende Prozesse und Checklisten scheint dies eine einfach handhabbare Lösung zu sein. Wenn jedoch bereits ein Werkerassistenzsystem eingesetzt wird, kann es jedoch zu Schwierigkeiten durch Redundanzen führen, da Cioplenu als Gesamtlösung konzipiert ist.

Sollten beispielsweise die Inhalte der Werkerführung im Falle von Losgröße 1 teilweise automatisch zusammengesetzt werden, gäbe es hier jedenfalls Einschränkungen, da die Software aus dem Bereich der Prozessdokumentation kommt und diese Prozesse manuell hinterlegt werden.

¹⁶⁶ vgl. cioplenu GmbH (2020b)

¹⁶⁷ ebd.

3.3 Sonstige relevante Arbeiten zur Problemstellung

Weitere Möglichkeiten sind die Verwendung von Anwendungen zur Übertragung von Bildern direkt auf FTP-Server. Diese sind jedoch nur mit bestimmten Geräten kompatibel (z.B. Sony Transfer & Tagging Add-on) und bieten keine Möglichkeit, neben den Bildern auch noch Videos oder Sprachdateien zu übertragen.

3.3.1 Sony Transfer & Tagging Add-on¹⁶⁸

Mit dieser Anwendung ist es möglich, eine geeignete Sony-Kamera mit dem Smartphone oder dem Tablet zu verbinden und automatisch Bilder auf einen FTP-Server übertragen zu lassen (Abbildung 41). Zusätzlich können bei den Bildern Metadaten hinzugefügt werden.



Abbildung 41 – Sony Transfer & Tagging Add-on im Einsatz¹⁶⁹

Zusammenfassung

Die Anwendung ist ursprünglich für die Sportfotografie gedacht, um aktuelle Bilder möglichst schnell und mit passenden Metadaten (Bildbeschreibung) übertragen zu können. Diese Anwendung kann jedoch auch zur Aufnahme von Bildern für Arbeitsanweisungen verwendet werden. Die Bilder können jedoch nicht automatisch in passende Ordner abgelegt werden und die Information zur Arbeitsschritt-ID kann nur in den Metadaten hinzugefügt werden. Derzeit ist die Anwendung auf Bilder beschränkt (Abbildung 42).

¹⁶⁸ vgl. Sony Imaging Products & Solutions Inc. (2020)

¹⁶⁹ ebd.

Abbildung 42 – Bedienungsdiagramm Sony Transfer & Tagging Add-on¹⁷⁰¹⁷⁰ Sony Corporation (2020)

3.3.2 FTPcam¹⁷¹

Bei FTPcam Lite¹⁷² und der werbefreien Alternative FTPcam Pro (2,29 €) besteht die Möglichkeit, Bilder am Smartphone (z.B. iPhone) oder Tablet (z.B. iPad) aufzunehmen und diese sofort auf einem FTP-Server zu speichern (Abbildung 43). Zusätzlich können zehn Ordner vordefiniert werden und diese stehen dann für eine Schnellauswahl zur Verfügung.

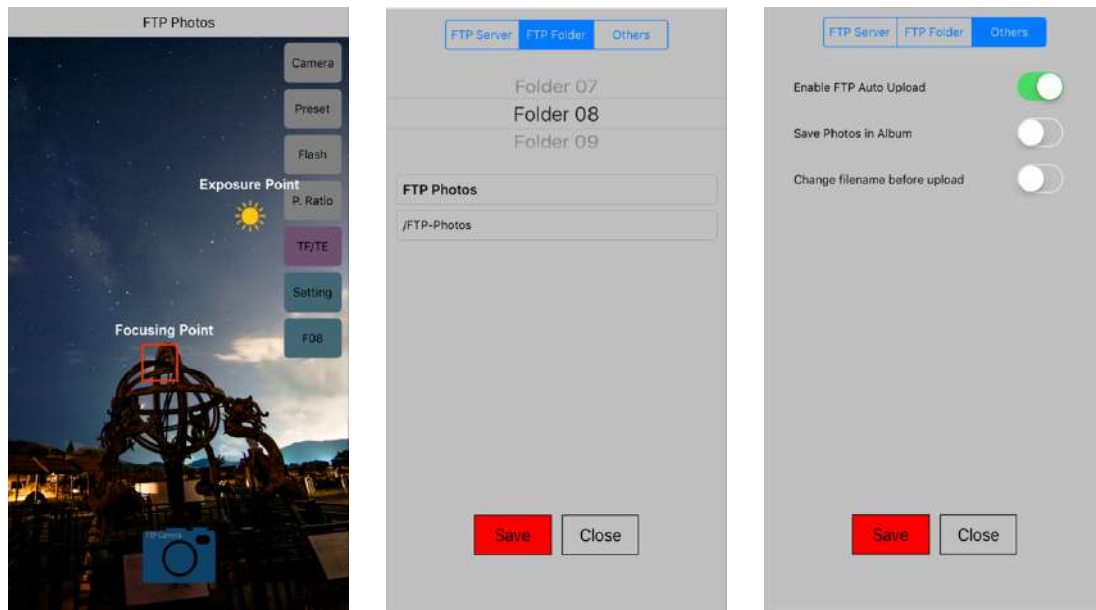


Abbildung 43 – Screenshot FTPcam Pro für iOS samt Einstellungen¹⁷³

Zusammenfassung

Es besteht keine Möglichkeit, die Bilder im Nachhinein zu bearbeiten bzw. Filme oder Sprachdateien aufzunehmen. In der Pro-Version kann der Name der Bilder vor dem Upload bearbeitet werden.

3.4 Übersicht

Die in den vorigen Kapiteln vorgestellten ähnlichen Lösungsansätze und sonstigen relevanten Arbeiten zeigen, dass ein paar Anwendungen eingeschränkt nutzbar sind. Jedoch zeigt sich in Tabelle 3, dass keine dieser Lösungen alle erforderlichen Anforderungen erfüllt. Diese grundlegenden Aufgaben wurden aus den im Einsatz

¹⁷¹ vgl. Ma (2020a)

¹⁷² vgl. Ma (2020b)

¹⁷³ Ma (2020a)

befindlichen Werkerinformationssystemen (Kapitel 2.3) unter dem Aspekt der Erstellung von Arbeitsanweisungen für die Montage abgeleitet.

Während alle Lösungen die Aufnahme von Bildern unterstützen, bietet nur Cioplenu die Aufnahme von Videos. Jedoch bietet keine Anwendung die Möglichkeit, zusätzlich auch noch Sprachaufnahmen aufzunehmen. Das Hinzufügen von Annotationen ist nur bei Cioplenu möglich. Die Übertragung in ein System mit Kategorisierung (z.B. mit ID benannte Ordner auf FTP-Server) ist ausschließlich mit FTPcam möglich. Dies ist jedoch auf maximal 10 Ordner eingeschränkt. Sony Transfer & Tagging Add-on (Sony TT) bietet ebenfalls die Möglichkeit, die Inhalte auf einen FTP-Server zu übertragen, jedoch sind die Kategorisierungsfunktionen eingeschränkt (nur in Metadaten möglich).

Da Sony TT und FTPcam die Inhalte auf einen FTP-Server übertragen, können diese einfach für in anderen Systemen (z.B. Werkerinformationssysteme) verwendet werden. Bei AssemblyApp und Cioplenu hingegen besteht diese Möglichkeit nicht. Hierbei bleiben die Inhalte im jeweiligen proprietären System und es können lediglich PDF-Berichte generiert werden. Bei AssemblyApp und Cioplenu handelt es sich um Webanwendungen, während Sony TT und FTPcam native Apps sind, welche auf dem Mobilgerät installiert werden müssen.

	<i>AssemblyApp</i>	<i>Cioplenu</i>	<i>Sony TT</i>	<i>FTPCam</i>
<i>Aufnahme von Bildern</i>	+	+	+	+
<i>Aufnahme von Videos</i>	-	+	-	-
<i>Aufnahme von Sprachaufnahmen</i>	-	-	-	-
<i>Annotationen hinzufügen</i>	-	+	-	-
<i>Übertragung in System mit Kategorisierung</i>	-	-	-	*
<i>Verwendbarkeit der Inhalte in anderen Systemen</i>	-	-	+	+
<i>Art der Anwendung</i>	Web	Web	Nativ	Nativ
* maximal 10 Ordner				

Tabelle 3 – Gesamtübersicht Lösungsansätze

4 Konzeption

4.1 Grundkonzeption

4.1.1 Anwendungslandschaft

Aufbauend auf dem betrieblichen Fertigungskonzept, wurde eine Übersicht über die Anwendungslandschaft in der betrieblichen Fertigung erstellt. Der Grund hierfür ist, dass Betriebe nicht einzelne, isolierte Softwaresysteme betreiben, sondern eine Vielzahl von teilweise voneinander abhängigen Anwendungen.¹⁷⁴

Aufgezeichnete Arbeitsanweisungen, welche auf Handarbeitsplätzen in der Produktion gezeigt werden sollen, verdeutlichen dass eine Einbettung der Demonstratoranwendung in die Prozesslandschaft notwendig ist. Die Arbeitsinhalte werden mittels Mobilgerät aufgenommen und im Anschluss über ein ERP-System, die Montagesteuerung oder Werkerführung auf den entsprechenden Handarbeitsplätzen (Werkerinformationssysteme) ausgegeben. An den Handarbeitsplätzen erfolgt nach der Durchführung der Arbeitsinhalte eine Rückmeldung, worauf die Werkerführung den nächsten Arbeitsinhalt an den Handarbeitsplatz übergibt. Die Montagesteuerung ermöglicht die der Arbeitsinhalte je nach Auslastung auf einzelne Handarbeitsplätze zu verteilen (Abbildung 44).¹⁷⁵

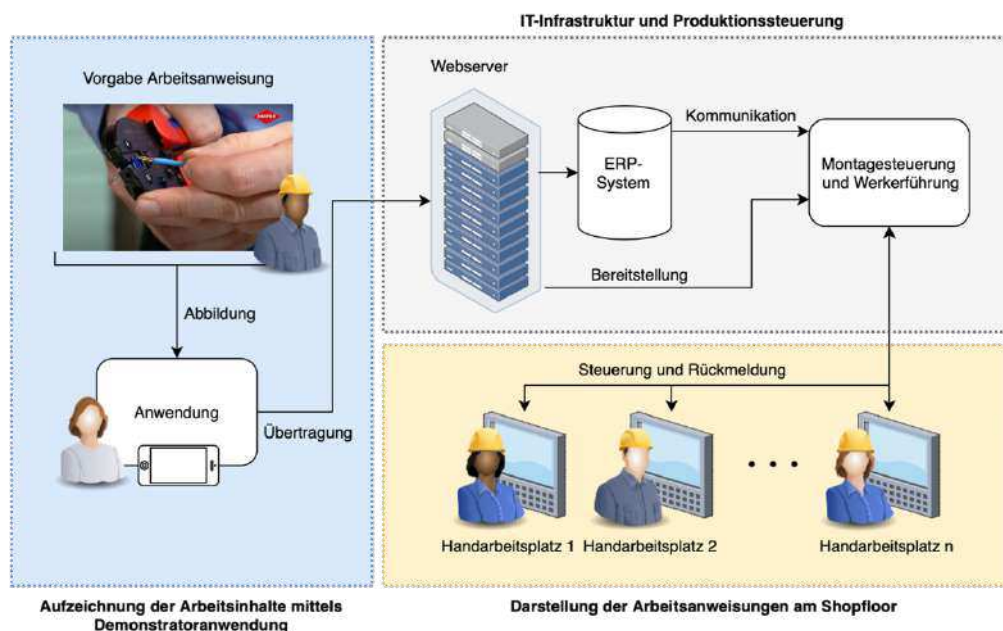


Abbildung 44 – Anwendung im betrieblichen Fertigungskonzept¹⁷⁶

¹⁷⁴ vgl. Hofer (2009)

¹⁷⁵ vgl. Wölfler (2014), S. 67ff

¹⁷⁶ Eigene Darstellung basierend auf den Konzepten in Kapitel 2.3, die Arbeitsanweisung ist ein Screenshot aus KNIPEX (2015), aufbauend auf Wölfler (2014), S. 68

4.1.2 Aufbau nach dem Client-Server-Modell

Der Aufbau der Anwendung erfolgt über das Client-Server-Modell. Dies ist ein Architekturkonzept zum Verteilen von Aufgaben und Diensten in einem Netzwerk. So werden beispielsweise Webseiten über HTTP oder Dateien via FTP transferiert. Server stellen dabei die Dienste zur Verfügung, während Clients (z.B. Computer oder Mobilgeräte) diese nutzen (Abbildung 45).¹⁷⁷ Neben HTTP und FTP können auch darauf aufbauende Standards mit Verschlüsselung (z.B. HTTPS, SFTP) genutzt werden. Da die Verwendung analog erfolgt, wird aus Übersichtszwecken auf deren Darstellung in den Abbildungen verzichtet.

Der Quellcode einer Webanwendung wird durch den Webserver bereitgestellt und an das Endgerät (z.B. Desktop-PC oder Mobilgeräte wie Smartphones) ausgeliefert.¹⁷⁸ Am Smartphone arbeitet innerhalb des Betriebssystems ein Webbrowser, welcher die Webanwendung darstellt und dafür Anfragen und Antworten an den Server sendet.¹⁷⁹ Werden Inhalte auf den Server übertragen, so kann dieser diese ablegen und weiterverarbeiten (z.B. mit PHP). Eine Anbindung einer Datenbank ist dabei möglich, jedoch nicht erforderlich.¹⁸⁰

In der Webanwendung selbst, können lokal am Gerät des Anwenders mit JavaScript Berechnungen und Aufgaben ausgeführt werden. Dadurch kann die Menge des Datenverkehrs reduziert werden und auch die Rechenlast des Webserver reduziert werden.¹⁸¹

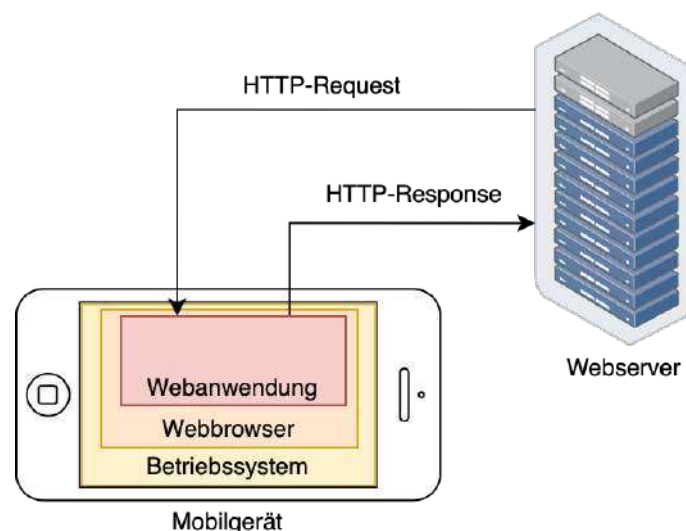


Abbildung 45 – Aufbau nach dem Client-Server Modell¹⁸²

¹⁷⁷ vgl. Luber / Donner (2020)

¹⁷⁸ vgl. Zhao (2017)

¹⁷⁹ vgl. Pereira / Gomes (2018)

¹⁸⁰ vgl. The PHP Group (2020b)

¹⁸¹ vgl. Mozilla Foundation (2020c)

¹⁸² Eigene Darstellung, aufbauend auf Zhao (2017) und Pereira / Gomes (2018)

4.1.3 Bereitstellung von Schnittstellen

Um eine dynamische Bereitstellung der Arbeitsinhalte zu ermöglichen ist es notwendig, alle hierfür notwendigen Funktionen innerhalb modularer Softwarebausteine anzubieten. Dadurch soll eine flexible Anbindung der Softwarebausteine ermöglicht werden.¹⁸³

Hierfür kann auf aufgenommene Arbeitsinhalte über verschiedene Dienste wie FTP (File Transfer Protocol) oder HTTP (Hypertext Transfer Protocol) zugegriffen werden (Abbildung 46). Im Falle von FTP können diese Inhalte beispielsweise kopiert und weiterverarbeitet werden während sich HTTP besonders dafür eignet, die Inhalte am Server zu belassen und dann via Website am Client bei Bedarf auszugeben.¹⁸⁴

4.1.4 Datenstruktur

Eine separate Datenbank ist durch die logische Ablage der Inhalte (in einem Ordner mit der ID) nicht notwendig. Durch die Ablage in die Ordner ist bereits eine ausreichende Struktur gewährleistet. Einer Erweiterung um zusätzliche Informationen wie Prozessinformationen steht hierbei nichts im Wege. Diese können z.B. als .json oder .md-Datei wie auch die Bilder, Videos oder Sprachaufnahmen im entsprechenden Ordner abgelegt werden (vgl. datenbanklose Content-Management-Systeme mit Flat File Struktur wie Grav¹⁸⁵).

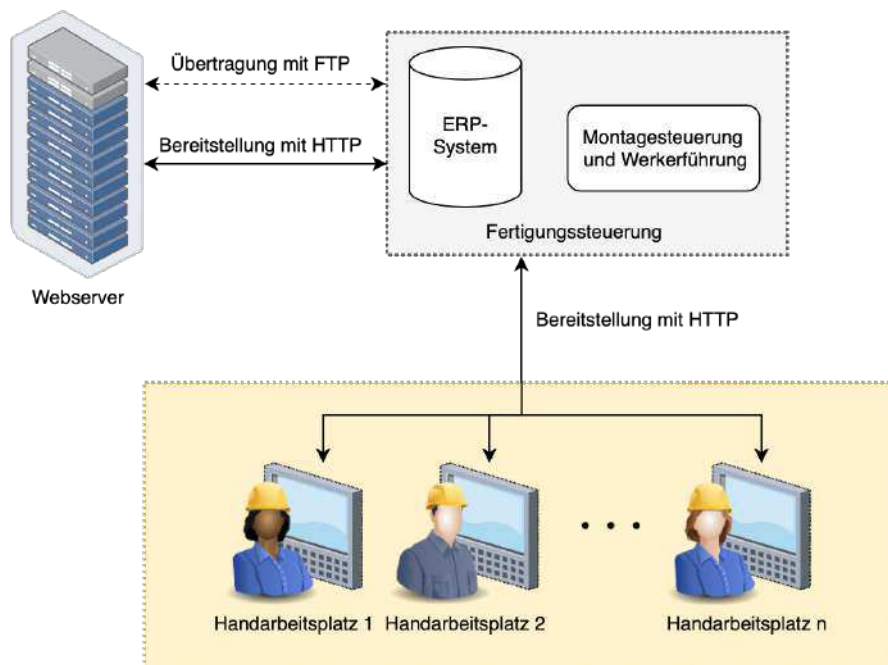


Abbildung 46 – Bereitstellung von Inhalten¹⁸⁶

¹⁸³ vgl. Reinhart (2017), S. 703f

¹⁸⁴ vgl. Luber / Donner (2020)

¹⁸⁵ vgl. getgrav.org (2020)

¹⁸⁶ Eigene Darstellung, aufbauend auf Reinhart (2017), S. 702f

Eine Administration und Verteilung der Arbeitsinhalte auf die einzelnen Handarbeitsplätze erfolgt über ein ERP-System, die Montagesteuerung oder eine Werkerführungsanwendung. Bei der zentralen Datenhaltung werden dabei die Daten über eine ID im System abgelegt. Diese ID enthält keine weiterführenden Informationen zum Produkt oder Prozess, sondern liefert nur die Identität des Objekts. Vorteile einer zentralen Datenhaltung sind, dass es in der Regel keine Redundanzen gibt und einfach Backups erstellt werden können. Außerdem gibt es eine weit fortgeschrittene Standardisierung und geringe Kosten für Datenträger. Im Gegenzug ist jedoch eine ständige Netzwerkverbindung erforderlich.¹⁸⁷

4.2 Anforderungsdefinition

Die Anforderungen, nach welchen die bestehenden Lösungen in Kapitel 3.4 bewertet wurden, können als Muss-Anforderungen für den universellen und flexiblen Einsatz in Werkerinformationssystemen wahrgenommen werden. Die Art der Anwendung wurde nicht Muss-Anforderung festgelegt, jedoch wurde diese aus weiteren Anforderungen abgeleitet.

Die Aufzeichnung der Arbeitsinhalte erfolgt dabei nach dem in Abbildung 47 dargestellten zeitlichen Ablauf: Nach der Bezeichnung des aufzuzeichnenden Arbeitsinhalts wird die optimale Arbeitsanweisung vorbereitet und im Anschluss mittels Sprachaufnahme, Foto oder Video¹⁸⁸ aufgezeichnet. Daneben kann das Anlegen des Arbeitsinhalts im entsprechenden ERP-, Montagesteuerungs- oder Werkerführungssystem erfolgen, wodurch eine eindeutige ID für den Arbeitsschritt vergeben werden kann. Mit einer ID kann eine korrekte Zuordnung und Weiterverwendung in diesen Systemen sichergestellt werden.

Nachdem die Aufnahme eines Arbeitsinhalts (inklusive etwaiger Annotationen bei Bildern) abgeschlossen ist, werden diese auf den Server übertragen und in einem entsprechenden Ordner abgelegt. Die serverseitige Anwendung verarbeitet die Inhalte entsprechend und kann diese dann anderen Nutzern und Anwendung zur Verfügung stellen.

¹⁸⁷ vgl. Wölfle (2014), S. 69f

¹⁸⁸ vgl. Reinhart (2017), S. 70

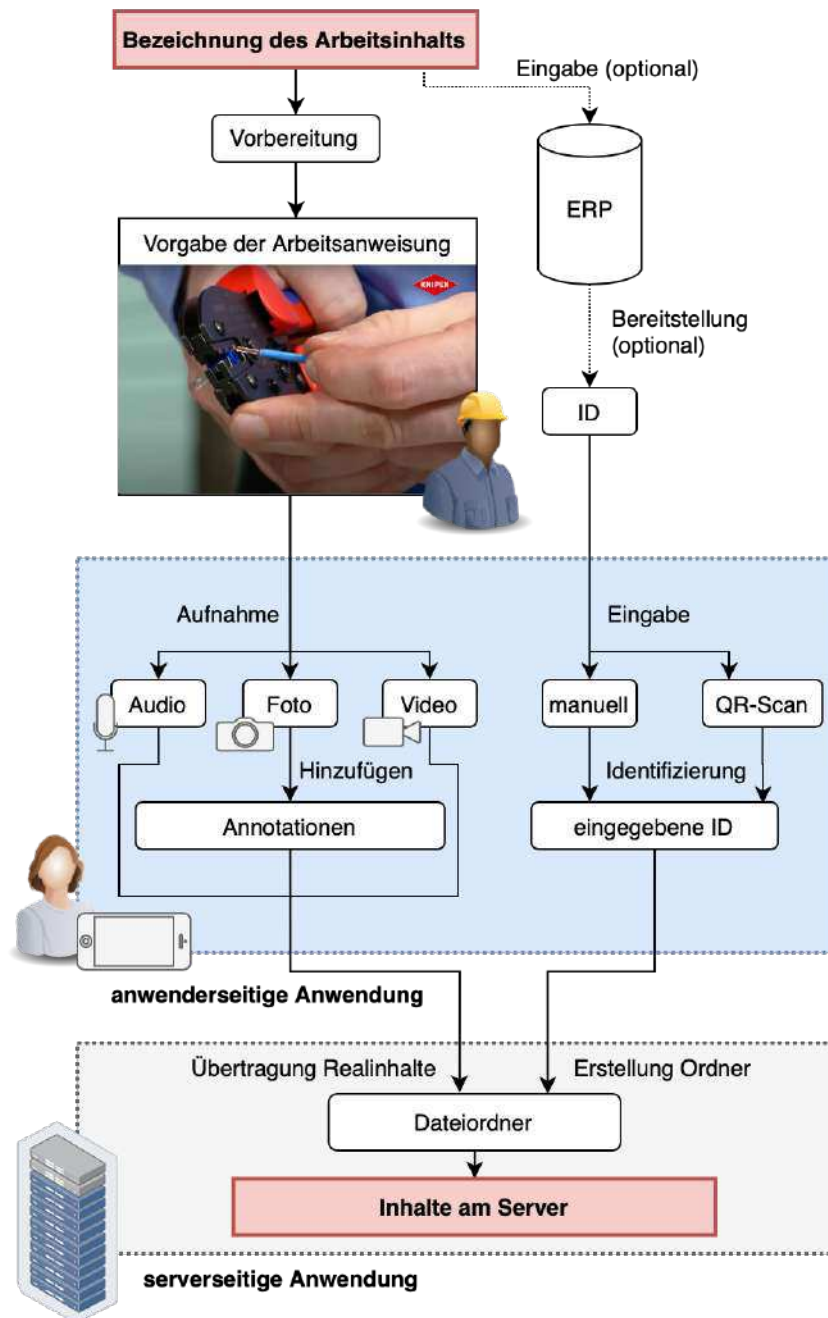


Abbildung 47 – zeitlicher Ablauf Aufzeichnung Arbeitsanweisung¹⁸⁹

Die Anforderungsdefinition wurde im Anschluss aus dem Grundkonzept abgeleitet.¹⁹⁰ Dabei wurde entsprechend dem SCRUM Ansatz mit Epics, User Stories und Tasks gearbeitet (Kapitel 2.6.6). Hierzu wurden die beiden möglichen Ansichten eingenommen: zum einen die Sicht eines Anwenders, welcher die Arbeitsanweisungen in das System aufnehmen möchte. Andererseits die Sicht eines Administrators, welcher diese und andere Anwendungen verwalten muss.

¹⁸⁹ Eigene Darstellung basierend auf Konzepten in Kapitel 2.3, 2.5 und 3, die Arbeitsanweisung ist ein Screenshot aus KNIPEX (2015)

¹⁹⁰ vgl. Balzert (2011), S. 488

Die gewünschten Anforderungen wurden jeweils aus deren Sicht formuliert und in Alltagssprache definiert. Sie sind dabei nach folgendem System (User Story) aufgebaut:

„Als [Rolle] möchte ich [Funktion] um [Nutzen].“¹⁹¹

Im Epic „Allgemein“ (Tabelle 4) sind vor allem User Stories, welche die Bedienung der Anwendung betreffen, als auch Arbeitsablaufthemen enthalten.

Epic	User Story
Allgemein	Als Anwender möchte ich eine ID aufnehmen können damit ich diese einem Arbeitsschritt zuordnen kann.
	Als Anwender möchte ich QR-Codes scannen können damit ich die ID nicht manuell eingeben muss.
	Als Anwender möchte ich die Anwendung in meiner Sprache sehen, um diese besser verwenden zu können.
	Als Anwender möchte ich die Anwendung auf verschiedenen Geräteklassen (Notebook, Smartphone, Tablet) und Betriebssystemen (Windows, iOS, macOS, Android, Linux, ...) ausführen können, um flexibel zu sein.
	Als Administrator möchte ich eine Anwendung, welche ich zentral verwalten kann, um alle Anwender auf dem aktuellen Stand zu haben.

Tabelle 4 – Epic Allgemein

Epic	User Story
Audio	Als Anwender möchte ich Audiobeschreibungen aufnehmen können, um diese später im Werkerinformationssystem verwenden zu können.

Tabelle 5 – Epic Audio

Im Epic „Bilder“ (Tabelle 6) sind sowohl die Aufnahme der Bilder als auch die Anforderungen für die Annotationen als Tasks hinterlegt.

Epic	User Story
Bilder	Als Anwender möchte ich Bilder aufnehmen können, um diese später im Werkerinformationssystem verwenden zu können.

¹⁹¹ Plewa (2019)

Als Anwender möchte ich Bilder mit Annotationen versehen können, damit wichtige Inhalte gleich markiert und erkannt werden können.

Unterteilung in folgende Tasks:

- Hinzufügen von Pfeil
- Hinzufügen von Rechteck
- Hinzufügen von Kreis
- Hinzufügen von Text
- Entfernen von Annotationen

Tabelle 6 – Epic Bilder

Epic	User Story
Video	Als Anwender möchte ich Videos aufnehmen können, um diese später im Werkerinformationssystem verwenden zu können.

Tabelle 7 – Epic Video

In Epic „Übertragung“ (Tabelle 8) befinden sich Anforderungen bezüglich des Transfers der Inhalte auf den Webserver und der entsprechenden Einordnung der Inhalte.

Epic	User Story
Übertragung	Als Anwender möchte ich eine einfache Übertragung der Inhalte auf den Server, um mich auf die Aufnahme meiner Inhalte konzentrieren zu können.
	Als Anwender möchte ich ein Feedback nach der Übertragung der Inhalte, um zu wissen, ob die Übertragung funktioniert hat.
	Als Administrator möchte ich sauber abgelegte Inhalte in Verzeichnissen, um die Inhalte der Anwender wiederzufinden.

Tabelle 8 – Epic Übertragung

5 Umsetzung

Im folgenden Abschnitt werden die praktische Umsetzung beschrieben sowie die Demonstratoranwendung mit ihrem Funktionsumfang als Softwareartefakt präsentiert.

5.1 Vorauswahl Lösungsansätze

Die Anforderungen aus Kapitel 4.2 wurden zusammengefasst und die wichtigsten Lösungsansätze zur Beantwortung der User Stories vorgestellt. Durch diese Vorauswahl können kompatible Lösungen gesucht werden und dann rasch in der praktischen Umsetzung umgesetzt werden.

5.1.1 Webanwendung

Um eine möglichst große Unabhängigkeit von einzelnen Betriebssystemen und Gerätekategorien zu gewährleisten, soll das Softwareartefakt als Webanwendung realisiert werden. Diese Anwendungen sind einfacher und günstiger zu entwickeln als für das jeweilige Betriebssystem speziell entwickelte Anwendungen. Bei Bedarf können Webanwendungen ohne durchgehende Internetverbindung funktionieren (Progressive Web Apps, siehe Kapitel 2.5.2).

Außerdem ist dadurch eine Unabhängigkeit von App Stores gegeben und es bestehen somit keinerlei Restriktionen, die Anwendung über eigene Infrastruktur zu verteilen. Dieser Aspekt kann für manche Anwendungskategorien ein entschiedenerer Nachteil sein, wenn Anwender im App Store nach einer passenden Lösung suchen. Für die Demonstratoranwendung ist dies nicht notwendig, da die Anwender nicht nach einer Lösung im App Store suchen, sondern diese Aufgabe innerhalb des Unternehmens übernehmen und ausführen und dafür die bereitgestellte Infrastruktur nutzen. Weiters ist zu erwähnen, dass native Apps zwar etwas mehr Funktionalitäten haben könnten, jedoch können alle im Anwendungsfall geforderten Funktionalitäten auch mit der Webanwendung gelöst werden.¹⁹²

5.1.2 Design mittels Bootstrap

Um einen schnellen und responsiven (Entwicklung für alle Displaygrößen: PC, Tablet, Mobiltelefon) Aufbau der Benutzeroberfläche zu ermöglichen, kann Bootstrap eine solide Lösung bieten. Bootstrap ist ein Framework für die Webentwicklung mit HTML, CSS und JavaScript. Es enthält einen großen Satz vordefinierter Werkzeuge und ermöglicht daher die schnelle Entwicklung von Ideen und Anwendungen.¹⁹³ Dieses beinhaltet auf HTML und CSS basierende Gestaltungsvorlagen für Typografie,

¹⁹² vgl. app-entwickler-verzeichnis.de (2017)

¹⁹³ vgl. Bootstrap (2020)

Formulare, Buttons, Tabellen, Raster-System und mehr (Abbildung 48). Hinzu kommen optionale JavaScript-Erweiterungen für dynamische Inhalte, wie beispielsweise die Navigation mit Registerkarten.

Die erste Version von Bootstrap ist 2011 erschienen und war von Twitter ursprünglich für interne Tools entwickelt worden. Besonders beliebt ist Bootstrap, da dadurch responsives Webdesign einfach und schnell möglich wird. Dazu kommt die Open-Source-Lizenz. Zusätzlich gibt es auch noch fertige, größtenteils kostenpflichtige Designs für Websites und Dashboards.¹⁹⁴

Zur Verwendung wird ein ZIP-Archiv von der Bootstrap-Seite heruntergeladen und dieses wird dann in der HTML-Datei eingebunden. Dadurch ist ein gutes Grunddesign der HTML-Elemente und eine rasch funktionsfähige Seite gegeben. Alternativ kann auch BootstrapCDN verwendet werden. Dann muss nicht extra die Datei heruntergeladen werden, sondern nur darauf verlinkt werden. Hierbei ist jedoch eine Internetanbindung notwendig, somit wäre dies für den Fall von internen Anwendungen ohne Internetzugriff nicht geeignet.

Mögliche Alternativen

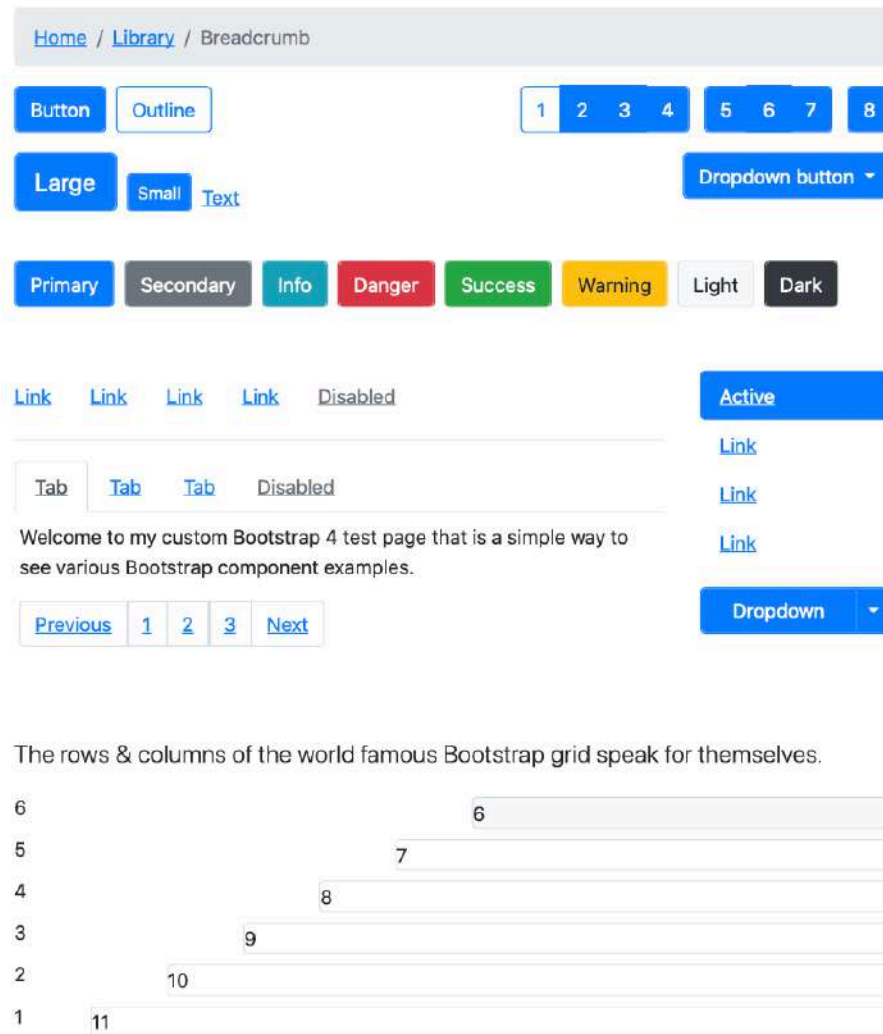
Neben Bootstrap gibt es zahlreiche andere, teilweise einfachere Lösungen mit weniger Speicherbedarf:

- Skeleton¹⁹⁵
- Toast¹⁹⁶
- Alternativ gibt es seit CSS3 mit dem integrierten Flexbox-Layout eine einfache Möglichkeit für responsive Lösungen ohne extra Framework. Das Design für Buttons und auch die Navigation wären dann selbst zu anzufertigen.

¹⁹⁴ vgl. Wikipedia (2020)

¹⁹⁵ vgl. getskeleton.com (2020)

¹⁹⁶ vgl. Eden (2020)

Abbildung 48 – Screenshot fertige Bootstrap Komponenten¹⁹⁷

5.1.3 Bildbearbeitung mit Fabric.js¹⁹⁸

Um mit der Demonstratoranwendung Annotationen für die Bilder zu ermöglichen, wurde auf die Lösung Fabric.js zurückgegriffen. Fabric.js ist eine leistungsstarke und einfache JavaScript-HTML5-Canvas-Bibliothek. Die Bibliothek erlaubt das Hinzufügen von Text und Elementen und wird in der Anwendung verwendet, um Annotationen bei Bildern hinzuzufügen bzw. auch wieder zu entfernen. In der Demonstratoranwendung können dadurch Kreise, Rechtecke, Pfeile und Text hinzugefügt und gelöscht werden (Abbildung 49). Vor der Übertragung auf den Server wird der Inhalt in des HTML5-Canvas in ein Bild (.png) umgewandelt.

¹⁹⁷ codeply.com (2020)

¹⁹⁸ vgl. fabricjs.com (2020)

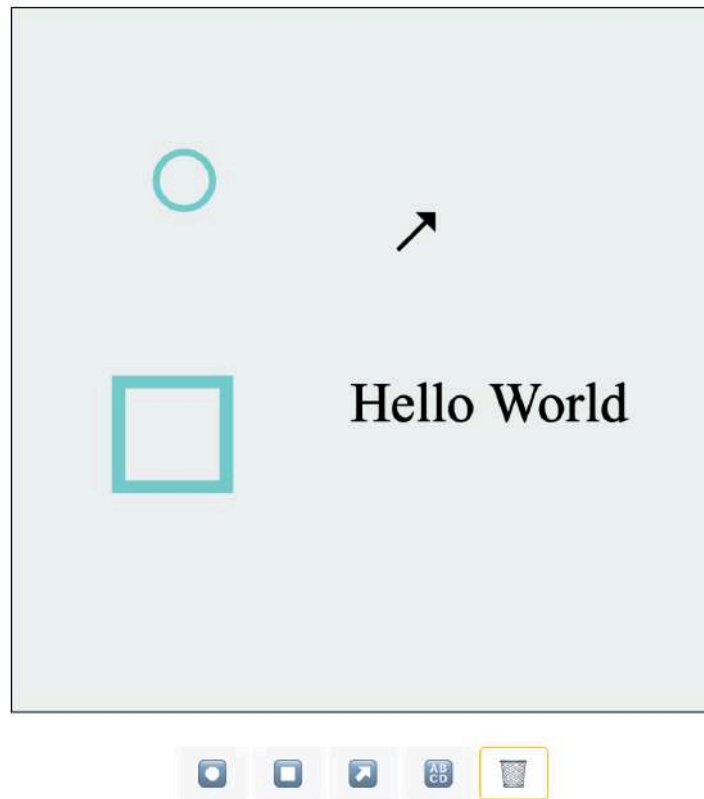


Abbildung 49 – Screenshot Fabric.js aus der Demonstratoranwendung

Fabric.js bietet noch zahlreiche weitere Funktionen. Diese können bei Interesse unter <http://fabric.js.com/demos> gefunden werden.

5.1.4 Sprachaufnahmen mit Recorder.js¹⁹⁹

Um die Sprachaufnahmen direkt im Browser zu ermöglichen, soll die Bibliothek Recorder.js eingesetzt werden. Mit dieser ist es möglich, mittels JavaScript und HTML Sprachaufnahmen zu erstellen. Die Anwender können Aufnahmen starten und stoppen sowie pausieren und fortsetzen (Abbildung 50). Im Anschluss werden die Sprachaufnahmen als .wav Datei auf den Server übertragen.



Abbildung 50 – Screenshot Recorder.js aus der Demonstratoranwendung

5.1.5 Mehrsprachigkeit

Um die Mehrsprachigkeit der Anwendung zu realisieren, wurde auf eine extra Bibliothek verzichtet und eine eigene Lösung dazu realisiert. Diese Lösung baute auf eine Best Practice²⁰⁰ auf und wurde dann in ähnlicher Weise umgesetzt. Der

¹⁹⁹ vgl. Naicu (2018)

²⁰⁰ vgl. stackoverflow.com (2020)

Webbrowser, mit welchem die Lösung aufgerufen wird, übergibt dabei die Standardsprache an die Anwendung. Je nachdem, welche Sprache übergeben wird, werden die Texte auf der Benutzeroberfläche angepasst.

Als Sprachen der Benutzeroberfläche wurden Deutsch, Niederländisch und Englisch definiert. Die Erweiterung um weitere Sprachen ist problemlos möglich. Die Prüfung erfolgt dabei mit if-Abfragen. Sollte eine Sprache angefordert werden, für welche es noch keine Übersetzung gibt (z.B. Portugiesisch), so wird dann die englische Übersetzung angezeigt.

5.2 Praktische Umsetzung

In diesem Abschnitt werden die beiden verwendeten Programme dargestellt, mit denen die Anwendung erstellt und getestet wurde. Diese Tools stellen nur eine Auswahl an geeigneten Mitteln dar. Es gibt eine Vielzahl an weiteren einsetzbaren Anwendungen. Bei der praktischen Umsetzung wurden mehrere bestehende Programmbibliotheken und Programmieransätze, welche im vorigen Kapitel vorgestellt wurden, miteinander kombiniert, um eine für diesen neuen Anwendungsfall passende Lösung zu erstellen.

5.2.1 Vorgehensmodell

Die Organisation der Entwicklung erfolgte in inkrementellen Schritten. Basierend auf dem Scrum-Ansatz wurden aus den User Stories (Kapitel 4.2) einzelne Handlungsanleitungen abgeleitet und umgesetzt. Zur Verwaltung wurde ein Kanban-System mit der Anwendung MeisterTask²⁰¹ (Abbildung 51) eingesetzt.

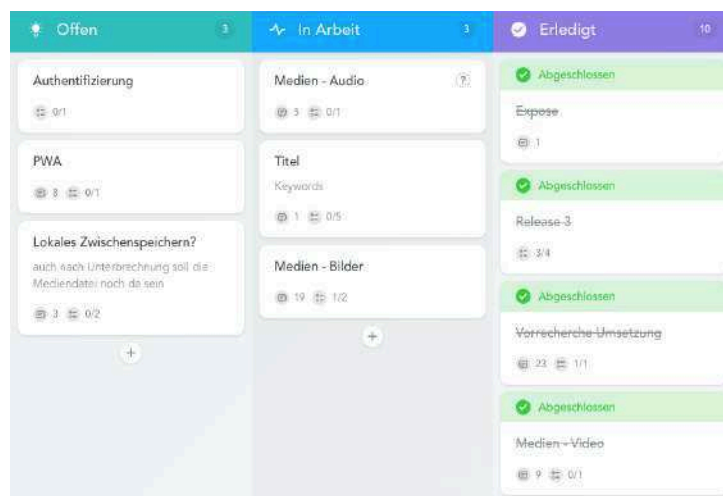


Abbildung 51 – Screenshot Kanban in der Anwendung „Meistertask“

²⁰¹ vgl. MeisterLabs GmbH (2020)

Die dabei verwendete Anwendung Meistertask bietet dabei eine einfache Bedienung und ist für alle gängigen Plattformen verfügbar. Zusätzlich ist die Anwendung auch für Teams geeignet (z.B. Scrum Teams) und Spalten können individuell angepasst werden. Bereits in der kostenlosen Version gibt es einen sehr großen Funktionsumfang. Während der Entwicklung wurden die Anforderungen an das Softwareartefakt, welche aus den User Stories abgeleitet wurden, immer klarer, sodass diese in inkrementellen Schritten immer genauer definiert werden konnten und sich der Lösung in Form der Demonstratoranwendung annäherten (vgl. Abbildung 52).

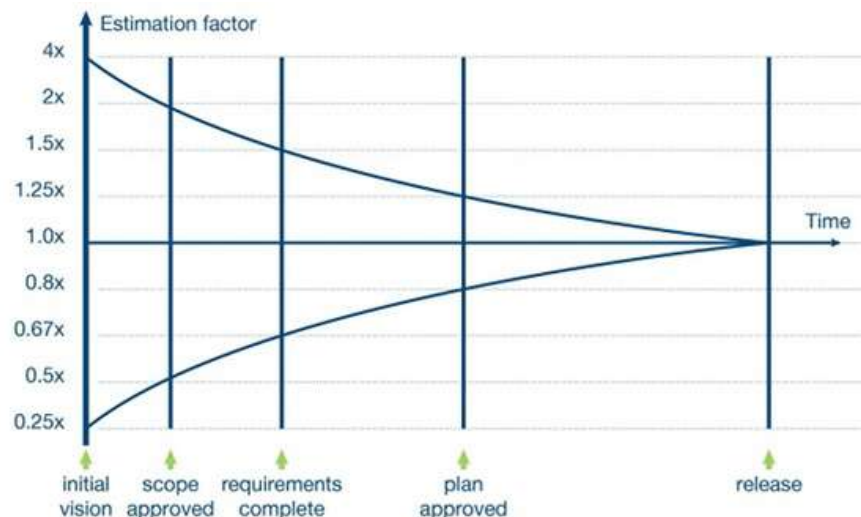


Abbildung 52 – Unsicherheitsbereich während des Projekts²⁰²

5.2.2 Atom²⁰³

Atom ist ein Texteditor und ermöglicht die Anzeige und Bearbeitung von Quellcode. Die Software kann von atom.io heruntergeladen werden. Es ist auch möglich, Texteditoren zu verwenden, die bereits mit dem Computer geliefert werden. Für Benutzer ist es nicht notwendig, die Software zu installieren, sie wird nur häufig für die Entwicklung verwendet. Die Syntaxhervorhebung ist eine Funktion von Texteditoren für die Programmierung wie Atom (Abbildung 53). Diese Funktion zeigt Text in verschiedenen Farben und Schriftarten je nach Begriffskategorie an.²⁰⁴

Als Alternative bietet sich beispielsweise Microsoft Visual Studio Code an.²⁰⁵ Die Anwendungen unterscheiden sich vor allem durch Features und GUI, die Grundfunktionen sind dagegen ident.

²⁰² vgl. itemis AG (2020)

²⁰³ vgl. atom.io (2020)

²⁰⁴ vgl. Dimitri (2015), S. 1

²⁰⁵ vgl. Microsoft Corporation (2020)

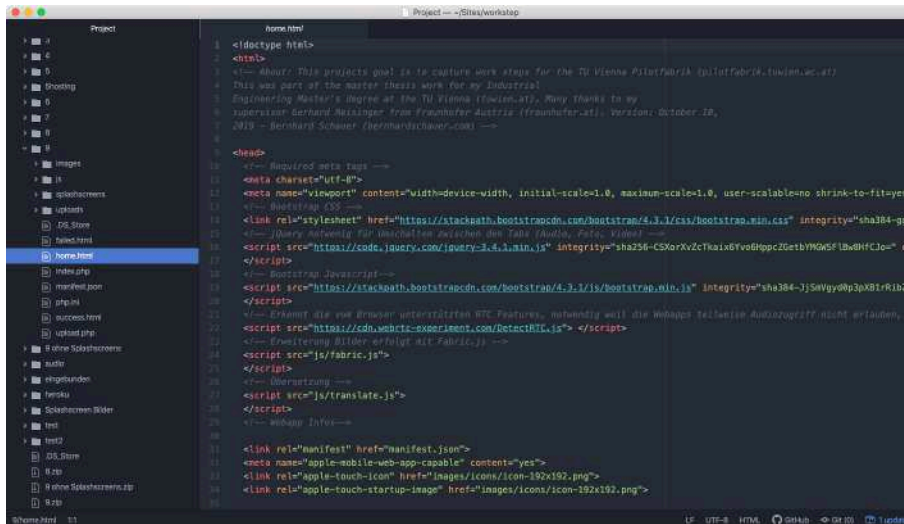


Abbildung 53 – Screenshot Codeeditor Atom

5.2.3 Server

Zu Beginn wurde auf eine localhost-Lösung (virtueller Server am Entwicklungsrechner) eingesetzt, später folgte eine Umstellung auf einen externen Server. Der Betrieb dieser Rechner wird für viele Anwendungen an spezialisierte Unternehmen ausgelagert (Webhoster). Besonders im Fall der Demonstratoranwendung, welche sehr niedrige Hardwareanforderungen hat, ist dies eine einfache Lösung.

Gewählt wurde dabei ein Webserver mit Unterstützung für FTP beim Hoster 1&1 IONOS²⁰⁶. Die Mindestanforderungen für diese Webanwendung sind folgendermaßen definiert:

- SSL-Zertifikate für die verschlüsselte Übertragung zum Server
- Mindestens 1 GB Webspace (je nach Anzahl der Inhalte)
- FTP und WebFTP-Zugriff
- Automatische Backups
- PHP-Modul (z.B. Apache oder Nginx)
- Mindestens 64 MB PHP-Memory-Limit

Außerdem wurde auf einem lokalen Server in der Pilotfabrik Aspern der TU Wien eine Kopie der Lösung integriert, um dort lokal Arbeitsanweisungen aufnehmen zu können.

²⁰⁶ vgl. 1&1 IONOS SE (2020a)

5.3 Präsentation der Demonstratoranwendung

Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über die Benutzeroberfläche, die Funktionen und die Möglichkeiten der Demonstratoranwendung (Softwareartefakt).

5.3.1 Startbildschirm

Am Startbildschirm (Abbildung 54) kann der Werker die ID des Arbeitsschrittes eingeben oder alternativ einen QR-Code scannen (Kapitel 5.2.3), welcher dann die ID automatisch ausfüllt.

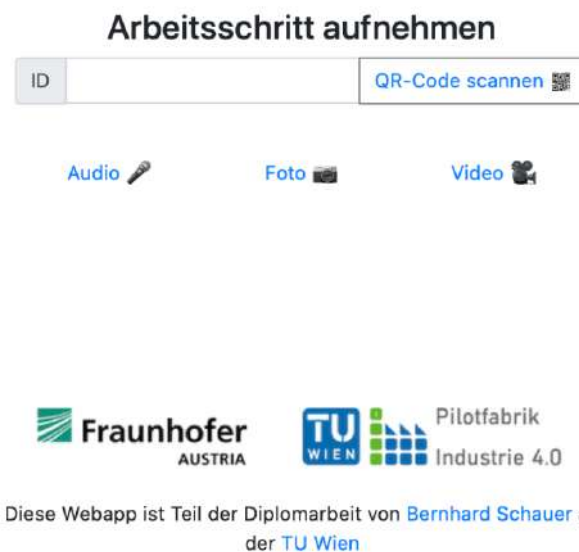


Abbildung 54 – Screenshot Demonstratoranwendung

Im Anschluss kann das gewünschte Medium für die Arbeitsanweisungen gewählt werden:

- Audioaufnahme (Kapitel 5.2.4)
- Foto (Kapitel 5.2.5)
- Video (Kapitel 5.2.6)

5.3.2 Übergabe Arbeitsschritt als URL-Parameter

Um eine einfache Integration in andere Systeme zu ermöglichen (z.B. Anbindung mit QR-Codes oder Links) wurde ein Schema definiert, wie eine Arbeitsschritt-ID über die URL übergeben werden kann. Bei Bedarf kann dieses System um weitere Informationen ergänzt werden.

Wird beispielsweise bei der URL der Demonstratoranwendung ein Fragezeichen und die ID hinzugefügt, so wird diese ID automatisch im ID-Feld ausgefüllt. Der URL-Aufbau ist daher wie folgt: <https://workstep.me/?123456> (Abbildung 55)



Abbildung 55 – Screenshot Demonstratoranwendung samt Query-String (URL)

Selbstverständlich ist es auch möglich, die Anwendung ohne die Übergabe der Arbeitsschritt-ID als URL-Parameter zu verwenden. Dazu muss lediglich die Website (workstep.me) aufgerufen werden und dann das Feld ID manuell ausgefüllt werden.

5.3.3 QR-Code-Scanner

Durch Klick auf den Button „QR-Code scannen“ gelangt der Nutzer zu einem QR-Code-Scanner, welcher direkt im Webbrowser ausgeführt werden kann. Wird dabei ein QR-Code erkannt, wird die URL gelesen und der Nutzer kann diese Seite aufrufen. Als QR-Code-Scanner wurde die Lösung qrcodescan.in in die Demonstratoranwendung integriert. Damit kann der QR-Code, welcher die ID bereits enthält, gescannt werden und dann wird diese vorausgefüllt. Tippfehler werden somit vermieden.

In die URL, welche im QR-Code gezeigt wird, kann dabei die Arbeitsschritt-ID nach Kapitel 5.2.2 eingebunden werden, wodurch eine manuelle Eingabe der ID bei QR-Code-Scan entfallen kann. Für die Generierung von QR-Codes bietet sich im täglichen Einsatz eine automatische Integration im Werkerinformationssystem an. Zu Demonstrationszwecken wurden die QR-Codes manuell mit der Webanwendung qr1.at generiert.

5.3.4 Aufnahme von Audio

Sobald der Nutzer „Audio“ gewählt hat und der Webanwendung den Zugriff auf das Mikrofon gestattet hat, kann eine Audioaufnahme der Arbeitsanweisung gestartet werden. Diese kann pausiert und dann wieder fortgesetzt werden. Am Ende wird diese dann ganz gestoppt. Nutzer haben die Möglichkeit, die Audioaufnahme anzuhören und falls diese nicht den Erwartungen entspricht, eine erneute Aufnahme zu beginnen (Abbildung 56).

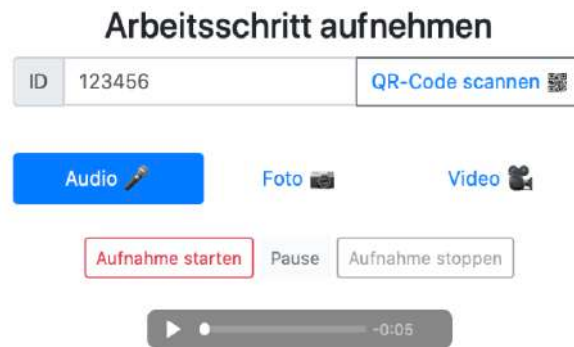


Abbildung 56 – Screenshot Demonstratoranwendung: Audioaufnahme

5.3.5 Aufnahme von Bildern

Sobald der Nutzer als Aufnahmeart „Foto“ gewählt hat, kann dieser die Arbeitsanweisung als Bild aufnehmen. Dazu öffnet sich die Kamera-App des Mobilgeräts und der Nutzer kann dabei zwischen den Kameras des Gerätes wechseln und den gewünschten Ausschnitt festlegen. Auf Desktopgeräten wie PCs öffnet sich statt der Kamera ein Auswahlfenster, in welchem ein gespeichertes Bild ausgewählt werden kann.

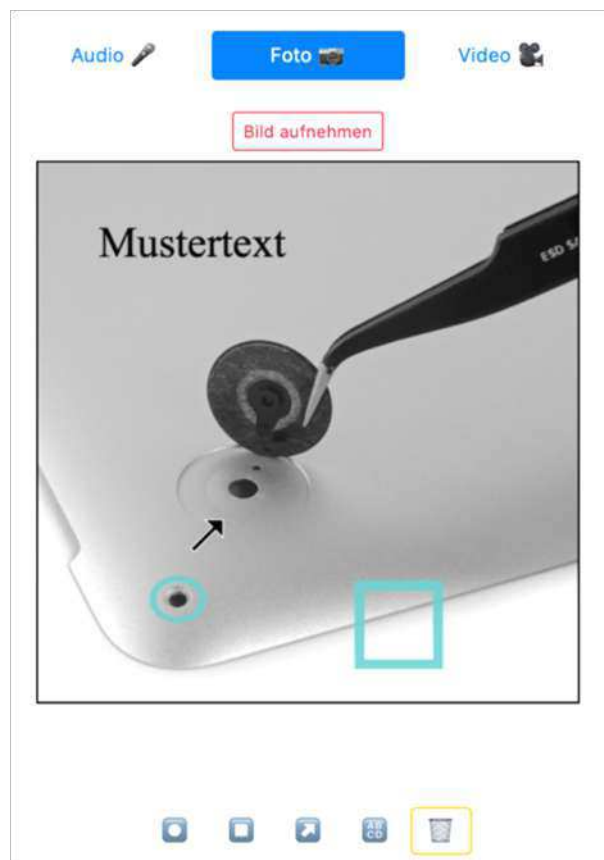


Abbildung 57 – Screenshot Demonstratoranwendung: Bildaufnahme + Markierung

Sobald ein passendes Bild ausgewählt ist, ist dieses in der Demonstratoranwendung (Abbildung 57) zu sehen und der Nutzer kann das Bild um Annotationen (Kreis, Rechteck, Pfeil und Text) erweitern. Dazu kann unter dem Bild auf einen der Buttons geklickt werden, mit dem rechten Symbol (Papierkorb) kann das gewählte Element bei Bedarf wieder gelöscht werden.

5.3.6 Aufnahme von Videos

Ähnlich wie bei der Aufnahme von Bildern kann der Nutzer nach der Auswahl von „Video“ und dem Button „Video aufnehmen“ die Kamerawendung des Mobilgeräts öffnen. In dieser dem Nutzer vertrauten Anwendung kann je nach Mobilgerät zwischen Kameras gewechselt werden, Fokus und Belichtung gesetzt werden und die Aufnahme in Anschluss angesehen werden. Sobald die aufgenommene Arbeitsanweisung den Anforderungen des Nutzers entspricht, kann diese übernommen und dann an die Webanwendung (Abbildung 58) übergeben werden. Auf Desktop-Rechnern wie PCs öffnet sich statt der Kamera ein Auswahlfenster, in welchem eine gespeicherte Videodatei ausgewählt und dann hochgeladen werden kann.

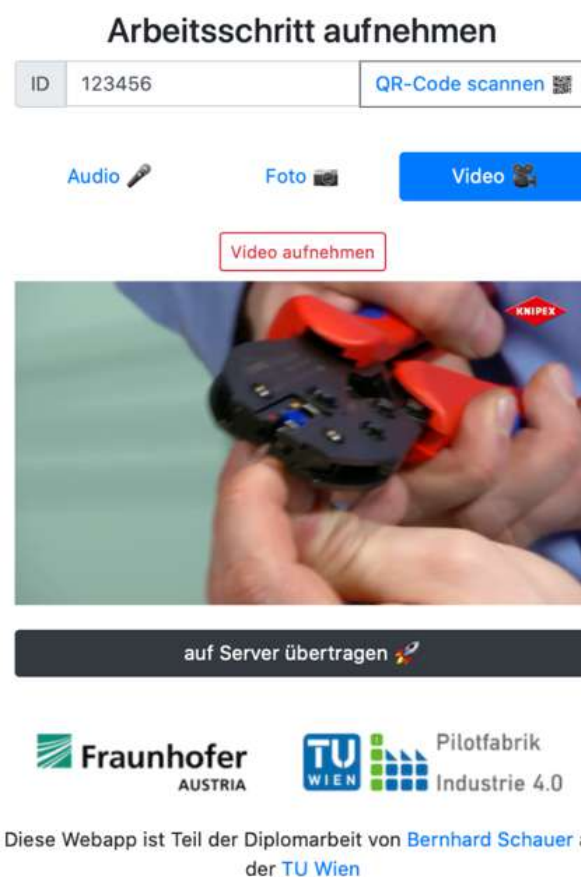


Abbildung 58 – Screenshot Demonstratoranwendung: Video aufnehmen

5.3.7 Übertragung der Dateien auf den Server

Sobald eine Arbeitsanweisung mittels Audio, Bild oder Video aufgenommen wurde, kann durch Klick auf den Button „auf Server übertragen“ die Datei auf den Server übertragen werden. Die Datei wird dann am Webserver automatisch in einen Ordner mit der entsprechenden ID verschoben und übertragen. Im Anschluss erhält der Nutzer eine Bestätigungsmeldung „Datei erfolgreich hochgeladen“ (Abbildung 59).



Abbildung 59 – Screenshot Demonstratoranwendung: Datei hochgeladen

Darunter kann der Nutzer wieder zur Anwendung zurückkehren oder gleich den QR-Code-Scanner öffnen. Sollte ein Fehler bei Upload auftreten, wird der Benutzer ebenso darüber informiert und hat dann die Möglichkeit, wieder zur Startseite zurückzukehren.

5.3.8 Zugriff auf die aufgenommenen Daten

Um in weiterer Folge die hochgeladenen aufgenommenen Arbeitsanweisungen nutzen zu können, kann mittels FTP-Anwendung (Abbildung 60) oder WebFTP auf diese zugegriffen werden. Die Dateien sind in separaten Ordnern mit der jeweiligen ID abgelegt. Diese Inhalte können in weiterer Folge direkt in die Anwendungen eingebettet werden (URL) oder heruntergeladen und entsprechend weiterverarbeitet werden.

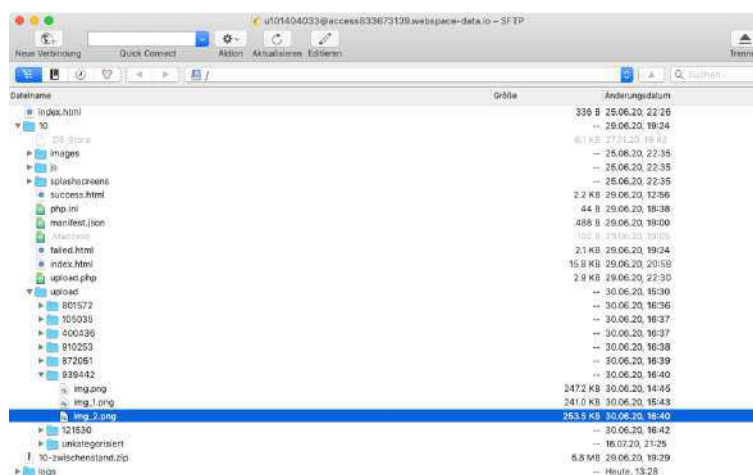


Abbildung 60 – Dateiaufruf mit FTP-Anwendung (Cyberduck)

Nachdem die Anwendung im Kapitel 5 praktisch umgesetzt wurde, bedarf es im Folgekapitel der Evaluierung der Anforderungen), um etwaiges Verbesserungspotenzial herauszufinden und diese weiterzuentwickeln.

6 Evaluierung

6.1 Vorgehensweise

Nach dem DSRM-Modell erfolgt in der Evaluierungsphase eine Beobachtung und Messung, inwieweit das Artefakt die Lösung des Problems unterstützt. Dabei werden die Ziele der Lösung mit den tatsächlichen Ergebnissen der Evaluierung des Artefakts verglichen. Abhängig von der Art des Problemortes und des Artefakts kann die Auswertung viele Formen annehmen. Dabei kann es sich sowohl um quantitative als auch um qualitative Ergebnisse handeln. Konzeptionell könnte diese Bewertung alle geeigneten empirischen Belege oder logischen Beweise umfassen.²⁰⁷

Um eine möglichst umfassende Evaluierung zu ermöglichen, erfolgt die Beurteilung des Softwareartefakts²⁰⁸ (Demonstratoranwendung) sowohl quantitativ mittels Benutzertests (Kapitel 6.3) als auch qualitativ mittels Fragebogen (Kapitel 6.4).

Hypothese 1:

Die quantitative Auswertung zeigt, dass mittels der Demonstratoranwendung die Zeit für die Aufzeichnung von Arbeitsanweisungen signifikant reduziert werden kann.

Hypothese 2:

Die qualitative Auswertung zeigt, dass die Anwendung die Anforderungen der Anwenderinnen und Anwender erfüllt und die Zufriedenheit mit der Anwendung positiv bewertet wird.

Zum Beweis der Hypothesen wurde dabei von verschiedenen Benutzern auf deren Geräten getestet. Die Vergleichsaufnahme wurde zu Vergleichszwecken von Benutzer 1, dem Autor dieser Arbeit, aufgenommen. Benutzer 1 kann somit mit einem mit der Anwendung erfahrenen Nutzer gleichgesetzt werden, während Benutzer 2 bis 5 die Anwendung erstmals nach dreiminütiger Einschulung über die Funktionen und den Ablauf der quantitativen Auswertung verwendeten.

Die genauen Geräte der Nutzer finden sich in Tabelle 9.

²⁰⁷ vgl. Peffers et. al. (2007), S. 56

²⁰⁸ vgl. ebd., S. 55

<i>Vergleichsaufnahme</i>	Canon EOS 650D für Foto + Video, iPhone Sprachaufnahme für Audio Umbenennung am Computer (macOS) Kreis beim Bild mit Pixelmator eingefügt Übertragung mittels WebFTP (IONOS)
<i>Benutzer 1</i>	Demonstrator Anwendung auf iPad 5
<i>Benutzer 2</i>	Demonstrator Anwendung auf iPhone 11
<i>Benutzer 3</i>	Demonstrator Anwendung auf iPhone 8
<i>Benutzer 4</i>	Demonstrator Anwendung auf Samsung
<i>Benutzer 5</i>	Demonstrator Anwendung auf iPhone 7

Tabelle 9 – Geräteübersicht Benutzer

Im Anschluss an die quantitative Auswertung (Kapitel 6.3) mit den Testinhalten (Kapitel 6.2) erfolgte die qualitative Auswertung (6.4) mittels Fragebogen.

6.2 Festlegung der Testinhalte

Entsprechend den möglichen Montagetätigkeiten in Kapitel 2.1.3 wurden einige dieser ausgewählt und passende Inhalte dazu herausgesucht (Bilder, Videoausschnitte oder Texte für die Sprachaufnahmen). Diese wurden dann in eine Präsentation integriert, in welcher zuerst der Arbeitsschritt (inklusive QR-Code, welcher den Link zur Seite und der ID enthält: z.B. workstep.me/?123456) gezeigt wird und dann der entsprechende Inhalt gezeigt und aufgenommen werden kann. So kann die Einheitlichkeit der Aufnahmedaten gewährleistet werden und eine Verzerrung durch unterschiedliche Geschwindigkeiten der vorgeführten Arbeitsanweisungen vermieden werden.

Verwendete Beispiele

Um eine realistische Aufnahme zu ermöglichen wurden sechsstellige Ids für die jeweiligen Arbeitsschritte generiert und passende Arbeitsschritte festgelegt:

- ID 801572: Video – Aufkleben eines Stickers (0:20 bis 0:37)



Abbildung 61 – Screenshot aus Video „How to apply transfer stickers“²⁰⁹

- ID 105035: Audio – „Durch erneutes Erhitzen und damit Verflüssigen des Lotes lassen sich elektrische Lötverbindungen voneinander lösen. Einer erneuten Verwendung steht dabei nichts im Wege.“
- ID 400436: Bild – Gummifuß tauschen:



Abbildung 62 – Austausch Gummifuß Notebook²¹⁰

- ID 910253: Video – Kabel crimpen (4:22 bis 4:29)

²⁰⁹ Sticker Mule (2020)

²¹⁰ Dixon / ifixit.com (2020)



Abbildung 63 – Screenshot aus dem Video „KNIPEX Crimpzangen-Sortiment“²¹¹

- ID 872051: Video – Dichtmittel aufbringen (0:10 bis 0:35)



Abbildung 64 – Screenshot aus dem Video „LOCTITE 518 ROLLER PEN“²¹²

- ID 939442: Bild – Batterie 2025 tauschen + Kreis um Batterie hinzufügen



Abbildung 65 – Austausch Batterie Motherboard²¹³

²¹¹ KNIPEX (2015)

²¹² Henkel Adhositivos Industria (2019)

²¹³ Bookholt / ifixit.com (2020)

- ID 121530: Audio – „Secure it lightly with the screw and fix the two plates on the outer part. After that adjust the blue cable to the red button. Pull the connecting piece through the loop and press the green adjustment lever.“

6.3 Quantitative Auswertung

Vor Beginn der Auswertung wurde den Benutzern der Funktionsumfang der Webanwendung gezeigt und diese hatten kurz die Möglichkeit, sich mit der Anwendung vertraut zu machen. In diesem Schritt wurden auch etwaige Berechtigungen für Kamera- und Mikrofonzugriff der Webseiten gegeben.

Die Zeiten wurden im Anschluss aus einem Videomitschnitt ermittelt. Die exakten Zeiten befinden sich im Anhang (Kapitel 8.3). In Anlehnung an die Primär-Sekundär-Analyse in der Montage²¹⁴ (Abbildung 66) wurde die Arbeit in wertschöpfende und nicht wertschöpfende Teile bei der Aufnahme gegliedert. Während in der klassischen Primär-Sekundär-Definition lediglich die Grundbewegung „Fügen“ als primärer Montagevorgang betrachtet wird und die anderen Bewegungen „Hinlangen“, „Greifen“, „Bringen“ und „Loslassen“ als sekundäre Tätigkeit betrachtet werden²¹⁵, ist dies bei der Erfassung von Arbeitsanweisungen nicht so eindeutig.

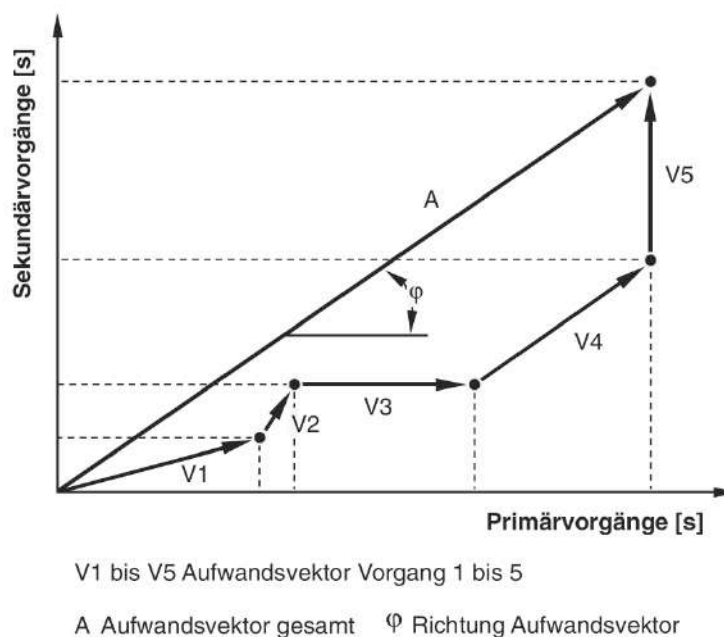


Abbildung 66 – Klassische Primär-Sekundärbewertung mit Aufwandsvektoren²¹⁶

²¹⁴ vgl. Lotter / Wiendahl (2006), S. 59

²¹⁵ vgl. ebd., S. 64ff

²¹⁶ ebd., S. 60

Daher wurde folgende Festlegung getroffen: zu den wertschöpfenden Vorgängen zählen die Aufnahme der Arbeitsanweisungen selbst sowie das Hinzufügen von Markierungen. Der Grund hierfür ist, dass die beiden Vorgänge als wertschöpfend erachtet werden, da die dadurch erhaltenen Inhalte Nutzen für die Anwender stiften können.

Alle weiteren Aufgabenbereiche wie die Seitennavigation, das Warten während des Uploads, die Eingabe der ID bzw. das Scannen des Barcodes wurden als nicht wertschöpfend kategorisiert und zählen somit zu den Sekundärvorgängen. Über die Unterscheidung in Primär- und Sekundärzeiten ist es möglich ein Verhältnis aus diesen Zeiten zu berechnen. Im konkreten Fall wurde – anders als der Montage übliche Wirkungsgrad – die Sekundärzeit zur Primärzeit ins Verhältnis gesetzt, wodurch die Sekundärzeit als ein Zuschlag zur Primärzeit betrachtet werden kann.

Beträgt beispielsweise die Primärzeit 10 Sekunden (jeweils als 100% definiert) so ergibt sich bei einer Sekundärzeit von 15 Sekunden ein Zuschlag von 150% (Rechnung: $15s / 10s * 100\%$). Insgesamt beträgt die Zeit somit 25 Sekunden (250%). Zusätzlich wurden die Vergleichszeiten mit dem herkömmlichen Ansatz aufgenommen (Kapitel 3.1). Die jeweiligen Vorgehensweisen sind dabei kurz beschrieben.

6.3.1 Ergebnisse – Aufkleben eines Stickers

Der erste Arbeitsinhalt war das korrekte Aufkleben eines Stickers auf eine Aluminiumoberfläche. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Video.



Abbildung 67 – Arbeitsanweisung 801572

Herkömmlicher Ansatz

Aufnahme auf Kamera, gesammelte Übertragung von SD Karte auf Laptop, anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Vergleichszeit	24	89
Zuschlag zu Primärzeit	+ 371%	

Tabelle 10 – Primär-Sekundär-Analyse 801572, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

Benutzer	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Benutzer 1	23	18
Benutzer 2	23	26
Benutzer 3	24	31
Benutzer 4	N/A	N/A
Benutzer 5	24	22

<i>Standardabweichung</i>	0,6	5,6
<i>Mittelwert</i>	23,5	24,3
<i>Konfidenzintervall (95%)</i>	0,6	5,4
<i>Konfidenzbereich (min)</i>	22,9	18,8
<i>Konfidenzbereich (max)</i>	24,1	29,7
Zuschlag zu Primärzeit	+ 103%	

Tabelle 11 – Primär-Sekundär-Analyse 801572, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der ersten Arbeitsanweisung (Video) eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +371% lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +103%.

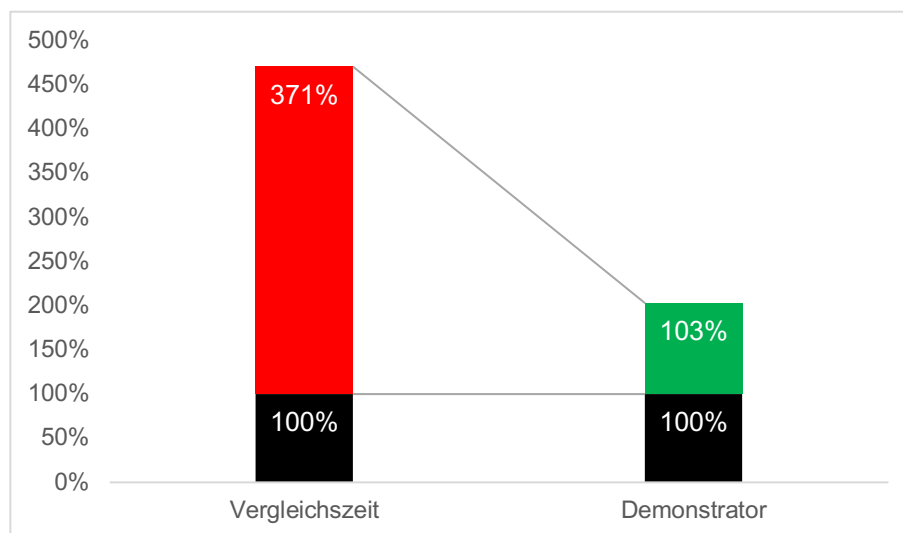


Abbildung 68 – 801572, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 2 und 3: Upload war langsamer als gewohnt

Benutzer 4: Problem am Gerät (Samsung, Android), Videoupload fehlgeschlagen.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.2 Ergebnisse – Audioaufnahme Deutsch

Der zweite Arbeitsinhalt war ein deutschsprachiger Dummy-Text. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Sprachaufnahme.



Abbildung 69 – Arbeitsanweisung 105035

Herkömmlicher Ansatz

Sprachaufnahme mit iPhone, kabellose Übertragung auf Laptop mittels AirDrop, anschließend Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Vergleichszeit</i>	9	65
Zuschlag zu Primärzeit	+ 722%	

Tabelle 12 – Primär-Sekundär-Analyse 105035, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

<i>Benutzer</i>	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Benutzer 1</i>	8	12
<i>Benutzer 2</i>	9	14
<i>Benutzer 3</i>	12	13
<i>Benutzer 4</i>	9	13
<i>Benutzer 5</i>	12	14

<i>Standardabweichung</i>	1,9	0,8
<i>Mittelwert</i>	10	13,2
<i>Konfidenzintervall (95%)</i>	1,6	0,7
<i>Konfidenzbereich (min)</i>	8,4	12,5
<i>Konfidenzbereich (max)</i>	11,6	13,9
Zuschlag zu Primärzeit	+ 132%	

Tabelle 13 – Primär-Sekundär-Analyse 105035, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der zweiten Arbeitsanweisung (Audio) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +722 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +132 %.

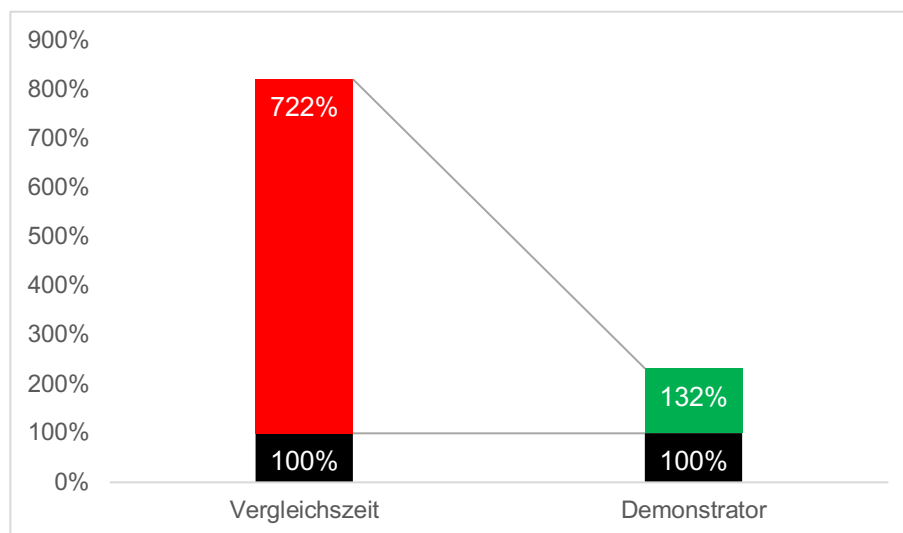


Abbildung 70 – 105035, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 2 und 5: die Benutzer haben die Aufnahme nicht sofort nach dem Ende beendet, daher gibt es leichte Unterscheidungen bei der Primärzeit.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.3 Ergebnisse – Gummifuß tauschen

Der dritte Arbeitsinhalt war das korrekte Tauschen eines Gummifußes eines Notebooks. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Bild.

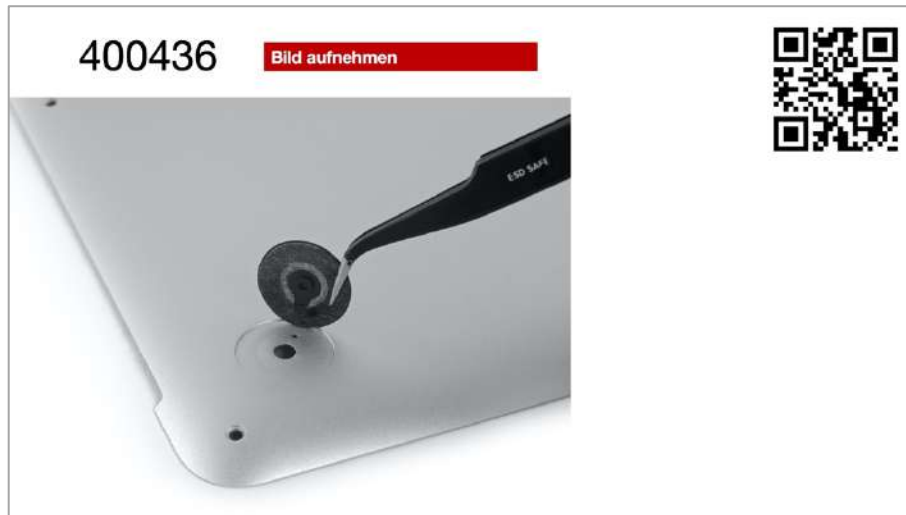


Abbildung 71 – Arbeitsanweisung 400436

Herkömmlicher Ansatz

Aufnahme auf Kamera, gesammelte Übertragung von SD-Karte auf Laptop, anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Vergleichszeit</i>	5	32
Zuschlag zu Primärzeit	+ 640 %	

Tabelle 14 – Primär-Sekundär-Analyse 400436, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

<i>Benutzer</i>	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Benutzer 1</i>	5	13
<i>Benutzer 2</i>	5	15
<i>Benutzer 3</i>	6	19
<i>Benutzer 4</i>	5	10
<i>Benutzer 5</i>	6	9

<i>Standardabweichung</i>	0,5	4
<i>Mittelwert</i>	5,4	13,2
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	0,5	3,5
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	4,9	9,7
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	5,9	16,7
Zuschlag zu Primärzeit	+ 244 %	

Tabelle 15 – Primär-Sekundär-Analyse 400436, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der dritten Arbeitsanweisung (Bild) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +640 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +244 %.

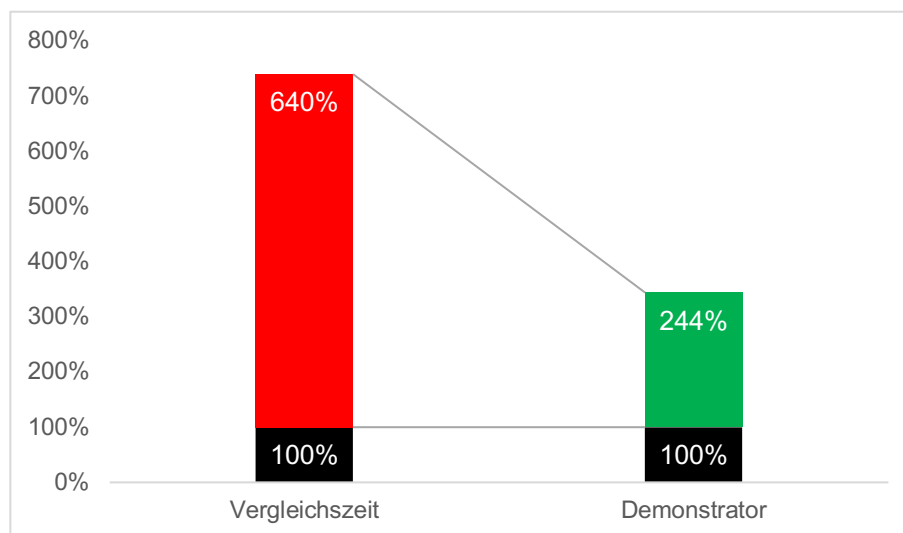


Abbildung 72 – 400436, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 2 und 5: die Benutzer haben die Aufnahme nicht sofort nach dem Ende beendet, daher gibt es leichte Unterscheidungen bei der Primärzeit.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.4 Ergebnisse – Kabel crimpen

Der vierte Arbeitsinhalt war das korrekte Crimpen eines Kabels. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Video.

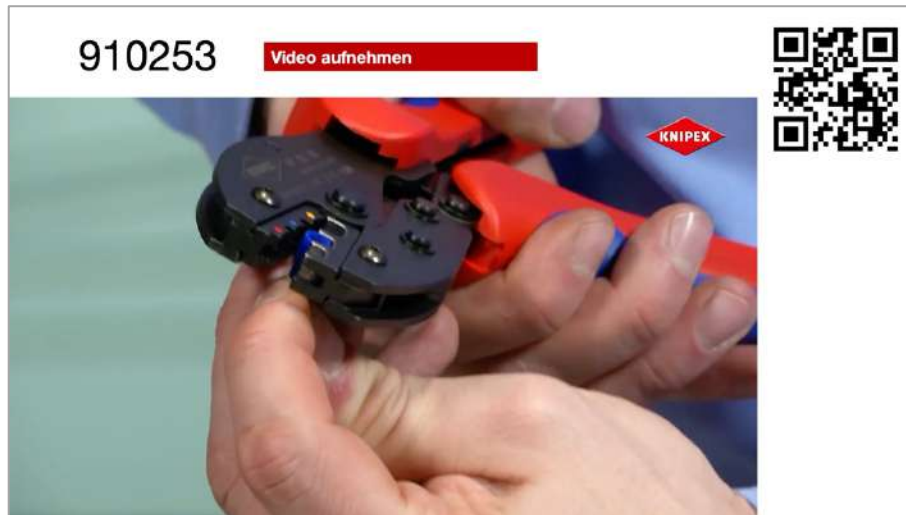


Abbildung 73 – Arbeitsanweisung 910253

Herkömmlicher Ansatz

Aufnahme auf Kamera, gesammelte Übertragung von SD-Karte auf Laptop, anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Vergleichszeit</i>	8	54
Zuschlag zu Primärzeit	+ 675 %	

Tabelle 16 – Primär-Sekundär-Analyse 910253, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

<i>Benutzer</i>	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Benutzer 1</i>	9	14
<i>Benutzer 2</i>	9	18
<i>Benutzer 3</i>	10	20
<i>Benutzer 4</i>	N/A	N/A
<i>Benutzer 5</i>	8	18

<i>Standardabweichung</i>	0,8	2,5
<i>Mittelwert</i>	9,0	17,5
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	0,8	2,5
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	8,2	15,0
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	9,8	20,0
Zuschlag zu Primärzeit	+ 194 %	

Tabelle 17 – Primär-Sekundär-Analyse 910253, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der vierten Arbeitsanweisung (Video) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +675 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +194 %.

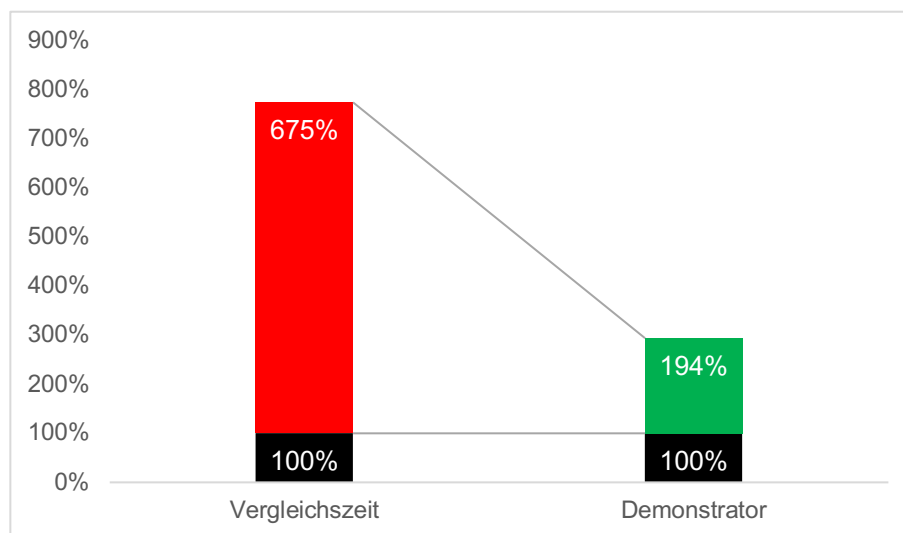


Abbildung 74 – 910253, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 4: Problem am Gerät (Samsung, Android), Videoupload fehlgeschlagen.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.5 Ergebnisse – Dichtmittel aufbringen

Der fünfte Arbeitsinhalt war das korrekte Aufbringen eines Dichtmittels auf eine Oberfläche. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Video.

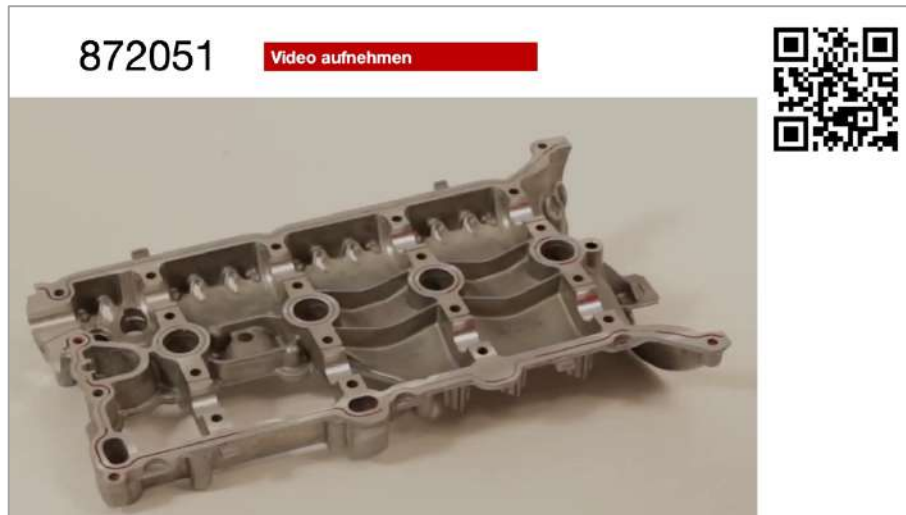


Abbildung 75 – Arbeitsanweisung 872051

Herkömmlicher Ansatz

Aufnahme auf Kamera, gesammelte Übertragung von SD-Karte auf Laptop, anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Vergleichszeit	27	89
Zuschlag zu Primärzeit	+ 330 %	

Tabelle 18 – Primär-Sekundär-Analyse 872051, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

Benutzer	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Benutzer 1	26	13
Benutzer 2	27	30
Benutzer 3	28	23
Benutzer 4	N/A	N/A
Benutzer 5	26	21

<i>Standardabweichung</i>	1,0	7,0
<i>Mittelwert</i>	26,8	21,8
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	0,9	6,9
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	25,8	14,9
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	27,7	28,6
Zuschlag zu Primärzeit	+ 81 %	

Tabelle 19 – Primär-Sekundär-Analyse 872051, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der fünften Arbeitsanweisung (Video) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +330 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +81 %.

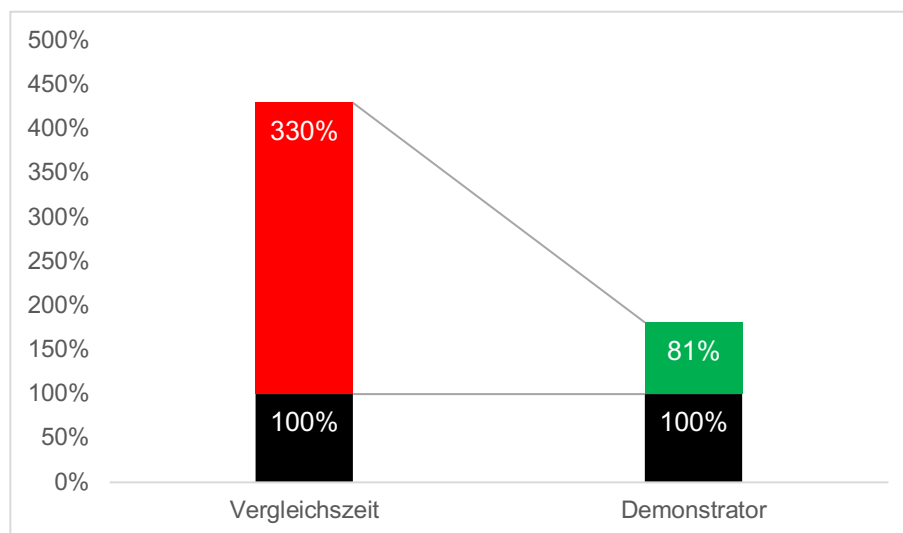


Abbildung 76 – 872051, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 2: Upload war langsamer als gewohnt.

Benutzer 4: Problem am Gerät (Samsung, Android), Videoupload fehlgeschlagen.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.6 Ergebnisse – Batterie 2025 tauschen + Kreis um Batterie

Der sechste Arbeitsinhalt war das korrekte Tauschen einer Batterie. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Bild. Im Anschluss wurde eine Annotation hinzugefügt (Kreis um Batterie).

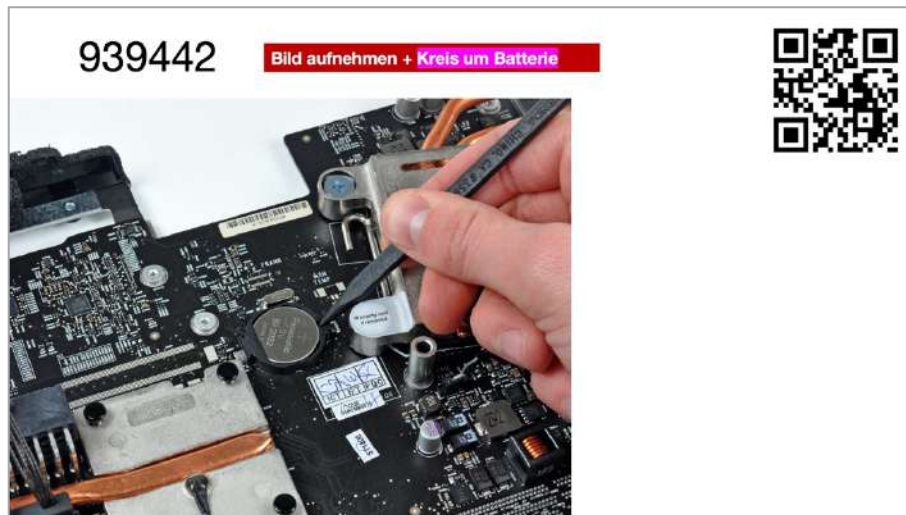


Abbildung 77 – Arbeitsanweisung 93442

Herkömmlicher Ansatz

Aufnahme auf Kamera, gesammelte Übertragung von SD-Karte auf Laptop, Hinzufügen der Markierung mit der Anwendung „Pixelmator“ (Markierung hinzufügen selbst zählt dabei als Primärzeit, der Speichervorgang und die Einrichtung zählen als nicht wertschöpfende Zeit = Sekundärzeit), anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Vergleichszeit	18	100
Zuschlag zu Primärzeit	+ 556 %	

Tabelle 20 – Primär-Sekundär-Analyse 93442, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

Benutzer	Primärzeit [s]	Sekundärzeit [s]
Benutzer 1	15	11
Benutzer 2	13	9
Benutzer 3	20	26
Benutzer 4	19	11
Benutzer 5	25	10

<i>Standardabweichung</i>	4,7	7,1
<i>Mittelwert</i>	18,4	13,2
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	4,1	6,2
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	14,3	7,2
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	22,5	19,6
Zuschlag zu Primärzeit	72 %	

Tabelle 21 – Primär-Sekundär-Analyse 93442, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der sechsten Arbeitsanweisung (Bild inklusive Annotation) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +556 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +72 %.

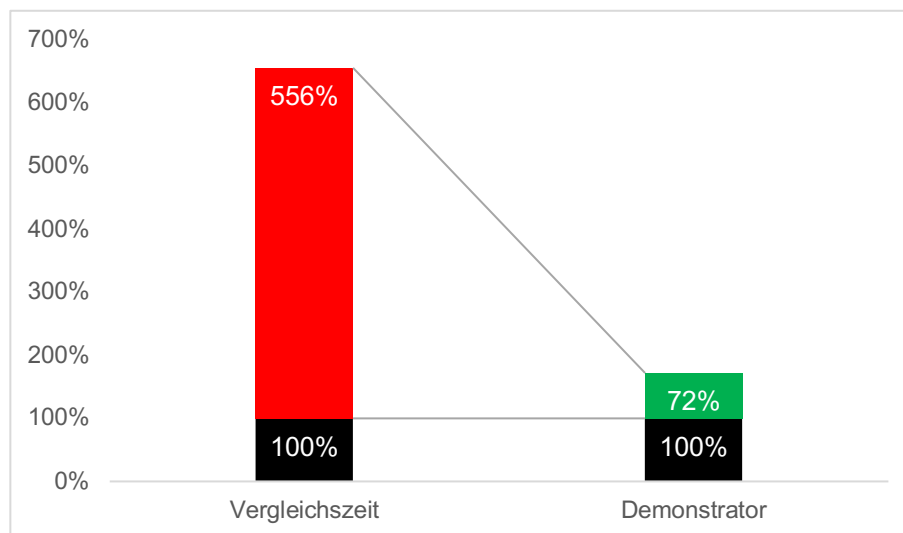


Abbildung 78 – 93442, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Die Markierung der Batterie mit dem Kreis wurde als wertschöpfende Tätigkeit beurteilt, die Geschwindigkeit der Benutzer bei dieser Aufgabe war jedoch unterschiedlich. Daraus folgen größere Schwankungen in der Primärzeit.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.7 Ergebnisse – Audioaufnahme Englisch

Der zweite Arbeitsinhalt war dabei ein englischsprachiger Dummy-Text. Die Aufnahme der Arbeitsanweisung erfolgte dabei als Sprachaufnahme.



Abbildung 79 – Arbeitsanweisung 121530

Herkömmlicher Ansatz

Sprachaufnahme mit iPhone, kabellose Übertragung auf Laptop mittels AirDrop, anschließendes Anlegen des Ordners im WebFTP und Übertragung der Datei.

	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Vergleichszeit</i>	11	67
Zuschlag zu Primärzeit	+ 609 %	

Tabelle 22 – Primär-Sekundär-Analyse 121530, herkömmlicher Ansatz

Demonstratoranwendung

<i>Benutzer</i>	<i>Primärzeit [s]</i>	<i>Sekundärzeit [s]</i>
<i>Benutzer 1</i>	10	10
<i>Benutzer 2</i>	11	15
<i>Benutzer 3</i>	12	18
<i>Benutzer 4</i>	12	17
<i>Benutzer 5</i>	13	11

<i>Standardabweichung</i>	1,1	3,6
<i>Mittelwert</i>	11,6	14,2
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	1,0	3,1
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	10,6	11,1
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	12,6	17,3
Zuschlag zu Primärzeit	122 %	

Tabelle 23 – Primär-Sekundär-Analyse 121530, Demonstratoranwendung

Vergleich

Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz zeigte sich in der Aufnahme der siebten Arbeitsanweisung (Audio) ebenfalls eine deutliche Reduktion der Zuschläge. Während der Zuschlag bei der Vergleichszeit bei +609 % lag, war dieser bei der Demonstratoranwendung nur bei +122 %.

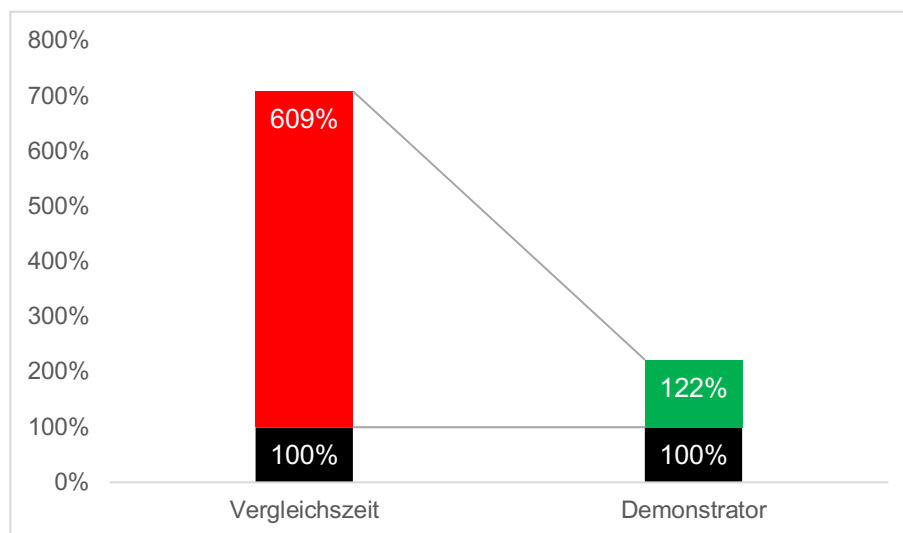


Abbildung 80 – 121530, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung

Anmerkungen

Benutzer 3, 4 und 5: die Benutzer haben die Aufnahme nicht sofort nach dem Ende beendet, daher gibt es leichte Unterscheidungen bei der Primärzeit.

Benutzer 5: Benutzer bevorzugte es die ID manuell einzugeben, statt den QR-Code zu scannen.

6.3.8 Ergebnisse – Gesamtes Arbeitspaket

Da bei Benutzer 4 nicht alle Arbeitsschritte (Probleme mit Videos) erfasst werden konnten, wurde für jeden Benutzer der Zuschlag zur Primärzeit ausgerechnet. Für diesen Zuschlag wurde ein Mittelwert gebildet und dieser mit dem herkömmlichen Ansatz verglichen. Während beim herkömmlichen Ansatz der Zuschlag zur Primärzeit bei +486 % lag, konnte beim Einsatz der Anwendung eine signifikante Senkung gezeigt werden. Der durchschnittliche Zuschlag zur Primärzeit aller Benutzer lag bei +113 % (Abbildung 81, sowie Details in Tabelle 24).

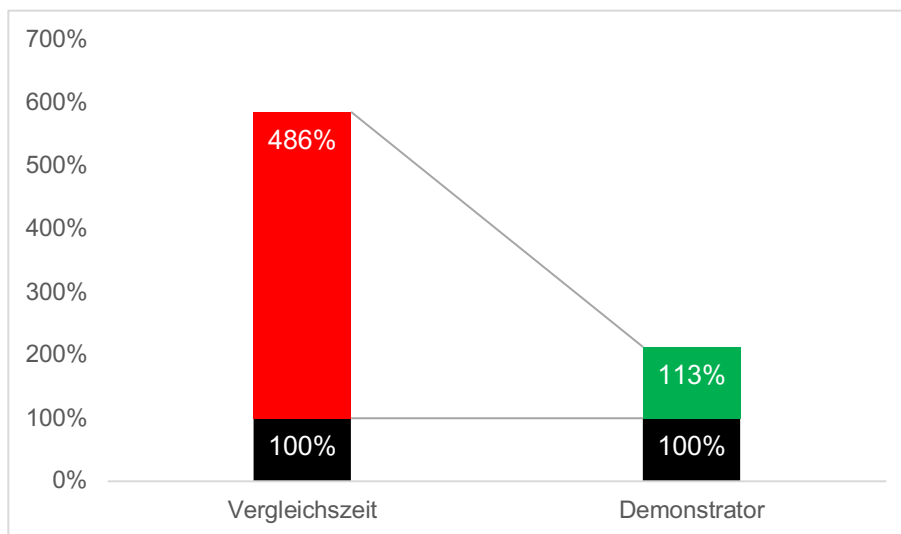


Abbildung 81 – Gesamtvergleich Vergleichszeit und Demonstratoranwendung

Zuschlag zu Primärzeit

<i>Benutzer 1</i>	+ 95 %
<i>Benutzer 2</i>	+ 131 %
<i>Benutzer 3</i>	+ 134 %
<i>Benutzer 4</i>	+ 113 %
<i>Benutzer 5</i>	+ 92 %
<i>Standardabweichung</i>	
	20 %
<i>Mittelwert</i>	+ 113 %
<i>Konfidenzbereich (95 %)</i>	17 %
<i>Konfidenzintervall (min)</i>	+ 96 %
<i>Konfidenzintervall (max)</i>	+ 130 %
<i>Zuschlag zu Primärzeit</i>	+ 113 %

Tabelle 24 – Zuschlag zur Primärzeit, Demonstratoranwendung

6.4 Qualitative Auswertung

In Anlehnung an DIN EN ISO 9241-110 sowie den Usability-Fragebogen zum Thema „Visuelle Assistenzsysteme“ von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold und Fabian Ranz, MSc, Fraunhofer Austria Research GmbH, wurde ein Fragebogen für die qualitative Auswertung erstellt. Dieser teilt sich in folgende Bereiche:

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Steuerbarkeit
- Fehlertoleranz

Zu jedem dieser Bereiche gibt es drei Fragen. Die Benutzer können dabei mit „Ja“, „Nein“ oder „Frage trifft nicht zu“ antworten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, besonders störende Punkte zu markieren und Anmerkungen zu hinterlassen. Der Fragebogen wurde nach der quantitativen Auswertung bei den teilnehmenden Benutzern erhoben.

6.4.1 Aufgabenangemessenheit

Eine Anwendung ist aufgabenangemessen, wenn es zur Erledigung Ihrer konkreten Tätigkeit brauchbar ist. „Brauchbar“ bedeutet, dass alle Tätigkeiten, die Sie erledigen müssen, von der Anwendung unterstützt werden und Ihnen das System dabei wirklich eine informative Hilfe und kein nötiges Übel ist, das Ihre Arbeit in manchen Situationen eher erschwert oder umständlicher macht.

Frage 1

Stellt die Webanwendung alle für Ihre Aufgabe benötigten Funktionen zur Unterstützung zur Verfügung?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3	x			
Benutzer 4		x		
Benutzer 5	x			
	4	1	0	0

Tabelle 25 – Antwortübersicht Frage 1

Anmerkungen:

Benutzer 4: „Videoübertragung hat nicht funktioniert, QR-Code-Scanner hat teilweise nicht funktioniert.“

Frage 2

Müssen Sie Eingaben oder Dialogschritte machen, die eigentlich überflüssig wären?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3		x		
Benutzer 4		x		
Benutzer 5		x		
	2	3	0	0

Tabelle 26 – Antwortübersicht Frage 2

Anmerkungen:

Benutzer 1: „Im QR-Code könnte bereits hinterlegt sein, ob ein Video, Bild oder Ton aufgenommen werden sollte, dann spart man sich den Klick.“

Benutzer 2: „Immer neues scannen von QR-Code bei jedem Schritt, kein Problem nur öffnen sich dadurch sehr viele Tabs.“

Frage 3

Müssen Sie Eingaben oder Dialogschritte machen, die Sie stören oder Sie in der Ausführung Ihrer Tätigkeiten behindern?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1		x		
Benutzer 2		x		
Benutzer 3		x		
Benutzer 4		x		
Benutzer 5		x		
	0	5	0	0

Tabelle 27 – Antwortübersicht Frage 3

- keine Anmerkungen -

6.4.2 Selbstbeschreibungsfähigkeit

Eine Webanwendung ist selbstbeschreibungsfähig, wenn Sie jederzeit die erforderlichen Informationen und Meldungen erhalten, welche Sie benötigen.

Frage 4

Sind die Informationen, die zur Erledigung der Aufgabe notwendig sind, auf dem Bildschirm übersichtlich verfügbar?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3	x			
Benutzer 4	x			
Benutzer 5		x		
	4	1	0	0

Tabelle 28 – Antwortübersicht Frage 4

Anmerkungen:

Benutzer 5: „Nummerierung hinzufügen: 1. QR-Code scannen oder ID eingeben, 2. Arbeitsanweisung aufnehmen, 3. Upload“

Frage 5

Sind die Meldungen und Informationen des Systems für Sie immer verständlich?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3		x		
Benutzer 4	x			
Benutzer 5	x			
	4	1	0	0

Tabelle 29 – Antwortübersicht Frage 5

Anmerkungen:

Benutzer 3: „Beim Start der Audioaufnahme war nicht klar, ob die Aufnahme bereits läuft oder nicht (kein z.B. Sekundenzähler, etc.).“

Frage 6

Sind die Meldungen und Informationen des Systems für Sie immer eindeutig erkennbar bzw. lesbar?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3	x			
Benutzer 4	x			
Benutzer 5	x			
	5	0	0	0

Tabelle 30 – Antwortübersicht Frage 6

- keine Anmerkungen -

6.4.3 Steuerbarkeit

Eine Webanwendung ist steuerbar, wenn Sie bei erforderlichen Arbeitssituationen die Webanwendung unterbrechen können und anschließend ohne Verlust der bis dahin erreichten Arbeitsergebnisse wieder aufnehmen können.

Frage 7

Macht die Webanwendung manchmal etwas, ohne dass Sie es zu dem Zeitpunkt wollen?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1		x		
Benutzer 2		x		
Benutzer 3	x			
Benutzer 4		x		
Benutzer 5	x			
	2	3	0	0

Tabelle 31 – Antwortübersicht Frage 7

Anmerkungen:

Benutzer 3: „Nach dem QR-Code scannen und dem Klick auf ‚open‘ öffnet es einen neuen Tab. Das wäre nicht nötig.“

Benutzer 5: „Der ‚zum Server übertragen‘-Button wurde einmal aus Versehen vor der Aufnahme einer Arbeitsanweisung gedrückt. Dieser Button sollte erst angezeigt werden, wenn der Inhalt aufgenommen wurde.“

Frage 8

Können Sie bei Bedarf eine Aufgabe aufwandsfrei unterbrechen und später wieder fortsetzen?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3		x		
Benutzer 4	x			
Benutzer 5	x			
	4	1	0	0

Tabelle 32 – Antwortübersicht Frage 8

Anmerkungen:

Benutzer 3: „Audio schon, Videos können nicht pausiert werden.“

Frage 9

Fühlen Sie sich in Ihrem Arbeitstempo durch die Webanwendung manchmal gebremst, z. B. durch lange Wartezeiten?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2		x		
Benutzer 3	x			
Benutzer 4		x		
Benutzer 5		x		
	2	3	0	0

Tabelle 33 – Antwortübersicht Frage 9

Anmerkungen:

Benutzer 1: „Es dauerte teilweise ein paar Sekunden bis die Datei übertragen ist, eventuell ginge das im Hintergrund, dann kann man währenddessen schon wieder etwas Neues aufnehmen.“

Benutzer 3: „Upload der Videos dauerte sehr lange.“

6.4.4 Fehlertoleranz

Eine Webanwendung ist fehlertolerant, wenn Sie Ihr Arbeitsergebnis trotz fehlerhafter Anwendung oder Bedienung entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand erreichen können. Außerdem sollte Sie die Webanwendung Sie darauf aufmerksam machen, wenn es einen Fehler bei der Anwendung oder Bedienung bemerkt und Ihnen mögliche Korrekturhinweise zur richtigen Anwendung oder Bedienung liefern.

Frage 10

Erhalten Sie bei fehlerhafter Anwendung oder Bedienung der Webanwendung Korrekturhinweise für eine korrekte Anwendung oder Bedienung?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1			x	
Benutzer 2		x		
Benutzer 3			x	
Benutzer 4	x			
Benutzer 5			x	
	1	1	3	0

Tabelle 34 – Antwortübersicht Frage 10

Anmerkungen:

Benutzer 2: „Eine Kleinigkeit: es wäre gut, wenn es ersichtlich wäre, wenn die Audiodatei aufgenommen wird. Auch ist es mir passiert, bei der Freigabe für die Kamera aus Versehen abgelehnt zu haben, nach einem Refresh der Seite läuft aber sofort wieder alles gut.“

Benutzer 3: „Keine Fehler, die korrigiert werden mussten.“

Frage 11

Können Sie die Folgen einer fehlerhaften Anwendung oder Bedienung der Webanwendung mit geringem Aufwand beheben?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3			x	
Benutzer 4	x			

Benutzer 5	x						
	4	0	1				0

Tabelle 35 – Antwortübersicht Frage 11

Anmerkungen:

Benutzer 3: „Siehe Frage 10.“

Frage 12

Arbeitet die Webanwendung während der Ausführung Ihrer Aufgabe immer stabil und zuverlässig?

Benutzer	Ja	Nein	Frage trifft nicht zu	„ich empfinde dies als sehr störend“
Benutzer 1	x			
Benutzer 2	x			
Benutzer 3	x			
Benutzer 4	x			
Benutzer 5	x			
	5	0	0	0

Tabelle 36 – Antwortübersicht Frage 12

- keine Anmerkungen -

6.4.5 Individuelle Anmerkungen

Der letzte Teil des Fragebogens ist für Ihre individuellen Anmerkungen reserviert. Hier ist Platz für weitere Kritik an der Webanwendung oder für die Probleme, die Sie bei Beantwortung der Fragen nicht losgeworden sind.

Benutzer 1:

„Bei der Bildaufnahme ist das Quadrat nicht komplett ausgefüllt. Mit dem QR-Code-Reader öffnet sich immer ein neues Fenster.“

Benutzer 2:

„Markierungen auf Fotos funktionieren gut, nur ist dies auf Handys mit kleineren Bildschirmen etwas kompliziert das richtige Feld zu erwischen.“

Benutzer 3:

„Verbesserungsvorschläge: Verlauf der bereits hochgeladenen Inhalte und Bearbeitung des Verlaufs.“

Benutzer 4:

„QR-Code-Scanner funktioniert nur wenn man nach dem Upload direkt wieder ‚QR-Code scannen‘ drückt. Bei „zurück zur Startseite“ und dann ‚QR-Code scannen‘ drücken funktioniert die Kamera nicht.“

Benutzer 5:

„Ich finde es sehr gut, dass die native Kamera-App verwendet wird, das ist gewohnt und man weiß wie es funktioniert. Es war recht stabil, keine größeren Bugs, ist gut gelaufen.“

6.4.6 Ergebnisübersicht

Als Zusammenfassung der Ergebnisse werden diese in Übersichtsform dargestellt und nach der jeweils positiven Antwort (Idealfall) eingeteilt.

Die Aufgabenangemessenheit wurde mit 12 positiven und 3 negativen Antworten bewertet (Tabelle 37).

<i>Aufgabenangemessenheit</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>
<i>Frage 1 (positive Antwort: Ja)</i>	4	1
<i>Frage 2 (positive Antwort: Nein)</i>	3	2
<i>Frage 3 (positive Antwort: Nein)</i>	5	0
	12	3

Tabelle 37 – Qualität Aufgabenangemessenheit

Die Selbstbeschreibungsfähigkeit wurde mit 13 positiven und 2 negativen Antworten bewertet (Tabelle 38).

<i>Selbstbeschreibungsfähigkeit</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>
<i>Frage 4 (positive Antwort: Ja)</i>	4	1
<i>Frage 5 (positive Antwort: Ja)</i>	4	1
<i>Frage 6 (positive Antwort: Ja)</i>	5	0
	13	2

Tabelle 38 – Qualität Selbstbeschreibungsfähigkeit

Die Steuerbarkeit wurde mit 10 positiven und 5 negativen Antworten bewertet (Tabelle 39).

<i>Steuerbarkeit</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>
<i>Frage 7 (positive Antwort: Nein)</i>	3	2
<i>Frage 8 (positive Antwort: Ja)</i>	4	1
<i>Frage 9 (positive Antwort: Nein)</i>	3	2
	10	5

Tabelle 39 – Qualität Steuerbarkeit

Die Fehlertoleranz wurde mit 10 positiven und 1 negativen Antworten bewertet (Tabelle 37).

<i>Fehlertoleranz</i>	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>
<i>Frage 10 (positive Antwort: Ja)</i>	1	1
<i>Frage 11 (positive Antwort: Ja)</i>	4	0
<i>Frage 12 (positive Antwort: Nein)</i>	5	0
	10	1

Tabelle 40 – Qualität Fehlertoleranz

Als Zusammenfassung wurden die Fragen gruppiert und gemeinsam ausgewertet. Die Zustimmungsrates bestimmt sich aus dem Verhältnis der positiven Bewertungen und der Summe der positiven und negativen Bewertungen. Insgesamt ergibt sich eine Zustimmung von rund 80 % (Tabelle 41).

	<i>Positiv</i>	<i>Negativ</i>	<i>Zustimmung</i>
<i>Aufgabenangemessenheit (1 bis 3)</i>	12	3	80 %
<i>Selbstbeschreibungsfähigkeit (4 bis 6)</i>	13	2	87 %
<i>Steuerbarkeit (7 bis 9)</i>	10	5	67 %
<i>Fehlertoleranz (10 bis 12)</i>	10	1	91 %
Gesamt	45	11	80 %

Tabelle 41 – Qualität Makroansicht

6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der Evaluierung zeigte sich, dass die durchschnittlichen Zuschläge zur Primärzeit gegenüber der Vergleichszeit von 486 % auf 113 % gesunken sind. Hypothese 1 konnte daher klar bestätigt werden.

Würden beispielsweise eine Stunde Arbeitsinhalte (Primärzeit) mit einer ähnlichen Charakteristik wie die Testinhalte (hinsichtlich Dauer, Verhältnis Bilder, Videos, Audio) aufgenommen werden, so wären hierfür bisher 4,86 Stunden zusätzlich für administrative Aufgaben entfallen. Mit der Demonstratoranwendung liegt dies bei nur 1,13 Stunden, was einer Einsparung von 3,73h pro Stunde Arbeitsinhalt entspricht. Bei durchschnittlichen Arbeitskosten in Österreich von 34,70 € pro Stunde²¹⁷ entspricht dies einer Einsparung von 132,50 € pro Stunde aufzuzeichnender Arbeitsinhalte.

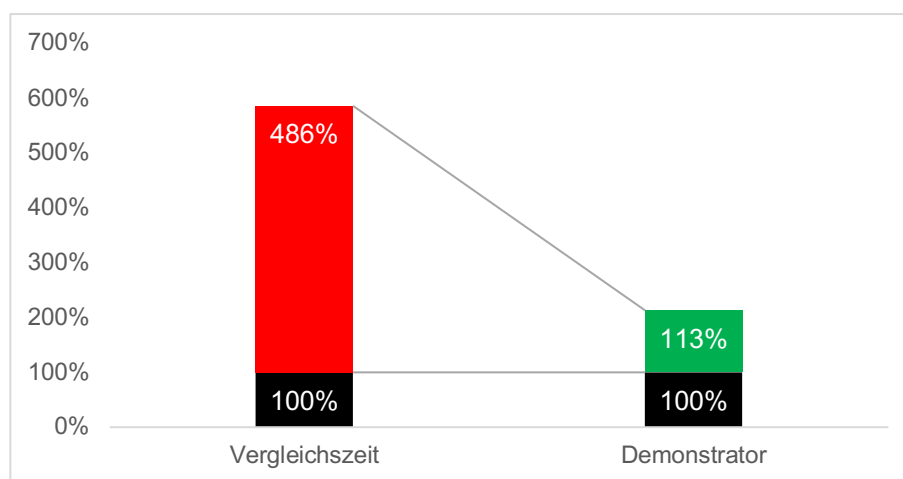


Abbildung 82 – Gesamtvergleich Vergleichszeit und Demonstratoranwendung

Neben der quantitativen Einsparung zeigte sich, dass die Anwendung auch die notwendigen Anforderungen (deutliche Mehrheiten in Tabelle 42) ausreichend erfüllt. Somit ist auch Hypothese 2 hinsichtlich der Anforderungserfüllung und der Zufriedenheit bestätigt.

	Zustimmung
<i>Aufgabenangemessenheit</i>	80 %
<i>Selbstbeschreibungsfähigkeit</i>	87 %
<i>Steuerbarkeit</i>	67 %
<i>Fehlertoleranz</i>	91 %
Gesamt	80 %

Tabelle 42 – Qualität Makroansicht

²¹⁷ Eurostat (2020)

7 Diskussion und Ausblick

7.1 Diskussion der Ergebnisse

Entsprechend den Ergebnissen aus Kapitel 6.3 konnte durch die Demonstratoranwendung die Zeit für das Aufnehmen von Arbeitsanweisungen deutlich reduziert werden. Im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, zeigt sich ein signifikantes Zeiteinsparungspotenzial. Während der Zuschlag zur Primärzeit für den Gesamtzyklus (für alle sieben Arbeitsanweisungen aus Kapitel 6.2) nach der herkömmlichen Methode bei + 486 % liegt, beläuft sich dieser bei der Demonstratoranwendung (Mittelwert für alle 5 Benutzer) auf nur + 113 %. Das 95%-Konfidenzintervall für die Demonstratoranwendung liegt dabei zwischen + 96 % und + 130 %.

Neben der quantitativen Auswertung erfolgte in Kapitel 6.4 eine qualitative Auswertung: Besonders hervorzuheben ist, dass kein einziger Antwortpunkt als „ich empfinde dies als sehr störend“ markiert wurde. Die Zustimmungsrate ist bei Fehlertoleranz (91 %) und Selbstbeschreibungsfähigkeit (87 %) besonders hoch. Auch bei der Aufgabenangemessenheit wurden 80 % Zustimmung erreicht. Bei der Steuerbarkeit hingegen besteht mit 67 % noch Verbesserungspotenzial.

In Summe liegt die Zustimmung bei 80 %, daher kann trotzdem von einem sehr positiven Ergebnis ausgegangen werden. Durch zahlreiche Anmerkungen bei den Fragen konnten außerdem einige Verbesserungsvorschläge gewonnen werden, welche in Kapitel 7.3 genauer erläutert werden. Durch die gleichzeitige Aufnahme der ID und der Arbeitsanweisungen war die korrekte Zuordnung in jedem Fall gewährleistet. Zusammenfassend erfüllt das Softwareartefakt sowohl auf quantitativer als auch auf qualitativer Ebene die Anforderungen.

7.2 Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse

Während der quantitativen Auswertung zeigte sich ein Problem bei Benutzer 4 auf dem Samsung-Gerät (Android Betriebssystem). Bei diesem Gerät zeigte sich ein Fehler bei der Übertragung der Videos auf den Server. Es war daher nicht möglich, alle sieben Arbeitsanweisungen aufzunehmen, sondern nur vier (Audio und Bilder, ohne Videos).

Da es sich um prozentuale Zuschläge handelt, war dies keine Einschränkung. Für die vier erfolgreich aufgenommenen Arbeitsanweisungen konnten diese daher trotzdem berechnet werden (Berechnung in Kapitel 6.3). Da diese in sehr ähnlichen Größenordnungen waren wie bei den anderen Benutzern, wurden die Ergebnisse von Benutzer 4 daher ebenfalls verwendet. Die Fähigkeit für den Videoupload sollte

jedenfalls für spätere Versionen erneut geprüft werden, damit dies dann auch auf allen Geräten funktioniert. Ansonsten ergeben sich keine Einschränkungen. Trotz einer Stichprobe von nur fünf Benutzern konnte eine signifikante Senkung der Zeiten im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz gezeigt werden.

7.3 Mögliche Erweiterung des Einsatzpotenzials

Bei der Anwendung handelte es sich um einen Demonstrator nach dem MVP-Ansatz. Dementsprechend gibt es Potenzial zur Weiterentwicklung. Im Zuge der Benutzertests zeigte sich, welche notwendigen Anpassungen an das Softwareartefakt – welche zum Großteil einfach und rasch umsetzbar sind – erwartet werden:

Zum einen gab es ein paar Probleme mit dem QR-Code-Scanner und den dadurch immer neu öffnenden Tabs. Statt der Verlinkung zu einer externen Seite könnte beispielsweise mit einer HTML5 und JavaScript-Lösung²¹⁸ diese Funktionalität direkt in die Demonstratoranwendung integriert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit der Einbindung von PWA-Features. Somit könnte die Anwendung sogar offline verwendet werden und gegebenenfalls im Hintergrund bei entsprechender Netzwerkverbindung die Inhalte hochgeladen werden. Dabei sollte es auch möglich sein, einen Verlauf zu sehen und diesen zu bearbeiten. Idealerweise können die Anwenderinnen und Anwender neue Inhalte bereits während des Uploads aufnehmen.

Ähnlich wie in der AssemblyApp könnten auch MTM-Schritte bei den Arbeitsschritten eingegeben werden. Damit wäre es möglich eine MTM-Normzeit für die Arbeitsplanung zu hinterlegen.

7.4 Ausblick

Da das Softwareartefakt sehr allgemein gehalten ist, besteht die Möglichkeit, dieses in zahlreichen weiteren Domänen anzuwenden. So können damit nicht nur Arbeitsanweisungen für Werkerinformationssysteme aufgezeichnet werden, sondern dieses kann im industriellen Umfeld auch für Fertigungsprozesse, Dokumentationsanforderungen oder Schulungsinhalte verwendet werden.

Inhaltlich ist dieses jedoch nicht auf die industrielle Fertigung eingeschränkt. So könnte eine Variante ebenso im Außendienst eingesetzt werden, um Anfragen vor Ort beim aufzunehmen. Auch etwaige Störungen könnten durch Außendienstpersonal oder Kunden einfach dokumentiert und übertragen werden. So könnte die Webanwendung

²¹⁸ vgl. Minhaz (2020)

in einem Serviceportal verlinkt sein, wodurch Kunden dann direkt die Inhalte aufnehmen können und auf die Server des Unternehmens übertragen können und somit schneller eine Lösung für ihr Problem erhalten. Als mögliche weitere Forschungsthemen könnten auch noch weitere Aufnahmearten neben Bild, Video und Audio untersucht werden.

7.5 Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde folgende Forschungsfrage gestellt: Wie kann eine Anwendung entwickelt und evaluiert werden, die den Zeitaufwand für die Erfassung und Übertragung von Arbeitsanweisungen in digitale Informationssysteme deutlich reduziert?

Sowohl die Entwicklung und der Aufbau konnten in den Kapiteln 2 bis 5 gezeigt werden. Daneben konnte mittels Evaluierung in Kapitel 6 die Zeiteinsparung als auch zur Qualität des Softwareartefakts bestätigt werden. Neben der Aufzeichnung von Arbeitsanweisungen besteht außerdem die Möglichkeit, das Softwareartefakt für zahlreiche weitere Aufgabenbereiche wie Dokumentations-, Störungs- und Schulungserfassung einzusetzen.

Besonders durch den Trend zu kundenindividueller Massenproduktion und der Popularität von Mobilgeräten bieten sich viele Möglichkeiten für einfache und auch kostengünstige Lösungen in diesem Bereich. Diese Lösungen können zu großen Einsparungspotentialen führen und ermöglichen dabei eine bedeutsame Unterstützung bei der Ausführung von menschlicher Arbeit.

8 Anhang

8.1 Ordnerstruktur

Nicht in 8.2 angeführte Dateien sind entweder optional (nicht zwingende grafische Elemente) oder wurden ohne Änderung der Originalversion von Github übernommen.

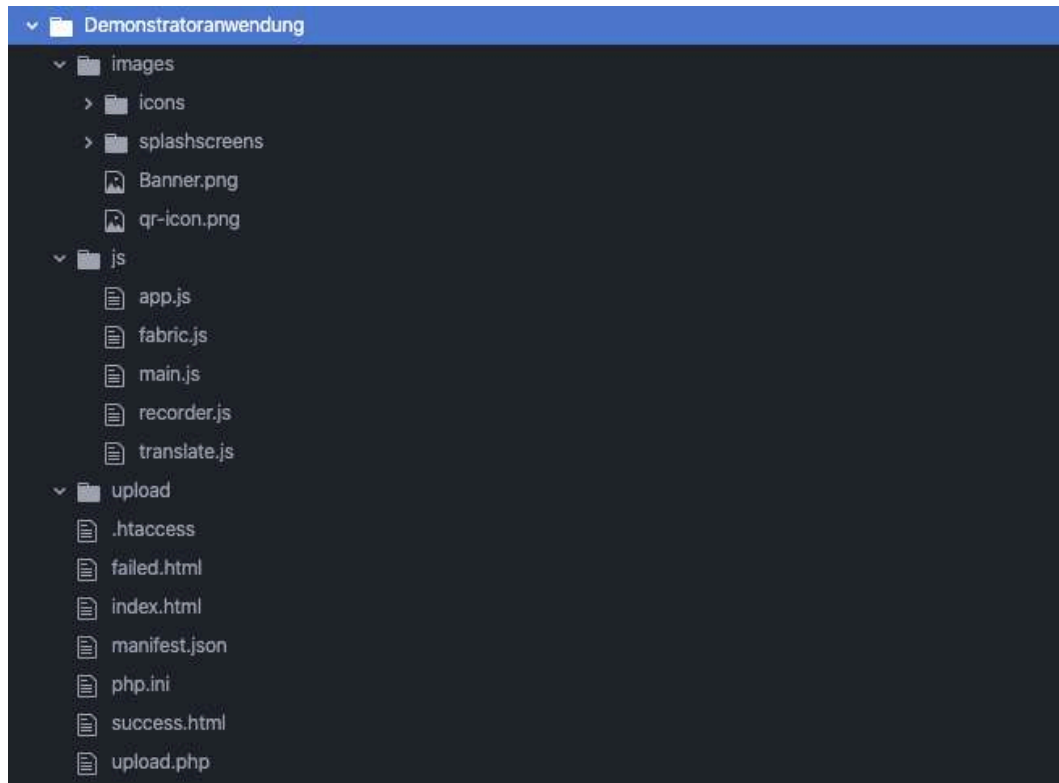


Abbildung 83 – Dateistruktur Demonstratoranwendung

8.2 Code

8.2.1 index.html

```

1. <!doctype html>
2. <html>
3. <!--
   - About: This projects goal is to capture work steps for the TU Vienna Pilotfabrik (
   pilotfabrik.tuwien.ac.at)
4. This was part of the master thesis work for my Industrial
5. Engineering Master's degree at the TU Vienna (tuwien.at). Many thanks to my
6. supervisor Gerhard Reisinger from Fraunhofer Austria (fraunhofer.at). Version: Octob
   er 10,
7. 2019 - Bernhard Schauer (bernhardschauer.com) -->
8.
9. <head>
10.   <!-- Required meta tags -->
11.   <meta charset="utf-8">
12.   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-
   scale=1.0, Benutzer-scalable=no shrink-to-fit=yes">
13.   <!-- Bootstrap CSS -->
14.   <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/
   css/bootstrap.min.css" integrity="sha384-
   ggOyR0iXCbMQv3Xipma34MD+dH/1fQ784/j6cY/iJTQUOhcWr7x9JvoRxT2MZw1T" crossorigin="anony
   mous">
15.   <!-- jQuery notwendig für Umschalten zwischen den Tabs (Audio, Foto, Video) -->
16.   <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.min.js" integrity="sha256-
   CSXorXvZcTkaiX6Yvo6HppcZGetbYMGWSfLBw8HfCJo=" crossorigin="anonymous">
17.   </script>
18.   <!-- Bootstrap JavaScript-->
19.   <script src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/js/bootstrap.min
   .js" integrity="sha384-
   JjSmVgyd0p3pXB1rRibZUAYoIIy60rQ6VrjIEaFf/nJGzIxFDsf4x0xIM+B07jRM" crossorigin="anony
   mous">
20.   </script>
21.   <!--
   - Erkennt die vom Browser unterstützten RTC Features, notwendig weil die Webapps tei
   lweise Audiozugriff nicht erlauben, dann wird der Link zur Website gezeigt-->
22.   <script src="https://cdn.webrtc-experiment.com/DetectRTC.js"> </script>
23.   <!-- Erweiterung Bilder erfolgt mit Fabric.js -->
24.   <script src="js/fabric.js">
25.   </script>
26.   <!-- Übersetzung -->
27.   <script src="js/translate.js">
28.   </script>
29.   <!-- Webapp Infos-->
30.
31.   <link rel="manifest" href="manifest.json">
32.   <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">
33.   <link rel="apple-touch-icon" href="images/icons/icon-192x192.png">
34.   <link rel="apple-touch-startup-image" href="images/icons/icon-192x192.png">
35.
36.   <link href="images/splashscreens/iphone5_splash.png" media="(device-
   width: 320px) and (device-height: 568px) and (-webkit-device-pixel-
   ratio: 2)" rel="apple-touch-startup-image" />
37.   <link href="images/splashscreens/iphone6_splash.png" media="(device-
   width: 375px) and (device-height: 667px) and (-webkit-device-pixel-
   ratio: 2)" rel="apple-touch-startup-image" />
38.   <link href="images/splashscreens/iphoneplus_splash.png" media="(device-
   width: 621px) and (device-height: 1104px) and (-webkit-device-pixel-
   ratio: 3)" rel="apple-touch-startup-image" />
39.   <link href="images/splashscreens/iphonex_splash.png" media="(device-
   width: 375px) and (device-height: 812px) and (-webkit-device-pixel-
   ratio: 3)" rel="apple-touch-startup-image" />

```

```

40.     <link href="images/splashscreens/iphonexr_splash.png" media="(device-
width: 414px) and (device-height: 896px) and (-webkit-device-pixel-
ratio: 2)" rel="apple-touch-startup-image" />
41.     <link href="images/splashscreens/iphonexsmax_splash.png" media="(device-
width: 414px) and (device-height: 896px) and (-webkit-device-pixel-
ratio: 3)" rel="apple-touch-startup-image" />
42.     <style>
43.         .lower-canvas,
44.         .upper-canvas {
45.             max-width: 100%;
46.             height: auto !important
47.         }
48.
49.         .canvas-container {
50.             max-width: 100%;
51.             height: auto;
52.         }
53.     </style>
54. </head>
55.
56. <body>
57.     <div class="container" style="padding-top:10px">
58.         <!-- Header -->
59.         <div>
60.             <h3 style="text-align:center">
61.                 <script>
62.                     document.write(trans.header)
63.                 </script>
64.             </h3>
65.         </div>
66.         <!-- Eingabe Arbeitsschritt ID -->
67.         <div>
68.             <form action="upload.php" method="post" enctype="multipart/form-
data" id="form1">
69.                 <div class="input-group mb-3">
70.                     <div class="input-group-prepend">
71.                         <span class="input-group-text">
72.                             <script>
73.                                 document.write(trans.id)
74.                             </script>
75.                         </span>
76.                     </div>
77.                     <input type="text" class="form-control" aria-
label="Sizing example input" name="workstepID" id="workstepID" aria-
describedby="inputGroupSizingDefault">
78.                     <div class="input-group-append">
79.                         <button class="btn btn-outline-secondary" type="button">
80.                             <a href="https://qrcodecan.in">
81.                                 <script>
82.                                     document.write(trans.qr)
83.                                 </script>
84.                                 
85.                             </a>
86.                         </button>
87.                     </div>
88.                 </div>
89.                 <!--
- dieses Script übergibt einen URL Parameter an die wordstepID.
90.                 Wird an der URL (z.B.
http://localhost/workstep/home.html?asdf) die ID angefügt, so wird diese automatisch
beim workstepID Feld eingefügt -
> praktisch für bereitgestellten QR Code, darin kann gleich ID hinterlegt werden. We
rden sogar decodiert, daher Leerzeichen in ID möglich -->
91.                 <script>
92.                     id = decodeURIComponent(window.location.search.substr(1));
93.                     document.getElementById("workstepID").value = id;

```

```

94.         </script>
95.     </div>
96.     <!-- Navigation -->
97.     <div>
98.         <ul class="nav nav-pills nav-justified" style="padding-
top:20px; padding-bottom:25px">
99.             <!-- Navigation - Audio -->
100.             <li class="nav-item">
101.                 <a class="nav-link" data-toggle="pill" href="#audio">
102.                     <script>
103.                         document.write(trans.audio)
104.                     </script>
105.                 </a>
106.             </li>
107.             <!-- Navigation - Image -->
108.             <li class="nav-item">
109.                 <a class="nav-link" data-toggle="pill" href="#image">
110.                     <script>
111.                         document.write(trans.image)
112.                     </script>
113.                 </a>
114.             </li>
115.             <!-- Navigation - Video -->
116.             <li class="nav-item">
117.                 <a class="nav-link" data-toggle="pill" href="#video">
118.                     <script>
119.                         document.write(trans.video)
120.                     </script>
121.                 </a>
122.             </li>
123.         </ul>
124.     </div>
125.     <!-- Content -->
126.     <div class="tab-content" style="padding-top:0px; min-height:100px">
127.         <!-- Content - Audio -->
128.         <div id="audio" class="tab-pane fade" style="text-
align:center">
129.
130.             <div id="controls">
131.
132.                 <button type="button" id="recordButton" class="btn btn-
outline-danger btn-sm">
133.                     <script>
134.                         document.write(trans.record)
135.                     </script>
136.                 </button>
137.                 <button type="button" id="pauseButton" class="btn btn-
light btn-sm" disabled>
138.                     <script>
139.                         document.write(trans.pause)
140.                     </script>
141.                 </button>
142.                 <button type="button" id="stopButton" class="btn btn-
outline-secondary btn-sm" disabled>
143.                     <script>
144.                         document.write(trans.stop)
145.                     </script>
146.                 </button>
147.             </div>
148.             <br>
149.             <ul class="list-unstyled" id="recordingsList"></ul>
150.
151.             <!--
- Wenn die Webapp keinen Zugriff auf das Mikrofon hat, wird auf die Webversion verli
nkt, dort wird dann vom Browser um Zugriff gefragt -->
152.             <span id="webappmicro">
153.                 <script>

```



```

154.         document.write(trans.webappmic);
155.     </script>
156. </span>
157. <!--
    - Wenn die Webapp keinen Zugriff auf das Mikrofon hat, wird auf die Webversion verli
      nkt, dort wird dann vom Browser um Zugriff gefragt -->
158.     <span id="browsermicro">
159.         <script>
160.             document.write(trans.browsermic);
161.         </script>
162.     </span>
163. <!--
    - Button um im Browser zu öffnen, muss externe URL sein, sonst geht es bei iOS nicht
      aus der Webapp raus, daher der Weg via die Weiterleitung von bitly -->
164.     <!--<a href="https://bit.ly/2JeVexT">
165.         <button type="button" class="btn btn-warning btn-
sm" id="buttonmicro">
166.             <script>
167.                 document.write(trans.clickhere);
168.             </script>
169.         </button>
170.     </a>
171.     <div style="text-align:center">
172.         -->
173.
174.     <!--
    - inserting these scripts at the end to be able to use all the elements in the DOM -
    ->
175.         <script src="js/recorder.js"></script>
176.         <script src="js/app.js"></script>
177.         <script>
178.             if (DetectRTC.isGetBenutzerMediaSupported == true) {
179.                 //document.write("support");
180.                 document.getElementById('webappmic').style.display
= 'none';
181.                 document.getElementById('browsermicro').style.display
= 'none';
182.                 document.getElementById('buttonmicro').style.display
= 'none';
183.             } else if ((DetectRTC.isGetBenutzerMediaSupported == fals
e) && (window.navigator.standalone == true)) {
184.                 //document.write("no support, webapp");
185.                 document.getElementById('browsermicro').style.display
= 'none';
186.                 document.getElementById('recordButton').style.display
= 'none';
187.                 document.getElementById('stopButton').style.display =
'none';
188.                 document.getElementById('pauseButton').style.display
= 'none';
189.             } else {
190.                 //document.write("no support, browser");
191.                 document.getElementById('webappmic').style.display
= 'none';
192.                 document.getElementById('buttonmicro').style.display
= 'none';
193.                 document.getElementById('recordButton').style.display
= 'none';
194.                 document.getElementById('stopButton').style.display =
'none';
195.                 document.getElementById('pauseButton').style.display
= 'none';
196.             }
197.         </script>
198.     </div>
199.
200.

```

```

201.         <!-- Content - Image -->
202.         <div id="image" class="tab-pane fade" style="text-
align:center">
203.             <!-- Take Image Button -->
204.
205.             <label class="btn btn-outline-danger btn-sm">
206.                 <script>
207.                     document.write(trans.takepicture)
208.                 </script>
209.                 <input type="file" accept="image/*" id='imgfile' capture
hidden>
210.
211.             </label>
212.             <div class="container">
213.                 <center>
214.                     <canvas id="c" width="400px" height="400px" backgroun
d-color="transparent" style="border:1px solid #000000;"></canvas>
215.                 </center>
216.             </div>
217.
218.             <br>
219.             <button type="button" class="btn btn-light" id="add-
circle" onclick="canvas.add(circle);">

220.
221.             </button>
222.             <button type="button" class="btn btn-light" id="add-
rect" onclick="canvas.add(rect);">

223.
224.             </button>
225.             <button type="button" class="btn btn-light" id="add-
rect" onclick="canvas.add(arrow);">

226.
227.             </button>
228.             <button type="button" class="btn btn-light" id="add-
text" onclick="canvas.add(text)">

229.
230.             </button>
231.             <button type="button" class="btn btn-outline-
warning" id="remove-selected" onclick="canvas.remove(canvas.getActiveObject())">

232.
233.             </button>
234.             <script>
235.                 var
236.                 canvas =
237.                 new fabric.Canvas('c', {
238.                     selection: false,
239.                     allowTouchScrolling: false,
240.                 });
241.
242.                 var
243.                 text =
244.                 new fabric
245.                 .IText(
246.                     'Text', {
247.                         left: 100,
248.                         top: 100,
249.                         cornerSize: 24,
250.                         transparentCorners: false,
251.                     }
252.                 );
253.                 var
254.                 arrow =
255.                 new fabric
256.                 .Text(
257.                     '→', {
258.                         left: 100,
259.                         top: 100,

```

```

260.             fontSize: 50,
261.             stroke: 'ffffff',
262.             strokeWidth: 1,
263.             fontFamily: 'Futura',
264.             angle:
265.                 -
266.                 45,
267.             cornerSize: 18,
268.             transparentCorners: false,
269.         }
270.     );
271.     var
272.         circle =
273.         new fabric
274.         .Circle({
275.             radius: 20,
276.             fill: 'transparent',
277.             left: 100,
278.             top: 100,
279.             strokeWidth: 5,
280.             stroke: 'FF0000',
281.             cornerSize: 18,
282.             transparentCorners: false,
283.         });
284.     var
285.         rect =
286.         new fabric
287.         .Rect({
288.             left: 100,
289.             top: 100,
290.             fill: 'transparent',
291.             width: 40,
292.             height: 40,
293.             strokeWidth: 5,
294.             stroke: 'FF0000',
295.             cornerSize: 18,
296.             transparentCorners: false,
297.         });
298.
299.     // https://stackoverflow.com/questions/47010467/fit-the-
background-image-to-canvas-size-with-fabric-js
300.     $(function() {
301.         //var canvas1 = new fabric.Canvas('canvas1');
302.         //Default
303.         //var canvas = canvas1;
304.         canvas.backgroundColor = '#ecf0f1';
305.         canvas.renderAll();
306.         //Change background using Image
307.         document.getElementById('imgfile').addEventListener('
change', function(e) {
308.             canvas.setBackgroundColor('', canvas.renderAll.bi
nd(canvas));
309.             canvas.setBackgroundImage(0, canvas.renderAll.bin
d(canvas));
310.             var file = e.target.files[0];
311.             var reader = new FileReader();
312.             reader.onload = function(f) {
313.                 var data = f.target.result;
314.                 fabric.Image.fromURL(data, function(img) {
315.                     canvas.setBackgroundImage(img, canvas.ren
derAll.bind(canvas), {
316.                         scaleX: canvas.width / img.width,
317.                         scaleY: canvas.height / img.height,
318.                     });
319.                 });
320.             };
321.             reader.readAsDataURL(file);

```

```

322.         });
323.     });
324.     </script>
325.
326.     <input name="base64" id='base64' hidden />
327.
328.     <div style="padding-top:20px"></div>
329.
330.     <script>
331.         document.write('<input type="submit" name="submit" class=
"btn btn-dark btn-block" value="" + trans.send + "" >')
332.     </script>
333.     </div>
334.
335.
336.
337.     <!-- Content - Video -->
338.     <div id="video" class="tab-pane fade" style="text-
align:center">
339.         <!-- Video Button -->
340.         <label class="btn btn-outline-danger btn-sm">
341.             <script>
342.                 document.write(trans.takevideo)
343.             </script>
344.             <input type="file" accept="video/*" onchange="document.ge
tElementById('preview').src = window.URL.createObjectURL(this.files[0])" name="datei
" id='datei' capture hidden>
345.
346.             </label>
347.             <!-- Video Vorschau -->
348.             <img id="preview" width="100%" />
349.             <!-- Video Script -->
350.             <script>
351.                 var
352.                     loadFile =
353.                     function(event) {
354.                         var output = document.getElementById('preview');
355.                         output.src = URL.createObjectURL(event.target.fil
es[0]);
356.                     };
357.             </script>
358.
359.             <div style="padding-top:20px"></div>
360.
361.             <script>
362.                 document.write('<input type="submit" name="submit" class=
"btn btn-dark btn-block" value="" + trans.send + "" >')
363.             </script>
364.             </div>
365.         </div>
366.
367.         <!-- send to Server -->
368.
369.     </form>
370.
371.     <!-- Img - Canvas Script https://www.codepool.biz/upload-html-canvas-
data-to-php-server.html -->
372.     <script>
373.         // on the submit event, generate a image from the canvas and save
the data in the textarea
374.         document.getElementById('form1').addEventListener("submit", funct
ion() {
375.             var image = canvas.toDataURL(); // data:image/png....
376.             document.getElementById('base64').value = image;
377.             console.log(image)
378.         }, false);

```

```

379.         </script>
380.
381.
382.
383.     </div>
384.     <!-- credits -->
385.     <div style="padding-top:40px; padding-bottom:10px">
386.         
387.     </div>
388.     <div style="padding-top:10px; padding-bottom:80px; text-align:center">
389.         Diese Webapp ist Teil der Diplomarbeit von
390.         <a href="https://bernhardschau.com" target="_blank">Bernhard Schau-
r
391.         </a> an der
392.         <a href="https://www.tuwien.at" target="_blank">TU Wien
393.         </a>
394.     </div>
395. </div>
396. </body>
397.
398. </html>

```

8.2.2 success.html

```

1. <html>
2. <!--
   - About: This projects goal is to capture work steps for the TU Vienna Pilotfabrik (
   pilotfabrik.tuwien.ac.at)
3. This was part of the master thesis work for my Industrial
4. Engineering Master's degree at the TU Vienna (tuwien.at). Many thanks to my
5. supervisor Gerhard Reisinger from Fraunhofer Austria (fraunhofer.at). Version: May 1
   2,
6. 2019 - Bernhard Schauer (bernhardschau.com) -->
7.
8. <head>
9.     <!-- Required meta tags -->
10.    <link rel="manifest" href="/manifest.json">
11.    <meta charset="utf-8">
12.    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-
scale=1.0, Benutzer-scalable=no shrink-to-fit=yes">
13.    <!-- Bootstrap CSS -->
14.    <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/
css/bootstrap.min.css" integrity="sha384-
ggOyR0iXCbMQv3Xipma34MD+dH/1fQ784/j6cY/iJTQUOhcWr7x9JvoRxT2MZw1T" crossorigin="anony
mous">
15.    <!-- jQuery notwendig für Umschalten zwischen den Tabs (Audio, Foto, Video) -->
16.    <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.min.js" integrity="sha256-
CSXorXvZcTkaix6Yvo6HppcZGetbYMGWSFlBw8HfCJo=" crossorigin="anonymous">
17.    </script>
18.    <!-- Bootstrap JavaScript-->
19.    <script src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/js/bootstrap.min
.js" integrity="sha384-
JjSmVgyd0p3pXB1rRibZUAYoIIy60RQ6VrjIEaFF/nJGzIxFDsf4x0xIM+B07jRM" crossorigin="anony
mous">
20.    </script>
21.    </script>
22.    <!-- Übersetzung -->
23.    <script src="js/translate.js">
24.    </script>
25.    <!-- Webapp Infos-->
26.    <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">

```

```

27.     <meta name="apple-mobile-web-app-title" content="Workstep">
28.     <meta name="apple-mobile-web-app-status-bar-style" content="#ffffff">
29. </head>
30.
31. <body>
32.     <div class="container" style="padding-top:40px; text-align:center">
33.
34.         <script>
35.             document.write(trans.success)
36.         </script>
37.         <a href="https://workstep.me" class="btn btn-success btn-
block" style="margin-top:20px">
38.             <script>
39.                 document.write(trans.back)
40.             </script>
41.         </a>
42.         <a href="https://qrcodescan.in" class="btn btn-outline-secondary btn-
block " style="margin-top:20px">
43.             <script>
44.                 document.write(trans.qr)
45.             </script>
46.         </a>
47.
48.     </div>
49. </body>
50.
51. </html>

```

8.2.3 failed.html

```

1. <html>
2. <!--
- About: This projects goal is to capture work steps for the TU Vienna Pilotfabrik (
pilotfabrik.tuwien.ac.at)
3. This was part of the master thesis work for my Industrial
4. Engineering Master's degree at the TU Vienna (tuwien.at). Many thanks to my
5. supervisor Gerhard Reisinger from Fraunhofer Austria (fraunhofer.at). Version: May 1
2,
6. 2019 - Bernhard Schauer (bernhardschauer.com) -->
7.
8. <head>
9.     <!-- Required meta tags -->
10.     <link rel="manifest" href="/manifest.json">
11.     <meta charset="utf-8">
12.     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-
scale=1.0, Benutzer-scalable=no shrink-to-fit=yes">
13.     <!-- Bootstrap CSS -->
14.     <link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/
css/bootstrap.min.css" integrity="sha384-
ggOyR0iXCbMQv3Xipma34MD+dH/1fQ784/j6cY/iJTQUOhcWr7x9JvoRxT2MZw1T" crossorigin="anony
mous">
15.     <!-- jQuery notwendig für Umschalten zwischen den Tabs (Audio, Foto, Video) -->
16.     <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.min.js" integrity="sha256-
CSXorXvZcTkaix6Yvo6HppcZGetbYMGWSFlBw8HfCJo=" crossorigin="anonymous">
17.     </script>
18.     <!-- Bootstrap JavaScript-->
19.     <script src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.3.1/js/bootstrap.min
.js" integrity="sha384-
JjSmVgyd0p3pXB1rRibZUAYoIIy60RQ6VrjIEaFf/nJGzIxFDsf4x0xIM+B07jRM" crossorigin="anony
mous">
20.     </script>
21.     <!-- <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/exif-js"></script> -->
22.     <!-- Übersetzung -->
23.     <script src="js/translate.js">
24.     </script>

```

```

25.    <!-- Webapp Infos-->
26.    <meta name="apple-mobile-web-app-capable" content="yes">
27.    <meta name="apple-mobile-web-app-title" content="Workstep">
28.    <meta name="apple-mobile-web-app-status-bar-style" content="#ffffff">
29.  </head>
30.
31.  <body>
32.    <div class="container" style="padding-top:40px; text-align:center">
33.
34.      <script>
35.        document.write(trans.nofile)
36.      </script>
37.      <a href="javascript:window.location=document.referrer;" class="btn btn-
dark btn-block" style="margin-top:20px">
38.        <script>
39.          document.write(trans.back)
40.        </script>
41.      </a>'
42.
43.    </div>
44.  </body>
45.
46. </html>

```

8.2.4 app.js

Diese Datei basiert auf der Recorder.js-Lösung²¹⁹ und wurde in wenigen Punkten angepasst.

```

1.  //webkitURL is deprecated but nevertheless
2.  URL = window.URL || window.webkitURL;
3.
4.  var gumStream; //stream from getUserMedia()
5.  var rec; //Recorder.js object
6.  var input; //MediaStreamAudioSourceNode we'll be recording
7.
8.  // shim for AudioContext when it's not avb.
9.  var AudioContext = window.AudioContext || window.webkitAudioContext;
10. var audioContext //audio context to help us record
11.
12. var recordButton = document.getElementById("recordButton");
13. var stopButton = document.getElementById("stopButton");
14. var pauseButton = document.getElementById("pauseButton");
15.
16. //add events to those 2 buttons
17. recordButton.addEventListener("click", startRecording);
18. stopButton.addEventListener("click", stopRecording);
19. pauseButton.addEventListener("click", paBenutzerecording);
20.
21. function startRecording() {
22.   console.log("recordButton clicked");
23.   document.getElementById("recordingsList").innerHTML = ""; // Clears list
24.
25.   /*
26.   Simple constraints object, for more advanced audio features see
27.   https://addpipe.com/blog/audio-constraints-getUserMedia/
28.   */
29.
30.   var constraints = {
31.     audio: true,
32.     video: false
33.   }

```

²¹⁹ Naicu (2018)


```

34.
35.     /*
36.     Disable the record button until we get a success or fail from getBenutzerMedia()
37.     */
38.
39.     recordButton.disabled = true;
40.     stopButton.disabled = false;
41.     pauseButton.disabled = false
42.
43.     /*
44.     We're using the standard promise based getBenutzerMedia()
45.     https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/MediaDevices/getBenutzerMedia
46.     */
47.
48.     navigator.mediaDevices.getBenutzerMedia(constraints).then(function(stream) {
49.         console.log("getBenutzerMedia() success, stream created, initializing Record
er.js ...");
50.
51.         /*
52.         create an audio context after getBenutzerMedia is called
53.         sampleRate might change after getBenutzerMedia is called, like it does on ma
cOS when recording through AirPods
54.         the sampleRate defaults to the one set in your OS for your playback device
55.         */
56.         audioContext = new AudioContext();
57.
58.         //update the format
59.         //document.getElementById("formats").innerHTML="Format: 1 channel pcm @ "+au
dioContext.sampleRate/1000+"kHz"
60.
61.         /* assign to gumStream for later use */
62.         gumStream = stream;
63.
64.         /* use the stream */
65.         input = audioContext.createMediaStreamSource(stream);
66.
67.         /*
68.         Create the Recorder object and configure to record mono sound (1 channel)
69.         Recording 2 channels will double the file size
70.         */
71.         rec = new Recorder(input, {
72.             numChannels: 1
73.         })
74.
75.         //start the recording process
76.         rec.record()
77.
78.         console.log("Recording started");
79.
80.     }).catch(function(err) {
81.         //enable the record button if getBenutzerMedia() fails
82.         recordButton.disabled = false;
83.         stopButton.disabled = true;
84.         pauseButton.disabled = true
85.     });
86. }
87.
88. function paBenutzereRecording() {
89.     console.log("pauseButton clicked rec.recording=", rec.recording);
90.     if (rec.recording) {
91.         //pause
92.         rec.stop();
93.         pauseButton.innerHTML = trans.pause;
94.     } else {
95.         //resume
96.         rec.record()

```

```

97.         pauseButton.innerHTML = trans.cont;
98.
99.     }
100. }
101.
102. function stopRecording() {
103.     console.log("stopButton clicked");
104.
105.     //disable the stop button, enable the record too allow for new recordings
106.
107.     stopButton.disabled = true;
108.     recordButton.disabled = false;
109.     pauseButton.disabled = true;
110.
111.     //reset button just in case the recording is stopped while paused
112.     pauseButton.innerHTML = trans.pause;
113.
114.     //tell the recorder to stop the recording
115.     rec.stop();
116.
117.     //stop microphone access
118.     gumStream.getAudioTracks()[0].stop();
119.
120.     //create the wav blob and pass it on to createDownloadLink
121.     rec.exportWAV(createDownloadLink);
122. }
123. function createDownloadLink(blob) {
124.
125.     var url = URL.createObjectURL(blob);
126.     var au = document.createElement('audio');
127.     var li = document.createElement('li');
128.     var link = document.createElement('a');
129.
130.     //name of .wav file to use during upload and download (without extension)
131.
132.     var filename = new Date().toISOString();
133.
134.     //add controls to the <audio> element
135.     au.controls = true;
136.     au.src = url;
137.
138.     //save to disk link
139.     link.href = url;
140.     link.download = filename + ".wav"; //download forces the browser to download the file using the filename
141.     link.innerHTML = "Save to disk";
142.
143.     //add the new audio element to li
144.     li.appendChild(au);
145.
146.     //add the filename to the li
147.     //li.appendChild(document.createTextNode(filename+".wav "))
148.
149.     //add the save to disk link to li
150.     //li.appendChild(link);
151.
152.     //upload link
153.     var upload = document.createElement('a');
154.     upload.href = "#";
155.     upload.innerHTML = '<div style="padding-top:20px"></div> <input type="submit" name="submit" class="btn btn-dark btn-block" value="' + trans.send + '">';
156.     upload.addEventListener("click", function(event) {
157.         var xhr = new XMLHttpRequest();
158.         xhr.onload = function(e) {
159.             if (this.readyState === 4) {

```

```

159.             console.log("Server returned: ", e.target.responseText);
160.             // alert(trans.send);
161.             document.location = "https://workstep.me/success"
162.             //window.location.reload(); //reloads Page after Upload
163.         }
164.     };
165.     var fd = new FormData();
166.     fd.append("audio_data", blob, filename);
167.     fd.append("workstepID", document.getElementById("workstepID").value);
168.     xhr.open("POST", "upload.php", true);
169.     xhr.send(fd);
170. })
171. li.appendChild(document.createTextNode(" ")) //add a space in between
172. li.appendChild(upload) //add the upload link to li
173.
174. //add the li element to the ul
175. recordingsList.appendChild(li);
176. }

```

8.2.5 translate.js

```

1.  //#####
2.  //LANGUAGE DETECTION
3.  //https://stackoverflow.com/questions/228835/best-practice-javascript-and-
  multilanguage#228879
4.  //#####
5.  var langlong = navigator.language || navigator.BenutzerLanguage;
6.  var lang = langlong.substring(0, 2);
7.
8.  if (lang == "nl") {
9.      trans = {
10.         header: "Record werkstap",
11.         id: "ID",
12.         qr: "Scan de QR-code",
13.         audio: "Audio 🎤",
14.         image: "Foto 📷",
15.         video: "Video 📹",
16.         takepicture: "Maak een foto",
17.         takevideo: "Video opnemen",
18.         send: "Overzetten naar server 🚀",
19.         record: "Begin audio",
20.         pause: "Pause",
21.         cont: "Doorgaan",
22.         stop: "Stop audio",
23.         webappmic: "Uw besturingssysteem geeft de webapp geen toegang tot de microfo
on. Probeer het met een andere browser.",
24.         browsermic: "Uw browser heeft geen toegang tot de microfoon. Probeer het met
een andere browser.",
25.         clickhere: "Klik hier",
26.         nofile: "Geen bestand geselecteerd",
27.         back: "🔙 Terug naar de startpagina",
28.         success: "Bestand succesvol geüpload",
29.     }
30. } else if (lang == "de") {
31.     trans = {
32.         header: "Arbeitsschritt aufnehmen",
33.         id: "ID",
34.         qr: "QR-Code scannen",
35.         audio: "Audio 🎤",
36.         image: "Foto 📷",
37.         video: "Video 📹",
38.         takepicture: "Bild aufnehmen",
39.         takevideo: "Video aufnehmen",

```

```

40.     send: "auf Server übertragen 🚀",
41.     record: "Aufnahme starten",
42.     pause: "Pause",
43.     cont: "Fortsetzen",
44.     stop: "Aufnahme stoppen",
45.     webappmic: "Dein Betriebssystem gibt der Webapp keinen Zugriff auf das Mikrofon. Versuche es über den normalen Webbrowser.",
46.     browsermic: "Dein Browser hat keinen Zugriff auf das Mikrofon. Versuche über einen anderen Webbrowser.",
47.     clickhere: "Klicke hier",
48.     nofile: "Keine Datei ausgewählt",
49.     back: "🏠 Zurück zur Startseite",
50.     success: "Datei erfolgreich hochgeladen",
51.   }
52. } else {
53.   trans = {
54.     header: "Record a work step",
55.     id: "ID",
56.     qr: "Scan the QR code",
57.     audio: "Audio 🎤",
58.     image: "Photo 📷",
59.     video: "Video 📹",
60.     takepicture: "Take a picture",
61.     takevideo: "Record video",
62.     send: "Transfer to server 🚀",
63.     record: "Start recording",
64.     pause: "Pause",
65.     cont: "Continue",
66.     stop: "Stop recording",
67.     webappmic: "Your operating system does not give the webapp access to the microphone. Try it with your normal web browser.",
68.     browsermic: "Your browser does not have access to the microphone. Try using a different browser.",
69.     clickhere: "Click here",
70.     nofile: "No file selected",
71.     back: "🏠 Back to the home page",
72.     success: "File successfully uploaded",
73.   }
74. }

```

8.2.6 upload.php

```

1. <
2. ? php
3. // Source: https://www.php-einfach.de/php-tutorial/dateiupload/
4.
5. $upload_folder = 'upload/'; // Das Upload-Verzeichnis
6. $workstepID = $_POST['workstepID'];
7.
8.
9. // ID FOLDER
10.
11. if (empty($workstepID)) {
12.     $workstepID = 'unkategorisiert';
13. }
14. if (!is_dir($upload_folder.$workstepID)) {
15.     mkdir($upload_folder.$workstepID, 0777);
16. }
17.
18. $audio = $_FILES['audio_data']['name'];
19. $img = $_POST['base64'];
20. // $img = pathinfo($_FILES['imgfile']['name'], PATHINFO_FILENAME);
21. $vid = pathinfo($_FILES['datei']['name'], PATHINFO_FILENAME);
22.

```

```

23. // AUDIO UPLOAD
24.
25. if (!empty($audio)) {
26.     $input = $_FILES['audio_data']['tmp_name'];
27.     $filename = "audio";
28.     $extension = "wav";
29.
30.     $filepath = $upload_folder.$workstepID.
31.     '\/'. $filename.
32.     '\/'. $extension;
33.
34.     if (file_exists($filepath)) { //Falls Datei existiert, hänge eine Zahl an den Da
teinamen
35.         $id = 1;
36.         do {
37.             $filepath = $upload_folder.$workstepID.
38.             '\/'. $filename.
39.             '\/'. $id.
40.             '\/'. $extension;
41.             $id++;
42.         } while (file_exists($filepath));
43.     }
44.     move_uploaded_file($input, $filepath);
45. }
46.
47. // VIDEO UPLOAD
48. if (!empty($vid)) {
49.     $filename = pathinfo($_FILES['datei']['name'], PATHINFO_FILENAME);
50.     $extension = strtolower(pathinfo($_FILES['datei']['name'], PATHINFO_EXTENSION));
51.
52.     $new_path = $upload_folder.$workstepID.
53.     '\/'. $filename.
54.     '\/'. $extension;
55.
56.     //Neuer Dateiname falls die Datei bereits existiert
57.     if (file_exists($new_path)) { //Falls Datei existiert, hänge eine Zahl an den Da
teinamen
58.         $id = 1;
59.         do {
60.             $new_path = $upload_folder.$filename.
61.             '\/'. $id.
62.             '\/'. $extension;
63.             $id++;
64.         } while (file_exists($new_path));
65.     }
66.
67.     //Alles okay, verschiebe Datei an neuen Pfad
68.     move_uploaded_file($_FILES['datei']['tmp_name'], $new_path);
69.     //echo 'Video erfolgreich hochgeladen: <a href="'. $new_path. '">'. $new_path. '</a>
';
70.     header("Location: https://workstep.me/success.html");
71.     exit();
72. }
73.
74. if (!empty($img)) {
75.     // baseFromJavascript will be the javascript base64 string retrieved of some way
(async or post submitted)
76.     $baseFromJavascript = $_POST['base64']; // $_POST['base64']; //your data in base
64 'data:image/png....';
77.
78.     // remove the part that we don't need from the provided image and decode it
79.     $data = base64_decode(preg_replace('#^data:image/\w+;base64,#i', '', $baseFromJa
vascript));
80.
81.     // here you can detect if type is png or jpg if you want
82.     $filename = "img";

```

```
83.     $extension = "png";
84.
85.     $filepath = $upload_folder.$workstepID.
86.     '/'.$filename.
87.     '$extension';
88.
89.     if (file_exists($filepath)) { //Falls Datei existiert, hänge eine Zahl an den Da
teinamen
90.         $id = 1;
91.         do {
92.             $filepath = $upload_folder.$workstepID.
93.             '/'.$filename.
94.             '-'.$id.
95.             '$extension';
96.             $id++;
97.         } while (file_exists($filepath));
98.     }
99.     file_put_contents($filepath, $data);
100.     header("Location: https://workstep.me/success.html");
101.     exit();
102. } else {
103.     header("Location: https://workstep.me/failed.html");
104.     exit();
105. } ?
106. >
```

8.3 Detaillierte Zeiten der Benutzer

8.3.1 Vergleichszeit (herkömmlicher Ansatz)

	Manuell (Gesamtzeit)	Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)	Primärzeit: Datei bearbeiten	Sekundärzeit (Aufnahmevorbereitung)	Sekundärzeit (SD Karte am Laptop anstecken)*	Sekundärzeit (Audiodateien übertragen) Airdrop**	Sekundärzeit: Datei bearbeiten	Sekundärzeit: Ordner anlegen und Datei übertragen
Sticker	1m 53s	24s	-	10s	4s	-	-	1m 15s
Audio DE	1m 14s	9s	-	10s	-	30s	-	25s
Klebefuß	37s	5s	-	5s	4s	-	-	23s
Crimpen	1m 2s	8s	-	10s	4s	-	-	40s
Loctite	1m 56s	27s	-	9s	4s	-	-	1m 16s
Batterie	1m 58s	8s	10s	6s	4s	-	1m 1s	29s
Audio EN	1m 18s	11s	-	12s	-	30s	-	25s

Tabelle 43 – Detailzeiten herkömmlicher Ansatz (Vergleich)

* insgesamt 20 Sekunden, aufgeteilt auf 5 Arbeitsschritte

** insgesamt 1 Minute, aufgeteilt auf 2 Arbeitsschritte

8.3.2 Benutzer 1 (Demonstratoranwendung)

	Manuell (Gesamtzeit)	Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)	Primärzeit Bearbeitung	Sekundärzeit Vorbereitung	Sekundärzeit Abschluss
Sticker	41s	23s	-	10s	8s
Audio DE	20s	8s	-	8s	4s
Klebefuß	18s	5s	-	8s	5s
Crimpen	23s	9s	-	8s	6s
Loctite	39s	26s	-	7s	6s
Batterie	26s	5s	10s	8s	3s
Audio EN	20s	10s	-	6s	4s

Tabelle 44 – Detailzeiten Benutzer 1

8.3.3 Benutzer 2 (Demonstratoranwendung)

	<i>Manuell (Gesamtzeit)</i>	<i>Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)</i>	<i>Primärzeit Bearbeitung</i>	<i>Sekundärzeit Vorbereitung</i>	<i>Sekundärzeit Abschluss</i>
Sticker	49s	23s	-	8s	18s*
Audio DE	23s	9s	-	5s	9s
Klebefuß	20s	5s	-	7s	8s
Crimpen	27s	9s	-	8s	10s
Loctite	57s	27s	-	9s	21s*
Batterie	22s	5s	8	5s	4s
Audio EN	26s	11s	-	5s	10s

Tabelle 45 – Detailzeiten Benutzer 2

* Langsamer Upload

8.3.4 Benutzer 3 (Demonstratoranwendung)

	<i>Manuell (Gesamtzeit)</i>	<i>Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)</i>	<i>Primärzeit Bearbeitung</i>	<i>Sekundärzeit Vorbereitung</i>	<i>Sekundärzeit Abschluss</i>
Sticker	55s	24s	-	9s	22s*
Audio DE	25s	12s	-	6s	7s
Klebefuß	25s	6s	-	6s	13s
Crimpen	30s	10s	-	9s	11s
Loctite	51s	28s	-	9s	14s
Batterie	46s	7s	13s	18s	8s
Audio EN	30s	12s	-	12s	6s

Tabelle 46 – Detailzeiten Benutzer 3

* Langsamer Upload

8.3.5 Benutzer 4 (Demonstratoranwendung)

	<i>Manuell (Gesamtzeit)</i>	<i>Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)</i>	<i>Primärzeit Bearbeitung</i>	<i>Sekundärzeit Vorbereitung</i>	<i>Sekundärzeit Abschluss</i>
<i>Sticker</i>	*	*	*	*	*
<i>Audio DE</i>	22	9	-	8	5
<i>Klebefuß</i>	15	5	-	6	4
<i>Crimpen</i>	*	*	*	*	*
<i>Loctite</i>	*	*	*	*	*
<i>Batterie</i>	30	7	12	6	5
<i>Audio EN</i>	29	12	-	12	5

Tabelle 47 – Detailzeiten Benutzer 4

* Problem mit Video, Upload hat am Gerät nicht funktioniert

8.3.6 Benutzer 5 (Demonstratoranwendung)

	<i>Manuell (Gesamtzeit)</i>	<i>Primärzeit (Dauer Aufnahme Medium)</i>	<i>Primärzeit Bearbeitung</i>	<i>Sekundärzeit Vorbereitung</i>	<i>Sekundärzeit Abschluss</i>
<i>Sticker</i>	46s	24s	-	10s*	12s
<i>Audio DE</i>	26s	12s	-	9s*	5s
<i>Klebefuß</i>	15s	6s	-	6s*	3s
<i>Crimpen</i>	26s	8s	-	10s*	8s
<i>Loctite</i>	47s	26s	-	7s*	14s
<i>Batterie</i>	35s	7s	18s	6s*	4s
<i>Audio EN</i>	24s	13s	-	5s*	6s

Tabelle 48 – Detailzeiten Benutzer 4

* Benutzer wollte die IDs manuell eingeben statt mit dem Barcodescanner.

8.4 Fragebogen

Bernhard Schauer – Fragebogen zur Aufnahme von Realinhalten Werkerinformationssystem

1

Usability-Fragebogen - Benutzerfragebogen¹

Aufnahme Realinhalte Werkerinformationssystem

Lieber Benutzer,

dieser Fragebogen dient dazu, Ihre persönliche Einschätzung zu dem vorliegenden Webanwendung zur Aufnahme von Realinhalten, zu erfassen.

Ihre Antworten auf die Fragen werden dazu verwendet, Qualitätsmängel der Webanwendung zu erfassen, um diese im Nachgang zu beseitigen. Dabei ist es das Ziel, das die Webanwendung an Ihre Bedürfnisse der Nutzer anzupassen und den Umgang mit damit zu erleichtern.

Handhabung des Fragebogens:

Bitte denken Sie beim Ausfüllen des Fragebogens an die Aufgabe der Webanwendung: *Die Aufgabe es der Webanwendung ist, Realinhalte bestmöglich und so einfach wie möglich aufzunehmen.*

Bevor Sie damit beginnen, den Fragebogen auszufüllen, sollten Sie vorab alle Fragen gelesen haben. Sie werden feststellen, dass die Fragen auf sehr nützliche Eigenschaften aufmerksam machen, die die Webanwendung haben sollte, um Ihnen einen Mehrwert bei der Ausführung von Montagetätigkeiten zu bieten.

Wenn Sie feststellen, dass einige Fragen mit der genannten Aufgabe der Webanwendung inhaltlich nichts zu tun haben, so kreuzen Sie bitte „Frage trifft nicht zu“ an. Beim Ausfüllen können Sie auf auch auf besondere Eigenschaften der Webanwendung hinweisen. Falls sie diese Eigenschaften als „sehr“ störend oder belastend erleben, kreuzen Sie bitte an: „Ich empfinde dies als sehr störend.“

Beginnen Sie erst mit dem Ausfüllen des Fragebogens, nachdem Sie in Ruhe alle Fragen gelesen haben.

¹ In Anlehnung an DIN EN ISO 9241-110 sowie den Usability-Fragebogen zum Thema „Visuelle Assistenzsysteme“ von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold und Fabian Ranz, M.Sc., Fraunhofer Austria Research GmbH

Aufgabenangemessenheit

Ein Anwendung ist aufgabenangemessen, wenn es zur Erledigung Ihrer konkreten Tätigkeit brauchbar ist. „Brauchbar“ bedeutet, dass alle Tätigkeiten, die Sie erledigen müssen, von der Anwendung unterstützt werden und Ihnen das System dabei wirklich eine informative Hilfe und kein nötiges Übel ist, das Ihre Arbeit in manchen Situationen eher erschwert oder umständlicher macht.

1. Stellt die Webanwendung alle für Ihre Aufgabe benötigten Funktionen zur Unterstützung zur Verfügung?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Bitte benennen Sie den Programmteil, bei dem Sie sich wünschen würden, dass die Webanwendung „mehr kann“, als gerade möglich ist.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

2. Müssen Sie Eingaben oder Dialogschritte machen, die eigentlich überflüssig wären?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „ja“:

Bitte benennen Sie die in ihren Augen überflüssigen Eingaben und Dialogschritte.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

3. Müssen Sie Eingaben oder Dialogschritte machen, die Sie stören oder Sie in der Ausführung Ihrer Tätigkeiten behindern?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „ja“:

Bitte benennen Sie die Sie behindernden Eingaben und Dialogschritte.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

Selbstbeschreibungsfähigkeit

Eine Webanwendung ist selbstbeschreibungsfähig, wenn Sie jederzeit die erforderlichen Informationen und Meldungen erhalten, welche Sie benötigen.

4. Sind die Informationen, die zur Erledigung der Aufgabe notwendig sind, auf dem Bildschirm übersichtlich verfügbar?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Nennen Sie bitte die Informationen, die Sie benötigen, aber nicht „auf einen Blick“ zur Verfügung stehen.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

5. Sind die Meldungen und Informationen des Systems für Sie immer verständlich?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Nennen Sie die Situationen, in denen Ihnen unverständliche Meldungen als auch Informationen aufgefallen sind.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

6. Sind die Meldungen und Informationen des Systems für Sie immer eindeutig erkennbar bzw. lesbar?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Nennen Sie die Situationen bei der Durchführung Ihrer Tätigkeit, in welchen Sie bestimmte Informationen und Meldungen nicht erkennen oder lesen können.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

Steuerbarkeit

Eine Webanwendung ist steuerbar, wenn Sie bei erforderlichen Arbeitssituationen die Webanwendung unterbrechen können und anschließend ohne Verlust der bis dahin erreichten Arbeitsergebnisse wieder aufnehmen können.

7. Macht die Webanwendung manchmal etwas, ohne dass Sie es zu dem Zeitpunkt wollen?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „ja“:

Nennen Sie bitte das Verhalten des Programms, das ungewollt auftritt.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

8. Können Sie bei Bedarf eine Aufgabe aufwandsfrei unterbrechen und später wieder fortsetzen?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Schildern Sie bitte, in welcher Situation Sie durch eine Unterbrechung aufwändige Eingaben oder Tätigkeiten ausführen müssen, um die die Assistenzleistung zu unterbrechen und später wieder aufzunehmen.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

9. Fühlen Sie sich in Ihrem Arbeitstempo durch die Webanwendung manchmal gebremst, z. B. durch lange Wartezeiten?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „ja“:

Beschreiben Sie bitte die Situationen, in denen Sie gerne zügiger arbeiten würden.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

Fehlertoleranz

Eine Webanwendung ist fehlertolerant, wenn Sie Ihr Arbeitsergebnis trotz fehlerhafter Anwendung oder Bedienung entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand erreichen können. Außerdem sollte Sie die Webanwendung Sie darauf aufmerksam machen, wenn es einen Fehler bei der Anwendung oder Bedienung bemerkt, und Ihnen mögliche Korrekturhinweise zur richtigen Anwendung oder Bedienung liefern.

10. Erhalten Sie bei fehlerhafter Anwendung oder Bedienung der Webanwendung Korrekturhinweise für eine korrekte Anwendung oder Bedienung?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Nennen Sie bitte Situationen, in denen Sie sich vielleicht wünschen würden, dass Ihnen die Webanwendung einen Vorschlag für eine richtige Anwendung oder Bedienung macht.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

11. Können Sie die Folgen einer fehlerhaften Anwendung oder Bedienung der Webanwendung mit geringem Aufwand beheben?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Schildern Sie bitte kurz die Situationen, in denen Ihnen der Aufwand für die Korrektur einer fehlerhaften Anwendung oder Bedienung zu hoch erscheint.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

12. Arbeitet die Webanwendung während der Ausführung Ihrer Aufgabe immer stabil und zuverlässig?

☐ ja ☐ nein ☐ Frage trifft nicht zu

wenn „nein“:

Nennen Sie die Situationen, in denen Sie der visuellen Assistenz nicht trauen.

☐ Ich empfinde dies als sehr störend

This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for writing or drawing. There are no margins, text, or other markings on the page.

9 Literaturverzeichnis

- 1&1 IONOS SE (2019): Mobile First: Der neue Ansatz im Webdesign, URL: <https://www.ionos.at/digitalguide/websites/webdesign/mobile-first-neuer-ansatz-im-webdesign/>, 09.09.2020.
- 1&1 IONOS SE (2020a): Schnelles, sicheres Hosting inklusive Domain, URL: <https://www.ionos.at/hosting/webhosting>, 08.09.2020.
- 1&1 IONOS SE (2020b): Progressive Web-Apps | Welche Vorteile bieten sie?, URL: <https://www.ionos.at/digitalguide/websites/web-entwicklung/progressive-web-apps-welche-vorteile-bieten-sie/>, 20.09.2020.
- app-entwickler-verzeichnis.de (2017): Native Apps vs. Web Apps - Unterschiede und Vorteile, URL: <https://app-entwickler-verzeichnis.de/faq-app-entwicklung/11-definitionen/586-unterschiede-und-vergleich-native-apps-vs-web-apps-2>, 09.09.2020.
- Apt, Wenke et. al. (2018): Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb, in: Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2018, URL: https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb502-einsatz-von-digitalen-assistenzsystemen-im-betrieb.pdf;jsessionid=508A04591ABED2C707D35B6341444915.delivery2-replication?__blob=publicationFile&v=1.
- Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020a): DAS ASSISTENZSYSTEM FÜR DIE MANUELLE MONTAGE, URL: <https://www.armbruster.de/>, 18.08.2020.
- Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020b): HARDWARE - PERFEKT FÜR ELAM, URL: <https://www.armbruster.de/produkte-leistungen/elam-hardware/>, 18.08.2020.
- Armbruster Engineering GmbH und Co. KG (2020c): SMART WORK ASSISTANT, URL: <https://www.armbruster.de/wp-content/uploads/2020/08/2.1-SWA-Broschüre-min.pdf>, 26.09.2020.
- atom.io (2020): Atom – A hackable text editor for the 21st Century, URL: <https://atom.io/>, 21.08.2020.
- Balzert, Helmut (2011): Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb 2011.
- Bannat, Alexander (2014): Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion 2014, URL: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1206607/1206607.pdf>.
- Beck, Kent et. al. (2001): Manifesto for Agile Software Development, URL: <http://agilemanifesto.org/>, 21.08.2020.
- Bednar, Slavomir / Modrak, Vladimir (2014): Mass customization and its impact on assembly process' complexity, in: International Journal for Quality Research, Heft 3 (8) 2014, S. 417–430.

- Bendel, Oliver (2019a): Industrie 4.0, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrie-40-54032/version-368841>, 06.09.2020.
- Bendel, Oliver (2019b): QR-Code, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/qr-code-53515/version-368828>, 06.09.2020.
- Berthelot, Lea (2019): 5 trends shaping the future of app marketing, URL: https://medium.com/@aiden_ai/5-trends-shaping-the-future-of-app-marketing-36517fe15274, 09.09.2020.
- Billomat GmbH & Co. KG (2020): Webbasierte Anwendung - Was ist eine webbasierte Anwendung?, URL: <https://www.billomat.com/lexikon/w/webbasierte-anwendung/>, 20.08.2020.
- Bookholt, Andrew / ifixit.com (2020): iMac Intel 21,5" EMC 2308 PRAM Batterie austauschen, URL: <https://de.ifixit.com/Anleitung/iMac+Intel+215-Inch+EMC+2308+PRAM+Batterie+austauschen/1970>, 21.08.2020.
- Bootstrap (2020): Build fast, responsive sites with Bootstrap, URL: <http://getbootstrap.com/>, 21.08.2020.
- Boston Consulting Group (2020): Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth, URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>, 06.09.2020.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2017): Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen 2017.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2020): Industrie 4.0 – Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung, Bonn 2020, URL: https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Industrie_4.0.pdf.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015a): Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland, Berlin 2015, URL: https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-40-studie-marktterspektiven-broschuere.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015b): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation, in: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie - Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation 2015, S. 29, URL: www.bmwi.de.
- cioplenu GmbH (2020a): cioplenu in der Produktion, URL: <https://cioplenu.com/produkte/cio-production/>, 21.08.2020.
- cioplenu GmbH (2020b): cioplenu in der Instandhaltung, URL: <https://cioplenu.com/produkte/cio-maintenance/>, 21.08.2020.
- codeply.com (2020): Bootstrap 4 Test Page, URL: <https://www.codeply.com/go/6c6qWGrlpF/bootstrap-4-test-page>, 21.08.2020.
- Concepts, Theoretical / Approaches, Practical (2017): Mass Customized

Manufacturing 2017.

Denso Wave Incorporated (2020): What is a QR Code?, URL: <https://www.qrcode.com/en/about/>, 20.08.2020.

Dimitri, Giovanna Maria (2015): PPIG 2015 : The impact of Syntax Highlighting in Sonic Pi, in: Proceedings of the 26th Annual Conference of the Psychology of Programming Interest Group (PPIG 2015) 2015, S. 59–68, URL: <https://ppig.org/files/2015-PPIG-26th-Dimitri.pdf>.

Dixon, Taylor / ifixit.com (2020): MacBook Pro 15" Retina Display Ende 2013 Gummifüße austauschen, URL: <https://de.ifixit.com/Anleitung/MacBook+Pro+15-Inch+Retina+Display+Ende+2013+Gummifüße+austauschen/116544>, 21.08.2020.

Eden, Daniel (2020): Toast – the no-nonsense CSS grid, URL: <http://daneden.github.io/Toast/>, 21.08.2020.

eFlex Systems (2020): Manufacturing Integrated Platform, URL: <https://www.eflexsystems.com/>, 20.09.2020.

Europäische Kommission (2016): Overview of European Initiatives on digitising industry, URL: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2016-16/overview_of_digitising_industry_with_links_15202.pdf, 18.08.2020.

Eurostat (2020): Arbeitskosten pro Stunde lagen 2019 in den EU-Mitgliedstaaten zwischen 6,0€ und 44,7€ 2020, URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10624909/3-31032020-BP-DE.pdf/570441ed-c00c-e497-b259-8ebff7fa65d5>.

Eversheim, Walter (1989): Organisation in der Produktionstechnik 1989.

fabnamix GmbH (2020): assemblyApp – die digitale Montageanleitung, URL: <https://fertigungs.team/assemblyapp/>, 21.08.2020.

fabricjs.com (2020): Fabric.js is a powerful and simple Javascript HTML5 canvas library, URL: <http://fabricjs.com/>, 21.08.2020.

Feldmann, Klaus / Lang, Stefan (2007): Effiziente Mitarbeiterinformation als Rationalisierungsansatz in der Produktion, in: ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 11 (102) 2007, S. 723–729.

focus.de (2020): Fakten zum Golf I bis VI: Die Millionenseller, URL: https://www.focus.de/auto/neuheiten/kompakte/tid-26965/siebte-generation-steht-in-den-startloechern-so-kommt-der-neue-vw-golf-fakten-zum-golf-i-bis-vi-die-millionenseller_aid_802002.html, 18.08.2020.

Fraunhofer IPA (2014): Industrie 4.0 ist für sie interessant, denn sie ist ..., URL: https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/UeberUns/Leitthemen/Industrie40/5_Gruende_Interest_deutsch.pdf.

Fraunhofer IPA / Bildstein, Andreas (2016): Industrie 4.0 am Fraunhofer IPA.

Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020a): What is Waterfall?, URL:

- <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/what-is-waterfall>, 21.08.2020.
- Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020b): When to use Waterfall?, URL: <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/when-to-use-waterfall>, 21.08.2020.
- Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020c): What is Agile?, URL: <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/what-is-agile>, 21.08.2020.
- Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020d): Scrum Example, URL: <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/scrum-example>, 21.08.2020.
- Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020e): Kanban, URL: <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/kanban>, 21.08.2020.
- Gertz, Rachel / Louder Than Ten Industries Inc. (2020f): What is Hybrid?, URL: <https://www.superhi.com/student/digital-project-management/week-4b/what-is-hybrid>, 21.08.2020.
- getgrav.org (2020): Folder Structure, URL: <https://learn.getgrav.org/16/basics/folder-structure>, 26.09.2020.
- getskeleton.com (2020): Skeleton: Responsive CSS Boilerplate, URL: <http://getskeleton.com/>, 21.08.2020.
- Grobe, Daniel (2018): Werkerinformationssystem (WIS): 4 Schlüsselfaktoren für den Erfolg, URL: <https://cioplenu.com/werkerinformationssysteme-wis-4-schluesselfaktoren-fuer-den-erfolg/>, 18.08.2020.
- Henkel Adhiosivos Industria (2019): LOCTITE 518 ROLLER PEN, nuevo formador de juntas, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mFIITzqRBWY>, 21.08.2020.
- Hlavac, Peter (2020): QR Code Generator mit ♥, URL: <https://qr1.at/>, 20.08.2020.
- Hofer, Stefan (2009): Anwendungslandschaften und ihre Verwendung durch exemplarische Geschäftsprozessmodellierung verstehen, in: CEUR Workshop Proceedings (537) 2009, S. 27–38.
- Hold, Philipp et. al. (2016): Planning Operator Support in Cyber-Physical Assembly Systems, in: IFAC-PapersOnLine, Heft 32 (49) 2016, S. 60–65, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.190>.
- Höß, Oliver (2018): Cloud Computing, Edge Computing und Fog Computing – Unterschiede kurz erklärt, URL: <https://innovative-trends.de/2018/01/02/cloud-computing-edge-computing-und-fog-computing-unterschiede-kurz-erklart/>, 08.09.2020.
- Hu, S. Jack (2013): Evolving paradigms of manufacturing: From mass production to mass customization and personalization, in: Procedia CIRP (7) 2013, S. 3–8, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.002>.

- IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH (2020): Electronic Work Instruction – Steigerung der Prozesssicherheit durch online Werkerführung, URL: <https://www.igz.com/sap-manufacturing/best-practices/ewi/>, 26.09.2020.
- ISO/IEC JTC 1/SC 31 (2020): ISO/IEC 18004:2015 – Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR Code bar code symbology specification, URL: <https://www.iso.org/standard/62021.html>, 20.08.2020.
- itemis AG (2020): Requirements Specification and its Documentation, URL: <https://www.itemis.com/en/agile/scrum/compact/requirements-engineering-with-scrum/requirements-specification-and-its-documentation>, 09.09.2020.
- Jazdi, N. (2014): Cyber physical systems in the context of Industry 4.0, in: Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014 2014, S. 1–4.
- Kirchheim, Andreas et. al. (2018): Why Education and Training in the Field of Additive Manufacturing is a Necessity, in: Industrializing Additive Manufacturing - Proceedings of Additive Manufacturing in Products and Applications - AMPA2017, Heft Dezember 2017 2018.
- Kniberg, Henrik (2016): Making sense of MVP (Minimum Viable Product) – and why I prefer Earliest Testable/Usable/Lovable, URL: <https://blog.crisp.se/2016/01/25/henrikkniberg/making-sense-of-mvp>, 21.08.2020.
- KNIPEX (2015): KNIPEX Crimpzangen-Sortiment, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mFIITzqRBWY>, 21.08.2020.
- Kompetenzzentrum Saarbrücken (2020): Werkerassistenzsysteme, URL: <https://kompetenzzentrum-saarbruecken.digital/technologieradar-werkerassistenzsysteme/>, 06.09.2020.
- konfigurator.volkswagen.at (2020): Modellkonfigurator VW Golf 8, URL: https://konfigurator.volkswagen.at/cc-at/de_AT_VW/V/equipment/057/CD14GX24/H7H7/CE/@3LM@PJ5@PS1@PSP@PXD@W21/@?GrossNetSwitch=GROSS&variant=Style&specialTaxCalculationMethod=DPFN14, 16.08.2020.
- Kuenen, Klaus (2020): Minimum Viable Product (MVP), URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/minimum-viable-product-mvp-119157/version-368108>, 06.06.2020.
- Lackes, Richard (2018): Server, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/server-46612/version-269890>, 28.07.2020.
- leanmagazin.de (2020): Gemba, URL: <https://www.leanmagazin.de/lexikon/513-gemba.html>, 06.09.2020.
- Leymann, Frank / Fehling, Christoph (2018): Cloud Computing, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/cloud-computing-53360/version-276453>, 08.09.2020.

- Lotter, Bruno / Wiendahl, Hans-Peter (2006): Montage in der industriellen Produktion, Berlin, Heidelberg 2006, URL: <http://link.springer.com/10.1007/3-540-36669-5>.
- Luber, Stefan / Donner, Andreas (2020): Was ist das Client-Server-Modell?, URL: <https://www.ip-insider.de/was-ist-das-client-server-modell-a-940627/>, 26.09.2020.
- Ma, Simon (2020a): FTPcam Pro, URL: <https://apps.apple.com/de/app/ftpcam-pro/id1224425734>, 21.08.2020.
- Ma, Simon (2020b): FTPcam Lite, URL: <https://apps.apple.com/at/app/ftpcam-lite/id1222830848>, 21.08.2020.
- McLaughlin, Brett (2012): PHP & MySQL: The Missing Manual, 2nd Edition by Brett McLaughlin, URL: <https://www.oreilly.com/library/view/natural-language-annotation/9781449332693/ch01.html>, 08.09.2020.
- MeisterLabs GmbH (2020): Task Management für Teams - MeisterTask, URL: <https://www.meistertask.com/de>, 21.08.2020.
- Microsoft Corporation (2020): Visual Studio Code, URL: <https://code.visualstudio.com/>, 21.08.2020.
- Minhaz, A V (2020): A cross platform HTML5 QR code reader, URL: <https://github.com/mebjas/html5-qrcode>, 23.08.2020.
- MiniTec GmbH & Co. KG (2020): Werkerführung & intelligente Assistenzsysteme, URL: <https://www.minitec.de/loesungen/automatisierung-sondermaschinenbau/montieren/werkerfuehrung-assistenzsysteme>, 18.08.2020.
- Mozilla Foundation (2020a): Getting started with CSS, URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/CSS/First_steps/Getting_started, 20.08.2020.
- Mozilla Foundation (2020b): JavaScript, URL: <https://developer.mozilla.org/de/docs/Web/JavaScript>, 20.08.2020.
- Mozilla Foundation (2020c): Tips for authoring fast-loading HTML pages, URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/HTML/Howto/Author_fast-loading_HTML_pages, 29.09.2020.
- Naicu, Octavian (2018): Using Recorder.js to capture WAV audio in HTML5 and upload it to your server or download locally, URL: <https://blog.addpipe.com/using-recorder-js-to-capture-wav-audio-in-your-html5-web-site/>, 21.08.2020.
- Neidhart, Christoph (2014): Mein Code, der hat drei Ecken, in: 30.11.2014, URL: <https://www.sueddeutsche.de/digital/erfinderpreis-fuer-entwickler-des-qr-symbols-mein-code-der-hat-drei-ecken-1.2004479>.
- Niggemann, Oliver et. al. (2014): Konzepte und Anwendungsfälle für die intelligente Fabrik in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, hrsg. v. Thomas Bauernhansl 2014.
- OpenJS Foundation (2020): Node.js, URL: <https://nodejs.org/de/>, 20.08.2020.
- Optimum datamangement solutions GmbH (2020): SK Assembly, URL:

- <https://www.optimum-gmbh.de/produkte/sk-assembly>, 18.08.2020.
- Peffers, Ken et. al. (2007): A design science research methodology for information systems research, in: Journal of Management Information Systems, Heft 3 (24) 2007, S. 45–77.
- Pereira, Fernando / Gomes, Luis (2018): A JSON/HTTP communication protocol to support the development of distributed cyber-physical systems, in: Proceedings - IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2018 2018, S. 23–30.
- Plewa, Werner (2019): So erstellen Sie gute User Stories, URL: <https://www.business-wissen.de/artikel/scrum-so-erstellen-sie-gute-user-stories/>, 08.09.2020.
- pubnub.com (2017): Moving the Cloud to the Edge, URL: <https://www.pubnub.com/blog/moving-the-cloud-to-the-edge-computing/>, 08.09.2020.
- Raspberry Pi Foundation (2020a): Raspberry Pi 4, URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>, 20.08.2020.
- Raspberry Pi Foundation (2020b): Raspberry Pi High Quality Camera, URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-high-quality-camera/>, 21.08.2020.
- Raspberry Pi Foundation (2020c): Raspberry Pi Touch Display, URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-touch-display/>, 21.08.2020.
- Reinhart, Gunther (2017): Handbuch Industrie 4.0 2017.
- Robert Bosch GmbH (2018): Vier Stufen der Industriellen Revolution, URL: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/vier-stufen-der-industriellen-revolution-154112.html>, 06.09.2020.
- Romero, David et. al. (2016): The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation towards Human-Automation Symbiosis Work Systems, in: IFIP Advances in Information and Communication Technology, Heft December 2016.
- SAP AG (2014): SAP Manufacturing Execution (SAP ME), URL: https://help.sap.com/doc/saphelp_me60/6.0.4/de-DE/04/510820335f4e129df327de58689a22/frameset.htm, 20.09.2020.
- Saville, Richard (2020): 10 Ways to Power Your Raspberry Pi, URL: <https://www.lifewire.com/ways-to-power-your-raspberry-pi-4092246>, 20.09.2020.
- Schauer, Bernhard (2020): GUI for decentralized assembly control 2020.
- Schlund, Sebastian et. al. (2018): Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen Options for the design of individualized assembly workstations with respect to recent technological developments, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Heft 4 (72) 2018, S. 276–286.
- Siepermann, Markus (2018): Hardware 2018, URL:

- <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/hardware-34131/version-257640>.
- Sontag, Daniel (2018): Industrial IoT vs. Industry 4.0 vs. ... Industry 5.0?, URL: <https://medium.com/the-industry-4-0-blog/industrial-iot-vs-industry-4-0-vs-industry-5-0-a5f9541da036>, 06.09.2020.
- Sony Corporation (2020): Eine Anwendung für professionelle Fotografen zur Beschleunigung von Fotoübertragungen, URL: <https://support.d-imaging.sony.co.jp/app/transfer/de/>, 21.08.2020.
- Sony Imaging Products & Solutions Inc. (2020): Transfer & Tagging add-on, URL: <https://imagingedge.sony.net/de-at/transfer.html>, 21.08.2020.
- Spath, Dieter et. al. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0, in: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO 2013, S. 155, URL: http://www.dkp-niedersachsen.de/produktion/medien/archiv/20131109wesem/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4.0.pdf.
- stackoverflow.com (2019): Developer Survey Results 2019, URL: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2019#most-loved-dreaded-and-wanted>, 18.08.2020.
- stackoverflow.com (2020): Best practice javascript and multilanguage, URL: <https://stackoverflow.com/questions/228835/best-practice-javascript-and-multilanguage#228879>, 21.08.2020.
- Statista (2020a): Anteil der Smartphone- und Tablet-Nutzer in Österreich in den Jahren 2016 bis 2019, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/668880/umfrage/smartphone-und-tablet-nutzer-in-oesterreich/>, 20.08.2020.
- Statista (2020b): Anteile der genutzten mobilen Betriebssysteme in Österreich von Januar 2014 bis Juli 2020, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/303829/umfrage/genutzte-mobile-betriebssysteme-in-oesterreich/>, 20.08.2020.
- Statista (2020c): Marktanteile der führenden Betriebssysteme weltweit von Januar 2009 bis Mai 2020, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157902/umfrage/marktanteil-der-genutzten-betriebssysteme-weltweit-seit-2009/>, 20.08.2020.
- Sticker Mule (2020): How to apply transfer stickers, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mFIITzqRBWY>, 21.08.2020.
- Sudip, Singh (2017): Industrie 4.0 und das Industrial Internet of Things (IIoT) – eine Einordnung, URL: <https://www.industry-of-things.de/industrie-40-und-das-industrial-internet-of-things-iiot-eine-einordnung-a-629710/>, 06.09.2020.
- Ternès, Anabel et. al. (2015): Konsumentenverhalten im Zeitalter der Mass Customization, Wiesbaden 2015, URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-09846-9>.
- The PHP Group (2020a): Was ist PHP?, URL: <http://www.php.net/manual/de/intro-whatis.php>, 20.08.2020.

- The PHP Group (2020b): PHP und Datenbanken, URL: <https://www.php.net/manual/de/faq.databases.php>, 27.09.2020.
- Tompson, Daymon (2019): New mobile HMI designs respond to user, device requirements, URL: <https://www.controleng.com/articles/new-mobile-hmi-designs-respond-to-user-device-requirements/>, 09.09.2020.
- Tulip Interfaces (2020): The digital manufacturing platform that grows with you, URL: <https://tulip.co/>, 20.09.2020.
- Vogel-Heuser, Birgit et. al.: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4.
- W3Schools (2020a): Input Type File, URL: https://www.w3schools.com/html/tryit.asp?filename=tryhtml_input_file, 21.08.2020.
- W3Schools (2020b): Introduction to HTML, URL: https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp, 20.09.2020.
- Wagner, Rainer Maria (2018): Industrie 4.0 für die Praxis : Mit realen Fallbeispielen aus mittelständischen Unternehmen und vielen umsetzbaren Tipps 2018.
- Warnecke, H.-J. et. al. (1975): Montagetechnik: Schwerpunkt der Rationalisierung, Mainz 1975.
- Watson, Gareth et. al. (2010): Do dynamic work instructions provide an advantage over static instructions in a small scale assembly task?, in: Learning and Instruction, Heft 1 (20) 2010, S. 84–93, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.05.001>.
- Web Hypertext Application Technology Working Group (2020): HTML - Living Standard, URL: <https://html.spec.whatwg.org/>, 20.08.2020.
- Westkämper, Engelbert / Löffler, Carina (2016): Strategien der Produktion, Berlin, Heidelberg 2016, URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-48914-7>.
- WIBOND Informationssysteme GmbH (2016): WIBOND AssemblyVision, URL: https://wibond.de/fileadmin/user_upload/AssemblyVision_Flyer_web.pdf, 18.08.2020.
- Wikipedia (2020): Bootstrap (Framework), URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bootstrap_\(Framework\)&oldid=202181172](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bootstrap_(Framework)&oldid=202181172), 21.08.2020.
- Wilhelm, Stephan (2006): Verfahren zur Einführung eines internetbasierten Content Management für Qualitätsregelkreise in der Produktion 2006.
- Wirtschaftskammer Österreich (2020): Wertschöpfung nach Sektoren 2019, URL: <http://wko.at/statistik/eu/europa-wertschoepfung.pdf>, 18.08.2020.
- Wölfl, Michael (2014): Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik 2014.
- Zamfirescu, Constantin-Bala et. al. (2014): Human-centred Assembly: A Case Study for an Anthropocentric Cyber-physical System, in: Procedia Technology (15) 2014, S. 90–98, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2014.09.038>.

Zhao, Jerry (2017): HTTP Overview, URL: <https://www.dev2qa.com/http-overview/>, 26.09.2020.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Kooperative Vernetzung von Menschen und Objekten.....	5
Abbildung 2 – Ausschnitt DSRM-Prozess-Modell.....	8
Abbildung 3 – Kenngrößen der Montage.....	10
Abbildung 4 – Übersicht Montagesysteme.....	12
Abbildung 5 – Übersicht Montagetätigkeiten.....	12
Abbildung 6 – Vier Stufen der Industriellen Revolution.....	14
Abbildung 7 – Übersicht Europäische Initiativen zur Digitalisierung der Industrie.....	15
Abbildung 8 – Einordnung Internet of Things und Industrie 4.0.....	16
Abbildung 9 – Die neun Technologien für Industrie 4.0.....	16
Abbildung 10 – Entwicklung der Produktvielfalt und -volumen über die Zeit.....	17
Abbildung 11 – typischer Aufbau SK Assembly.....	23
Abbildung 12 – MiniTec Pick2Light Arbeitsplatz.....	23
Abbildung 13 – ELAM Bildschirm samt verknüpftem Handscanner.....	24
Abbildung 14 – AssemblyVision Systemarchitektur.....	25
Abbildung 15 – Benutzeroberfläche Demonstratoranwendung Werkerführung.....	26
Abbildung 16 – Anteil Smartphone- und Tablet-Nutzer in Österreich.....	28
Abbildung 17 – Worauf Nutzer von Smartphones stattdessen verzichten würden ...	28
Abbildung 18 – Marktanteile mobile Betriebssysteme in Österreich.....	29
Abbildung 19 – Marktanteile Betriebssysteme für Notebooks und PCs.....	30
Abbildung 20 – Einplatinencomputer Raspberry Pi 4.....	30
Abbildung 21 – Kameramodul und Touchscreen für Raspberry Pi.....	31
Abbildung 22 – Strukturpyramide Cloud, Fog und Edge Computing.....	32
Abbildung 23 – Zusammenwirken der Webtechnologien.....	33
Abbildung 24 – Übersicht Vorgehensmodelle.....	37
Abbildung 25 – Ablauf Wasserfallmodell.....	37
Abbildung 26 – Vergleich Wasserfallmodell und agile Methoden.....	38
Abbildung 27 – SCRUM Methode.....	39
Abbildung 28 – Anforderungsbeschreibung in SCRUM.....	39
Abbildung 29 – Aufbau Kanban Modell.....	40
Abbildung 30 – MVP Ansatz.....	41
Abbildung 31 – Datenverarbeitung in Arbeitsassistenzsystemen.....	42
Abbildung 32 – Screenshot einfaches Webformular samt HTML-Code (links).....	45
Abbildung 33 – Bildaufnahme mittels AssemblyApp.....	46
Abbildung 34 – Produkte anlegen mittels AssemblyApp.....	46
Abbildung 35 – Zuordnung Bilder zu Arbeitsschritten mit AssemblyApp.....	46
Abbildung 36 – Hinterlegung MTM-Normzeiten mittels AssemblyApp.....	47
Abbildung 37 – PDF als Anleitung generieren mit AssemblyApp.....	47
Abbildung 38 – Benutzeroberfläche Cioplenu.....	48
Abbildung 39 – Aufnahme von Medien mit Cioplenu.....	48

Abbildung 40 – Hinzufügen von Annotationen in Cioplenu	49
Abbildung 41 – Sony Transfer & Tagging Add-on im Einsatz	50
Abbildung 42 – Bedienungsdiagramm Sony Transfer & Tagging Add-on	51
Abbildung 43 – Screenshot FTPcam Pro für iOS samt Einstellungen	52
Abbildung 44 – Anwendung im betrieblichen Fertigungskonzept	54
Abbildung 45 – Aufbau nach dem Client-Server Modell	55
Abbildung 46 – Bereitstellung von Inhalten.....	56
Abbildung 47 – zeitlicher Ablauf Aufzeichnung Arbeitsanweisung	58
Abbildung 48 – Screenshot fertige Bootstrap Komponenten	63
Abbildung 49 – Screenshot Fabric.js aus der Demonstratoranwendung	64
Abbildung 50 – Screenshot Recorder.js aus der Demonstratoranwendung	64
Abbildung 51 – Screenshot Kanban in der Anwendung „Meistertask“	65
Abbildung 52 – Unsicherheitsbereich während des Projekts	66
Abbildung 53 – Screenshot Codeeditor Atom.....	67
Abbildung 54 – Screenshot Demonstratoranwendung	68
Abbildung 55 – Screenshot Demonstratoranwendung samt Query-String (URL).....	69
Abbildung 56 – Screenshot Demonstratoranwendung: Audioaufnahme	70
Abbildung 57 – Screenshot Demonstratoranwendung: Bildaufnahme + Markierung	70
Abbildung 58 – Screenshot Demonstratoranwendung: Video aufnehmen	71
Abbildung 59 – Screenshot Demonstratoranwendung: Datei hochgeladen	72
Abbildung 60 – Dateiaufruf mit FTP-Anwendung (Cyberduck)	72
Abbildung 61 – Screenshot aus Video „How to apply transfer stickers“	75
Abbildung 62 – Austausch Gummifuß Notebook	75
Abbildung 63 – Screenshot aus dem Video „KNIPEX Crimpzangen-Sortiment“	76
Abbildung 64 – Screenshot aus dem Video „LOCTITE 518 ROLLER PEN“	76
Abbildung 65 – Austausch Batterie Motherboard	76
Abbildung 66 – Klassische Primär-Sekundärbewertung mit Aufwandsvektoren	77
Abbildung 67 – Arbeitsanweisung 801572.....	79
Abbildung 68 – 801572, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	80
Abbildung 69 – Arbeitsanweisung 105035.....	81
Abbildung 70 – 105035, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	82
Abbildung 71 – Arbeitsanweisung 400436.....	83
Abbildung 72 – 400436, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	84
Abbildung 73 – Arbeitsanweisung 910253.....	85
Abbildung 74 – 910253, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	86
Abbildung 75 – Arbeitsanweisung 872051.....	87
Abbildung 76 – 872051, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	88
Abbildung 77 – Arbeitsanweisung 93442.....	89
Abbildung 78 – 93442, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	90
Abbildung 79 – Arbeitsanweisung 121530.....	91
Abbildung 80 – 121530, herkömmlicher Ansatz und Demonstratoranwendung	92

Abbildung 81 – Gesamtvergleich Vergleichszeit und Demonstratoranwendung	93
Abbildung 82 – Gesamtvergleich Vergleichszeit und Demonstratoranwendung	103
Abbildung 83 – Dateistruktur Demonstratoranwendung	107

11 Abkürzungsverzeichnis

\$	US-Dollar
€	Euro
API	Application Programming Interface
App	Anwendung, besonders auf Mobilgeräten
AR	Augmented Reality
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMW	Bayrische Motorenwerke (Fahrzeughersteller)
BTO	Built-to-Order
bzw.	beziehungsweise
CDN	Content Delivery Network
CSS	Cascading Style Sheets
DSRM	Design Science Research Methodology
ebd.	ebenda
ERP	Enterprise Resource Planning
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
f	folgende [Seite]
ff	folgende [Seiten]
FTP	File Transfer Protocol
GB	Gigabyte (Maßeinheit für Datenmengen)
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung (Rechtsform)
GmbH & Co. KG	Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft (Rechtsform)
GUI	Graphical Benutzer Interface
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HTML	Hypertext Markup Language
ID	Identifikationsnummer
IEC	International Electrotechnical Commission
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
Inc.	Incorporated (Rechtsform)
ISO	Internationale Organisation für Normung
JS	JavaScript
KFZ	Kraftfahrzeug

<i>LED</i>	Light-emitting Diode
<i>MAP</i>	Minimum Awesome Product
<i>max</i>	maximal
<i>min</i>	minimal
<i>MQTT</i>	Message Queuing Telemetry Transport
<i>MTM</i>	Methods-Time Measurement
<i>MVE</i>	Minimum Viable Experiment
<i>MVP</i>	Minimum Viable Product
<i>N/A</i>	nicht verfügbar
<i>OEE</i>	Overall Equipment Effectiveness
<i>PC</i>	Personal Computer
<i>PDF</i>	Portable Document Format
<i>PHP</i>	PHP: Hypertext Preprocessor
<i>PNG</i>	Portable Network Graphics
<i>PWA</i>	Progressive Web App
<i>QR</i>	Quick Response
<i>RAM</i>	Random-Access Memory (Arbeitsspeicher)
<i>S.</i>	Seite
<i>SD</i>	Secure Digital (Speicherkarte)
<i>SE</i>	Societas Europaea (Rechtsform)
<i>THT</i>	Through Hole Technology
<i>TU</i>	Technische Universität
<i>URL</i>	Uniform Resource Locator
<i>USB</i>	Universal Serial Bus
<i>vgl.</i>	vergleiche
<i>VW</i>	Volkswagen (Fahrzeughersteller)
<i>WAV</i>	Waveform Audio File Format
<i>WLAN</i>	Wireless Local Area Network
<i>z.B.</i>	zum Beispiel
<i>ZIP</i>	Containerformat für Ordner

Tabelle 49 – Abkürzungsverzeichnis

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Anteil Montage an Gesamtfertigungszeit	11
Tabelle 2 – Geschätzte Kosteneinsparungen durch Industrie 4.0	18
Tabelle 3 – Gesamtübersicht Lösungsansätze	53
Tabelle 4 – Epic Allgemein	59
Tabelle 5 – Epic Audio	59
Tabelle 6 – Epic Bilder	60
Tabelle 7 – Epic Video	60
Tabelle 8 – Epic Übertragung	60
Tabelle 9 – Geräteübersicht Benutzer	74
Tabelle 10 – Primär-Sekundär-Analyse 801572, herkömmlicher Ansatz	79
Tabelle 11 – Primär-Sekundär-Analyse 801572, Demonstratoranwendung.....	80
Tabelle 12 – Primär-Sekundär-Analyse 105035, herkömmlicher Ansatz	81
Tabelle 13 – Primär-Sekundär-Analyse 105035, Demonstratoranwendung.....	82
Tabelle 14 – Primär-Sekundär-Analyse 400436, herkömmlicher Ansatz	83
Tabelle 15 – Primär-Sekundär-Analyse 400436, Demonstratoranwendung.....	84
Tabelle 16 – Primär-Sekundär-Analyse 910253, herkömmlicher Ansatz	85
Tabelle 17 – Primär-Sekundär-Analyse 910253, Demonstratoranwendung.....	86
Tabelle 18 – Primär-Sekundär-Analyse 872051, herkömmlicher Ansatz	87
Tabelle 19 – Primär-Sekundär-Analyse 872051, Demonstratoranwendung.....	88
Tabelle 20 – Primär-Sekundär-Analyse 93442, herkömmlicher Ansatz	89
Tabelle 21 – Primär-Sekundär-Analyse 93442, Demonstratoranwendung.....	90
Tabelle 22 – Primär-Sekundär-Analyse 121530, herkömmlicher Ansatz	91
Tabelle 23 – Primär-Sekundär-Analyse 121530, Demonstratoranwendung.....	92
Tabelle 24 – Zuschlag zur Primärzeit, Demonstratoranwendung	93
Tabelle 25 – Antwortübersicht Frage 1	94
Tabelle 26 – Antwortübersicht Frage 2	95
Tabelle 27 – Antwortübersicht Frage 3	95
Tabelle 28 – Antwortübersicht Frage 4	96
Tabelle 29 – Antwortübersicht Frage 5	96
Tabelle 30 – Antwortübersicht Frage 6	97
Tabelle 31 – Antwortübersicht Frage 7	97
Tabelle 32 – Antwortübersicht Frage 8	98
Tabelle 33 – Antwortübersicht Frage 9	98
Tabelle 34 – Antwortübersicht Frage 10	99
Tabelle 35 – Antwortübersicht Frage 11	100
Tabelle 36 – Antwortübersicht Frage 12	100
Tabelle 37 – Qualität Aufgabenangemessenheit	101
Tabelle 38 – Qualität Selbstbeschreibungsfähigkeit	101
Tabelle 39 – Qualität Steuerbarkeit	102

Tabelle 40 – Qualität Fehlertoleranz	102
Tabelle 41 – Qualität Makroansicht	102
Tabelle 42 – Qualität Makroansicht	103
Tabelle 43 – Detailzeiten herkömmlicher Ansatz (Vergleich)	124
Tabelle 44 – Detailzeiten Benutzer 1	124
Tabelle 45 – Detailzeiten Benutzer 2	125
Tabelle 46 – Detailzeiten Benutzer 3	125
Tabelle 47 – Detailzeiten Benutzer 4	126
Tabelle 48 – Detailzeiten Benutzer 4	126
Tabelle 49 – Abkürzungsverzeichnis	147