



Ortsbasierte Assistenz in industriellen Prozeduren

location-based assistance systems in industrial
procedures

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades

Bachelor of Science

an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München

Betreut von

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Frieder Loch, M.Sc.

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme

Eingereicht von

Lars Heckler

Gerstäckerstraße 54

81827 München

+49 152 23251886

Eingereicht am

Garching, den 06. Dezember 2018

Abstract

Diese Bachelorarbeit stellt den aktuellen Forschungsstand im Bereich intelligenter Assistenzsysteme in der Industrie dar und untersucht, wie sich verschiedene Geräteperipherien bei einer ortsadaptiven Herangehensweise auf den Nutzer auswirken. Dieser ortsadaptive Ansatz zeichnet sich durch die Nutzung von sowohl stationären als auch mobilen technischen Geräten aus, die zur Unterstützung des Nutzers herangezogen werden. Vor dem Hintergrund der sich im stetigen Wandel befindenden industriellen Produktionsstrukturen (Industrie 4.0) setzt sich die Arbeit mit den Grundprinzipien intelligenter Assistenzsysteme auseinander: der Multimodalität sowie der Adaptivität. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Konzept entwickelt, dass die Adaption eines mobilen Assistenzsystems anhand des Ortes in den Fokus rückt. Eine mögliche technische Umsetzung dieses Konzeptes wird beschrieben. Mit Hilfe einer qualitativen Probandenstudie wurde das Nutzerempfinden beim Umgang mit mobilen Assistenzsystemen und wechselnden Geräteperipherien erforscht. Verschiedene Hypothesen wurden getestet, um Antworten auf die folgenden Forschungsfragen zu finden: (1) Wie wird der Wechsel zwischen verschiedenen Geräteperipherien vom Nutzer empfunden? (2) Wie wirkt sich die Kombination aus mobilen und stationären Ein- und Ausgabegeräten auf den Nutzer aus? (3) Wie lassen sich Multimodalität und Adaptivität in ein ortsunabhängiges, mobiles Assistenzsystem integrieren? Aus den Beurteilungen der Teilnehmer ging hervor, dass permanent verfügbare, mobile technische Ein- und Ausgabegeräte trotz einer sich ortsbedingt verändernden Geräteperipherie zu einer stabilisierenden Kontinuität auf Seiten der Nutzer beitragen können. Überdies wurde deutlich, dass das Nutzerempfinden teils stark von individuellen Eigenschaften beeinflusst wird, was die Notwendigkeit von adaptiven Assistenzsystemen unterstreicht.

1	Einleitung.....	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Umfeld der Arbeit	1
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Veränderungen durch Industrie 4.0.....	3
2.1	Rolle des Menschen im Zeitalter von Industrie 4.0	3
2.2	Herausforderungen durch Industrie 4.0.....	4
2.2.1	Zunehmende Komplexität der Maschinenbedienung	4
2.2.2	Struktur des Arbeitsmarktes und Eigenschaften der Arbeitsperson	4
2.2.3	Resultierende Diskrepanzen	5
2.3	Bedarf an multimodaler und adaptiver Assistenz.....	6
2.3.1	Begriffsklärung: Assistenz und Mensch-Maschine-Schnittstelle	7
2.3.2	Multimodale Assistenz.....	7
2.3.3	Adaptive Assistenz	9
2.3.4	Anforderungen an multimodale adaptive Assistenzsysteme	10
2.3.5	Gründe für den Einsatz multimodaler adaptiver Assistenzsysteme.....	11
2.4	Ziele der Arbeit	11
3	Stand der Technik	12
3.1	Konzepte zur Realisierung von multimodalen adaptiven MMS	12
3.1.1	Adaptive Automation nach D’Addona et al. (2018)	12
3.1.2	Entwicklung intelligenter MMS nach Villani et al. (2017)	13
3.1.3	Vergleich der Konzepte	15
3.2	Anwendungen multimodaler und adaptiver MMS	15
3.2.1	Anwendungen im Gesundheitswesen	15
3.2.2	Anwendungen in der Fahrerassistenz	17
3.2.3	Anwendungen in der Wartung	18
3.2.4	Anwendungen in der Montage.....	20
3.2.5	Diskussion.....	23
4	Identifikation der Forschungsfrage.....	25
4.1	Offene Problemstellungen bei der Entwicklung intelligenter MMS	25
4.2	Forschungsfragen dieser Arbeit	27
5	Ortsbasierte Assistenz in industriellen Prozeduren	28
5.1	Ziele des Konzepts	28
5.2	Vorstellung des Konzepts	28

5.3	Beschreibung der Parameter	30
5.3.1	Prozedur	30
5.3.2	Wissensstand des Nutzers	30
5.3.3	Einschränkungen des Nutzers.....	33
5.3.4	Technische Geräte	33
5.3.5	Zusammenhang der Parameter.....	33
5.4	Anwendungsszenarien.....	34
5.4.1	Montageprozedur eines <i>Lego-Mindstorm</i> -Roboters.....	34
5.4.2	Wartung einer automatisierten Produktionsanlage	35
6	Technische Umsetzung	36
6.1	Aufbau	36
6.2	Komponenten	38
6.2.1	Aufbau des mobilen Assistenzsystems.....	38
6.2.2	Aufbau von Station 1: Zusammenfügen eines Logos.....	39
6.2.3	Aufbau von Station 2: Montage eines Fahrzeugs	40
6.3	Zusammenspiel der Komponenten.....	40
6.4	Zusammenhang zwischen Umsetzung und Konzept.....	42
6.4.1	Prozedur	42
6.4.2	Wissensstand des Nutzers	42
6.4.3	Einschränkungen des Nutzers.....	42
6.4.4	Technische Geräte	42
7	Evaluation.....	44
7.1	Aufbau und Ablauf der Studie	44
7.2	Studienteilnehmer	44
7.3	Vorstellung der Hypothesen.....	45
7.3.1	Hypothese 1: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.	45
7.3.2	Hypothese 2: Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Schritte ist ausreichend.	46
7.3.3	Hypothese 3: Multimodale Informationen werden bei diesem System als unterstützend empfunden.	46
7.3.4	Hypothese 4: An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.....	46
7.3.5	Hypothese 5: Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.....	46

7.3.6	Hypothese 6: Zusätzliche, einfache visuelle Signale (LED-Matrix) tragen zur Übersichtlichkeit und zum Verständnis des Systemzustands bei.	47
7.4	Ergebnisse und Auswertung der Studie	47
7.4.1	Hypothese 1: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.	47
7.4.2	Hypothese 2: Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Schritte ist ausreichend.	48
7.4.3	Hypothese 3: Multimodale Informationen werden bei diesem System als unterstützend empfunden.	49
7.4.4	Hypothese 4: An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.....	50
7.4.5	Hypothese 5: Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.....	51
7.4.6	Hypothese 6: Zusätzliche, einfache visuelle Signale (LED-Matrix) tragen zur Übersichtlichkeit und zum Verständnis des Systemzustands bei.	52
7.5	Diskussion und Rückschlüsse auf die Forschungsfragen.....	53
7.6	Weiterführende Diskussion	54
8	Zusammenfassung und Ausblick	55
	Abbildungsverzeichnis.....	56
	Tabellenverzeichnis.....	58
	Literaturverzeichnis	59
	Erklärung.....	64
	Anhang.....	65

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Heutige Produktionsstrukturen befinden sich in einem ständigen Wandel. Begriffe wie „Industrie 4.0“, „Cyber-Physical-Systems“ oder „smart factory“ prägen diese Neuerungen. Dabei sind die Strukturwandlungen längst nicht auf die technische Seite beschränkt, sondern bewirken ebenso eine Veränderung der Arbeitsprozesse auf Seiten der Mitarbeiter.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Thematik beschäftigt sich mit der Frage, wie man den Arbeiter Mensch innerhalb der sich stetig verändernden industriellen Strukturen durch den Einsatz intelligenter Technik unterstützen kann. Der Fokus liegt hierbei auf den industriellen Prozeduren Wartung und Montage. Intelligente Assistenzsysteme sollen die Interaktion zwischen Arbeiter und den zunehmend komplexer werdenden Produktionssystemen erleichtern. Die beiden Prinzipien, die der Entwicklung solcher Assistenzsysteme zu Grunde liegen, heißen Adaptivität und Multimodalität. Adaptivität beschreibt die bedarfsgerechte Anpassung der Technik an die momentane Situation des Mitarbeiters, Multimodalität die zielgerichtete Nutzung mehrerer Modalitäten zur Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Vor diesem Hintergrund wird in folgender Arbeit erforscht, welche Methoden und Konzepte zur Umsetzung technischer Unterstützungssysteme bereits existieren. Daneben wird das Augenmerk auf eine Herangehensweise gelegt, die sich zum besten Wissen des Autors bis dahin noch nicht etabliert hat: Unterstützung sollte unabhängig des Ortes jederzeit in einem optimalen Grad zugänglich sein. Ein solches intelligentes Assistenzsystem ist mobil und passt sich seiner Umgebung und damit der des Nutzers an. Aufgabe war es, einerseits die Möglichkeiten einer solch ortsbasierten Assistenz konzeptuell näher zu ergründen und andererseits die Effekte auf das Nutzerempfinden qualitativ zu erforschen. Die Ergebnisse sollten schließlich eine Beurteilung des thematisierten ortsbasierten Ansatzes auf die Gebrauchstauglichkeit zulassen, um dessen weitergehendes Potential einordnen zu können.

1.2 Umfeld der Arbeit

Die Arbeit kann in das Umfeld des Forschungsprojektes *Inclusive* eingeordnet werden. Ziel von *Inclusive*¹ ist es, ein inklusives Arbeitsumfeld in modernen, automatisierten Produktionsanlagen zu schaffen, in dem die individuellen Eigenschaften der Mitarbeiter berücksichtigt werden und gleichzeitig die Produktivität weiterhin sichergestellt werden kann.

Das Projekt stützt sich auf drei Säulen:

1. Beurteilung und Einschätzung der persönlichen, menschlichen Fähigkeiten
2. Adaption der Benutzerschnittstellen ausgehend von Punkt 1
3. Schulung und Training: Assistenzsysteme für unerfahrene oder neue Mitarbeiter

Die vom Autor in dieser Arbeit behandelte Thematik ist hauptsächlich den Punkten 2 und 3 zuzuordnen. Benutzerschnittstellen ermöglichen die Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Ziel moderner Assistenzsysteme ist es, diese Interaktion möglichst intuitiv und einfach zu gestalten. Dabei verfügen die Assistenzsysteme entweder über eine eigene

¹ siehe <http://www.inclusive-project.eu/>

Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) oder sind direkt in die Schnittstelle der Maschine integriert. Die in dieser Arbeit verfolgten Forschungsfragen beschäftigen sich mit einem ortsbasierten Ansatz, der nicht nur die Schnittstellen von Assistenzsystem und Maschine vereint, sondern darüber hinaus die Schnittstellen verschiedener Maschinen. Auf diese Weise soll der Arbeiter von der Gewöhnung an unterschiedliche technische Umgebungen entlastet werden. So kann diese Arbeit zum weiteren Weg des *Inclusive*-Projektes beitragen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit werden die Hintergründe und das Umfeld der Arbeit genauer erläutert (siehe Kapitel 2). Wichtige Begriffe - wie Industrie 4.0, Adaptivität, Multimodalität oder Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) - werden definiert und Prozesse in ihrer Bedeutung für die vorliegende Thematik erklärt. Vor diesem Hintergrund wird das Ziel der Arbeit schließlich aufgezeigt. Daran anschließend werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Stand der Technik von intelligenten Assistenzsystemen beziehungsweise MMS präsentiert (siehe Kapitel 3). Dabei erfolgt zunächst eine Betrachtung aus theoretischer Sichtweise, indem zwei aktuelle Konzepte zur Entwicklung intelligenter MMS vorgestellt werden. Anschließend findet ein Vergleich der beiden statt. Einerseits dient dieser dazu, die Grundprinzipien für das später in dieser Arbeit entwickelte Konzept (siehe Kapitel 5) zu identifizieren. Andererseits ist es so möglich, die im zweiten Teil von Kapitel 3 demonstrierten praktischen Anwendungen derart zu diskutieren, dass in Kapitel 4 noch nicht umgesetzte Konzeptideen zur Ableitung offener Problemstellungen herangezogen werden können. Anhand der offenen Problemstellungen wird die Forschungsthematik mittels dreier übergeordneter Forschungsfragen letztlich eingegrenzt. Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Konzepts zur Ergründung dieser Forschungsfragen. Kapitel 6 beschreibt darauffolgend eine mögliche technische Umsetzung. Eine abschließende Evaluation des Konzeptes als auch der Umsetzung mittels einer qualitativen Studie (Kapitel 7) rundet die Arbeit gemeinsam mit einer zusammenfassenden Gesamtbeurteilung (Kapitel 8) ab.

2 Veränderungen durch Industrie 4.0

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den momentan stattfindenden Veränderungen der industriellen Branche. Die für diese Arbeit relevanten Begriffe - Industrie 4.0, Multimodalität, Adaptivität, Assistenzsystem und Mensch-Maschine-Schnittstelle - werden erörtert und in diesem Zusammenhang der Hintergrund der allgemeinen Problematik erklärt. Zum Schluss werden die Ziele der Arbeit in diesen Kontext eingeordnet.

2.1 Rolle des Menschen im Zeitalter von Industrie 4.0

Die momentan stattfindenden Veränderungen der industriellen Branche werden geprägt vom Begriff Industrie 4.0. Zum Verständnis seiner Bedeutung wird folgende Definition herangezogen:

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die 4. industrielle Revolution. Diese ist nach der Einführung mechanischer Produktionsanlagen unter Nutzung der Wasser- und Dampfkraft (1. Revolution), der Einführung der arbeitsteiligen Massenproduktion mit Hilfe der elektrischen Energie (2. Revolution), des Einsatzes der Elektronik und IT zur Automation (3. Revolution), nun durch vernetzte und kommunizierende Systeme mittels der neuesten Internettechnologie gekennzeichnet. Es wird durch die Kombination dieser mit der Produktions- und Automatisierungstechnik eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den kompletten Lebenszyklus von Produkten angestrebt. Ziel ist die signifikante Flexibilisierung und Verbesserung der Wertschöpfung sowie eine Individualisierung der Produkte“ (Roth, 2016).

Dabei ist die Rolle des Menschen im Zeitalter von Industrie 4.0 noch nicht vollständig geklärt. Einige sehen die menschliche Arbeit in modernen Produktionsstätten durch den steigenden Automatisierungsgrad bedroht (Arntz, Gregory & Zierahn, 2016). Gleichzeitig nimmt jedoch der Bedarf einer Anpassung an kundenspezifische Wünsche zu (Villani et al., 2017), welcher dynamische Produktionsstrukturen fordert. Hierbei hilft der Arbeiter Mensch mit seinen Eigenschaften wie Flexibilität und Kreativität, diese Anpassung zu realisieren (Loch, Magerstedt & Vogel-Heuser, 2018).

Trotz aller Automatisierung, die im Zuge des Zeitalters von Industrie 4.0 vonstattengeht, kann der Bedarf nach menschlichem Handeln nicht außer Acht gelassen werden. Umstellungen der Produktion aufgrund von geänderten Produktionszielen oder des Ausfallens einer Maschine benötigen ebenso manuelles Eingreifen wie die Analyse und Wiederaufnahme des Betriebs im Falle eines Stillstands (Pacaux-Lemoine, Trentesaux, Zambrano Rey & Millot, 2017). Auch die Überwachung und Kontrolle der Produktionsanlage fällt nach wie vor in den Aufgabenbereich des Menschen (Villani et al., 2017). Aehnelt und Müller (2016) beschreiben diesen Umstand unter Berücksichtigung des Aspekts der Digitalisierung folgendermaßen:

„Die vollständige Digitalisierung der Wertschöpfungsketten führt zu einem digitalen Abbild aller Produktionsprozesse und Ressourcen. Dieses Abbild wird auch produktionswichtige Eigenschaften des Menschen enthalten, um eine effektive Steuerung zu gewährleisten“ (Aehnelt & Müller, 2016).

Es wird angenommen, dass auch in Zukunft menschliche Arbeitskräfte - selbst in automatisierten Produktionsstätten - benötigt werden. Dass sich jedoch die Anforderungen an die

Mitarbeiter in diesen neuen Arbeitsumgebungen verändern (siehe z.B Ras, Wild, Stahl und Baudet, 2017), zeigt der folgende Abschnitt.

2.2 Herausforderungen durch Industrie 4.0

Wie im vorangehenden Abschnitt erörtert, ist "Industry 4.0 [...] a coordinated push for automation in Smart Factories and other Cyber-Physical Systems (CPS)"² (Ras et al., 2017). Damit verbunden ist folgende Veränderung: Die Komplexität in modernen Fabriken nimmt zu. Die fortschreitende Vernetzung und technische Intelligenz im Zuge von flexiblen Produktionsstrukturen führt dazu, dass die Menge an nutzbaren Funktionen in solchen Produktionssystemen steigt (siehe Abschnitt 2.2.1). Dem gegenüber steht die strukturelle Entwicklung des Arbeitsmarktes hin zu einer in vielerlei Hinsicht heterogenen Belegschaft. Dieser muss bei Betrachtung der Anforderungen, die die genannten Systeme an die Nutzer stellen, ebenso berücksichtigt werden wie die Eigenschaften der Belegschaft selbst (siehe Abschnitt 2.2.2).

2.2.1 Zunehmende Komplexität der Maschinenbedienung

In modernen Produktionssystemen entwickelt sich eine steigende Funktionenvielfalt (Czerniak, Brandl & Mertens, 2017). Um diese überblicken zu können, werden erfahrene und/oder gut geschulte Mitarbeiter benötigt, die diese Vielfalt beherrschen können (Czerniak et al., 2017). Aufgaben erfordern vermehrt Flexibilität anstatt Routine sowie einen ständigen Lern- und Entwicklungsprozess auf Seiten der Arbeiter (Ras et al., 2017).

Auch das Internet der Dinge (Internet of Things - IoT) trägt dazu bei, dass die Kommunikation zwischen technischen Geräten untereinander sowie mit ihrer Umgebung zunehmen wird. Dieser Prozess kann in modernen Fabriken (smart factory) beobachtet werden, was sich vor allem in einer steigenden Anzahl an miteinander verbundenen Geräten und Sensoren manifestiert (Akpolat, Sahinel, Sivrikaya, Lehmann & Albayrak, 2017).

Die zunehmende Vernetzung und der größer werdende Austausch von Daten führen dazu, dass auch die Menge an verfügbaren und an dem Nutzer ausgebbaren Informationen steigt. Dies birgt die Gefahr, dass den Operatoren oder Arbeitern wichtige Details entgehen (Nieto Lee, Evchina, Dvoryanchikova & Martinez Lastra, 2013). All diese Veränderungen erhöhen die Anforderungen an die Mitarbeiter.

2.2.2 Struktur des Arbeitsmarktes und Eigenschaften der Arbeitsperson

Die Anzahl an erfahrenen und qualifizierten Mitarbeitern nimmt ab. Es wird zunehmend problematischer derartige Arbeitskräfte zu finden, weswegen Fachstellen häufig unbesetzt bleiben (Ras et al., 2017). Generell ist am Arbeitsmarkt eine immer älter werdende Belegschaft zu beobachten (Weidner, Redlich & Wulfsberg, 2015). Dass dies auch in Deutschland der Fall ist, bestätigen Schlick, Bruder und Luczak (2018) unter Verweis auf das Statistische Bundesamt (siehe auch Statistisches Bundesamt 2015). „Demographische Modellrechnungen zeigen [...] einen Bevölkerungsrückgang, verbunden mit einem steigenden Prozentsatz älterer

²... „Industrie 4.0 ein zielgerichteter Anstoß in Richtung Automation in Smart Factories und anderen Cyber-Physical Systems“.

Einwohner“ (Schlick et al., 2018). Das Alter stellt dabei in dem Gliederungsmodell, mit dem Schlick et al. (2018) Arbeitspersonen ordnen, ein Dispositionsmerkmal dar. Dieses und die weiteren verwendeten Merkmale sind mit ihren Beschreibungen in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1

Kategorisierung von Arbeitspersonen; nach Schlick et al. (2018)

<i>Merkmal</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Beispiele</i>
Konstitution	unveränderbare Bestimmungsgrößen	Geschlecht, Ethnie
Disposition	im Zeitverlauf relativ stabile Merkmale; veränderlich, jedoch ohne Einfluss von Person selbst	Persönlichkeit, Alter, Intelligenz
Qualifikation und Kompetenz	Ergebnisse von Lernprozessen; veränderbar	Qualifikation, Kompetenz
Anpassungsmerkmale	Reaktionen auf Belastungen der Arbeit	Arbeitsmotivation, Arbeitszufriedenheit

In Bezug auf das Alter stellen Schlick et al. (2018) fest, dass die Einbindung älterer Personen in den Arbeitsmarkt langfristig notwendig sein wird. Dafür muss man jedoch etwaige durch den Alterungsprozess bedingte Beeinträchtigungen der Leistung, des Hör- und des Sehvermögens, berücksichtigen (Schlick et al., 2018).

Die parallel zu Industrie 4.0 verlaufende Globalisierung der Märkte führt zudem zu einer heterogeneren Belegschaft in Bezug auf Herkunft, Kultur oder Ethnie. In der vorhandenen Vielfalt dieser Merkmale, hier eingeordnet unter Konstitution, konstatieren Schlick et al. (2018) ein Potential, den Anforderungen, die diese Entwicklungen für Unternehmen darstellen, zu begegnen. Sie erachten eine interkulturelle Zusammenarbeit in jetzigen Zeiten als unabdingbar.

2.2.3 Resultierende Diskrepanzen

Die Zunahme der Komplexität in modernen Fabriken auf der einen und die Struktur des Arbeitsmarktes mit den heterogenen Eigenschaften der Arbeitspersonen auf der anderen Seite resultieren in einem Spalt zwischen Anforderungen und Vorhandenem, etwa in ungenügenden Qualifikationen für die Ausführung einer spezifischen Aufgabe. Diese Thematik wird im Kontext der zunehmenden Automatisierung von Produktionssystemen von D'Addona et al. (2018) analysiert. So unterscheiden sie in ihrer Arbeit nach kognitiven, organisatorischen und technologischen Diskrepanzen in Verbindung mit dem jeweils zugrundeliegenden Design-beziehungsweise Entwurfs-Prozess, die in Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt sind.

Es lässt sich feststellen, dass nicht nur die Anforderungen an die Mitarbeiter steigen, sondern auch die an die dahinterstehenden Planungs-Prozesse. Dazu zählen beispielsweise der allgemeine Entwurf der Automationsanlage oder der der Benutzungsschnittstelle (Interface) (vgl. Tabelle 2, z.B. C1 und C2). Letzteres gilt zum Beispiel als „responsible for the workload impacting the worker“³ (D'Addona et al., 2018). Somit sieht sich nicht nur der Fabrikarbeiter

³ ... „verantwortlich für die Arbeitsbelastung, derer der Arbeiter ausgesetzt ist“.

Neuerungen gegenübergestellt, auch ist es die Pflicht der Planer, diese neuen Umstände frühzeitig beim Entwurf zu berücksichtigen.

Tabelle 2

Diskrepanzen zwischen Arbeitern und technischem System in modernen Automatisierungsanlagen; nach D'Addona et al. (2018)

Lücke	Prozess
<i>Kognitive Diskrepanzen</i>	
C1: Interfaces stellen zu viele Informationen bereit und beeinträchtigen dadurch negativ das technische Situationsbewusstsein des Operators.	Interface-Design
C2: Die hohe Prozessdynamik verursacht einen Zustand, in welchem dem Operator keine klaren mentalen Modelle mehr über den Systemstatus vorliegen.	Design der Automation
C3: Zu hohe oder zu geringe Arbeitsbelastung durch unangepasste Integration in den Automatisierungsprozess.	Job-Design, Design der Automation
<i>Organisatorische Diskrepanzen</i>	
O1: Zuteilung zu Aufgaben, bei denen das Anforderungsprofil nicht mit den Fähigkeiten des Arbeiters übereinstimmt.	Job-Design und -Zuteilung
O2: Fähigkeiten der Arbeiter gleichen sich nicht an die Anforderungen von automatisierten Arbeitsumgebungen an	Personalmanagement
<i>Technologische Diskrepanzen</i>	
T1: Arbeitsplätze berücksichtigen zu wenig den Faktor Mensch im Sinne anthropometrischer und funktionaler Eigenschaften	Arbeitsplatz-Design, Design der Automation

2.3 Bedarf an multimodaler und adaptiver Assistenz

Den in Abschnitt 2.2 beschriebenen Herausforderungen durch Industrie 4.0 - sowohl auf technischer als auch auf soziostruktureller Seite - versucht man durch den Einsatz multimodaler adaptiver Assistenzsysteme zu begegnen. Von diesen erhofft man sich, dass sie die Fähigkeiten des Mitarbeiters mit dem Funktionalitätsraum der Maschine vereinen können.

Nach dem Modell von D'Addona et al. (2018) ist es notwendig, soziotechnische Systeme adaptiv und flexibel zu gestalten, um eine Über- oder Unterforderung der Mitarbeiter solcher Automationsstätten auszuschließen. Untermuert wird die Bedeutung multimodaler adaptiver Assistenzsysteme auch von Gabbanini, Burzagli und Emiliani (2012), Ras et al. (2017), Aehnelt und Müller (2016), Simons, Abé und Nesper (2017) sowie Schmunzsch und Feldhaus (2013). Alle weisen auf den Bedarf an Unterstützungssystemen hin, um auf die veränderten Umstände durch Industrie 4.0 zu reagieren. Anwendungen und Beispiele solcher Systeme finden sich in Kapitel 3.

Im Folgenden werden die Begriffe Assistenz, Multimodalität und Adaptivität erklärt und die Anforderungen an Systeme, die diese Eigenschaften besitzen, aufgezeigt. Letztlich wird verdeutlicht, warum intelligente Assistenzsysteme zur Lösung der genannten Problematik beitragen können.

2.3.1 Begriffsklärung: Assistenz und Mensch-Maschine-Schnittstelle

Zur Erläuterung der Bedeutung von Assistenz werden folgende drei Definitionen herangezogen:

1. Ein Assistenzsystem ist ein „technisches Hilfsmittel, das einen Nutzer direkt oder indirekt bei der Ausführung einer Handlung unterstützt“ (DIN SPEC 91280:2012-09).
2. Ein Assistenzsystem ist interaktiv und ermöglicht den Zugriff auf die Funktionalität eines technischen Systems (Wandke, 2005).
3. Intelligente Assistenzsysteme reduzieren die Systemkomplexität in ihrer Wirkung auf den Nutzer und unterstützen diesen beim Umgang mit komplexen Automatisierungssystemen (Jasperneite & Niggemann, 2012).

Assistenzsysteme werden im Verlauf dieser Arbeit als interaktive Systeme, die den Menschen in seinem Handeln unterstützen und die Komplexität des eigentlichen technischen Systems reduzieren, verstanden. Besonders im Fokus steht dabei die Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Aus diesem Grund werden die Begriffe intelligentes Assistenzsystem und intelligente Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) - über welche die Kommunikation und Interaktion zwischen Mensch und Maschine stattfindet - bedeutungsgleich verwendet.

2.3.2 Multimodale Assistenz

“A multimodal interface is defined as an interface that uses two or more modalities in a coordinated way [...]”⁴ (Nieto Lee et al., 2013). Dabei bezeichnet eine „*modality* [...] an interaction method that an agent [(z.B. ein Mensch, eine Maschine oder ein technisches System)] can use to reach a goal“⁵ (Coutaz et al., 1995). Eine Übersicht über die verschiedenen Modalitäten zeigt Tabelle 3. In welcher Art die Modalitäten bei multimodaler Assistenz miteinander in Beziehung stehen können, ist in Tabelle 4 zusammenfassend dargestellt.

Multimodales Feedback soll dazu beitragen, den Operator mehr in den Informationsfluss von technischen Vorgängen einzubinden und seine Prozessübersicht zu verbessern (D’Addona et al., 2018). Auch Gabbanini et al. (2012) führen mehrere Aspekte an, auf die sich multimodale Assistenz positiv auswirken:

Zum einen führt die Verwendung mehrerer Modalitäten zu einer natürlicheren Art der Kommunikation, die das Nutzen aller technischen Funktionen eines Gerätes fördert. Des Weiteren kann gezeigt werden, dass multimodale Interaktion die Effizienz steigert, indem sie die kognitive Belastung von Arbeitern verringert und somit Fehlerraten reduziert (siehe auch Gaouar, Benamar, Le Goer und Biennier 2018 und Zühlke 2012). Zudem leistet sie einen wichtigen Beitrag zur E-Inklusion, der Zugänglichkeit zu informationstechnischen Geräten und Systemen für alle, unabhängig von soziokulturellen (sprachlichen oder herkunftsbezogenen) Hintergründen oder physischen Eigenschaften (z.B. altersbedingte Einschränkungen) (Vitolina, 2015). Darüber hinaus benötigt die Einbindung des Menschen in Smart

⁴ „Eine multimodales Benutzungsschnittstelle ist definiert als eine Benutzungsschnittstelle, die zwei oder mehr Modalitäten zielgerichtet nutzt [...]“.

⁵ ... „Modalität eine Interaktionsmethode, die ein Agent [(z.B. ein Mensch, eine Maschine oder ein technisches System)] zum Erreichen eines Zieles nutzen kann“.

Environments wie Smart Homes oder auch Smart Factories neue Wege der Kommunikation, zum Beispiel Sprache, Haptik oder Augenblinzeln. (Gabbanini et al., 2012)

Tabelle 3

Übersicht über die verschiedenen Modalitäten; aus Schenk und Rigoll (2010) nach Geiser (1990)

Sinnenbezeichnung	Modalität	Bemerkung
Sehen Hören Riechen Schmecken Tasten	visuell auditiv olfaktorisch gustatorisch taktil	„5 Sinne“
Druck Kraft	haptisch	mechanische Modalität
Berührung Vibration	taktil	
Temperatur	thermorezeptorisch	
Bewegung, Orientierung Gleichgewicht	kinästhetisch vestibulär	

Tabelle 4

Arten der Verwendung multipler Modalitäten; nach Coutaz et al. (1995) und Möller (2017)

Art der Verwendung	Beschreibung
Complementarity (komplementär)	mehrere Modalitäten für sich jeweils ergänzende Informationen
Assignment (zugeteilt)	Auswahl nur einer Modalität, Ausschluss anderer durch System oder Nutzer
Equivalence (gleichgestellt)	Verwendung einer beliebigen vorhandenen Modalität ohne Anforderung an zeitliche Abfolge der Verwendung
Redundancy (redundant)	zeitlich parallele oder sequentielle Verwendung mehrerer Modalitäten zur Übertragung vergleichbarer Informationen

Überdies können „[d]urch die Kombination unterschiedlicher Modalitäten [...] Nachteile einzelner Modalitäten ausgeglichen und somit der Kommunikationsprozess insgesamt optimiert werden. Zum anderen ist eine multimodale Interaktion für spezielle Benutzergruppen sinnvoll, bei denen bestimmte Sinne nur eingeschränkt einsetzbar sind, bspw. behinderte oder ältere Benutzer“ (Möller, 2017).

Nachdem in diesem Abschnitt die Begriffe Multimodalität und Modalität geklärt wurden, wurde gezeigt, welche Vorteile dieses Interaktionsprinzip mit sich bringt. Die Kommunikation wird dadurch erleichtert und intensiviert. Daraus resultiert neben einer gesteigerten Effizienz der Kommunikation mit weniger Unklarheiten auch die Möglichkeit der Einbindung aller Menschen, ungeachtet ihrer Einschränkungen.

2.3.3 Adaptive Assistenz

Assistenz sollte nicht nur multimodal, sondern gleichzeitig adaptiv erfolgen. Nach Krogsaeter und Thomas (1994) definiert sich ein adaptives System durch folgenden Leitgedanken: „The [adaptive] system should adapt to the user, rather than having the user adapt to the system” (Krogsaeter & Thomas, 1994).⁶

Zunächst bringt eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle ökonomische Vorteile mit sich. Es wird angenommen, dass sich durch ihre Verwendung die Zeiten einzelner Arbeitsschritte gesenkt werden können, was sich in einer Verkürzung der Gesamtproduktionszeit und letztlich in einer Verringerung der Gesamtproduktionskosten widerspiegelt (Nieto Lee & Martinez Lastra, 2013). Dies stellt aus unternehmerischer Sicht aufgrund des allgegenwärtigen durch den Wettbewerb am Markt ausgelösten Druck nach Kosteneffizienz einen nicht zu vernachlässigenden Aspekt dar (Krüger et al., 2017). Zudem darf neben der Produktivität einer Anlage das Wohlergehen der Arbeiter nicht außer Acht gelassen werden. Adaptivität trägt nach dem Modell von D’Addona et al. (2018) dazu bei, dieses weiterhin sicherzustellen. Eine hohe Arbeitszufriedenheit (siehe auch Tabelle 1: Anpassungsmerkmale) kann wiederum zu einer Leistungssteigerung der Beschäftigten führen (Schlick et al., 2018). Betrieb und Belegschaft profitieren gleichermaßen von adaptiven Systemen.

Daneben sollte der Grad an Automatisierung nicht von vorneherein starr festgelegt werden, sondern spontanes Eingreifen des Menschen, zum Beispiel in kritischen Situationen, ermöglichen und deswegen anpassbar sein (Pacaux-Lemoine et al., 2017). Überdies kann Adaptivität dazu beitragen, nachhaltig die Fähigkeiten und Kompetenzen der Arbeiter zu verbessern, wobei der Grundsatz der nutzerorientierten Entwicklung (siehe Abschnitt 2.3.4) im Fokus steht (Spillner 2015). Letzteres wird wiederum von Nieto Lee et al. (2013) bestätigt. Sie verweisen ebenso auf den Wert von Anpassbarkeit. Dabei wird der so genannte Kontext ins Zentrum der Betrachtungen gerückt. Kontext ist dabei definiert „as any information that can be used to characterize the situation of an entity, where an entity can be a person, place, or physical or computational object”⁷ (Abowd et al., 1999). Faktoren, die nach Maguire (2001) bei der Beurteilung des Kontexts - vor allem in Bezug auf die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit - mitberücksichtigt werden müssen, zeigt Tabelle 5. Auch bei der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) wird auf den Kontext im Zuge der Adaptivität, die sich oftmals vor allem auf die Art der Informationsdarstellung bezieht, zurückgegriffen (Sabattini, Villani, Czerniak, Mertens & Fantuzzi, 2017).

Adaptive Systeme bergen sowohl Vorteile auf Seiten der Mitarbeiter als auch auf Seiten des Betriebs. Indem sie den Nutzer von Umgewöhnungen entlasten, steigern sie dessen Wohlbefinden und damit die Gesamtproduktivität. Bei der Wahl der Adaptionsparameter müssen verschiedene Kriterien - der Kontext - berücksichtigt werden.

⁶ „Das [adaptive] System sollte sich dem Nutzer anpassen, vielmehr als dass sich der Nutzer dem System anpassen sollte“.

⁷ ... „als jegliche Information, die zur Spezifikation der Situation einer Einheit beiträgt. Eine Einheit bezeichnet hierbei eine Person, eine Lokalität oder ein physisches bzw. informationstechnisches Objekt“.

Tabelle 5

Faktoren zur Identifikation des Kontexts in Bezug auf die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit; nach Maguire (2001)

Faktor	Beschreibung
Ziele und Eigenschaften des Nutzers	Identifikation aller möglichen Nutzer, ihrer Eigenschaften und Fähigkeiten
Aufgabe	Analyse der Aufgabe vor dem Hintergrund des gewünschten Ziels: z.B. Häufigkeit und Dauer
Technische Umgebung	Analyse der mit dem Produkt in Verbindung stehenden Soft- und Hardware: z.B. Prozessorgeschwindigkeit, Tastaturlayout
Physische Umgebung	Identifikation der physischen Umgebung: z.B. Lichtverhältnisse, Lautstärkepegel
Soziale oder organisatorische Umgebung	Analyse der Organisationsstruktur und der Eigenschaften der Angestellten sowie deren Einstellung ggü. dem System

2.3.4 Anforderungen an multimodale adaptive Assistenzsysteme

Beim Designprozess multimodaler und adaptiver Assistenzsysteme müssen verschiedene Ebenen bei der Anforderungsermittlung berücksichtigt werden. Gabbanini et al. (2012) beschäftigen sich mit der Entwicklung multimodaler intelligenter MMS für Smart Environments. Dabei wird im Folgenden auf ihre Ergebnisse zurückgegriffen und grundlegende Anforderungen an solche Systeme werden genannt. Eine Übersicht findet sich in Tabelle 6.

Tabelle 6

Anforderungen an multimodale adaptive Assistenzsysteme; nach Gabbanini et al. (2012)

Anforderung	Beschreibung
R1: Wissensbasis	Informationen über alle beteiligten menschlichen und technischen Komponenten
R2: Nutzerorientierte Systementwicklung	Vermeidung einer zwanghaften Anpassung des Menschen an die Technik
R3: Sensitive Nutzung von Modalitäten	Berücksichtigung des Kontexts für den Einsatz verschiedener Modalitäten
R4: Relationen zwischen Menschen und System einbeziehen	Berücksichtigung von individuellen menschlichen Vorlieben und Bedürfnissen bei Wahl der Interaktion

Zunächst ist es notwendig, dass das System über eine Wissensbasis verfügt, die alle beteiligten menschlichen und technischen Komponenten des Gesamtsystems berücksichtigt. Im Fokus steht hierbei der Grundsatz der nutzerorientierten Systementwicklung. Das System soll den Nutzer jederzeit bei der Ausführung seiner Aufgaben unterstützen und einen Zwang zur Anpassung des Menschen an die Technik vermeiden (siehe auch Sabbatini et al. 2017). Weiterhin bedarf es am genauen Verständnis der jeweiligen Modalitäten. Es ist zu

entscheiden, in welchem situativen Kontext welche Modalitäten den meisten Nutzen mit sich führen. Jedoch auch die Verbindung dieser beiden Elemente, Nutzer und Modalität, muss mit einbezogen werden, da verschiedene Nutzer unterschiedliche individuelle Voraussetzungen und Vorlieben mit sich bringen. Im Endeffekt müssen zu den bereits genannten Anforderungen passende technische Systeme entwickelt werden, was sowohl auf Hardware-Ebene (Entwicklung von Ein- und Ausgabegeräten) als auch auf Software-Ebene (Entwicklung der benötigten Algorithmen zum Einbinden sowie der informationstechnischen Systemstruktur) eine weitere Herausforderung darstellt. (Gabbanini et al., 2012)

2.3.5 Gründe für den Einsatz multimodaler adaptiver Assistenzsysteme

Wie aus den vorangehenden Gliederungspunkten ersichtlich, haben multimodale adaptive Assistenzsysteme das Potential, zur Lösung der in Abschnitt 2.2 erörterten Problematik - einer zunehmenden Diskrepanz zwischen technischer Komplexität und den Fähigkeiten der Arbeitspersonen - beizutragen. Durch sie ist es möglich, auf die veränderten Umstände durch Industrie 4.0 zu reagieren. Dabei sollen sie vor allem den Arbeiter unterstützen und ihm dabei helfen, die immer komplexer werdenden Prozesse zu bewältigen (Aehnelt & Müller, 2016). Auch die vermehrten Interaktionsmöglichkeiten mit der Umgebung, die durch die Ausstattung dieser mit Smart-Devices hervorgerufen werden, erfordern eine einfache Zugänglichkeit durch intelligente Benutzerschnittstellen (Gabbanini et al., 2012). Zudem ermöglichen multimodale MMS die Einbindung von Menschen mit unterschiedlichen Voraussetzungen in jegliche Prozesse (vgl. Abschnitt 2.3.2). Dass dies im industriellen Kontext von Nutzen sein kann, ist nach Erörterung der zukünftigen demografischen Entwicklung in Abschnitt 2.2.2 offensichtlich. Um langfristig wirtschaftlichen Erfolg sicherzustellen, ist neben einem international offenen Personalmanagement auch die Integration von (alters-)beeinträchtigten Menschen in den Arbeitsmarkt notwendig. Alles eingeschlossen erlangen multimodale adaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen eine hohe Bedeutung für die moderne Industrie.

2.4 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept für ein multimodales adaptives Assistenzsystem zu entwickeln, das auf einer ortsadaptiven Herangehensweise beruht. Das intelligente Assistenzsystem ist mobil und passt sich seiner Umgebung und damit der des Nutzers an. Dabei wird der Fokus im industriellen Umfeld liegen. Prozeduren wie die manuelle Montage oder Wartungstätigkeiten sollen als Referenz dienen.

Ortsadaptive Verfahren existieren in einem gewissen Umfang bereits, worauf unter anderem in Kapitel 3 eingegangen wird. Diese Arbeit beschäftigt sich jedoch vor allem mit der Geräteperipherie und den zur Verfügung stehenden Eingabe- und Ausgabegeräten, die für die Einbindung multimodaler Interaktion benötigt werden. Zudem wird der Aspekt der Adaptivität eine wichtige Rolle spielen. Unterschiedliche Situationen erfordern verschiedenartige Interaktionen. Dabei steht nicht die einzelne Maschine im Vordergrund, sondern der jeweilige Mitarbeiter, auf den das Assistenzsystem zugeschnitten werden kann. Eine genauere Erläuterung des Konzeptes ist in Kapitel 5 zu finden. Letztlich sollen vor dem Hintergrund wechselnder Geräteperipherien mittels einer Studie (siehe Kapitel 7) die Effekte einer ortsbasierten Assistenz auf den Nutzer untersucht werden.

3 Stand der Technik

Der erste Teil dieses Kapitels beschäftigt sich mit dem theoretischen Hintergrund zum Design von multimodalen adaptiven Schnittstellen. Er stellt zwei aktuelle Konzepte vor, die sich mit der Einbindung von Multimodalität und Adaptivität in MMS auseinandersetzen. Daran anschließend werden verschiedene Gebiete aufgezeigt, in denen bereits Teile dieser Konzepte anwendungsspezifisch realisiert und konkretisiert wurden. Anhand dessen soll der Forschungsbedarf im Bereich intelligenter Assistenzsysteme dargelegt werden.

3.1 Konzepte zur Realisierung von multimodalen adaptiven MMS

Im Folgenden werden exemplarisch zwei Konzepte zur Realisierung einer adaptiven und multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstelle beschrieben. Im Anschluss daran werden die Erkenntnisse über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden diskutiert. Auf Grundlage dessen entscheidet der Autor, welche Aspekte bei der Entwicklung seines eigenen Konzeptes mitberücksichtigt werden.

3.1.1 Adaptive Automation nach D’Addona et al. (2018)

D’Addona et al. (2018) fordern, dass vor allem der Grad an Automatisierung und somit die Interaktionsebene zwischen Mensch und Technik anpassbar sein sollte. Hierbei wird angelehnt an Endsley und Kiris (1995) zwischen den Stufen unterschieden, die Tabelle 7 zeigt.

Tabelle 7

Verschiedene Stufen der Automation;
nach D’Addona et al. (2018) angelehnt an Endsley und Kiris (1995)

Grad der Automatisierung	Aufgabenbereich	
	<i>Mensch</i>	<i>System</i>
nicht vorhanden	Entscheiden, Handeln	nicht vorhanden
unterstützte Entscheidungen	Entscheiden, Handeln	Vorschläge unterbreiten
gemeinsame Entscheidungen	Bestätigung	Entscheiden, Handeln
überwachte Entscheidungen	Eingriff nur, wenn notwendig	Entscheiden, Handeln
vollständige Automation	nicht vorhanden	Entscheiden, Handeln

Das von D’Addona et al. (2018) entwickelte Modell zur Adaptivität umfasst unter anderem folgende Hauptgesichtspunkte, die zum Wohlbefinden des Operators beitragen und teilweise bereits in Abschnitt 2.3.3 angesprochen wurden:

1. Den Nutzer samt seinen soziokulturellen Hintergründen, Fähigkeiten und mentalen Modellen
2. Die physische Umgebung, zum Beispiel Temperatur oder Lautstärke
3. Die Arbeitsgeräte: technische Geräte und Grad der Automation
4. Die Art der Aufgabe: Routinetätigkeiten, unerwartete Situationen etc.

Die in Punkt 1 genannten mentalen Modelle - „subjective, virtual images of how a system works“⁸ (Pantförder, Schaupp & Vogel-Heuser, 2017) - stellen ein Forschungsgebiet dar, auf das in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen wird. Es sei hier nur angemerkt, dass die Bildung und Erweiterung dieser durch multimodale Interaktion unterstützt wird.

Dass das Zusammenspiel der aufgeführten und weiterer Komponenten eine Herausforderung darstellt, wird anhand einer bildlichen Darstellung des Konzeptes in Form einer Schüssel, die sich aus diesen Teilen zusammensetzt, illustriert (siehe Abbildung 1). Verändert man nur einen Parameter, entstehen Lücken in der Gesamtstruktur. Deswegen ist es notwendig, jedes der anderen Teile entsprechend zu adaptieren, um die Einheit und Integrität - repräsentativ für das Wohlbefinden des Nutzers - sicherzustellen.



Abbildung 1

Illustration des Konzeptes; aus D'Addona et al. (2018)

Der Ansatz von D'Addona et al. (2018) sieht also wie zum Beispiel auch Nieto Lee et al. (2013) neben der Produktivität die ergonomische Gestaltung einer Maschine oder Anlage als Grundlage der Entwicklung adaptiver Systeme. Dabei kann der Nutzer in zweierlei Manier agieren. Zum einen ist er immer noch verantwortlicher oder kooperativer Entscheidungsträger (siehe auch Tabelle 7), zum anderen wird er ebenso in den eigentlichen Produktionsprozess auf operativer Ebene als Teil des umfassenden Systems miteingebunden. Werden diese Aspekte nicht ausreichend berücksichtigt, kann dies in den in Tabelle 2 beschriebenen Diskrepanzen resultieren. Letzten Endes benötigt die Vermeidung solcher nach Erachten von D'Addona et al. (2018) eine Kontrollschleife, die um den Nutzer herum errichtet wird und dessen physiologischen Zustand miteinbezieht. Dadurch sollen bereits kleinste Abweichungen vom Soll-Zustand, sowohl aus technischer Sicht als auch in Bezug auf das Wohlbefinden des Operators, erkannt werden und auf Basis dessen geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

3.1.2 Entwicklung intelligenter MMS nach Villani et al. (2017)

Das Konzept von Villani et al. (2017) thematisiert die Bedeutsamkeit von MMS im Kontext der Adaptivität moderner Produktionsanlagen. Die vorgestellte Methodik bezieht sich hauptsächlich auf die automatische Anpassung der Art und Weise, wie Informationen durch Schnittstellen dargestellt werden. Dabei teilt sich die Herangehensweise in drei Komponenten auf:

1. Erfassung des Nutzerzustands
2. Adaption der Benutzungsschnittstelle ausgehend von 1.
3. Lehr- und Trainingsmethoden für unerfahrene Nutzer

⁸... „subjektive, virtuelle Vorstellungen über die Funktionsweise eines Systems“ ...

Die Erfassung des Nutzerzustandes, die erheblich zur Adaption der Benutzungsschnittstelle beiträgt, wird von Villani et al. (2017) in zwei Unterpunkte gegliedert. Zunächst findet eine statische Analyse der individuellen Fähigkeiten statt. Dazu zählen physiologische Eigenschaften wie Alter oder körperliche Einschränkungen, zum Beispiel in Form von Sehschwächen oder Behinderungen, aber auch kontextbezogene Mängel wie fehlende Erfahrung. In einem zweiten Schritt „the strain of the operator is continuously assessed in real time“⁹ (Villani et al., 2017). Unter Belastung ist hierbei jeglicher kognitiver Prozess zu verstehen, der in die menschliche Informationsverarbeitung miteinfließt (Czerniak et al., 2017). Eye-Tracking oder die Beobachtung der Herzfrequenz stellen mögliche Verfahren zur Erfassung dieser Daten dar. Die Adaption der Benutzungsschnittstelle erfolgt gemäß Abbildung 2. Wie ersichtlich, findet sie auf verschiedenen Ebenen statt, die teilweise auf die vorhergehende oder fortwährende Erfassung des Nutzerzustands zurückgreifen.

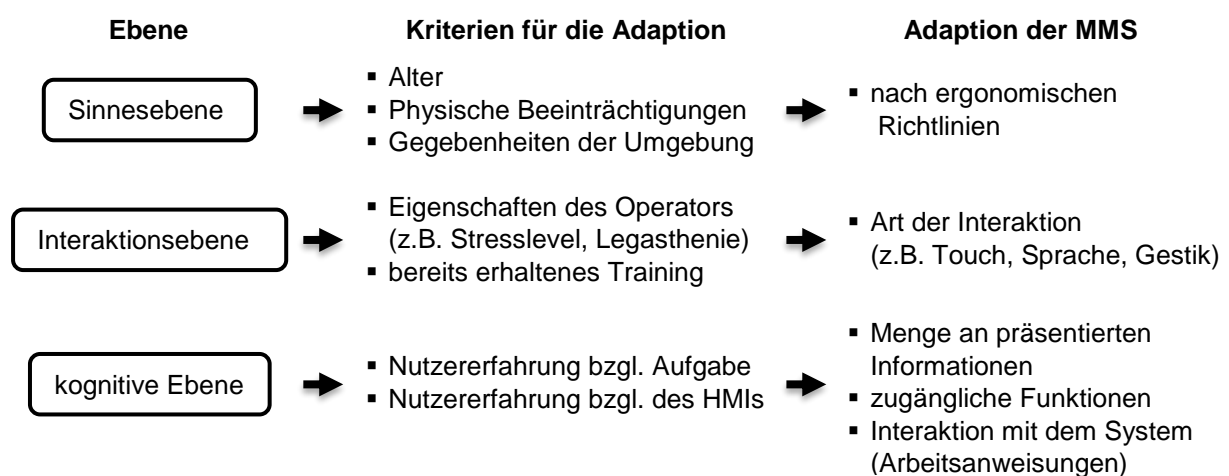


Abbildung 2

Illustration des Konzeptes von Villani et al. (2017); nach Villani et al. (2017)

Auf Sinnesebene wird auf eventuell vorhandene Defizite in der Wahrnehmung des Nutzers eingegangen, indem die Darstellung der Information durch eine geeignete Kombination von Modalitäten stattfindet. Hierbei ist die vorgenommene Konfiguration jederzeit durch den Operator veränderbar. Diese Ebene ist somit gleichzeitig mit der Interaktionsebene verknüpft, die die verschiedenen Optionen der Kommunikation zwischen Nutzer und Maschine miteinschließt. In der kognitiven Ebene wird vor allem der Grad an Erfahrung berücksichtigt, einerseits bzgl. der Aufgabe, andererseits bzgl. des Umgangs mit der MMS. Sowohl die Informationsmenge als auch die Detailreichtum der Anweisungen wird festgelegt. Erfahrene Mitarbeiter benötigen hier in beiderlei Hinsicht weniger Unterstützung als unerfahrene. Dies wird ebenso bei dem zur Verfügung stehenden Funktionsraum, der durch die Benutzungsschnittstelle zugänglich wird, berücksichtigt. Nutzern mit Expertise stehen jegliche Bedienmöglichkeiten zur Verfügung, wohingegen mit der Prozedur unvertrauten Bedienern nicht sämtliche Steuerung angeboten wird.

Da dieses Entwicklungskonzept für multimodale adaptive Schnittstellen auch unerfahrene Nutzer im Designprozess berücksichtigt, verweisen Villani et al. (2017) auf ein weiteres Anwendungsfeld der vorgestellten Methodik, den Einsatz im Lehr- und Trainingskontext. Im Zuge dieser Arbeit soll jedoch auf diese Thematik nicht tiefergehend eingegangen werden.

⁹ ... „wird die Belastung des Operators fortwährend in Echtzeit gemessen“.

3.1.3 Vergleich der Konzepte

Im Folgenden werden die vorgestellten Konzepte miteinander verglichen. Die Ergebnisse des Vergleichs dienen dem Autor als Grundlage für das im Zuge dieser Arbeit entwickelte Konzept.

Während D'Addona et al. (2018) mit ihrem Konzept die Bedeutsamkeit von Adaptivität hervorheben, stellen Villani et al. (2017) eine Möglichkeit dar, wie dies im Anwendungsfall durch die Anpassung der MMS umgesetzt werden kann. Hierbei ist jedoch zu erkennen, dass sich die beiden Ideen gegenseitig nicht ausschließen. Die in der ersteren Methodik geforderte Anpassung des Grads der Automatisierung deckt sich teilweise mit der vorgeschlagenen Detailliertheit, die dem Nutzer je nach Erfahrungsschatz über die MMS zur Verfügung steht. In beiden Fällen wird die Interaktion zwischen Operator und System eingeschränkt - höherer Automatisierungsgrad oder weniger Detailreife - beziehungsweise erweitert - geringerer Automatisierungsgrad oder mehr Detailreife. Überdies sehen beide Herangehensweisen den Menschen als elementare Komponente im Entwicklungsprozess der MMS, was den Grundsatz der nutzerorientierten Systementwicklung aus Abschnitt 2.3.4 noch einmal unterstreicht. Neben dem Nutzer führen D'Addona et al. (2018) des Weiteren noch mehr Aspekte an, auf Basis derer die Adaption erfolgen soll und die in den Anpassungsprozess mit einbezogen werden sollten. Insgesamt wird deutlich, dass für die Implementierung der Konzepte viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Der Autor wählt folgende Gesichtspunkte, die in das in Kapitel 5 vorgestellte Konzept miteinfließen:

1. Wissensstand des Nutzers
2. Einschränkungen des Nutzers
3. Technische Geräte
4. Adaption der MMS

3.2 Anwendungen multimodaler und adaptiver MMS

Anwendungen multimodaler und adaptiver MMS finden sich in vielen Gebieten, wie dem Gesundheitswesen (z.B. John, Rigo und Barbosa 2016), der Fahrerassistenz (z.B. Biondi, Strayer, Rossi, Gastaldi und Mulatti 2017) oder dem intelligentem Wohnen (z.B. Blumendorf und Albayrak 2009). Auch im industriellen Umfeld wird vermehrt Wert auf die Unterstützung der Arbeiter gelegt und die Entwicklung entsprechender Assistenzsysteme vorangetrieben. Dabei sollen sich die in dieser Arbeit näher betrachteten Szenarien vor allem mit der Wartung und Instandhaltung (wie z.B. in Abramovici, Wolf und Neges 2017) sowie der manuellen Montage (wie z.B. in Loch, Quint und Brishtel 2016) auseinandersetzen.

Im Folgenden werden Beispiele aus den genannten Bereichen aufgegriffen um aufzuzeigen, inwiefern der Ansatz multimodaler und adaptiver MMS bereits umgesetzt wird, welche Techniken und Modalitäten dabei genutzt werden und auf welcher Basis die Adaption erfolgt. Letztlich soll klar werden, in welchen Domänen noch Forschungsbedarf besteht und wie das anschließend in Kapitel 5 vorgestellte Konzept daran anknüpft.

3.2.1 Anwendungen im Gesundheitswesen

Ein Konzept mit Prototyp für die Nutzung unterschiedlicher Modalitäten wurde von John et al. (2016) entwickelt. Zielgruppe waren hierbei Menschen mit Problemen im Bereich der Kommunikation, etwa Beeinträchtigungen in der auditiven oder visuellen Wahrnehmung oder sprachliche Störungen. Der Prototyp in Form eines Roboters (siehe Abbildung 3) erkennt sein

Gegenüber mittels Gesichtserkennung und lädt dessen Nutzerprofil. Auf Grundlage dessen wird die Art der Interaktion und die Modalität angepasst: Sprachinteraktion, sofern keine verbalen Ausdrucksschwierigkeiten bestehen, und Interaktion über eine graphische Benutzungsschnittstelle mit Touchscreen, sollte dies der Fall sein. Die folgende Dialogführung reagiert somit auf die körperlichen Einschränkungen des Menschen und greift auf die entsprechend adaptierten Modalitäten zurück.

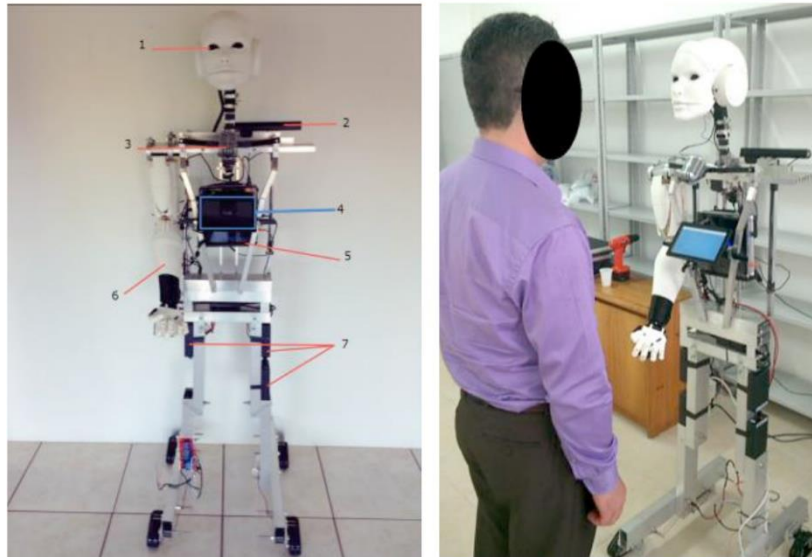


Abbildung 3

Prototyp von John, Rigo und Barbosa (2016); aus John et al. (2016)

Die Arbeit von Asque, Day und Laycock (2014) zielte darauf ab, bewegungsbeeinträchtigten Nutzern den Zugang zu graphischen Benutzeroberflächen (GUI) zu erleichtern. Zu Bewegungsbeeinträchtigungen zählen hierbei zum Beispiel häufige Krämpfe, Zittern oder versteifte Finger und Handgelenke. Durch die Erweiterung der GUI mit einer zusätzlichen haptischen Vorrichtung konnte die Effektivität der Interaktion nachweislich gesteigert werden.

Papageorgiou et al. (2014) stellen einen mit Kameras, Mikrofonen, Kraft-, Drehmoment- und Lasersensoren ausgestatteten Rollator vor, der ältere Menschen bei den Bewegungsabläufen Hinsetzen, Aufstehen und Laufen unterstützen soll. Dafür müssen die multimodalen Signale, die Auskunft über Umgebung und Nutzer geben, mit Hilfe eines Steuermoduls derart ausgewertet werden, dass beispielsweise die Assistenz durch haptische, physische Interaktion einen kollisionsfreien Laufweg garantieren kann.

Ein weiteres Beispiel für ein adaptives multimodales Assistenzsystem findet sich im Bereich der Neurorehabilitation. Simonetti, Zollo, Papaleo, Carpino und Guglielmelli (2016) präsentieren ein robotergestütztes System zur Erleichterung motorischer Übungen der oberen Gliedmaßen nach einem Schlaganfall. Der Zustand des Nutzers, wie die durch Elektroden gemessene Muskelaktivität, wird in eine Kontrollschleife miteingebunden und davon ausgehend das Level der Unterstützung festgelegt. Dieses manifestiert sich einerseits in der Komplexität der zu erfüllenden Aufgabe und andererseits in der variablen Kompensation der Gewichtskraft des Armes durch das System. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Arbeit von Simonetti et al. (2016) war das Projekt noch nicht abgeschlossen.

Weitere Artikel zum Thema adaptive und multimodale Assistenzsysteme im Gesundheitswesen finden sich auch bei Zanotto, Rosati, Spagnol, Stegall und Agrawal (2013), Rodriguez, C., Perez, Rivera und Marinero (2012) oder Røssvoll (2013). Diese befassen sich teilweise

auch mit bereits angesprochenen Szenarien wie Neurorehabilitation oder der Unterstützung altersbeeinträchtigter Menschen.

Ziel adaptiver und multimodaler MMS im Gesundheitswesen ist stets die Kompensation vorhandener körperlicher Defizite. Diese können sowohl von physischer Natur (eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten) sein als auch aus Störungen der Informationswahrnehmung und -verarbeitung resultieren. Genannte Systeme unterstützen im Alltag und im Zuge der Rehabilitation.

3.2.2 Anwendungen in der Fahrerassistenz

Im Bereich der Fahrerassistenz wird ebenso auf multimodale und adaptive Ansätze zurückgegriffen. Biondi et al. (2017) untersuchten dafür, wie sich multimodale Warnungen im Vergleich zu unimodalen auf die Bremsreaktionszeiten von Fahrern auswirken. Sie verwendeten eine redundante Kombination aus vibrationstaktilen und auditivem Feedback, um auf eine bevorstehende Kollision hinzuweisen. Ihren Ergebnissen zu Folge konnten damit die Reaktionszeiten trotz gleichzeitiger Ablenkung - einem Telefongespräch oder erhöhter kognitiver Belastung (hohes Verkehrsaufkommen) - reduziert werden.

Im Rahmen des *DriveEasy*-Konzepts von Boverie, Cour und Le Gall (2011) wurde ein Interaktionsmodell entwickelt, bei dem das System selbstständig entscheidet, wann und wie dem Fahrer wichtige Informationen zur Umgebung (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Spurhalteassistent) bereitgestellt werden. Dies hängt hauptsächlich von der gegenwärtigen Fahrsituation ab, aber auch der durch Sensorik (Kameras, Fahrzeugführung) erfasste Zustand des Fahrers sowie das individuelle Fahrverhalten (z.B. sportlich oder entspannt) werden beachtet. Das Resultat ist unter anderem eine Adaption der Modalitäten (visuell oder auditiv) und der Menge an dargebotenen für den Fahrzeugführer bedeutsamen Auskünften. Der Fahrer hat die Möglichkeit, selbstständig zwischen den vier Assistenzleveln - keine, niedrige, normale und hohe Assistenz - zu wechseln.

Der Spurwechselassistent von Yan, Eilers, Luedtke und Baumann (2017) schließt aus der kontinuierlichen Beobachtung des Verkehrszustandes - Abstand zum vorherfahrenden Auto, Zeit bis zur Kollision mit diesem und Geschwindigkeit des Fahrzeuges auf der Überholspur - auf die Risikobewertung des Fahrers in Bezug auf den geplanten Spurwechsel (überzeugt oder vorsichtig). Zugleich wird analytisch die Situation bewertet (sicher oder unsicher). Je nach Kombination der technischen und der durch das System diagnostizierten menschlichen Situationsbewertung findet eine unterschiedliche Interaktion über die MMS statt. Hier werden drei Stufen in Form von abstrakten Emojis genutzt: passive Zustimmung zum geplanten Manöver (überzeugt und sicher), aktive Zustimmung (vorsichtig und sicher), aktives Abweisen (unsichere Situation). Durch Tests mit dem beschriebenen adaptiven Assistenzsystem konnte eine Verringerung der Entscheidungszeit für einen Spurwechsel nachgewiesen werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass intelligente MMS in der Fahrerassistenz kürzere Entscheidungs- oder Reaktionszeiten herbeiführen sollen. Dazu werden zum Teil redundante Informationen über verschiedene Modalitäten (siehe auch Tabelle 4) genutzt. Des Weiteren spielt neben der Erfassung des Nutzerzustands auch die der Umgebung eine zentrale Rolle.

3.2.3 Anwendungen in der Wartung

Schmuntzsch und Feldhaus (2013) entwickelten eine tragbare Computertechnologie, die neben den in der Industrie am häufigsten verwendeten Modalitäten für die Warnung - visuelle und auditive Signale (Wogalter, 2006) - auch haptisches Feedback nutzt. Dieser Ansatz macht Gebrauch davon, dass „[b]esides sight and hearing, touch is the most accessible sense humans have“¹⁰ (Schmuntzsch & Feldhaus, 2013). Dafür verwendeten sie einen Handschuh, der sowohl mit LEDs, Vibrationselementen und Lautsprechern ausgestattet war (siehe Abbildung 4). Schmuntzsch und Feldhaus (2013) erhofften sich einerseits, durch die Verwendung mehrerer Modalitäten die Reaktionszeiten auf Warnungen verringern zu können. Andererseits war es das Ziel, durch die Integration der Assistenz in ein mobiles, stets lokales Element (den Handschuh) den Operator zu unterstützen, ohne dass dieser in seiner eigentlichen Tätigkeit unterbrochen wird und sich von seiner Aufgabe abwenden muss, um die Hinweise zu erhalten. Die Arbeit war zum Zeitpunkt der Veröffentlichung (2013) noch nicht abgeschlossen, so sollte der erste Prototyp (vgl. Abbildung 4) vor allem noch individualisierbarer und adaptiver, in Bezug auf den Kontext, wie zum Beispiel die Dringlichkeit der Warnung, gestaltet werden.

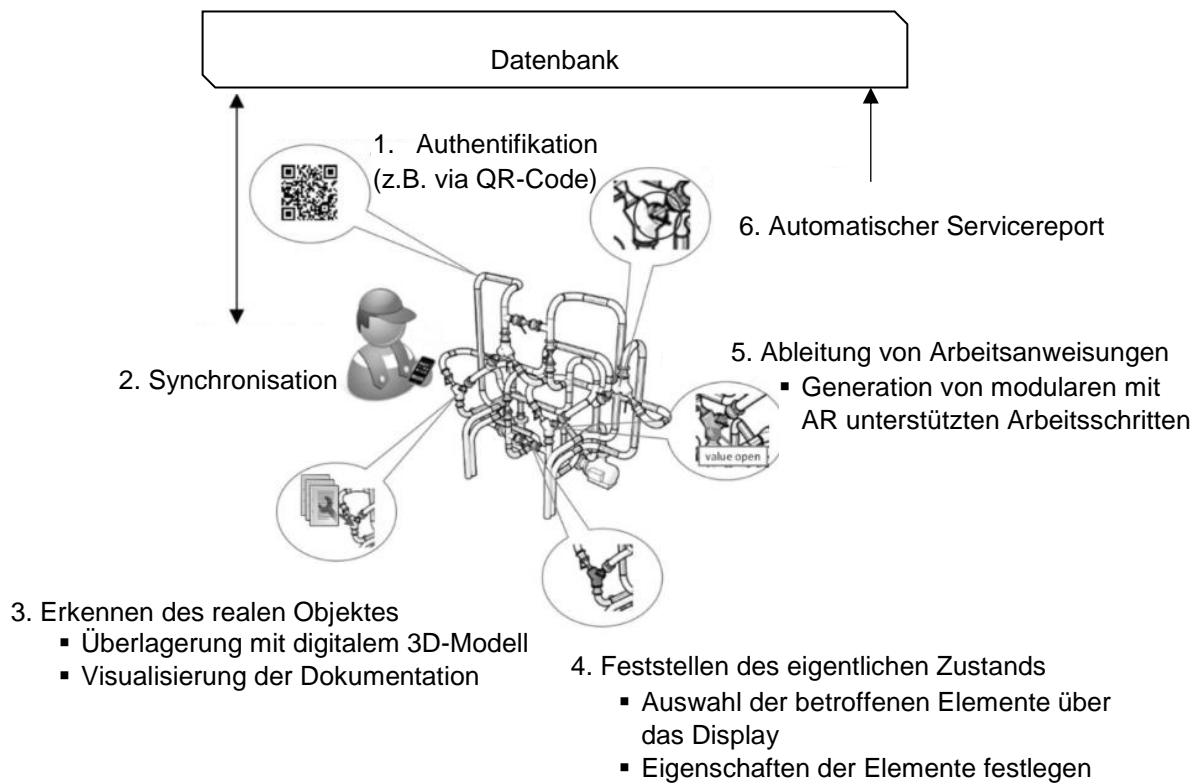


Abbildung 4
„The Warning Glove“; aus Schmuntzsch und Feldhaus (2013)

Eine andere Möglichkeit den Wartungstechniker zu unterstützen ist die Einbindung von Augmented Reality (AR) in die Assistenz. „Unter *Augmentierter Realität* (engl. *Augmented Reality* [...]) versteht man allgemein die Anreicherung der Realität durch künstliche virtuelle Inhalte. Dabei kommt es zu einer Verschmelzung der Realität mit der Virtualität“ (Dörner, Broll, Grimm, Jung & Grimm, 2013).

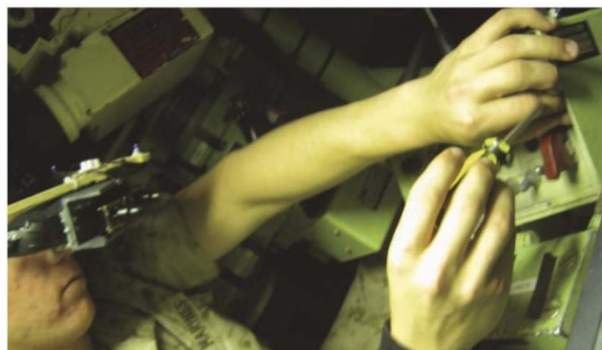
Neges, Wolf und Abramovici (2015) nutzten diese Visualisierungstechnik für die Reparatur eines hydraulischen Pumpen- und Rohrsystems. Nach Identifikation der entsprechenden Maschine/Anlage durch einen QR-Code oder über NFC wurden die passenden Inhalte - technische Datenblätter, Wartungsdokumentationen und logisches Modell der Anlage - mit dem smart-Device, hier ein Tablet, synchronisiert. Daran anschließend wurde das echte Bild mit einem 3D-Modell des Systems überlagert und in Kooperation mit dem Arbeiter der aktuelle Systemstatus festgestellt. Ausgehend von diesem konnte das Unterstützungssystem passende Arbeitsschritte zur Durchführung der Wartung ableiten und diese mit Hilfe von AR darstellen. Überdies erstellte die Assistenz automatisch eine Dokumentation des Vorgehens. Eine Übersicht der Prozedur stellt Abbildung 5 dar. Neges et al. (2015) entwickelten die Kontextwahrnehmung, die Erfassung des Maschinenstatus, durch den Einbau zusätzlicher Sensorik weiter und wollen im nächsten Schritt die Anwendung auf komplexere Systeme, etwa mit zusätzlichen elektronischen Komponenten, testen (Abramovici et al., 2017).

¹⁰... „neben Sehen und Hören der Tastsinn die empfindlichste Wahrnehmung beim Menschen darstellt“.

**Abbildung 5**

Übersicht über die Vorgehensweise von Neges et al. (2015); aus Neges et al. (2015)

Eine gesteigerte Effizienz durch den Einsatz von AR konnte überdies von Henderson und Feiner (2011) nachgewiesen werden. Sie entwickelten einen Prototyp, der Mechaniker bei der Wartung und Reparatur in Panzerfahrzeugen unterstützt. Die AR-Inhalte (Texte, Beschriftungen, Pfeile und Animationen) wurden über ein am Kopf getragenes Display in das Sichtfeld des Wartungstechnikers eingeblendet (siehe Abbildung 6). In einer Studie konnte nachgewiesen werden, dass sich die Zeit zur Aufgabenlokalisierung bei Verwendung des Prototyps verkürzte. Bei manchen Studienteilnehmern konnte zudem eine Verringerung der insgesamt ausgeführten Kopfbewegungen festgestellt werden.

**Abbildung 6**

Einsatz von AR-Technologie für die Reparatur und Wartung von Panzerfahrzeugen; aus Henderson und Feiner (2011)

Einen weiteren Prototypen zur Erforschung von AR in Wartungsprozeduren entwickelten Garza et al. (2013). Bei der zu wartenden Einheit handelte es sich um ein Pumpenventil. Der Wartungsprozess konnte bis zu vier Stunden andauern, währenddessen war das Gesamtsystem abgeschaltet. Dabei dienten Tablets oder Smartphones als Hardware für die AR-Anwendung (siehe Abbildung 7). Auch bei dieser Expertise konnten die Evaluationsergebnisse die angestrebten Zielsetzungen - eine Reduktion der Arbeitszeit sowie eine geringere Fehleranfälligkeit während der Wartungsprozedur - bestätigen.

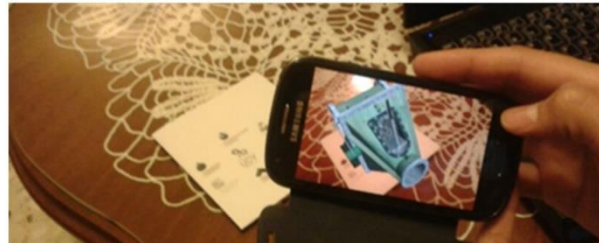


Abbildung 7

AR-Einblendungen mittels Smartphone; aus Garza et al. (2013)

AR wird nicht nur in der Wartung vor Ort eingesetzt, sondern findet auch Gebrauch in der Fernwartung. Dabei wird zum Beispiel ein unerfahrener Mitarbeiter von einer externen Fachkraft unterstützt, indem deren Anweisungen und Anmerkungen direkt in das Sichtfeld des Arbeiters vor Ort eingeblendet werden (Masoni et al., 2017). Eine tiefgehende Betrachtung dieses Bereichs findet in dieser Arbeit nicht statt.

Zusammenfassend sollen intelligente MMS in der Wartung vor allem das Systemverständnis erleichtern und die Komplexität der technischen Komponenten reduzieren. Der häufige Einsatz von Augmented-Reality-Technologien in diesem Bereich ist besonders hervorzuheben. Weitere Anwendungsfelder von AR stellen unter anderem das Gesundheitswesen, die manuelle Fertigung (siehe auch Abschnitt 3.2.4), die Planung von Roboterbahnen, die Unterhaltungsbranche oder die militärische Luftfahrt dar. Beispiele dazu und Grundlagen zur AR-Technologie können in Azuma (1997) gefunden werden.

3.2.4 Anwendungen in der Montage

„Assembly is the process in which two or more objects are joined together“¹¹ (Hou, Wang, Bernold & Love, 2013). Dabei hilft eine Montageanleitung bei der korrekten Ausführung der bis zum Endprodukt notwendigen Schritte (Hou et al., 2013). Intelligente MMS nutzen dabei neue Technologien statt der klassischen Papierform, um dem Werker bei diesem Prozess zu helfen.

Nguyen, McFarland, Kleinsorge, Krüger und Seliger (2015) konstruierten zwei Systeme, um Arbeiter in der (teil-)manuellen Fertigung zu unterstützen. Eines davon geht auf die bereits in Abschnitt 2.1 dargelegte zunehmende Möglichkeit der Produktindividualisierung ein. Für die Umsetzung dieser ist es notwendig, den Mitarbeitern häufig neues prozedurales Wissen zu vermitteln. Das vorgestellte Lernsystem stellt dafür die benötigten Fertigungsschritte textuell und grafisch dar und passt sich fortwährend an den Lernfortschritt und offensichtlichen Wissensstand des Nutzers an, indem es seine Taktzeiten analysiert und mit zuvor festgelegten Zielsetzungen vergleicht. Auf Basis dessen wird der Inhalt der Anweisungen adaptiert.

¹¹ „Montage bezeichnet den Vorgang, bei dem zwei oder mehr Objekte zusammengefügt werden“.

Zukünftig soll der Zeitpunkt des Hinweises durch die Erkennung der Körperposition und dessen logischer Zuordnung zu einem Arbeitsschritt festgelegt und somit der Fokus des Nutzers so gering wie möglich beeinträchtigt werden.

Diese Technik der Körperpositionserkennung findet zudem Verwendung in dem anderen von Nguyen et al. (2015) beschriebenen System. Dieses stellt sicher, dass die physische Belastung am Arbeitsplatz das zulässige Maximum nicht überschreitet. Die Höhe des Arbeitstisches wird automatisch derart adaptiert, dass die implementierten ergonomischen Richtlinien eingehalten werden. Durch das angestrebte proaktive Erkennen ungünstiger Verhältnisse und der darauffolgenden Adaption soll die Konzentration bei der eigentlichen Arbeitsaufgabe gehalten und Unterbrechungen vermieden werden. Zudem ist der langfristige gesundheitsförderliche Aspekt nicht zu vernachlässigen.

Die Bedeutung der Zugänglichkeit zu prozeduralem Wissen wird ebenso von Quint, Kreutel, Loch, Volkmer und Pollmans (2015) thematisiert. Im Rahmen des Projektes *AmbiWise* stellen sie ein kollaboratives System für die systematische Archivierung und einfache Verfügbarkeit von spezifischen Kenntnissen vor, dessen Anwendungsfeld in Wartung und Montage gesehen und in diesem getestet wird. Grundsätzlich soll dabei die kontextsensitive - zum Beispiel bezogen auf den Nutzer oder Ort - MMS Informationen in einer geeigneten Datenstruktur ablegen oder von dort abrufen können. Dafür stehen dem Nutzer sowohl mehrere Modalitäten für die Eingabe als auch für die Ausgabe zur Verfügung, etwa „speech, multi-touch, videos and pictures, to represent the knowledge in an appropriate form“¹² (Quint et al., 2015). Um die Schnittstelle plattformunabhängig zu gestalten, zielen Quint et al. (2015) auf eine webbasierte Darstellungsweise ab, die mit jedem Browser erreichbar ist.

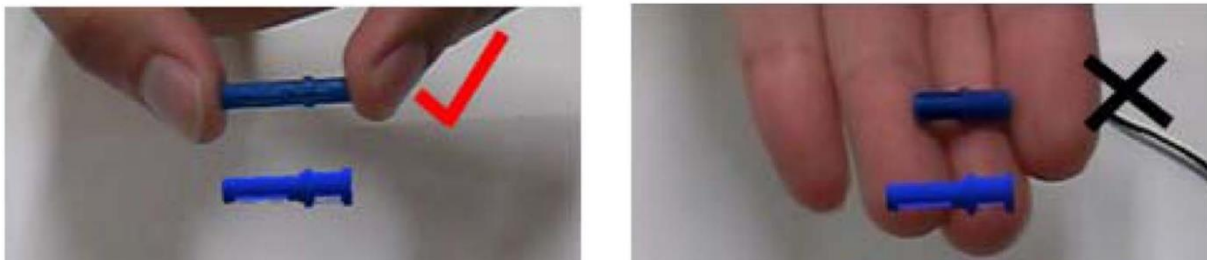


Abbildung 8

Erleichtertes Erkennen der korrekten Komponente durch eine unskalierte Darstellungsweise via AR; aus Hou, Wang, Bernold und Love (2013)

Auch im Bereich der Montage findet man wie bei der Wartung (siehe Abschnitt 3.2.3) den Einsatz von AR-Technologie. Der Prototyp von Hou et al. (2013) stellt dem Arbeiter dabei eine augmentierte Schritt-für-Schritt-Anleitung für den Montageprozess eines *Lego-Mindstorm*-Roboters zur Verfügung. Vorteile erhoffen sich Hou et al. (2013) zum einen in der unskalierten Darstellungsweise der Komponenten, die ein leichteres Verständnis der Montageschritte und ein schnelleres Erkennen der korrekten Teile begünstigen soll (siehe Abbildung 8). Im Vergleich zu klassischen Montageanleitungen ist die Visualisierung von AR-Inhalten in ihrer Größe generell nicht limitiert. Zum anderen wird das ordnungsgemäße Zusammenfügen durch weitere Einblendungen, etwa farbige Pfeile, gefördert und soll den Montagevorgang beschleunigen. Überdies können die teils animierten virtuellen AR-Inhalte zu einem besseren Erlernen der Einzelschritte beitragen. Die experimentellen Ergebnisse von Hou et al. (2013)

¹² ... „Sprache, Multi-Touch, Videos und Bilder, um die Wissens Elemente in geeigneter Form darstellen zu können“.

bestätigen dies: Durch AR geschulte Probanden verinnerlichten die Prozedur schneller, sie benötigten weniger Durchgänge bis zu einer fehlerfreien Montage und die durchschnittlichen Versuchszeiten waren signifikant kürzer. Hou et al. (2013) konstatierten einen insgesamt positiven Effekt von AR in Montageprozeduren.

Ein anderes adaptives multimodales System entwickelten Loch, Ziegler und Vogel-Heuser (2018) im Rahmen des Projekts *INCLUSIVE*. Hier wurde eine bestehende virtuelle Trainingsanlage für die manuelle Fertigung um haptische Elemente - zum Beispiel Schraubenzieher, deren Position mit Hilfe von QR-Codes bestimmt werden kann - erweitert, um das Training so realitätsnah wie möglich zu gestalten. Die Informationen zur Prozedur wurden ebenfalls unter Verwendung von AR eingeblendet. Dabei wurden Hilfestellungen, etwa die Kenntlichmachung des benötigten Werkzeuges, adaptiert, indem die Fehlerrate des Teilnehmers gemessen wurde. Fiel diese unter einen Grenzwert, wurde die Unterstützung reduziert, und analog erhöht, wenn dieser überschritten wurde. Von der Kombination zweier Modalitäten (visuell, haptisch) und gleichzeitigen Anpassungen an die qualitative Ausführung der Aufgabe versprechen sich Loch et al. (2018) eine insgesamt gesteigerte Effizienz des Trainings, was ihre weitere Forschung bestätigen soll.

Einen Ansatz zur Unterstützung der Werker unabhängig vom Arbeitsort schildern Aehnelt und Müller (2016). Ihr intelligenter Werkstattwagen *Plant@Hand* bewahrt dabei die Flexibilität und Individualität des jeweiligen Mitarbeiters.

„Ein Assistenzsystem im Werkstattwagen erkennt [...] die Arbeitsaktivitäten des Montearbeiters und leitet ihn kleinschrittig durch den Montageprozess. [Dabei greift man auf Verfahren aus der künstlichen Intelligenz zurück.] Vergleichbar mit einem Navigationsgerät eines Autos übernimmt es selbständig die Planung und Kontrolle der Montagereihenfolge. [...] Der Werker kann entweder weitgehend frei arbeiten, während das Assistenzsystem den eingeschlagenen Weg lediglich im Hintergrund kontrolliert und bei Fehlern interveniert, oder er bekommt strikte Vorgaben und muss die Arbeitsanweisungen des Assistenzsystems streng befolgen.“ (Aehnelt & Müller, 2016)

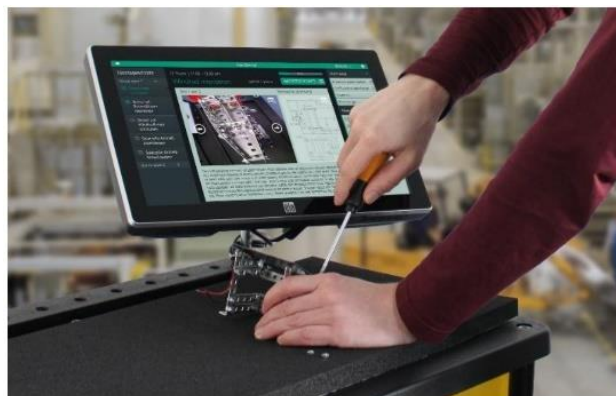


Abbildung 9

Nutzung einer grafischen Oberfläche beim intelligenten Werkstattwagen;
aus Aehnelt und Müller (2016)

Die Assistenz erfolgt visuell mittels einer grafischen Oberfläche (siehe Abbildung 9). Aehnelt und Müller (2016) konnten mit ihrer Methode nachweisen, dass im Vergleich zu einer klassischen Montageanleitung einerseits die Fehlerrate um 75% niedriger war, der Wirkungsgrad v.a. bei Einzelfertigungen um 35% gesteigert wurde und überdies die Montagezeiten um 70% gesenkt wurden.

Intelligente MMS in der Montage dienen hauptsächlich der Vermittlung von prozeduralem Wissen. Sie sollen die herkömmlichen Papieranleitungen ersetzen. Dazu zielen sie auf eine besser individualisierte, adaptierte Unterstützung des Menschen ab, die sich seinem Wissensstand und Fähigkeiten anpassen kann.

3.2.5 Diskussion

Die Nutzung multimodaler adaptiver Systeme verfolgt je nach Anwendungsdomäne einen unterschiedlichen Zweck, jedoch ist dessen Motivation nicht immer nur auf das entsprechende Gebiet beschränkt. In Tabelle 18 (siehe Anhang) sind die vorgestellten Systeme nach verschiedenen Kriterien zur Übersichtlichkeit klassifiziert.

Im Gesundheitswesen (GW) liegt das Hauptaugenmerk vor allem auf der Rehabilitation sowie der Kompensation von körperlichen Einschränkungen. Fahrerassistenzsysteme (FA) zielen darauf ab, kürzere Entscheidungs- oder Reaktionszeiten herbeizuführen. In der Wartung (WAR) kann dies ebenso gewünscht sein. Außerdem sollen intelligente MMS hier das Systemverständnis erleichtern und die Komplexität der technischen Komponenten reduzieren. Dies geschieht mitunter auch durch die Vermittlung von prozeduralem Wissen. Stärker im Zentrum der Betrachtungen steht letztgenannter Punkt noch bei intelligenten MMS in der Montage (MON), wo vermehrt auf multimodale adaptive Systeme anstatt der klassischen Papieranleitungen zurückgegriffen wird.

Die verwendeten Modalitäten - visuelle, auditive und haptische Interaktion - wurden allgemein dazu genutzt, die Kommunikation mit dem Nutzer effektiver zu gestalten (z.B. GW, MON) und dessen Aufmerksamkeit sicherzustellen (z.B. FA, WAR). Die Erkennung des Nutzerzustandes oder seiner Umgebung erfolgt oftmals automatisiert durch die Einbindung verschiedener Sensoren. Bei vielen Systemen stellt ein Tablet die Schnittstelle für die Ein/Ausgabe dar (GW, WAR, MON), was die generelle Erkenntnis, dass die bis dato ausgereifteste und am häufigsten gebrauchte Schnittstelle durch die visuelle vertreten wird, unterstützt. Dahinter findet man die auditive Interaktion. Hier ist festzustellen, dass diese im industriellen Kontext (WAR, MON) weniger zum Einsatz kommt als beispielsweise im GW oder der FA. Eine Spracheingabe oder -ausgabe wurde beispielsweise in keines der beschriebenen Systeme aus WAR und MON integriert. Auffällig in Bezug auf die Nutzung haptischer und taktiler Interaktion ist folgender Umstand: Wird diese Technik nicht für Eingabezwecke (GW) oder die Einbindung realer Objekte (WAR) genutzt, ist sie vermehrt als Warnelement zu finden (FA, WAR). Die Einbindung von vibrationstaktilen Feedback wird somit offensichtlich vom Nutzer, selbst in Gefahrensituationen, sehr gut wahrgenommen.

Die Adaption, sofern tatsächlich vorhanden, der genannten Systeme äußert sich oftmals in Form einer Variation der Modalitäten. Allerdings ist gleichermaßen mehrmals zu beobachten, dass die Menge an zur Verfügung gestellter Information oder deren Inhalt angepasst wird (GW, FA, MON). Dies lässt sich mitunter durch die auch von Rodriguez, C. et al. (2012) (GW) referenzierte Yerkes-Dodson-Kurve aus Diamond, Campbell, Park, Halonen und Zoladz (2007) erklären. Sie stellt die mögliche Leistung in Abhängigkeit der emotionalen Erregtheit dar (siehe Abbildung 10). Dabei zeigt sich, „that strong emotionality can enhance performance under ‘simple’ learning conditions, such as when learning involves focused attention on a restricted range of cues, and impairs performance under more complex or challenging learning

situations, such as in divided attention, multitasking, and working memory tasks”¹³ (Diamond et al., 2007).

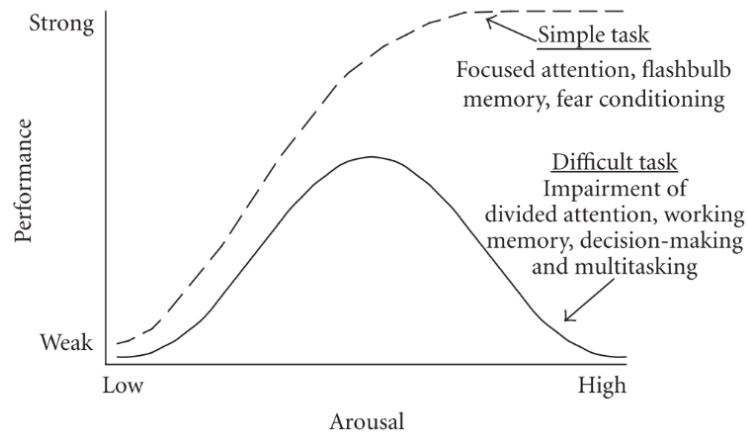


Abbildung 10

Leistung in Abhängigkeit der emotionalen Erregtheit;
aus Diamond, Campbell, Park, Halonen und Zoladz (2007)

Der häufige Einsatz von AR-Technologie soll an dieser Stelle noch einmal besonders hervorgehoben werden. So findet diese Technik vor allem Gebrauch in WAR und MON. Bei allen vorgestellten Systemen konnte die Effizienzsteigerung, beispielsweise eine schnellere Ausführung der Prozedur oder eine geringere Fehlerrate, die durch die Verwendung von AR erwartet wurde, bestätigt werden. Diese elementaren Verbesserungen der Leistung führen dazu, dass sich AR bereits bis zu einem gewissen Grad zur Standardtechnologie in Bezug auf Assistenzsysteme entwickelt hat. Die im Rahmen dieser Arbeit gesichtete Literatur belegt diesen Eindruck.

Bei den Assistenzsystemen im Bereich von Wartung und Montage ist ein Trend hin zu mobilen MMS zu beobachten. Der intelligente Werkstattwagen von Aehnelt und Müller (2016) zielt darauf ab, Unterstützung stets lokal - bezogen auf den Werker - zur Verfügung zu stellen, anstatt nur die stationären Benutzungsschnittstellen der jeweiligen Maschine zu nutzen. Dass dies eine in Bezug auf die zunehmende Komplexität in modernen Produktionsstätten (siehe Abschnitt 2.2.1) notwendige Herangehensweise darstellt, konstatieren auch Gaouar et al. (2018). Sie unterstützen die Forderung nach der Entwicklung von mobilen adaptiven und multimodalen Systemen, die in der Lage sind, sich in unterschiedliche technische Peripherien zu integrieren.

Der „Warning Glove“ von Schmutzsch und Feldhaus (2013) kann zudem in den Kontext von *smart clothing* (intelligente Kleidung) und *wearable computing* (tragbare Computertechnologie) eingeordnet werden. Dieses Gebiet zielt ebenso auf eine ortsflexible Unterstützung des Arbeiters ab. Aus einer Literaturstudie von Aleksy, Rissanen, Maczey und Dix (2011) geht hervor, dass von mehreren Autoren eine Effizienzsteigerung in der industriellen Anwendung durch solch tragbare Technologien erwartet wird.

¹³... „dass starke Emotionalität unter einfachen Lernbedingungen, wie etwa fokussierte Aufmerksamkeit auf eine beschränkte Anzahl an Hinweisen, die Leistung steigern kann, während diese durch komplexere oder anspruchsvollere Lernsituationen - wie bei Aufgaben zu geteilter Aufmerksamkeit, Multitasking und zum Arbeitsgedächtnis, gehemmt wird“.

4 Identifikation der Forschungsfrage

4.1 Offene Problemstellungen bei der Entwicklung intelligenter MMS

Folgender Abschnitt setzt die vorgestellten Systeme aus Abschnitt 3.2 mit den zu Beginn des letzten Kapitels in Abschnitt 3.1 erläuterten Konzepten zur Entwicklung von multimodalen und adaptiven Assistenzsystemen in Beziehung. Anhand dessen kann beurteilt werden, inwieweit diese bereits Anwendung in der Praxis finden. Der Fokus liegt dabei nach wie vor auf den industriellen Prozeduren Wartung und Montage. Zunächst wird der Nutzer in Bezug auf seinen Zustand, sein Wissen und seine möglichen Beeinträchtigungen betrachtet. Daran anschließend werden weitere Faktoren - die physische Umgebung sowie der Ort, samt technischer Umgebung und Prozedur - diskutiert.

1. Zustand des Nutzers

Villani et al. (2017) fordern die Erfassung des physischen und psychischen Zustands des Nutzers, beispielsweise via Eye-Tracking oder durch Beobachtung der Herzfrequenz. Eine Überlastung des Arbeiters soll vermieden werden. Der Nutzerzustand wird allerdings in fast keinem der vorgestellten Systeme aus Wartung und Montage analysiert. Lediglich Nguyen et al. (2015) berücksichtigen die aktuelle Körperhaltung, um eine ergonomische Durchführung der Montage zu garantieren. Die kognitive Belastung im Sinne von Stress oder Ermüdung am Arbeitsplatz findet keine Betrachtung.

2. Einschränkungen des Nutzers

Einschränkungen des Nutzers, wie etwa altersbedingte Hör- oder Sehschwächen, werden in Wartung und Montage ebenfalls nicht beachtet. Eine adäquate Adaption der Modalitäten kann in diesen Bereichen nicht gefunden werden.

3. Wissen des Nutzers

Dem prozeduralen Wissen beziehungsweise dem Erfahrungsgrad des Nutzers wird vor allem bei Assistenzsystemen im Bereich der Wartung Acht gegeben. So orientiert sich der Inhalt der Darstellung, beispielsweise die Menge oder Genauigkeit der zur Verfügung gestellten Information, oftmals an diesem Parameter.

4. Physische Umgebung

Auf die physische Umgebung, etwa Lichtverhältnisse oder Lautstärkepegel, wird im Rahmen der Adaption der MMS bei genannten Systemen nicht eingegangen. Hier würde sich eine entsprechende Variation der Modalitäten anbieten, beispielsweise überwiegend visuelle Interaktion bei starken Geräuschkulissen oder vermehrt auditive Kommunikation bei hohem Lichteinfall.

5. Ort

Der Faktor Ort wird in die Unterfaktoren Prozedur und technische Umgebung unterteilt. An einem Ort ist dabei eine technische Umgebung zu finden, wohingegen an diesem mehrere Prozeduren (Aufgaben) möglich sind.

a) Prozedur

Die Prozedur wird in mehreren intelligenten MMS bereits berücksichtigt. So bezieht sich die Adaption dabei meistens auf den aktuellen Montage- oder Wartungsschritt. Auch der durch Sensorik erkannte Systemzustand trägt zur Adaption der MMS bei, indem die Inhalte automatisch das nächste notwendige Vorgehen zeigen.

Andererseits ist hier das Potential zu erkennen, noch besser auf die Prozedur in Bezug auf die Adaption einzugehen. Wie oben genannt sind an einem Ort, beispielsweise einer Maschine, mehrere Funktionen verfügbar und dadurch mehrere Aufgaben ausführbar. Die dargestellten Assistenzsysteme beschränken sich häufig auf nur einen Vorgang, bei dem sie den Arbeiter unterstützen. Es liegt eine eins-zu-eins-Relation bezogen auf Assistenzsystem und Aufgabe vor. Dabei wäre es möglich, Assistenzsysteme noch flexibler zu gestalten und diese Relation auf Seiten der Aufgabe zu erweitern. Der intelligente Werkstattwagen von Aehnelt und Müller (2016) stellt sich bereits dieser Problematik, indem er eine ortsunabhängige Unterstützung des Arbeiters bei verschiedenen Prozeduren anbietet. Weitere vergleichbare MMS wurden im Zuge der Literaturrecherche nicht gefunden.

b) Technische Umgebung

Die technische Umgebung im Sinne von lokal verfügbaren technischen Ein- und Ausgabegeräten ist gerade in Bezug auf das Internet der Dinge im Bereich intelligenter Assistenzsysteme noch ausbaufähig. Dass die „seamless communication among heterogeneous devices“¹⁴ (Akpolat et al., 2017) dabei im Kontext von Industrie 4.0 eine typische Herausforderung darstellt, bestätigen Akpolat et al. (2017). Daneben sehen Rodriguez und Moissinac (2015) weiteren Forschungsbedarf bei der Erkennung und Einbindung verschiedener technischer Komponenten, insbesondere für multimodale Systeme. Die drei grundlegenden Merkmale multimodaler Systeme (siehe Tabelle 8) benötigen sowohl zur Informationseingabe als auch zur -ausgabe passende technische Geräte. Dabei soll das multimodale Assistenzsystem noch flexibler und dynamischer auf diese Geräte eingehen können. Vorstellbar wäre beispielsweise ein angepasstes Verhalten der MMS nach den lokal installierten Ein- und Ausgabegeräten.

Tabelle 8

Grundlegende Merkmale multimodaler Systeme;
nach Coutaz et al. (1995) und Rodriguez & Moissinac (2015)

Merkmal	Beschreibung
Informationsfusion	Fusion unterschiedlicher Eingabedaten (Kombination der Eingabemodalitäten)
Informationsverarbeitung	Echtzeitverarbeitung der Daten und Erzeugung passender Ausgabedaten
Informationsfission	Distribution der Ausgabedaten auf entsprechende Modalitäten

Insgesamt ist festzustellen, dass einige Punkte aus den vorgestellten Konzepten bereits in die Entwicklung intelligenter MMS in Wartung und Montage miteingeflossen sind. Vor allem das prozedurale Wissen des Nutzers und der aktuelle Montage- oder Wartungsschritt sind häufig Basis der Adaption.

¹⁴ ... „reibungsllose Kommunikation zwischen heterogenen Geräten“ ...

4.2 Forschungsfragen dieser Arbeit

Ein Assistenzsystem ist überwiegend einer bestimmten Prozedur beziehungsweise einem bestimmten Ort zugeordnet. Assistenzsysteme, die den Arbeiter unabhängig von seiner Position oder der auszuführenden Aufgabe unterstützen, entsprechen nicht dem Stand der Technik. Genau an diesem Punkt soll das vom Autor entwickelte Konzept (siehe Kapitel 5) anknüpfen und die Möglichkeiten, die eine ortsbasierte Adaption der MMS bieten kann, näher ergründen.

Grundsätzlich soll der Nutzer ein mobiles Assistenzsystem bei sich tragen. Dieses besitzt Kenntnis über seinen Aufenthaltsort und seine technische Umgebung. Bei einer Interaktion zwischen Mensch und Maschine über das Assistenzsystem nutzt dieses sowohl die permanent verfügbaren Ein- und Ausgabegeräte des mobilen Systems (z.B. Tablet) als auch die stationär verfügbaren technischen Geräte - etwa Projektoren, Bildschirme oder Lautsprecher. Die stationär verfügbaren Geräte können dabei in Abhängigkeit des Ortes variieren. In diesem Zusammenhang werden folgende übergeordnete Fragestellungen untersucht:

1. Wie wird der Wechsel zwischen verschiedenen Geräteperipherien vom Nutzer empfunden?
2. Wie wirkt sich die Kombination aus mobilen und stationären Ein- und Ausgabegeräten auf den Nutzer aus?
3. Wie lassen sich Multimodalität und Adaptivität in ein ortsunabhängiges, mobiles Assistenzsystem integrieren?

Zur Beantwortung dieser Fragen entwickelt der Autor zunächst ein eigenes Konzept, das auf den Erkenntnissen der bisherigen Arbeit aufbaut (siehe Kapitel 5). Daran anschließend wird ein technisches System mit den für die Fragestellungen relevanten Eigenschaften implementiert (siehe Kapitel 6). Eine Evaluation dieses Systems trägt zur Beantwortung der Fragen bei und liefert weitere Erkenntnisse über die Möglichkeiten einer ortsbasierten Assistenz (siehe Kapitel 7).

5 Ortsbasierte Assistenz in industriellen Prozeduren

Im vorangehenden Kapitel wurden die offenen Problemstellungen anhand des Stands der Technik von multimodalen und adaptiven Assistenzsystemen sowie der Forschungsbedarf an ortsadaptiver Assistenz in industriellen Prozeduren herausgearbeitet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde ein Konzept entwickelt, das auf einer ortsadaptiven Herangehensweise beruht und dem Nutzer unabhängig von seinem Aufenthaltsort Unterstützung anbietet. Dieses soll im folgenden Kapitel vorgestellt werden. Zunächst werden die Ziele des Konzepts verdeutlicht. Daraufhin wird nach einer Erläuterung der grundlegenden Idee näher auf die einzelnen Parameter, die die Adaption beeinflussen, und ihre Bedeutung eingegangen. Abschließend werden Anwendungsszenarien aufgezeigt.

5.1 Ziele des Konzepts

Das Konzept soll dazu beitragen, den Herausforderungen durch Industrie 4.0 (siehe Kapitel 2) zu begegnen. Vor allem die zunehmende Komplexität in Fabriken lassen die Anforderungen an deren Mitarbeiter steigen. Hilfe erhofft man sich durch den Einsatz intelligenter Assistenzsysteme. Stand der Technik ist dabei eine eindeutige Zuordnung eines Assistenzsystems zu einer bestimmten Prozedur (siehe Abschnitt 4.1). So sieht sich der Arbeiter je nach Aufgabe unterschiedlichen MMS gegenübergestellt. Mit Hilfe des Konzepts soll dieser Umstand vereinfacht werden. Eine intelligente MMS mit teils permanent zugänglichen Interaktionsmethoden soll die Komplexität reduzieren, indem der Arbeiter dieses mobil mit sich führt. Die Gewöhnung des Arbeiters an neue Schnittstellen entfällt. Überdies nutzt das mobile Assistenzsystem die lokal verfügbaren technischen Ein- und Ausgabegeräte, um seinen Interaktionsraum zu erweitern.

Ein vergleichbares Konzept existiert zum besten Wissen des Autors derzeit nicht. Im Rahmen der Literaturrecherche konnte nur ein partiell vergleichbares Konzept mobiler Assistenz gefunden werden, der intelligente Werkstattwagen von Aehnelt und Müller (2016). Der hier geschilderte Lösungsansatz unterscheidet sich jedoch durch die genannte Einbindung unterschiedlicher Geräte, wohingegen Aehnelt und Müller (2016) dauerhaft über eine unveränderliche Geräteperipherie interagieren.

Eine Umsetzung des Konzeptes (siehe Kapitel 6) soll zur Beantwortung der Fragestellungen aus Abschnitt 4.2 beitragen. Die diesbezügliche Diskussion findet im Rahmen einer Evaluation in Kapitel 7 statt.

5.2 Vorstellung des Konzepts

Das Konzept basiert auf einer ortsadaptiven Herangehensweise. Ziel ist es dem Nutzer unabhängig von seinem Aufenthaltsort Unterstützung anbieten zu können. Der Ort, an dem sich der Nutzer aufhält, soll automatisch durch das mobile Assistenzsystem, das der Nutzer bei sich trägt, erkannt werden. Zum einen sollen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten mit dem Assistenzsystem permanent zugänglich sein, wie etwa eine über smart-Devices aufrufbare Web-Oberfläche. Zum anderen sollen dazu ergänzend lokal verfügbare technische Geräte für die Kommunikation zwischen System und Nutzer mitherangezogen werden, beispielsweise Lautsprecher oder Projektoren. Es ist somit nicht mehr absolut notwendig, die stationären Benutzungsschnittstellen - sofern vorhanden - der jeweiligen Maschine oder

Anlage zu nutzen. Vielmehr reagiert das Assistenzsystem auf die Umgebung des Operators, passt sich dieser an und ersetzt dadurch die stationäre MMS. Dabei wird auf die bereits in Kapitel 2 vorgestellten Methoden der Adaptivität sowie der Multimodalität zurückgegriffen. Diese ermöglichen eine flexible Nutzung des Konzepts unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Umgebungen. So stellen diese beiden Ansätze die Unabhängigkeit gegenüber einem bestimmten Nutzer aber auch gegenüber einer bestimmten Prozedur sicher. Das Assistenzsystem kann bei verschiedenen Prozeduren an verschiedenen Orten eine individuelle Unterstützung bieten.

Das entwickelte Konzept soll den Nutzer sowohl multimodal als auch adaptiv seinen Bedürfnissen entsprechend unterstützen und dabei die MMS adäquat anpassen. Hierbei stehen industrielle Prozeduren wie Wartungs- oder Montagetätigkeiten im Vordergrund der Betrachtungen. Die Gesichtspunkte, die in Bezug auf die Adaption der intelligenten MMS mitberücksichtigt werden (siehe auch Abschnitt 3.1.3), zeigt Tabelle 9. Diese werden in Abschnitt 5.3 genauer beschrieben.

Tabelle 9

Übersicht der bei der Adaption berücksichtigten Parameter

<i>Parameter</i>	<i>Kurzbeschreibung</i>
1. Prozedur	auszuführende Aufgabe
2. Wissensstand des Nutzers	Kenntnis des Mitarbeiters in Bezug auf die vorliegende Prozedur (Erfahrungsgrad)
3. Einschränkungen des Nutzers	evtl. vorhandene Seh- oder Hörschwächen
4. Technische Geräte	lokal verfügbare Ein- und Ausgabegeräte

All diese Faktoren sollen zur Adaption der MMS beitragen. So sind Punkt 1 und 2 hauptsächliche Basis für den Grad an Assistenz, den das System anbietet. Dieser bezieht sich auf den Umfang, in dem der Nutzer unterstützt wird (siehe Abschnitt 5.3.2). Auf die Punkte 3 und 4 soll durch eine multimodale Mensch-Maschine-Interaktion reagiert und die Modalitäten entsprechend adaptiert werden. Einschränkungen des Nutzers werden abgefangen und kompensiert, die technischen Ressourcen je nach Verfügbarkeit genutzt. Das Resultat ist eine ständige Adaption der MMS in Darstellungsweise - Menge und Art der zur Verfügung stehenden Informationen - und der verwendeten Modalitäten zur Interaktion zwischen Nutzer und System. Abbildung 11 zeigt das beschriebene Konzept.

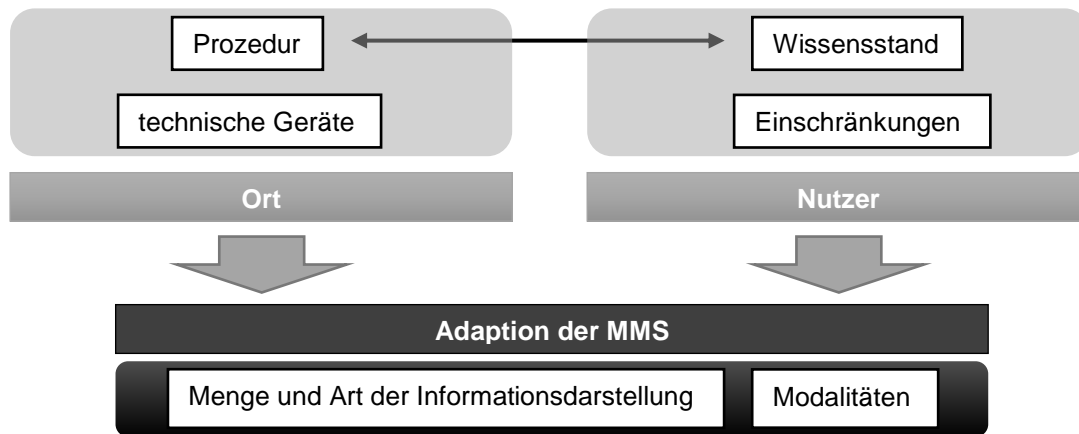


Abbildung 11
Darstellung des Konzeptes

5.3 Beschreibung der Parameter

Im Folgenden werden die Parameter, die die Adaption des Systems beziehungsweise der MMS beeinflussen, genauer erläutert. Dabei wird gezeigt, in welcher Form sich die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Adaption auswirken. Der Fokus liegt auf den technischen Geräten sowie dem Wissensstand des Nutzers.

5.3.1 Prozedur

Wichtigste Grundlage für die Adaption der MMS ist die Prozedur, bei der das Assistenzsystem Verwendung findet. Hierbei gibt es keine feste Kopplung mit einem spezifischen Szenario. Anzumerken ist jedoch, dass die Zuordnung einer Prozedur zu einem Ort als eindeutig angenommen wird. Eine weitergehende Differenzierung findet in dieser Arbeit nicht statt.

In Abhängigkeit des Ortes wird der Arbeiter bei verschiedenen Aufgaben unterstützt. So ermöglicht das Assistenzsystem beispielsweise, auf die in Kapitel 2 angeführte zunehmende Produktindividualisierung in der Produktion einzugehen. Sind für verschiedene Varianten eines Produktes Arbeitsschritte an unterschiedlichen Stationen durchzuführen, ist es nicht notwendig, sich mit den MMS des jeweiligen Arbeitsplatzes vertraut zu machen. Stattdessen stellt das mobile, ortsunabhängige Assistenzsystem die benötigten Informationen zur Erfüllung der Aufgabe dar. Dabei nutzt es die in der Umgebung zur Verfügung stehenden technischen Geräte (siehe Abschnitt 5.3.4).

5.3.2 Wissensstand des Nutzers

Der Wissensstand des Nutzers bezieht sich auf die auszuführende Prozedur (siehe Abschnitt 5.3.1). Hierbei wird die Qualifikation der Mitarbeiter (siehe Tabelle 1) berücksichtigt. Diese grenzen sich nach Schlick et al. (2018) folgendermaßen von deren Kompetenzen ab: „Unter Qualifikation werden [...] die zur Ausführung von Arbeitsaufgaben zu vermittelnden Fertigkeiten, Fähigkeiten und Kenntnisse zusammengefasst“ (Schlick et al., 2018). „Kompetenzen [sind] bei einer Person verfügbare oder erlernbare Fähigkeiten und Fertigkeiten, die zur Lösung bestimmter Probleme eingesetzt werden“ (Schlick et al., 2018). Demnach kann eine Arbeitsperson neben ihrem fachspezifischen Wissen (Qualifikation) auch nach den von ihr beherrschten Methodiken (Kompetenzen) beurteilt werden, wobei beide

Eigenschaften durch Lernprozesse beeinflussbar sind (Schlick et al., 2018). Je nach Erfahrung (Qualifikation), auf die der Mitarbeiter bei der vorliegenden Aufgabe zurückgreifen kann, benötigt er einen unterschiedlichen Grad an Unterstützung. Unerfahrene oder mit der spezifischen Aufgabe unvertraute Mitarbeiter benötigen viele und detaillierte Informationen, um diese korrekt und fehlerfrei ausführen zu können. Erfahrene oder mit der Aufgabe bereits vertraute Mitarbeiter dagegen brauchen weniger und abstraktere Anweisungen, sofern sie die einzelnen Prozessschritte beherrschen. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 12 verdeutlicht. Daran gekoppelt adaptiert das System das bereitgestellte Assistenzlevel, indem es sowohl den Erfahrungsgrad als auch die Art der Informationsdarstellung berücksichtigt. Hierbei werden drei Level festgelegt (siehe Abbildung 12):

- Level 1: hoher Grad an Unterstützung
 - ➔ viele und konkrete Informationen für unerfahrene Mitarbeiter
- Level 2: mittlerer Grad an Unterstützung
 - ➔ übergeordnete, schrittweise Informationen für geübte Mitarbeiter
- Level 3: geringer Grad an Unterstützung
 - ➔ wenige und abstrakte Informationen für routinierte Mitarbeiter

Die drei verschiedenen Level können mittels unterschiedlicher Techniken umgesetzt werden, wobei der am Anfang genannte multimodale Ansatz beziehungsweise eine Variation der Modalitäten als grundlegendes Element fungiert. Auf der niedrigsten Stufe, Level 1, sollen vor allem visuelle Darstellungstechniken genutzt werden. Diese ermöglichen einerseits eine hohe Informationsdichte, wie beispielsweise ein 3D-CAD-Modell, und andererseits eine lokale, interessensbezogene Informationswiedergabe, wie etwa Augmented-Reality-Anweisungen. Trotz dessen müssen eventuelle Beeinträchtigungen des Arbeiters berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 5.3.3). Bei Level 2 beziehen sich die Anweisungen auf übergeordnete Teilschritte der Prozedur. Hierfür bieten sich unter anderem auditive Hinweise an, um den jeweiligen Ablauf zu beschreiben. Dadurch wird die Abstraktion gesteigert, da über die auditive Wahrnehmung grundsätzlich weniger Informationen zur gleichen Zeit aufgenommen werden können als über die visuelle (Zühlke, 2012). Anzumerken ist jedoch, dass diese Aussage nicht unter allen Bedingungen verallgemeinert werden kann (Zühlke, 2012). Auf Ebene 3 findet eine weitere Reduktion der Anweisungen statt. Das System informiert nur noch im Falle eines offensichtlichen Fehlers, zum Beispiel durch haptisches Feedback oder auditive Warnsignale, und beschreibt nur noch weiter abstrahierte Teilschritte (siehe Abbildung 13). Dabei unterscheidet das entwickelte Konzept schematisch drei Unterebenen einer Prozedur bei der Zuordnung der Teilschritte zu den jeweiligen Assistenzleveln.

Den Wechsel der unterschiedlichen Level - die Adaption - initiiert das System. Jedoch ist es jederzeit möglich, dass der Nutzer im Sinne der nutzerorientierten Entwicklung (siehe Abschnitt 2.3.4) den Grad an Assistenz optional selbst bestimmen kann. Dadurch wird eine Bevormundung des Menschen durch die Technik vermieden.

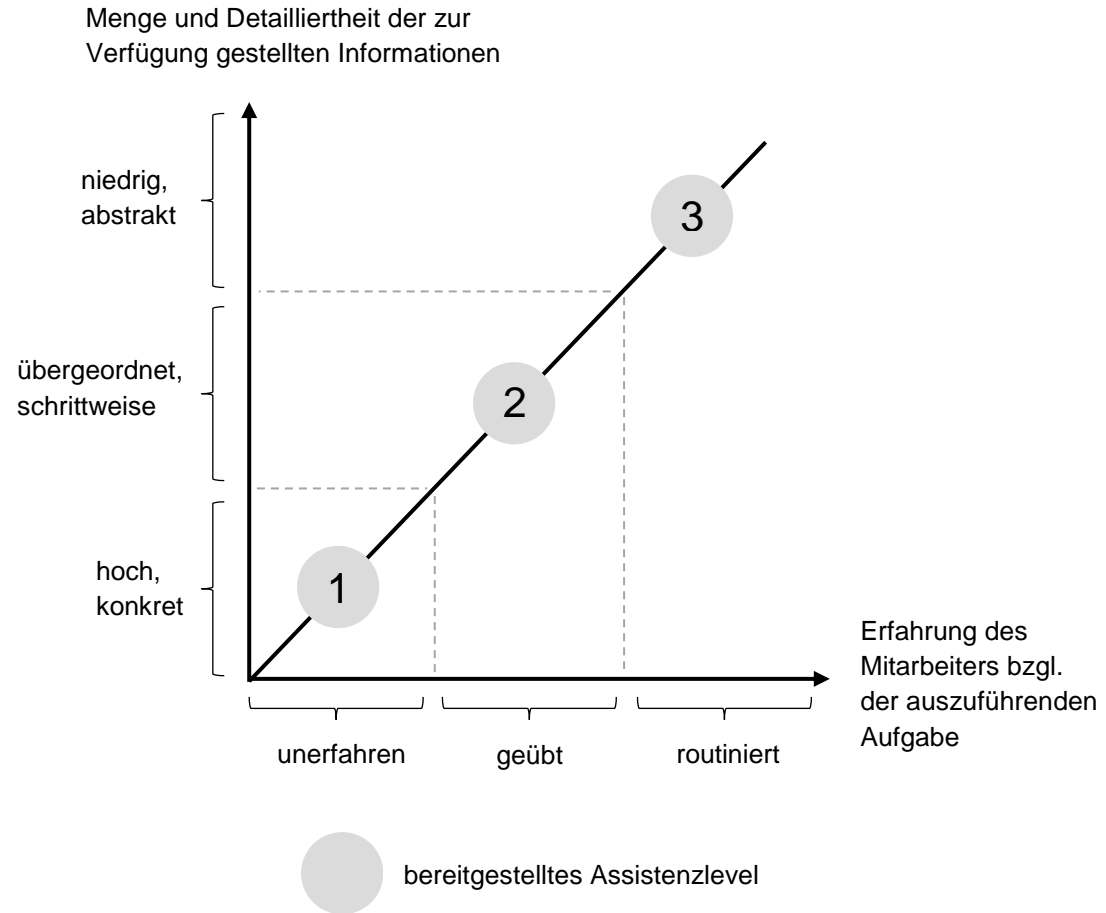


Abbildung 12
Festlegung des Assistenzlevels

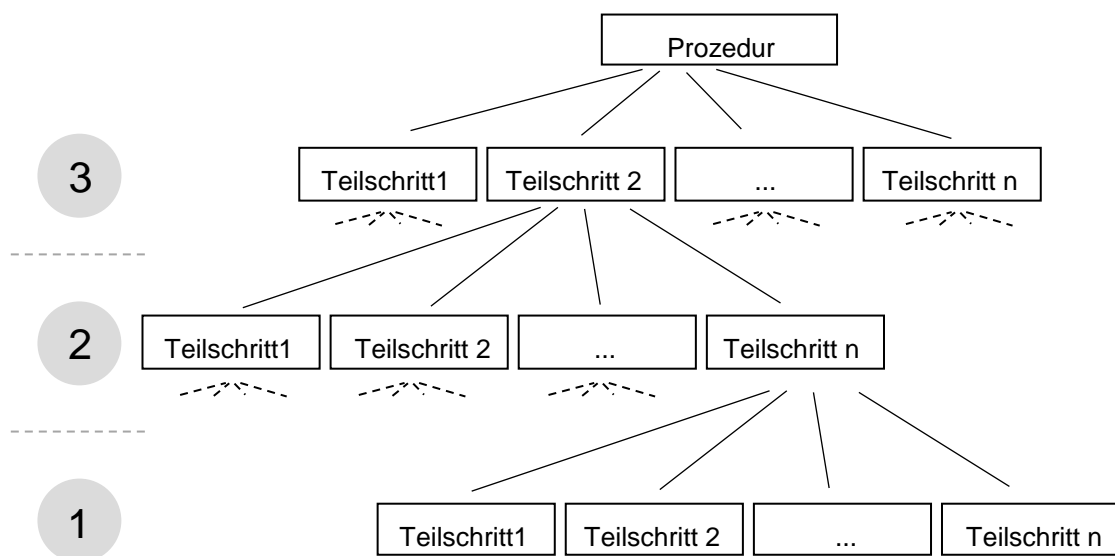


Abbildung 13
Zuordnung der Anzahl und Ebene der Teilschritte einer Prozedur zu den Assistenzleveln

5.3.3 Einschränkungen des Nutzers

Jeder Nutzer hat verschiedene physische Voraussetzungen, die ihm seine Aufgaben erleichtern aber auch erschweren können. Letzteres soll mit Hilfe des hier vorgestellten Konzeptes vermieden werden, indem die Adaption das Nutzerprofil in ihren Kontext miteinordnet. Dabei wird hauptsächlich auf Beeinträchtigungen in der Wahrnehmung eingegangen. Wiederum mit Hilfe des multimodalen Ansatzes werden Defizite ausgeglichen. Menschen mit Störungen des visuellen Sinnes sollen bevorzugt auditive Informationen erhalten. Analog dazu werden bei Beeinträchtigungen des Hörsinns bildliche oder textuelle Darstellungsformen genutzt. Somit unterstützt das System jeden Nutzer individuell vor dem Hintergrund seiner physischen Voraussetzungen.

5.3.4 Technische Geräte

Die zur Verfügung stehenden technischen Geräte beeinflussen entscheidend die Adaption der MMS. Zum einen sollen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten mit dem Assistenzsystem permanent zugänglich sein, wie eine über smart-Devices aufrufbare Web-Oberfläche. Zum anderen sollen dazu ergänzend lokal verfügbare technische Geräte für die Kommunikation zwischen System und Nutzer mit herangezogen werden. Dabei ist es die Aufgabe des Assistenzsystems sowohl lokale Interaktionsmöglichkeiten als auch andere tragbare Geräte zu erkennen und sich mit diesen zu verbinden. Anschließend führt es die multimodale Kommunikation über die aktuell gekoppelten Geräte aus. Stationäre Geräte (z.B. Lautsprecher oder Projektoren für AR-Einblendungen) werden ebenso miteinbezogen wie mobile Geräte (z.B. Bluetooth-Headsets oder Kopfhörer). Modalitäten, für deren Nutzung keine adäquaten Mittel zur Verfügung stehen, werden bei der Generierung der Interaktion ausgeschlossen. Die erreichbaren Ein- und Ausgabegeräte werden somit in die Adaption der intelligenten MMS miteingeschlossen. Dadurch wird die Unabhängigkeit der MMS gegenüber der geräte-technischen Peripherie, die je nach Ort variieren kann, sichergestellt.

5.3.5 Zusammenhang der Parameter

Die unterschiedlichen Parameter sind nicht als voneinander unabhängige Einflussfaktoren zu betrachten, sondern korrelieren miteinander. Diese Korrelationen werden im Folgenden aufgezeigt und ihre Auswirkungen auf das vorgestellte Konzept erläutert. Dabei wird auf mögliche Konkurrenzsituationen in Bezug auf die Adaption der MMS aufmerksam gemacht.

Die durchzuführende Prozedur hängt naturgemäß mit dem aufgabenspezifischen Wissen des Arbeiters zusammen. Da ein Arbeiter im Rahmen flexibler Produktionsstrukturen, wie sie in Kapitel 2 beschrieben wurden, potentiell mehrere unterschiedliche Tätigkeiten ausübt, variiert sein Kenntnisstand von Aufgabe zu Aufgabe. Dieser wird unter anderem beeinflusst von persönlichen Stärken, der Periodizität und der Komplexität der Prozedur (siehe auch Schlick et al. 2018). Diese Zusammenhänge müssen beim Entwurf eines entsprechenden Systems, vor allem bei der Festlegung des über die MMS bereitgestellten Assistenzlevels, berücksichtigt werden. Der Wissensstand ist abhängig von der jeweiligen Prozedur.

Bei Betrachtung der Faktoren, die die Adaption der Modalitäten bestimmen, können konträre Anforderungen an die Interaktionsweise der MMS entstehen. So spielen hierbei sowohl das Assistenzlevel und die Einschränkungen des Nutzers als auch die die zur Verfügung stehenden technischen Geräte eine Rolle. Beispielsweise sollen bei einem hohen Grad an Assistenz bevorzugt visuelle Darstellungstechniken verwendet werden. Im individuellen Fall

könnte jedoch eine Sehschwäche des Arbeiters vorliegen, was eine auditive Interaktion favorisiert. Dieses Beispiel demonstriert, dass verschiedene Parameter unterschiedliche, teils gegensätzliche Anforderungen an die Adaption der MMS stellen können. Aus diesem Grund müssen bei der Umsetzung des Konzeptes die verschiedenen Parameter kategorisiert und priorisiert werden, sodass das System den Ansprüchen an den vorliegenden Anwendungsfall genügt. Der Kontext ist im Rahmen der Anforderungsermittlung korrekt festzulegen (siehe auch Abschnitt 2.3.3). Eine Konkurrenz der Parameter und Inkonsistenz der Assistenz wird dadurch vermieden.

5.4 Anwendungsszenarien

Dieser Abschnitt zeigt zwei Szenarien auf, in denen das Konzept eingesetzt werden kann. Das erste beschäftigt sich mit der Montage eines *Lego-Mindstorm*-Roboters, letzteres mit der Wartung einer automatisierten Produktionsanlage. In beiden Fällen soll der Nutzen einer ortsbasierten, multimodalen und adaptiven MMS zur Geltung kommen.

5.4.1 Montageprozedur eines *Lego-Mindstorm*-Roboters

Ein mögliches Anwendungsszenario stellt die Montage eines *Lego-Mindstorm*-Roboters dar. In einer fiktiven Fabrik, in der an unterschiedlichen Stationen verschiedene *Lego*-Produkte nach den Wünschen der Kunden zusammengebaut werden, soll ein ortsadaptives Assistenzsystem die Mitarbeiter bei der Montage unterstützen. Dabei wird angenommen, dass ein Arbeiter für den Zusammenbau jeglicher Produkte eingesetzt werden kann, um monotone Arbeitsabläufe zu verhindern. Zudem führt er stets ein mobiles smart-Device, sein Smartphone, mit sich.

Nähert sich der Arbeiter einer bestimmten Station, identifiziert das Assistenzsystem diese und weiß, welches Produkt dort entstehen soll, hier der *Lego-Mindstorm*-Roboter. Auf Basis dessen werden die unterstützenden Inhalte von einer Cloud-Plattform mit dem mobilen Assistenzsystem synchronisiert. Bei der Generation der Montageanweisungen durch das intelligente Assistenzsystem können die individuellen Kundenwünsche, zum Beispiel Bausteine in bestimmten Farben, somit vor Beginn jeder Prozedur berücksichtigt werden.

Je nach Vorlieben, Einschränkungen und Kenntnis des Arbeiters adaptiert sich die MMS und führt den Mitarbeiter durch die Prozedur. Hat er die Montage des *Lego-Mindstorm*-Roboters noch nicht oft ausgeführt, müssen viele Teilschritte dargestellt werden. Sollte der Mitarbeiter dagegen schon lange in der Fabrik beschäftigt sein und stellt dieser Montageprozess für ihn eine Routinetätigkeit dar, ist zum Beispiel nur noch auf die entsprechende Farbe der Bausteine hinzuweisen.

Unterschiedliche modale Interaktionsmethoden werden je nach den zur Verfügung stehenden technischen Geräten genutzt. Generell kann der Arbeiter jederzeit über sein Smartphone auf die grafische Web-Schnittstelle des Assistenzsystems zugreifen. Befindet sich jedoch an besagter Station ein großer Monitor, kann sich das Assistenzsystem mit diesem verbinden und die Darstellung der Inhalte entsprechend erweitern. Ermöglicht dieser darüber hinaus Multi-Touch-Eingaben, lässt sich die MMS auch darüber steuern.

Ist die Montage beendet, wird der Mitarbeiter auch bei seiner nächsten Aufgabe von seinem individuell konfigurierbaren Assistenzsystem, das zum Beispiel sein Nutzerprofil speichert, begleitet. Die Verwendung seiner bevorzugten Modalitäten wird dadurch sichergestellt. Der

ortsadaptive Ansatz trägt dazu bei, dass die Unterstützung stets bezogen auf den Menschen stattfindet und dieser sich nicht an unterschiedliche technische Umgebungen gewöhnen muss. Diese Aufgabe übernimmt das Assistenzsystem unter Berücksichtigung der individuellen Nutzereigenschaften.

5.4.2 Wartung einer automatisierten Produktionsanlage

Ein weiteres mögliches Anwendungsszenario sind Wartungsarbeiten an einer automatisierten Produktionsanlage. Wie in Abschnitt 5.4.1 erkennt das System den Ort, ordnet diesem den entsprechenden Wartungsauftrag zu und synchronisiert die unterstützenden Inhalte mit der Cloud. Auch hier wird die MMS nach den Vorlieben, den Einschränkungen und dem prozeduralen Wissen des Arbeiters adaptiert. Die technischen Geräte in der Umgebung werden erkannt. Ein Projektor kann beispielsweise mit in die Assistenz eingebunden werden und Hinweise direkt auf die Anlage augmentiert werden. Bevorzugt der Wartungstechniker dagegen auditive Interaktion, können Anweisungen auch über Lautsprecher oder ein mit dem Assistenzsystem gekoppeltes Headset akustisch dargestellt werden. Letzteres ermöglicht zudem die Steuerung der MMS mittels Sprachkommandos. Stehen keinerlei externe Ein- oder Ausgabegeräte zur Verfügung, etwa an unzugänglicheren Orten der Produktionsanlage, ist wie in Abschnitt 5.4.1 die Assistenz stets über eine Weboberfläche durch ein Smart-Device zugänglich.

6 Technische Umsetzung

Das folgende Kapitel beschreibt eine mögliche technische Umsetzung des Konzeptes aus Kapitel 5. Dabei steht der Forschungsschwerpunkt aus Abschnitt 4.2 im Vordergrund der Systementwicklung. Im Rahmen dessen soll die technische Umsetzung zur Beantwortung der Forschungsfragen beitragen.

Zunächst wird die Grobstruktur des Systems vorgestellt. Anschließend findet eine detailliertere Betrachtung der einzelnen Komponenten statt. Daraufhin wird das Zusammenspiel aller Komponenten demonstriert. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen dem entwickelten Konzept und der technischen Umsetzung beschrieben. Es wird klargestellt, welche Aspekte des Konzeptes in welchem Umfang berücksichtigt wurden.

6.1 Aufbau

Eine schematische Übersicht über das System zeigt Abbildung 14. Das System besteht aus drei Komponenten: dem mobilen Assistenzsystem, Station 1 und Station 2. Die Entwicklung erfolgte auf Basis von Einplatinencomputern (*Raspberry Pi 3 Model B*). Zur Implementierung wurde hauptsächlich auf das graphische, kontrollflussbasierte Programmierwerkzeug *Node-RED* zurückgegriffen. Abbildung 26 (siehe Anhang) zeigt das Programmierprinzip anhand eines exemplarischen Ausschnitts des Programmablaufs.

Grundsätzlich ist es mit Hilfe des Systems möglich, an zwei verschiedenen Stationen jeweils ein Legoprodukt zusammenzubauen oder zusammenzufügen. Bei beiden Prozeduren erhält der Nutzer Unterstützung von einem mobilen Assistenzsystem, das ihn von Station zu Station begleitet und ihn durch die Montageschritte führt. An beiden Stationen findet man verschiedene Geräteperipherien vor. Nähert man sich einer Station, wird diese vom mobilen Assistenzsystem erkannt. Anschließend kann man sich mit der entsprechenden Station verbinden. Den genaueren Aufbau des Systems erläutern die Abschnitte 6.2 und 6.3.

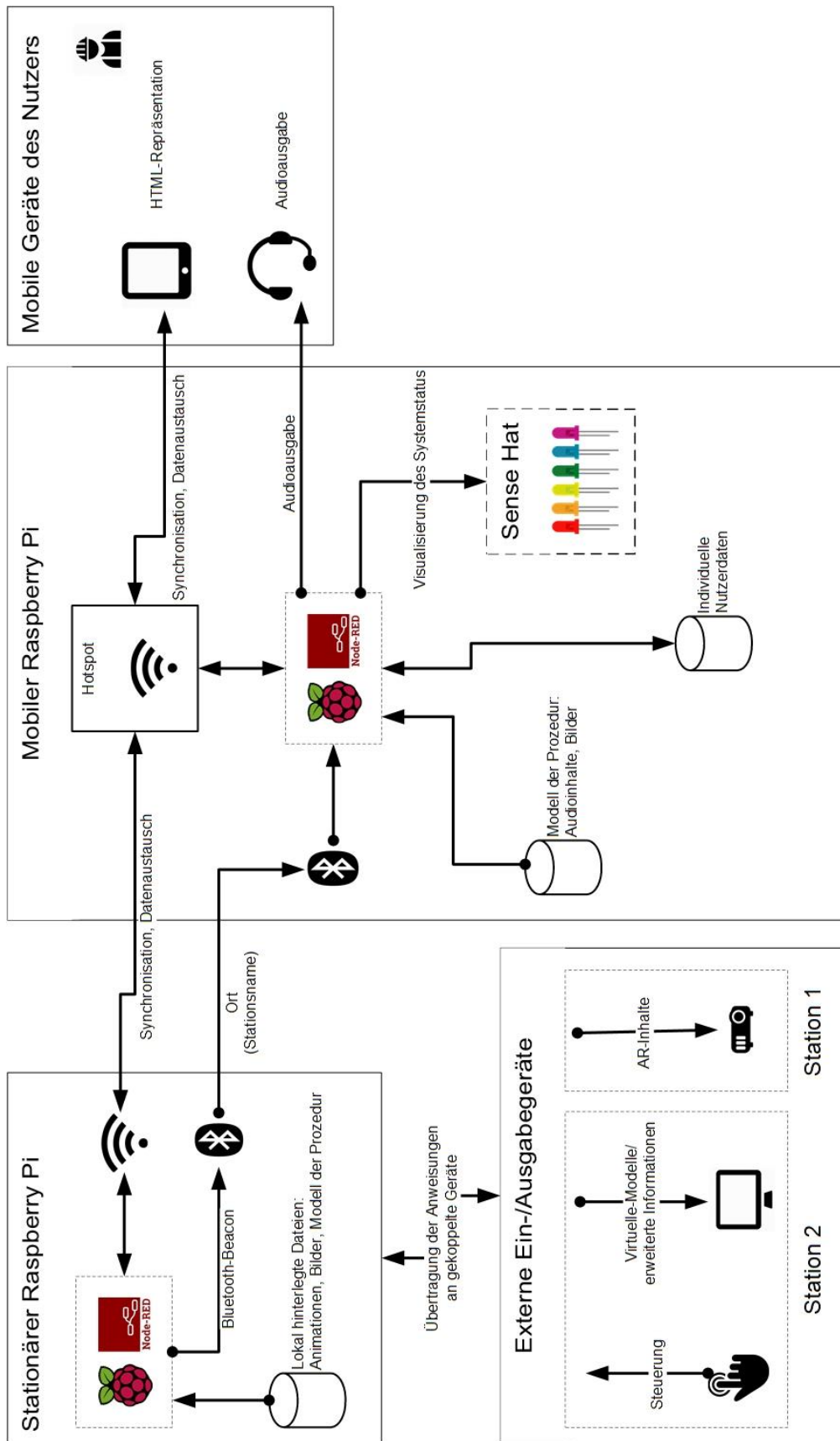


Abbildung 14
Schematische Übersicht der Umsetzung

6.2 Komponenten

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dem Aufbau der drei Komponenten des entwickelten Systems: dem mobilen Assistenzsystem, Station 1 und Station 2. Es wird gezeigt, welche technischen Geräte zu welchem Zweck verwendet wurden. Zusätzlich werden die Aufgaben und Möglichkeiten der einzelnen Teile erklärt.

6.2.1 Aufbau des mobilen Assistenzsystems

Das mobile Assistenzsystem besteht zum einen aus einem Raspberry Pi. Am Pi ist eine Zusatzvorrichtung (*Sense-Hat*) angebracht, die über eine LED-Matrix verfügt. Daneben ist via USB ein Headset mit dem Pi verbunden. Über ein Tablet wird dem Nutzer eine graphische Bedienoberfläche (GUI) zur Verfügung gestellt. Die Stromversorgung erfolgt über eine Powerbank. Das mobile Assistenzsystem ist im rechten Teil von Abbildung 16 zu sehen.

Der Raspberry Pi fungiert als zentrales Element des mobilen Assistenzsystems. Er erkennt die verfügbaren Stationen mit Hilfe von Bluetooth-Beacons und adaptiert die graphische Bedienoberfläche, die über einen Web-Browser auf dem Tablet aufgerufen werden kann (siehe Abbildung 27 im Anhang). Die Kommunikation zwischen Raspberry Pi und Tablet findet via WLAN statt. Dazu baut der mobile Raspberry Pi einen WiFi-Hotspot auf.

Über die GUI kann der Nutzer sich mit einer Station verbinden. Zudem ermöglicht die GUI an beiden Stationen jederzeit die Steuerung der jeweiligen Prozedur (siehe Abbildung 15). Das Layout der GUI zur Steuerung der Prozedur ist an allen Stationen gleich. Station 2 bietet optional eine weitere Steuerungsmöglichkeit (siehe Abschnitt 6.2.3).

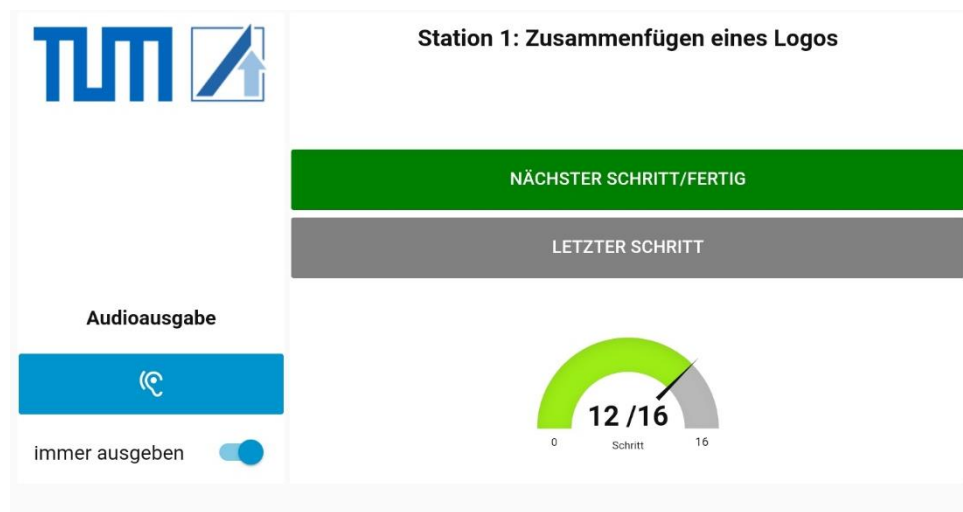


Abbildung 15

Steuerung der Prozedur über die GUI des Tablets

Mit Hilfe des angeschlossenen USB-Headsets kann sich der Nutzer bei Bedarf auditive Hinweise zu den Prozeduren ausgeben lassen. Diese können standardmäßig ein- und ausgeschaltet oder einzeln abgespielt werden. Der Zustand der gewählten Ausgabeform (standardmäßig ein- oder ausgeschaltet) wird vom mobilen Assistenzsystem gespeichert. Wurde die Audioausgabe an einer Station standardmäßig eingeschaltet, wird dies an der anderen Station automatisch übernommen. Die Steuerung der Audioausgabe erfolgt über die

GUI (siehe Abbildung 15). Eine Lautstärkeregelung ist direkt über ein am Kabel des Headsets vorhandenes Bedienelement möglich.

Die am Raspberry Pi montierte LED-Matrix (Sense-Hat) gibt Rückmeldung über den aktuellen Zustand des Systems. Tabelle 10 zeigt die möglichen Systemzustände und wie diese durch die LED-Matrix visualisiert werden.

Tabelle 10

Übersicht über die möglichen Systemzustände und deren Visualisierung durch die LED-Matrix

Systemzustand	Zustand der LED-Matrix
keine Station verfügbar	weißes Leuchten
neue Station gefunden	kurzes grünes Leuchten
mindestens eine Station verfügbar	blaues Blinken (Intervallzeit: ca. 1s)
mit einer Station verbunden	blaues Leuchten, weißer Fließtext (Stationsname und Produkt)

6.2.2 Aufbau von Station 1: Zusammenfügen eines Logos

Basis von Station 1 sind ein Raspberry Pi sowie ein daran angeschlossener Projektor. Aufgabe ist das Zusammenfügen eines Logos (siehe Abbildung 28 im Anhang). Über den Projektor werden die Anweisungen direkt auf die Arbeitsoberfläche augmentiert. Dabei wird der für den aktuellen Schritt benötigte *Lego*-Stein im Lager eindeutig gekennzeichnet und seine Zielposition markiert. Eine Statusanzeige informiert den Nutzer über seinen Fortschritt. Eine Übersicht über Station 1 zeigt Abbildung 16.

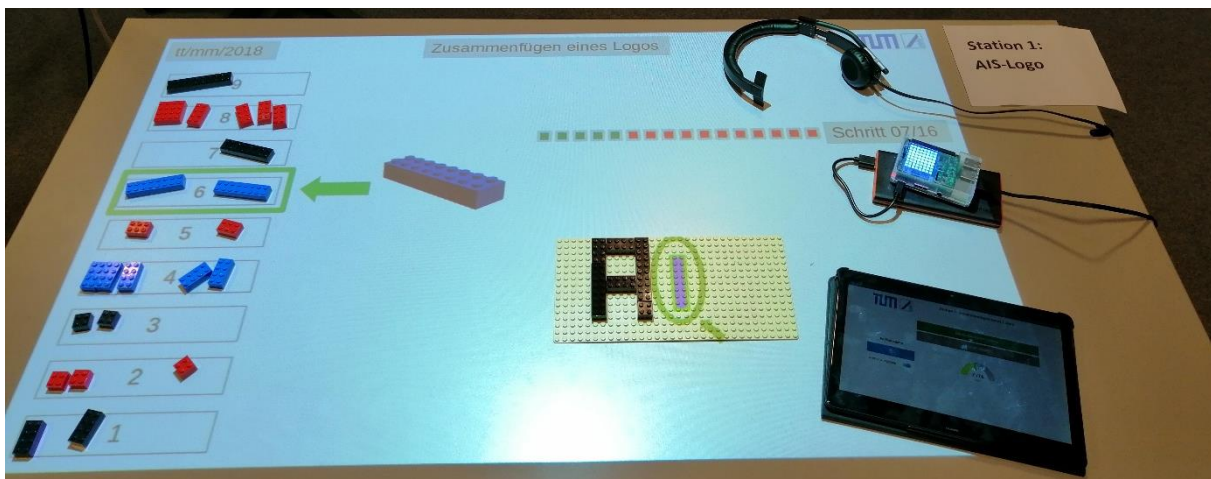


Abbildung 16

Station 1 (Zusammenfügen eines Logos) inklusive des mobilen Assistenzsystems (rechte Bildseite)

6.2.3 Aufbau von Station 2: Montage eines Fahrzeugs

Basis von Station 2 sind ein Raspberry Pi sowie ein daran angeschlossener LCD-Monitor, der über einen Touchscreen verfügt. Aufgabe ist die Montage eines *Lego*-Fahrzeugs (siehe Abbildung 29 im Anhang). Über den Monitor werden dem Nutzer die Arbeitsanweisungen angezeigt. Zu sehen sind der momentane Zustand des Produktes, das für den aktuellen Schritt benötigte Teil sowie dessen Zielposition in einer Groß- und einer Detailansicht (siehe Abbildung 17). Neben den Informationen zur Montage steht dem Nutzer eine graphische Bedienoberfläche über den Touch-Screen zur Verfügung (siehe Abbildung 17 sowie Abbildung 30 im Anhang). Diese orientiert sich an der des Tablets und bietet die gleichen Funktionen. Es findet eine stetige Synchronisierung der beiden GUIs statt. Der Nutzer kann frei entscheiden, über welche GUI er mit dem System interagiert. Eine Übersicht über Station 2 zeigt Abbildung 30 im Anhang.

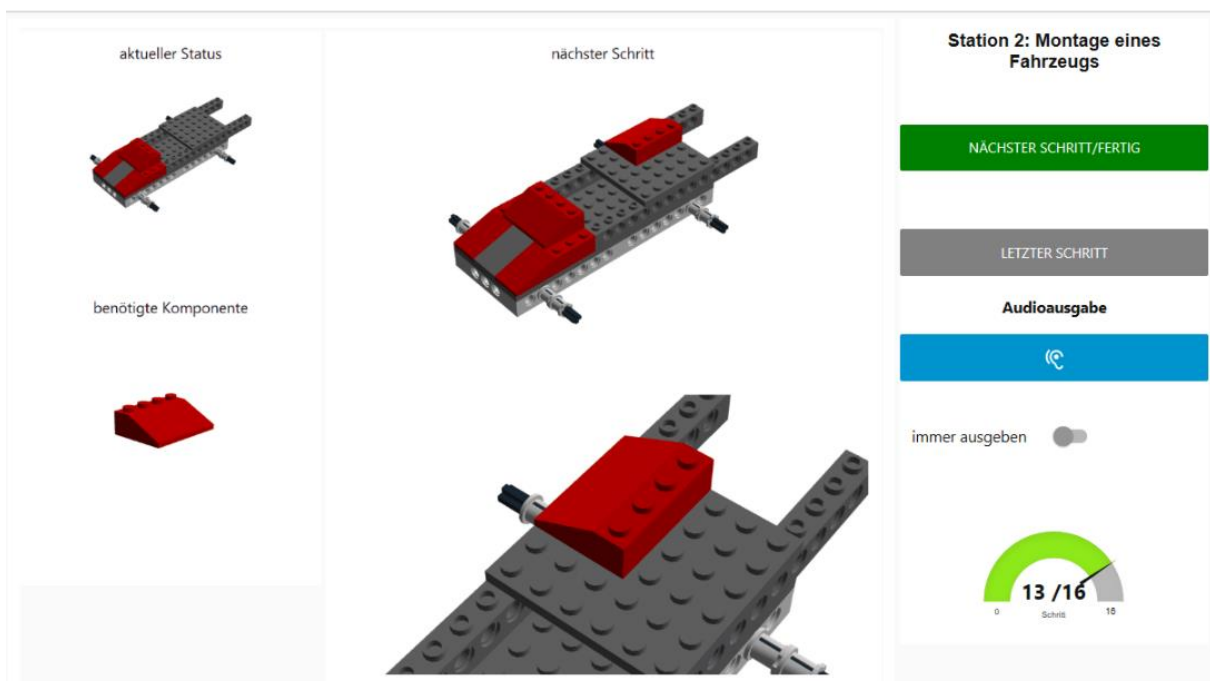
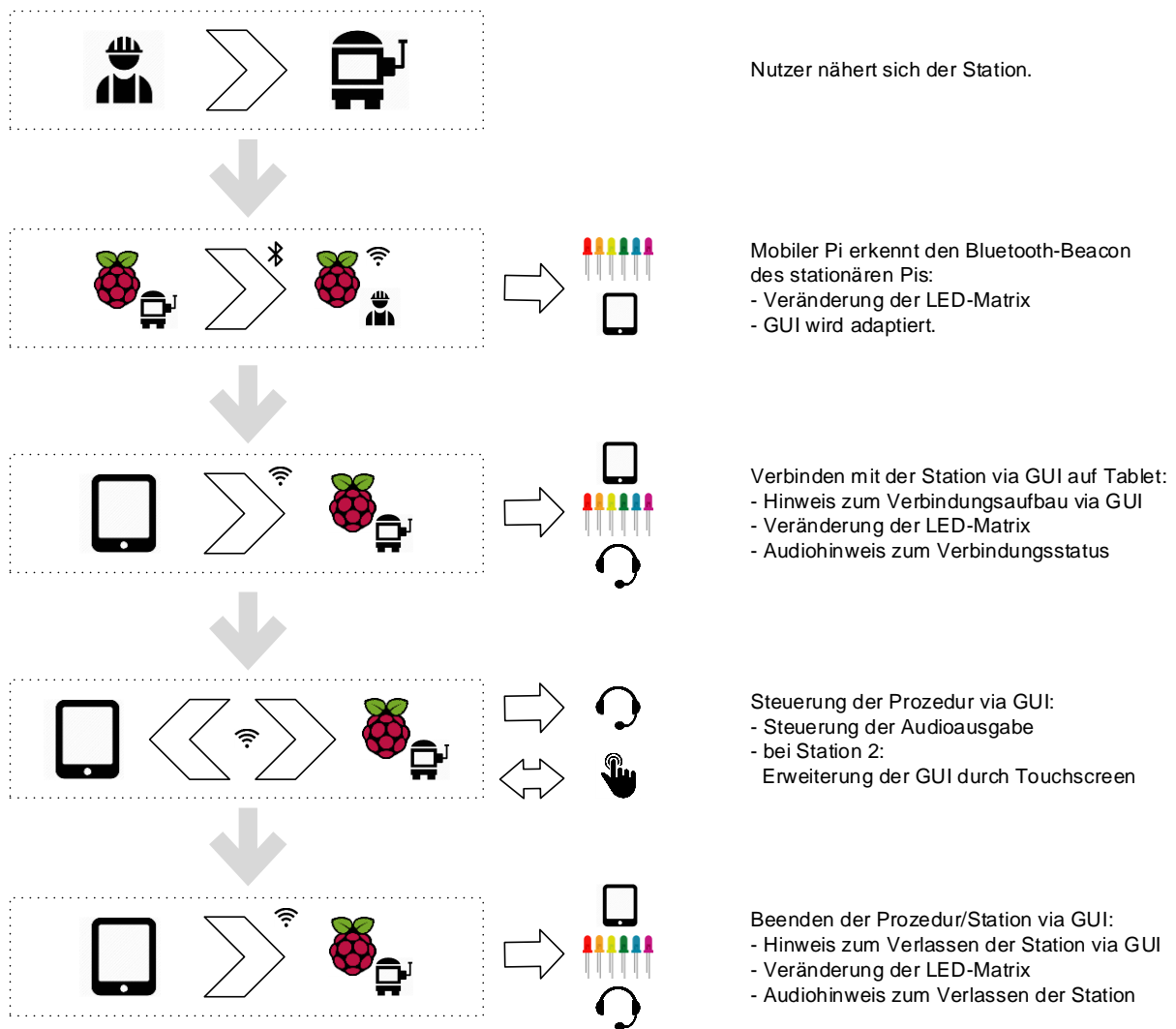


Abbildung 17
Graphische (Bedien-)Oberfläche an Station 2

6.3 Zusammenspiel der Komponenten

Das Zusammenspiel der Komponenten anhand eines schematischen Ablaufs im Anwendungsfall zeigt Abbildung 18. Nähert sich der Nutzer einer Station, wird dies vom mobilen Assistenzsystem erkannt. Daraufhin hat der Nutzer die Möglichkeit, sich mit der Station zu verbinden. Während der Prozedur kann er sich optional Audiohinweise ausgeben lassen oder andere, stationäre Eingabegeräte nutzen. Nachdem er eine Station erfolgreich beendet hat, kann er erneut zwischen den verfügbaren Stationen wählen. Näheres ist Abbildung 18 zu entnehmen.



Bedeutung der Symbole:

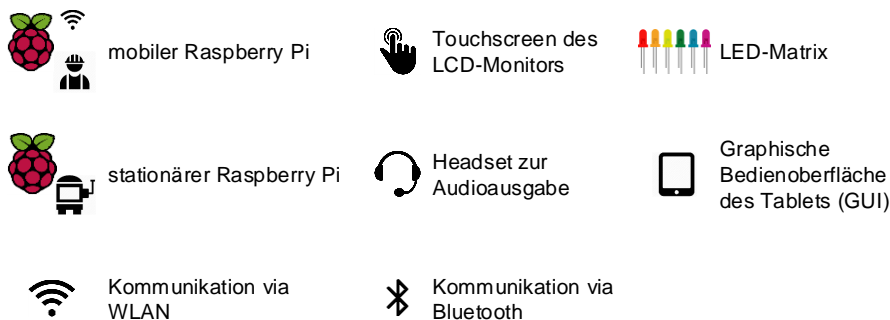


Abbildung 18
 Zusammenspiel der Komponenten anhand eines schematischen Ablaufs im Anwendungsfall

6.4 Zusammenhang zwischen Umsetzung und Konzept

Die in Tabelle 9 aufgeführten Parameter des Konzeptes - Prozedur, Wissensstand des Nutzers, Einschränkungen des Nutzers und technische Geräte - wurden in verschiedenem Umfang bei der technischen Umsetzung berücksichtigt. Vor dem Hintergrund der Forschungsfragen wurde der Fokus auf den Parameter *technische Geräte* gelegt. Dadurch sollen die Auswirkungen verschiedener Geräteperipherien, wie sie bei der dargelegten ortsadaptiven Herangehensweise entstehen können, qualitativ erforscht werden. Im Folgenden wird die Umsetzung der einzelnen Parameter näher beschrieben.

6.4.1 Prozedur

Die Prozedur stellt den zentralen Parameter ortsbasierter Assistenzsysteme dar. Die Zuordnung einer Prozedur zu einem Ort ist dabei eindeutig. So wurden bei der Umsetzung zwei verschiedene Stationen an zwei Orten berücksichtigt. Zu den jeweiligen Prozeduren wurden passende Inhalte erstellt, um den Nutzer mit Hilfe des Assistenzsystems durch die Vorgänge zu führen.

6.4.2 Wissensstand des Nutzers

Der Parameter *Wissensstand des Nutzers* wurde nicht in vollem Umfang berücksichtigt. Es wurde nur ein Level an Assistenz implementiert. Eine Variation wurde aus den folgenden Gründen nicht umgesetzt. Zum einen wurde das Vorhandensein verschiedener Assistenzlevel nicht als entscheidender Aspekt eingestuft, wenn der Fokus auf der Beurteilung der Geräteperipherie liegt. Unterschiedliche Assistenzlevel haben keinen Einfluss auf diese. Zudem wurde angenommen, dass alle Nutzer als unerfahren in Bezug auf die vorliegende Prozedur anzusehen sind, sodass keine Varianz des Erfahrungsgrads vorliegt. Eine Adaption anhand des Wissensstands war somit hinfällig.

6.4.3 Einschränkungen des Nutzers

Individuelle Einschränkungen des Nutzers wurden partiell in den Systementwurf miteinbezogen. So konnten an beiden Stationen optional auditive Hinweise ausgegeben werden. Wurde die Audioausgabe permanent eingeschaltet oder ausgeschaltet, wurde diese Einstellung automatisch an der nächsten Station übernommen. Multimodalität wurde nach Tabelle 4 redundant und nicht komplementär genutzt. Die Möglichkeit einer gleichwertigen Ersetzung der visuellen durch auditive Informationen wurde nicht angestrebt.

6.4.4 Technische Geräte

Verschiedene technische Geräteperipherien sind entscheidend, um Antworten auf die Forschungsfragen finden zu können. Bei den beiden Stationen kamen unterschiedliche Ein- und Ausgabegeräte zum Einsatz. Bei Station 1 diente ein Projektor zur direkten Einblendung der Anweisungen in den Arbeitsbereich. Station 2 verfügte dagegen über einen großen Monitor, der neben der visuellen Anzeige noch einen Touch-Screen als Eingabemöglichkeit anbot. Die Geräteperipherie an den Stationen selbst war dabei invariabel. Zusätzlich zu den stationär verfügbaren Geräten wurde der Nutzer jederzeit durch ein Tablet unterstützt, das als Teil des mobilen Assistenzsystems zur Ein- und Ausgabe von Informationen fungierte. Dieses

ermöglichte an beiden Stationen die Steuerung des Ablaufs. Überdies trug der Nutzer einen Raspberry Pi bei sich, an dem ein Headset für auditive Hinweise angeschlossen war. Eine im Raspberry Pi integrierte LED-Matrix gab zudem Auskunft über den Status des Systems (siehe Abschnitt 6.2.1).

7 Evaluation

Mit Hilfe einer qualitativen Studie sollte einerseits die Implementierung des Konzeptes erprobt und andererseits die Forschungsthematik aus Abschnitt 4.2 ergründet werden. Dieses Kapitel beschreibt sowohl den Aufbau, den Ablauf als auch die Ergebnisse der Studie. Die Ergebnisse werden anschließend vor dem Hintergrund der Forschungsfragen reflektiert. Abschließend werden weitere Aspekte (Kritik, Verbesserungsmöglichkeiten, weitere Anwendungsfelder), die im Zusammenhang mit dem entwickelten Konzept oder der technischen Umsetzung stehen, diskutiert.

7.1 Aufbau und Ablauf der Studie

Die Teilnehmer der Studie testeten das in Kapitel 6 beschriebene System. Dabei wurden sie aufgefordert, sich zunächst zu Station 1 zu begeben und die dortige Prozedur mit Hilfe des mobilen Assistenzsystems auszuführen. Im Anschluss wechselten sie zu Station 2 und wiederholten das Vorgehen. Aufgabe war es jeweils, ein Legoprodukt zusammenzufügen oder zusammenzubauen. Dabei wurden die Teilnehmer durch das mobile Assistenzsystem unterstützt. Dieses nutzte dafür sowohl die permanent verfügbaren mobilen Geräte (Tablet, Headset) als auch die stationsspezifischen technischen Geräte (siehe auch Kapitel 6). Station 1 und Station 2 befanden sich im selben Raum, sodass aufgrund der geringen örtlichen Entfernung beide Stationen permanent vom mobilen Assistenzsystem erkannt wurden.

Im Anschluss an die praktische Durchführung der Aufgaben füllten die Teilnehmer einen Fragebogen zu ihrer Person sowie zwei weitere zur Interaktion mit dem System aus. In letztere integriert war eine angepasste Form des *System Usability Scale*-Fragebogens nach John Brooke (Brooke 1996, zitiert nach Lewis und Sauro 2009). Dieser lässt bereits ab einer Gruppengröße von $n=12$ Personen (hier: $n=16$) verlässliche Rückschlüsse auf die Gebrauchstauglichkeit eines Systems zu (Lewis und Sauro, 2009). Die weiteren Fragen bezogen sich teils genauer auf einzelne Teilkomponenten (z.B. Tablet) und wurden verschiedenen Hypothesen zugeordnet, um diese zu testen (siehe Abschnitt 7.3 und 7.4.).

Die Evaluation erfolgte nach einem Punktesystem mit einer Skala von eins (trifft überhaupt nicht zu) bis sechs (trifft völlig zu). Zudem wurde für die Fragen aus dem *System Usability Scale*-Fragebogen deren Standardauswertung modifiziert angewendet (siehe Abschnitt 7.3.1), um die Gebrauchstauglichkeit beurteilen zu können. Abschließend fand ein Interview mit dem Autor statt, in dem die Probanden ihre persönlichen Eindrücke schildern konnten. Die Versuchsanweisungen, Fragebögen und der Interviewleitfaden sind dem Anhang zu entnehmen.

7.2 Studienteilnehmer

Insgesamt nahmen 16 Probanden an der qualitativen Studie teil. Das Durchschnittsalter betrug 21.1 Jahre. Der Großteil der Teilnehmer war männlich (13) und hatte einen technischen Bildungshintergrund (12). Generell hatten alle Probanden die allgemeine Hochschulreife und befanden sich zum Zeitpunkt der Studie vor ihrem ersten Hochschulabschluss an einer Universität. Zudem konnte bei allen ein sicherer und häufiger Umgang mit technischen Geräten festgestellt werden (Fragebogen zur Person).

7.3 Vorstellung der Hypothesen

Zur Beurteilung der Forschungsfragen wurden Hypothesen (siehe Tabelle 11) aufgestellt und diesen Fragen sowie quantitativ erfasste Werte zugeordnet. Eine Gesamtübersicht dieser Zuordnung findet sich im Anhang. Im Folgenden werden die einzelnen Hypothesen vorgestellt und die erwarteten Ergebnisse präsentiert.

Tabelle 11

Übersicht über die aufgestellten Hypothesen

H1: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.
H2: Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Prozeduren ist ausreichend.
H3: Multimodale Informationen werden bei diesem System als unterstützend empfunden.
H4: An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.
H5: Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.
H6: Zusätzliche, einfache visuelle Signale tragen zum Verständnis des Systemzustands bei.

7.3.1 Hypothese 1: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.

Es wurde erwartet, dass die Nutzung des (Assistenz-) Systems als intuitiv und unterstützend empfunden wird, da dies im Voraus einen zentralen Aspekt der Systementwicklung darstellte. Durch wenige Bedienelemente sollte die Übersichtlichkeit gewahrt werden. Die verwendeten Geräte und Interaktionstechniken (Tablet, Touchscreen etc.) finden sich zudem häufig im modernen Alltag wieder. Darüber hinaus wurde der Nutzer auditiv und visuell - multimodal - unterstützt, was für zusätzliche Klarheit sorgen sollte.

Neben den zu H1 zugeordneten Fragen wurde der *System-Usability-Scale-Fragebogen (SUS)* angewendet, um die Hypothese zu verifizieren (siehe auch Abschnitt 7.4.1). An diesem wurden im Vergleich zum Original (Brooke 1996, zitiert nach Lewis und Sauro 2009) folgende Änderungen vorgenommen: Die Probanden mussten nur acht statt der üblicherweise zehn Fragen beantworten. Zwei der Fragen waren bereits in einer anderen sinngemäß enthalten (Originalfrage 10 in Frage 1.4) oder passten nicht zum vorliegenden System (Originalfrage 5: keine verschiedenen Funktionen vorhanden). Zudem lag die obere Grenze der Bewertungsskala bei 6 und nicht bei 5. Die in Lewis und Sauro (2009) beschriebene Standardauswertung des *SUS* wurde entsprechend modifiziert: Die Punkteeinbringung für positiv formulierte Aussagen berechnete sich aus dem Wert der Bewertungsskala minus 1. Die Einbringung für negativ formulierte Aussagen berechnete sich aus der Konstanten 6 abzüglich des Wertes der Bewertungsskala. Die Punkteeinbringungen der einzelnen Fragen wurden addiert, diese Summe jedoch nicht mehr mit dem Skalierungsfaktor 2.5 multipliziert. Somit ergibt sich eine endgültige Skala von 0 (sehr schlechte Gebrauchstauglichkeit des Systems) bis 40 (sehr gute Gebrauchstauglichkeit des Systems). Eine Übersicht der angepassten Form des *SUS* findet sich im Anhang (Tabelle 19).

7.3.2 Hypothese 2: Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Schritte ist ausreichend.

Alle Nutzer wurden in Bezug auf die vorliegenden Prozeduren als unerfahren angesehen. Es wurde nur ein Assistenzlevel implementiert. Dieses sollte sowohl qualitativ (Informationsgehalt der einzelnen Abbildungen bzw. Audiohinweise) als auch quantitativ (Anzahl der dargestellten Schritte - siehe Abschnitt 5.3.2) so gestaltet werden, dass die beschriebene Nutzergruppe an beiden Stationen die *Lego*-Produkte erfolgreich zusammenbauen konnte. Die Anweisungen wurden kleinschrittig und genau gehalten. Aus diesem Grund wurde erwartet, dass H2 zutrifft. Die Überprüfung von H2 erfolgte mittels der zugeordneten Fragen des Fragebogens sowie dem Messen der Fehlerquote beim Zusammenbau der Produkte.

7.3.3 Hypothese 3: Multimodale Informationen werden bei diesem System als unterstützend empfunden.

Während dem Versuch wurden dem Nutzer über das Headset standardmäßig auditive Hinweise beim Verbindungsprozess („Verbinde mit Station X.“ - Pause - „Verbunden.“) sowie nach Beendigung der Prozedur („Prozedur erfolgreich beendet.“) abgespielt. Zusätzlich konnten sich die Teilnehmer optional Audiohinweise zu den Montageschritten anhören und diese bei Bedarf permanent einschalten.

Zur Verifikation von H3 wurde einerseits der Fragebogen der Teilnehmer herangezogen. Andererseits wurde quantitativ erfasst, wie oft die Teilnehmer die Audioausgabe permanent ein- und aus- beziehungsweise aus- und einschalteten. Weiterhin wurde die Anzahl einzeln abgespielter Audios gezählt.

7.3.4 Hypothese 4: An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.

An Station 2 war es möglich, die Prozedur neben dem Tablet optional über den im Monitor integrierten Touchscreen zu steuern. Die GUI des Tablets synchronisierte sich mit dem Bedienelementen auf dem Touchscreen und umgekehrt. Es stellte sich die Frage, inwieweit die stationär verfügbare Eingabemöglichkeit (Touchscreen) noch zusätzlich zu der GUI des mobilen Assistenzsystems (Tablet) benötigt wird. Dazu wurden einerseits die subjektiven Eindrücke der Teilnehmer mittels Fragebogen (siehe Tabelle 15) und Interview erfasst. Andererseits wurde an Station 2 jeweils die Anzahl an Interaktionen mit dem Touchscreen und dem Tablet quantitativ gemessen.

7.3.5 Hypothese 5: Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.

An den beiden Stationen fanden die Probanden je eine unterschiedliche Geräteperipherie vor. Bei Station 1 erfolgten die Anweisungen über AR-Inhalte durch einen Projektor. An Station 2 wurden die Informationen über einen Monitor mit integriertem Touchscreen gezeigt. An beiden Stationen war die GUI des Tablets permanent verfügbar. Diese adaptierte sich anfangs nach den verfügbaren Stationen (siehe Abschnitt 6.2.1), die graphische Oberfläche zur Steuerung der Prozedur veränderte sich anschließend bis auf den Stationsnamen nicht. Aus diesem Grund wurde erwartet, dass die GUI des Tablets in den wechselnden Geräteperipherien Kontinuität bieten kann. Die Beurteilung von H5 erfolgte durch die ihr zugeordneten Fragen.

7.3.6 Hypothese 6: Zusätzliche, einfache visuelle Signale (LED-Matrix) tragen zur Übersichtlichkeit und zum Verständnis des Systemzustands bei.

Über die LED-Matrix standen dem Nutzer jederzeit Informationen zum aktuellen Verbindungsstatus des mobilen Assistenzsystems mit der Station zur Verfügung (siehe Tabelle 10). Diese waren teils redundant zu den Hinweisen der GUI des Tablets oder den Audiohinweisen. Es wurde überprüft, inwieweit die Teilnehmer auf die zusätzlichen visuellen Signale achteten. Dazu wurden einerseits die Fragebögen (siehe Abbildung 24 und Tabelle 17) und andererseits eine Testfrage („Wie verändert sich die LED-Anzeige bei einer erfolgreichen Verbindung?“) im persönlichen Interview genutzt. Aufgrund der Redundanz konnte erwartet werden, dass die LED-Matrix nicht zwangsläufig beachtet wird.

7.4 Ergebnisse und Auswertung der Studie

7.4.1 Hypothese 1: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.

Diese Erwartungen von H1 - vor allem eine intuitive Nutzung des Systems - konnten mittels der Evaluation bestätigt werden. Bei den zu H1 gestellten Fragen war ein klares Muster mit meist geringer Schwankung der Werte zu erkennen (siehe Abbildung 19 links und Tabelle 12).

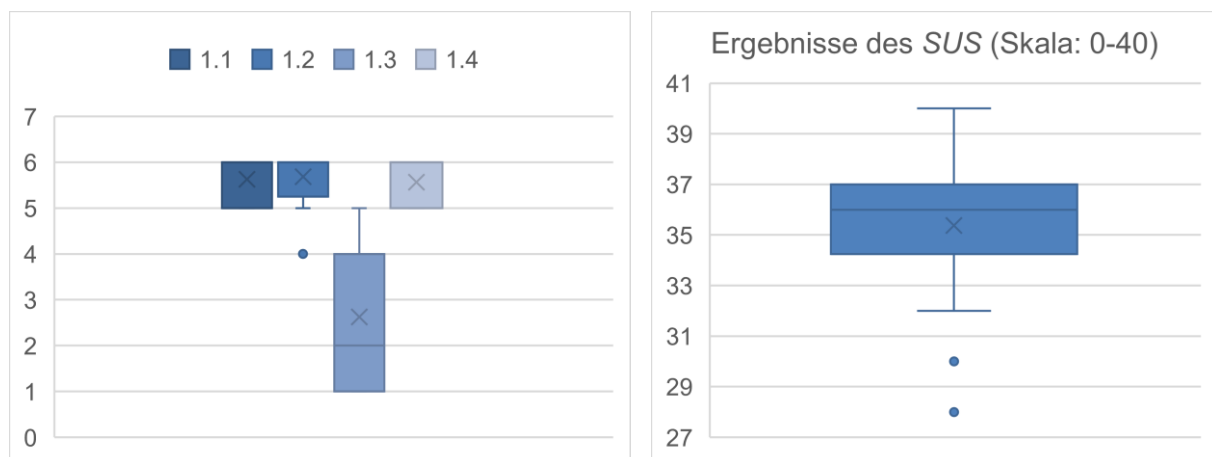


Abbildung 19

links: Auswertung der Fragen zu Hypothese 1; rechts: Ergebnisse des *SUS*

Tabelle 12

Zu Hypothese 1 zugeordnete Fragen (ohne *SUS*)

1.1	Ich fühle mich zuversichtlich, mithilfe des Assistenzsystems auch andere, komplexere Aufgabenstellungen als diese Prozeduren lernen zu können.
1.2	Es hat mir Spaß gemacht, das System zu nutzen.
1.3	Ich wünsche mir mehr Rückmeldung vom System.
1.4	Die Interaktion mit dem Assistenzsystem war intuitiv.

Exemplarisch und inhaltlich nahe an H1 angelehnt war Aussage 1.4: Die Interaktion mit dem Assistenzsystem war intuitiv. Hier bewegten sich sowohl der Mittelwert (5.6) als auch der Median (6) an der oberen Grenze der Punkteskala. Die Standardabweichung betrug 0.5. Die

Ergebnisse des *SUS* stützen ebenso H1 (siehe Abbildung 19 rechts). Ein Mittelwert von 35.4, ein Median von 36.0 sowie eine Standardabweichung von 3.0 sprechen für eine gute Gebrauchstauglichkeit des Systems. Eine Einzelauswertung der Fragen des *SUS* findet sich im Anhang (Abbildung 25).

Die größte Streuung bei den Fragen zu H1 war bei Aussage 1.3 zu beobachten. Der Mittelwert betrug 2.6, der Median 2.0 und die Standardabweichung 1.5. Dieses Ergebnis lässt sich mit den Erkenntnissen aus dem Abschlussinterview erklären. So wünschten sich einige Teilnehmer vor allem im Fall eines fehlerhaft ausgeführten Schrittes ein Echtzeit-Feedback des Systems, beispielsweise einen Warnton. Dies stellt mit Sicherheit eine mögliche Erweiterung des Systems dar.

7.4.2 Hypothese 2: Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Schritte ist ausreichend.

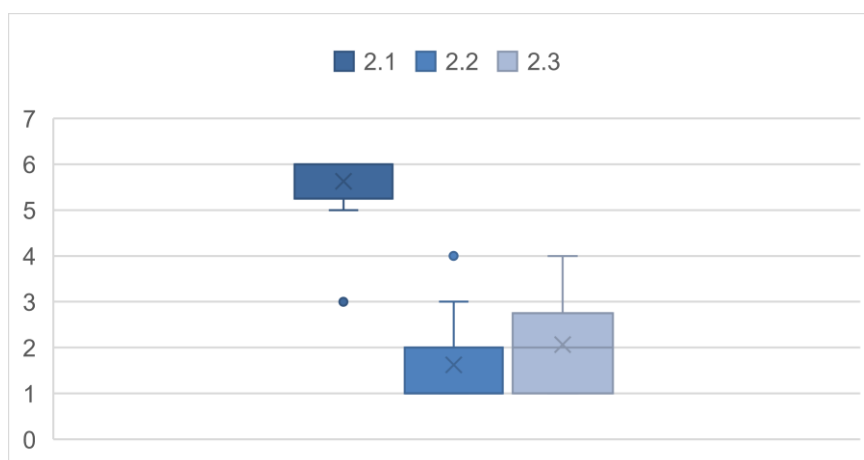


Abbildung 20
Auswertung der Fragen zu Hypothese 2

Tabelle 13

Zu Hypothese 2 zugeordnete Fragen

2.1	Die Anweisungen des Assistenzsystems waren nachvollziehbar.
2.2	Ich hatte teilweise Probleme zu erkennen, was der nächste Schritt ist.
2.3	Ich hätte mir bei einigen Schritten mehr Informationen gewünscht.

Durch die zu H2 zugeordneten Fragen (siehe Tabelle 13) ist ersichtlich, dass die in Abschnitt 7.3.2 formulierten Anforderungen erfüllt wurden. H2 konnte bestätigt werden. Abbildung 20 zeigt deren Auswertung. Daneben konnte das Ziel einer fehlerfreien Montage fast durchgehend erreicht werden, 14 von 16 Teilnehmern beendeten beide Stationen fehlerfrei. Nur bei zwei Probanden kam es zu jeweils einem Fehler bei einem spezifischen Schritt. Bei diesen Schritten kann die Unterstützung noch verfeinert werden.

7.4.3 Hypothese 3: Multimodale Informationen werden bei diesem System als unterstützend empfunden.

Bei den ersten Versuchen, bei denen die Audiohinweise zum Montageprozess initial ausgeschaltet waren (Gruppe 1), zeichnete sich eine seltene Nutzung ab. Aus diesem Grund wurden die Teilnehmer im weiteren Verlauf in eine zweite Gruppe gleicher Größe (8 Teilnehmer) eingeteilt, bei der die Audiohinweise zum Montageprozess initial eingeschaltet waren (Gruppe 2).

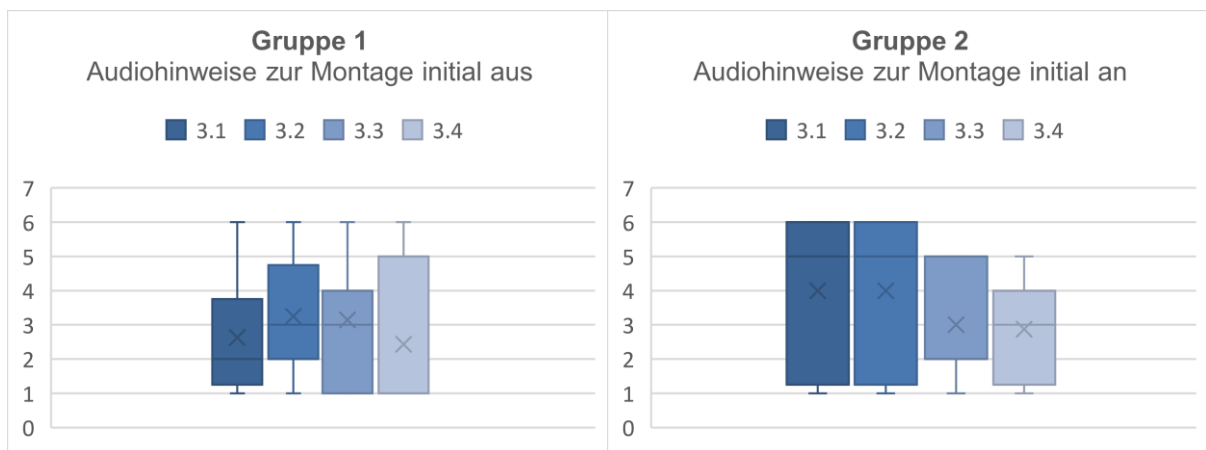


Abbildung 21

Auswertung der Fragen zu Hypothese 3, getrennt nach den zwei Teilnehmergruppen

Tabelle 14

Zu Hypothese 3 zugeordnete Fragen

3.1	Wie oft nutzen Sie die Möglichkeit der Audioausgabe?
3.2	Die Audioausgabe unterstütze mich bei den Vorgängen.
3.3	Die Audioausgabe allein hätte gereicht, um die Prozeduren korrekt durchführen zu können.
3.4	Ohne Audioausgabe wäre das System besser.

Tabelle 14 und Abbildung 21 stellen die zu H3 zugeordneten Fragen und deren Auswertung dar. Insgesamt zeigte sich ein heterogenes Bild. Bezogen auf Aussage 3.1 gab Gruppe 2 an, die Audioausgabe im Mittel (Median 5.0, Mittelwert 4.0) häufiger zu nutzen als Gruppe 1 (Median 2.0, Mittelwert 2.6). Dies ist grundsätzlich konsistent zu der Anpassung der Versuchsbedingungen für Gruppe 2. Zudem werden die subjektiven Angaben im Fragebogen (bezogen auf 3.1) durch die quantitativ ermittelten Werte gestützt: Bei Gruppe 2 ließen 75.0% der Teilnehmer die Audioausgabe letztlich permanent an, bei Gruppe 1 ließen sie dagegen 100.0% letztlich aus. Diese Werte lassen vermuten, dass Gewohnheitsmechanismen die Nutzung der auditiven Hinweise beeinflusst haben könnten. In den Abschlussinterviews konnte diese Vermutung bestätigt werden. Bei Gruppe 2 gaben einige Teilnehmer an, zwar nicht direkt auf die Audios geachtet zu haben, aber gleichzeitig durch sie nicht gestört worden zu sein. Bei Gruppe 1 war erkennbar, dass die Probanden meist keinen Nutzen aus den Audioinhalten ziehen konnten - sofern sie sie testeten - und wieder abstellten oder nicht mehr verwendeten. Die Ergebnisse von Aussage 3.2 korrelierten mit denen von Aussage 3.1.

Die Verteilung der Werte zu den Aussagen 3.3 und 3.4 in beiden Gruppen legt nahe, was auch in den Abschlussinterviews deutlich wurde: Die optionale Nutzung einer weiteren Modalität

hing stark von den persönlichen Vorlieben des jeweiligen Teilnehmers ab. Einige bemängelten den Informationsgehalt der Audios (zu langsam, zu ungreifbar, Komplexität der Montageschritte rein visuell erfassbar), andere dagegen beruhigte das Gehörte als Ergänzung zum Gesehenem. Daneben wurde in Bezug auf die Audiohinweise zum Verbindungsaufbau angemerkt, dass diese Hinweise bereits visuell über das Tablet zu sehen waren. Andererseits wurde dieser Aspekt teilweise positiv hervorgehoben. Aus diesen Gründen wird eine bedarfsgerechte, adaptierbare Audioausgabe, wie sie bei dieser Umsetzung erfolgte, als sinnvoll erachtet. Jeder Nutzer sollte die Assistenz nach seinen individuellen Vorlieben konfigurieren können (siehe auch Tabelle 6 R2).

7.4.4 Hypothese 4: An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.

Abbildung 22 stellt die Ergebnisse zu H4 graphisch dar. Wie aus der Grafik (linke Seite) ersichtlich, genügte den Teilnehmern an Station 1 die Steuerung der Prozedur über das Tablet (4.2). Nur wenige wünschten sich eine weitere Eingabemöglichkeit (4.1).

An Station 2 konnte eine rege Nutzung des Touchscreens beobachtet werden. Dieser wurde weit häufiger verwendet (Median 17.0, Mittelwert 12.0) als das Tablet (Median 3.0, Mittelwert 8.4). Jedoch ist anzumerken, dass es mit einer Standardabweichung von 8.3 (Touchscreen) und 8.7 (Tablet) teils große Schwankungen zwischen den einzelnen Teilnehmern gab. Betrachtet man den relativen Anteil der Eingaben über den Touchscreen liegt der Median bei 86.0%, der Mittelwert bei 59.0% und die Standardabweichung bei 42.0%.

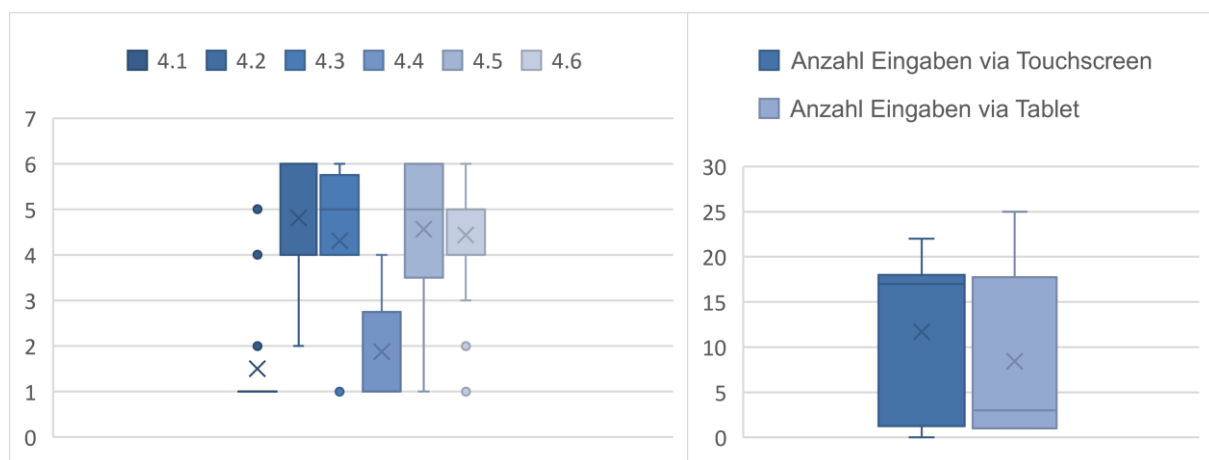


Abbildung 22

Auswertung der Fragen zu Hypothese 4 (links) und Anzahl der Interaktionen an Station 2 (rechts)

Tabelle 15

Zu Hypothese 4 zugeordnete Fragen

4.1	Mir fehlte die Möglichkeit, ein weiteres Eingabegerät zu nutzen. (bezogen auf Station1)
4.2	Das Tablet reicht zur Steuerung der Prozedur aus. (bezogen auf Station 1)
4.3	Die Möglichkeit ein weiteres Eingabegerät (Touch-Display) zu nutzen fand ich interessant.
4.4	Die mögliche Bedienung der Station über den Touch-Display verwirrte mich.
4.5	Das Tablet allein hätte auch zur Bedienung ausgereicht. (bezogen auf Station 2)
4.6	Die Möglichkeit, an den zwei Stationen verschiedene Eingabegeräte zur Steuerung nutzen zu können, fand ich interessant.

Insgesamt ist anhand dieser Ergebnisse bei Station 2 eine Tendenz zur Nutzung des Touchscreens zu erkennen. Anmerkungen aus den Interviews lieferten mögliche Gründe dafür. So empfanden es einige Probanden von Vorteil, dass sich das Bedienelement im Touchscreen im gleichen Sichtfeld wie die Informationen zur Montage selbst befand (siehe auch Abbildung 17). Einzig das ständige Auf- und Abschauen wurde von manchen bemängelt. Hier sind ergonomische Verbesserungsmöglichkeiten zu ergründen. Auf der anderen Seite lässt die Auswertung von Frage 4.5 erkennen, dass die GUI des Tablets auch ohne Erweiterung durch den Touchscreen für die meisten Probanden zur Steuerung von Station 2 ausgereicht hätte (Mittelwert 4.5, Median 5.0, Standardabweichung 1.6).

Alles in allem lässt sich Hypothese 4 weder eindeutig bestätigen noch klar widerlegen. Es zeichnet sich lediglich eine leichte Tendenz zur Nutzung der stationären Eingabegeräte ab, sofern solche verfügbar sind. Der Versuchsaufbau müsste noch um andere Stationen mit weiteren unterschiedlichen stationären Eingabegeräten erweitert werden, um genauere Aussagen treffen zu können.

7.4.5 Hypothese 5: Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.

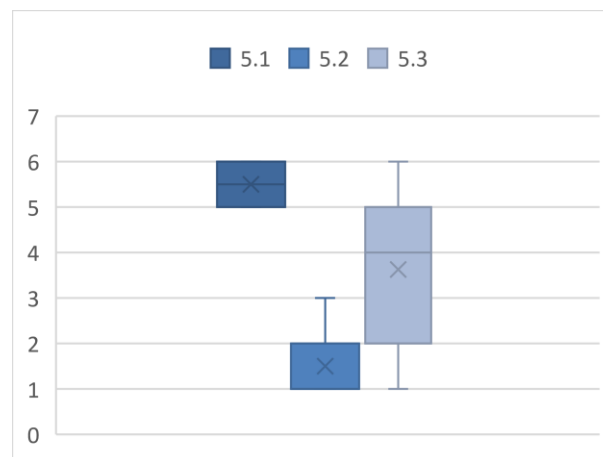


Abbildung 23
Auswertung der Fragen zu Hypothese 5

Tabelle 16

Zu Hypothese 5 zugeordnete Fragen

5.1	Wenn die Steuerung anderer Stationen auch immer über das Tablet möglich wäre, traue ich mir zu, die dortigen Prozeduren durchzuführen.
5.2	Hat Sie der unterschiedliche Stationsaufbau verwirrt?
5.3	Ich würde lieber immer die gleichen technischen Ein- und Ausgabegeräte an jeder Station vorfinden.

In der Tat lässt die Auswertung von Frage 5.1 (siehe Abbildung 23 und Tabelle 16) vermuten, dass H5 zutrifft. Die Antworten der Teilnehmer zeigen klar, dass sie zuversichtlich sind, andere, neue Stationen mit Hilfe des Tablets steuern zu können (Mittelwert 5.5, Median 5.5, Standardabweichung 0.5). Eindrücke aus den Abschlussinterviews lassen daneben erkennen, dass einige der Teilnehmer grundsätzlich mehr Vertrauen in gewohnte Umgebungen haben. Einerseits wird es deshalb als sinnvoll erachtet, die GUI des Tablets zur Steuerung der Prozedur nicht zu verändern. Andererseits wirft dies die Frage auf, inwieweit Veränderungen der Geräteperipherie überhaupt notwendig sind oder gewünscht werden. Frage 5.2 zeigt, dass

hierbei die Meinungen der Probanden stark variieren. In den Abschlussinterviews wurde angeregt, dass bei mehr als zwei Stationen die Anzahl an unterschiedlichen Geräteperipherien nicht zu hoch sein sollte. Ein anderer Proband merkte jedoch an, dass sich nicht jede Darstellungstechnik für jede Prozedur eignen würde. Dies mache einen veränderten Stationsaufbau teils unvermeidbar. Aus Sicht des Autors kann diese Anmerkung für das vorliegende System bestätigt werden. AR-Einblendungen waren für zweidimensionale Prozeduren leichter umsetzbar und anwendbar als für dreidimensionale. Zudem konnten sich mehrere Teilnehmer vorstellen, dass verschiedene Geräteperipherien an sich monotone Montagearbeiten interessanter gestalten könnten. Dies kann unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht detaillierter diskutiert werden. Insgesamt ist zu konstatieren, dass es notwendig sein wird, weitere Fragestellungen zu wechselnden Geräteperipherien näher zu erforschen.

7.4.6 Hypothese 6: Zusätzliche, einfache visuelle Signale (LED-Matrix) tragen zur Übersichtlichkeit und zum Verständnis des Systemzustands bei.

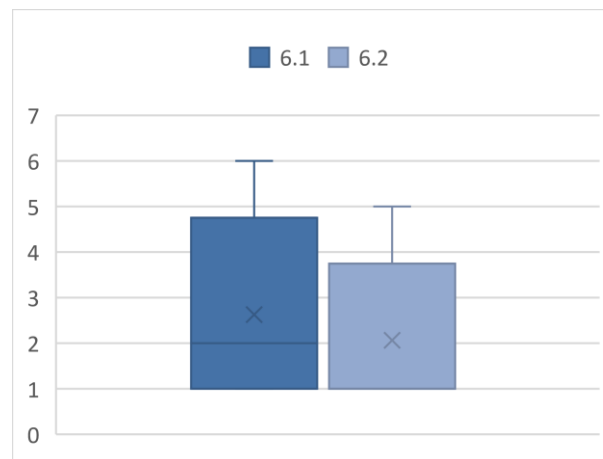


Abbildung 24
Auswertung der Fragen zu Hypothese 6

Tabelle 17

Zu Hypothese 6 zugeordnete Fragen

6.1	Die LED-Matrix hat mir geholfen den Systemzustand nachvollziehen zu können.
6.2	Die Leuchtsignale der LED-Matrix haben mich irritiert und abgelenkt.

Im Fragebogen gaben wenige Probanden an, durch die Leuchtsignale unterstützt worden zu sein (Frage 6.1: Mittelwert: 2.6, Median 2.0). Die Schwankung der Antworten (Standardabweichung 2.0) muss jedoch berücksichtigt werden. Unter Hinzunahme der geführten Abschlussinterviews wurde deutlich, dass einige Teilnehmer die LED-Matrix zur zusätzlichen Kontrolle des Verbindungsaufbaus nutzten. Ein Proband gab an, dass dies vor allem im Fehlerfall, etwa einem Ausfall des Tablets, von Hilfe sein könnte. Die Testfrage wurde zehnmal (entspricht 62.5%) korrekt beantwortet. Anhand von Frage 6.2 lässt sich erkennen, dass sich die Teilnehmer zum Großteil nicht durch die Leuchtanzeige gestört fühlten. All diese Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerung zu: Bei der visuellen Anzeige des Systemstatus über die LED-Matrix handelte es sich um eine nicht absolut notwendige Zusatzfunktion.

7.5 Diskussion und Rückschlüsse auf die Forschungsfragen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Evaluation vor dem Hintergrund der Forschungsfragen diskutiert. Dabei beziehen die Antworten neben den statistischen Werten auch die Erkenntnisse aus den geführten Abschlussinterviews mit ein.

Wie wird der Wechsel zwischen verschiedenen Geräteperipherien vom Nutzer empfunden?

Der Wechsel zwischen verschiedenen Geräteperipherien wird nicht von jedem Nutzer gleich empfunden. Individuelle Charaktereigenschaften, wie etwa der Hang zur Gewohnheit oder Neugierde, spielten bei der Beurteilung eine große Rolle, was oftmals in den Abschlussinterviews deutlich wurde. Jedoch sind Veränderungen der technischen Umgebung manchmal unvermeidbar. In diesem Zusammenhang konnte mit Hilfe der ortsadaptiven Herangehensweise beobachtet werden, dass ein mobiles Assistenzsystem eine gewisse Kontinuität schaffen kann. Zur präziseren Beurteilung dieser Erkenntnis sind allerdings weitere Tests notwendig. Daneben wurde der Gedanke geäußert, dass wechselnde technische Umgebungen an sich monotone Arbeitsfolgen interessanter gestalten könnten. Diese Aussage konnte hier nicht näher verifiziert werden, stellt aus Sicht des Autors aber einen interessanten Forschungsansatz zu wechselnden Geräteperipherien in industriellen Prozeduren dar.

Wie wirkt sich die Kombination aus mobilen und stationären Ein- und Ausgabegeräten auf den Nutzer aus?

Durch die Kombination aus mobilen und stationären Ein- und Ausgabegeräten konnte eine Tendenz zur Nutzung der stationären Geräte beobachtet werden, sofern solche an einer Station verfügbar waren. Um diese Tendenz weiter zu verifizieren, ist ein Ausbau des bisherigen Versuchsaufbaus notwendig. Die technische Umsetzung des Konzepts muss dahingehend erweitert werden, dass noch mehr Stationen mit sich unterscheidenden stationären Ein- und Ausgabegeräten vorhanden sind. Denkbar wäre beispielsweise eine dritte Station mit haptischen Bedienelementen wie einem Joystick.

Wie lassen sich Multimodalität und Adaptivität in ein ortsunabhängiges, mobiles Assistenzsystem integrieren?

Multimodalität und Adaptivität stehen in keinem Gegensatz zum Ansatz eines ortsadaptiven, mobilen Assistenzsystems. Durch permanent mit sich geführte technische Geräte kann man dem Nutzer über mehrere Sinne Informationen zukommen lassen. Beim vorliegenden System handelte es sich dabei um den Hör- sowie den Sehsinn. Doch könnten ebenfalls taktile Reize verwendet werden, etwa Vibrationsfeedback im Fehlerfall. Das mobile Assistenzsystem muss jederzeit Rückmeldung über die mit ihm verbundenen und über die momentan stationär verfügbaren Geräte erhalten. Dadurch ist es ihm möglich, seine Unterstützung sowie die verwendeten Modalitäten anhand dieses Parameters zu adaptieren. Eine solche Adaption ist bereits durch einfache Bluetooth-Signale, die die Geräte aussenden, realisierbar.

7.6 Weiterführende Diskussion

Im letzten Gliederungspunkt dieses Kapitels werden zunächst die wichtigsten Kritikpunkte am implementierten System aus der Studie zusammengefasst. Verbesserungsmöglichkeiten werden aufgezeigt und wenn möglich auf das zugrundeliegende Konzept übertragen. Abschließend soll das Potential der ortsadaptiven Assistenz noch einmal verdeutlicht werden.

Einer der am häufigsten genannten Kritikpunkte der Studienteilnehmer war die fehlende Erkennung der aktuell ausgeführten Aktion durch das System. Zwar wurden fast keine Fehler beim Zusammenbau der Produkte gemacht, jedoch wurde oftmals ein Feedback im Fall der korrekten Ausführung des Schrittes als Verbesserungsmöglichkeit angegeben. Zur Bestätigung würden sich zum Beispiel kurze, prägnante Signaltöne anbieten. Zum Erkennen des aktuell ausgeführten Schrittes ist eine intelligente Bilderkennungssoftware notwendig. In welchem Umfang solche Software bereits existiert, kann in dieser Arbeit nicht beurteilt werden. Eine entsprechende Anpassung des Konzeptes wäre vorzunehmen und mehr Informationen zum aktuellen Zustand wären zu berücksichtigen. Weiterhin ist im Rahmen der Evaluation aufgefallen, dass der Großteil der Probanden Station 1 als intuitiver empfunden hat. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen der Literaturrecherche (siehe Kapitel 3), nach denen sich AR-Technologien im Bereich moderner Assistenzsysteme zur Standardtechnologie entwickeln (siehe Abschnitt 3.2.5). Nach den durchgeführten Versuchen kann der Autor die positiven Aspekte dieser Entwicklung bestätigen.

Das Konzept der ortsadaptiven Assistenz bietet viele Möglichkeiten, wovon einige im Verlauf der bisherigen Arbeit bereits angesprochen wurden. Unter der Voraussetzung eines zentralen Firmen- oder Fabriknetzwerks ist es nicht mehr notwendig, den genauen Aufenthaltsort des jeweiligen Mitarbeiters zu kennen, um ihm Informationen zukommen zu lassen. Dies kann in zweierlei Hinsicht von Bedeutung sein. Einerseits ist die zu Anfang der Arbeit (siehe Kapitel 2) beschriebene zunehmende Produktindividualisierung zu nennen. Im Rahmen dieser wird die Variantenvielfalt einzelner Produkte gesteigert. Die Produktion samt ihren Mitarbeitern muss in der Lage sein, sich an diese anzupassen. Durch ein ortsadaptives Konzept können über das Netzwerk neue Konfigurationen direkt an das mobile Assistenzsystem der Mitarbeiter kommuniziert werden. Flexible Änderungen sind jederzeit möglich. Andererseits kann dieser Umstand für Fernwartungsanweisungen genutzt werden. Statt an den Ort werden die Anweisungen des Experten an das mobile Assistenzsystem gesendet. Dieses kann die Darstellung der Inhalte auf eventuell vorhandene stationäre Ausgabegeräte erweitern. Eine bestmögliche Unterstützung des Menschen an jedem Ort wird somit gefördert.

Die bestmögliche Unterstützung des Menschen soll noch einmal besonders hervorgehoben werden. Durch mobile Assistenzsysteme kann an jeder Station beziehungsweise bei jeder Prozedur die richtige Wahl der Unterstützung automatisch gewährleistet werden. Nutzerprofile und individuelle Vorlieben können gespeichert werden, sodass der Mitarbeiter bei neuen Aufgaben nicht zuerst die MMS nach seinen Bedürfnissen konfigurieren muss. Diese Arbeit übernimmt das intelligente mobile Assistenzsystem, damit er sich direkt auf seine Aufgabe konzentrieren kann. Der Grundsatz der nutzerorientierten Systementwicklung (siehe Abschnitt 2.3.4) wird durch ortsadaptive, mobile und intelligente Assistenzsysteme unterstützt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Verlauf der Arbeit wurde zunächst aufgezeigt, welche Faktoren die ständigen Entwicklungen rund um Industrie 4.0 beeinflussen. Der Mensch ist dabei Teil dieser Veränderungen und sieht sich deren Effekten gegenübergestellt: Eine wachsende Funktionenvielfalt bei den Maschinen, die zunehmende Anpassung der Produktionsstruktur an Kundenwünsche und eine insgesamt steigende Komplexität industrieller Prozeduren. Um die Mitarbeiter im modernen industriellen Umfeld zu unterstützen, werden intelligente Assistenzsysteme benötigt. Diese bauen auf den Prinzipien von Multimodalität und Adaptivität auf. Dadurch sollen sowohl menschliche (individuelle Vorlieben, Fähigkeiten, Erfahrungen) als auch sachbezogene Parameter (Geräteperipherien, Umgebungsbedingungen) bei der Konfiguration der Assistenz mitberücksichtigt werden.

Diese Arbeit fokussierte sich auf den Aspekt der mobilen, ortsbasierten Assistenz. Es konnte gezeigt werden, dass bisherige Unterstützungssysteme zum Großteil ortsgebunden agieren. Aus diesem Grund zielte das Konzept des Autors auf eine ortsadaptive Unterstützung ab, die den Nutzer stets begleitet und sich der Umgebung anpasst. Dies soll aus technischer Sicht jederzeit an jedem Ort eine optimale Assistenz gewährleisten. Vor diesem Hintergrund wurden mittels einer Umsetzung des Konzeptes samt anschließender Evaluation Fragestellungen untersucht, die sich durch die Verwendung eines mobilen Assistenzsystems ergeben.

Die Antworten auf diese Fragen waren nicht immer eindeutig. Letztlich wurde deutlich, dass es teils große individuelle Unterschiede bei der Beurteilung gebrauchstauglicher Aspekte gab. Nach Erachten des Autors unterstreicht jedoch gerade diese Erkenntnis die Notwendigkeit, Assistenzsysteme weiterhin adaptiv zu gestalten, um auf vorliegende persönliche Neigungen im Interesse der Nutzer bestmöglich eingehen zu können.

Die Erprobung und Konzeptionierung moderner intelligenter Assistenzsysteme und Mensch-Maschine-Schnittstellen stellt aus Sicht des Autors ein Themenfeld dar, dessen Potential noch nicht vollkommen ausgeschöpft ist und dessen Möglichkeiten bisher nicht vollends ergründet sind. Dabei ist eine zunehmende Komplexität technischer Produkte keineswegs nur im industriellen Kontext zu beobachten. Technische Neuerungen stellen ebenso im Alltag die Menschen immer wieder vor Herausforderungen. Doch ist nicht jeder dazu in der Lage mit dem Tempo des Fortschritts mitzuhalten. Diesen Umstand sollte man sich gerade als Entwickler bei jeder Innovation immer wieder vor Augen halten und ihn nicht in Vergessenheit geraten lassen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Illustration des Konzeptes; aus D’Addona et al. (2018).....	13
Abbildung 2 Illustration des Konzeptes von Villani et al. (2017); nach Villani et al. (2017)	14
Abbildung 3 Prototyp von John, Rigo und Barbosa (2016); aus John et al. (2016)	16
Abbildung 4 „The Warning Glove“; aus Schmunzsch und Feldhaus (2013)	18
Abbildung 5 Übersicht über die Vorgehensweise von Neges et al. (2015); aus Neges et al. (2015).....	19
Abbildung 6 Einsatz von AR-Technologie für die Reparatur und Wartung von Panzerfahrzeugen; aus Henderson und Feiner (2011)	19
Abbildung 7 AR-Einblendungen mittels Smartphone;aus Garza et al. (2013)	20
Abbildung 8 Erleichtertes Erkennen der korrekten Komponente durch eine unskalierte Darstellungsweise via AR; aus Hou, Wang, Bernold und Love (2013)	21
Abbildung 9 Nutzung einer grafischen Oberfläche beim intelligenten Werkstattwagen; aus Aehnelt und Müller (2016)	22
Abbildung 10 Leistung in Abhängigkeit der emotionalen Erregtheit; aus Diamond, Campbell, Park, Halonen und Zoladz (2007).....	24
Abbildung 11 Darstellung des Konzeptes	30
Abbildung 12 Festlegung des Assistenzlevels	32
Abbildung 13 Zuordnung der Anzahl und Ebene der Teilschritte einer Prozedur zu den Assistenzleveln	32
Abbildung 14 Schematische Übersicht der Umsetzung	37
Abbildung 15 Steuerung der Prozedur über die GUI des Tablets	38
Abbildung 16 Station 1 (Zusammenfügen eines Logos) inklusive des mobilen Assistenzsystems (rechte Bildseite).....	39
Abbildung 17 Graphische (Bedien-)Oberfläche an Station 2.....	40
Abbildung 18 Zusammenspiel der Komponenten anhand eines schematischen Ablaufs im Anwendungsfall.....	41
Abbildung 19 links: Auswertung der Fragen zu Hypothese 1; rechts: Ergebnisse des <i>SUS</i> ..	47
Abbildung 20 Auswertung der Fragen zu Hypothese 2.....	48
Abbildung 21 Auswertung der Fragen zu Hypothese 3, getrennt nach den zwei Teilnehmergruppen.....	49
Abbildung 22 Auswertung der Fragen zu Hypothese 4 (links) und Anzahl der Interaktionen an Station 2 (rechts)	50
Abbildung 23 Auswertung der Fragen zu Hypothese 5.....	51
Abbildung 24 Auswertung der Fragen zu Hypothese 6.....	52
Abbildung 25 Einzelauswertung der Fragen des <i>SUS</i>	67

Abbildung 26 Programmierprinzip anhand eines exemplarischen Ausschnitts des
 Programmablaufs68

Abbildung 27 Adaption der GUI des Tablets anhand der verfügbaren Stationen68

Abbildung 28 AIS-Logo.....68

Abbildung 29 *Lego*-Fahrzeug68

Abbildung 30 Station 2 (Montage eines Fahrzeugs)68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kategorisierung von Arbeitspersonen; nach Schlick et al. (2018).....	5
Tabelle 2 Diskrepanzen zwischen Arbeitern und technischem System in modernen Automatisierungsanlagen; nach D'Addona et al. (2018)	6
Tabelle 3 Übersicht über die verschiedenen Modalitäten; aus Schenk und Rigoll (2010) nach Geiser (1990).....	8
Tabelle 4 Arten der Verwendung multipler Modalitäten; nach Coutaz et al. (1995) und Möller (2017).....	8
Tabelle 5 Faktoren zur Identifikation des Kontexts in Bezug auf die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit; nach Maguire (2001).....	10
Tabelle 6 Anforderungen an multimodale adaptive Assistenzsysteme; nach Gabbanini et al. (2012).....	10
Tabelle 7 Verschiedene Stufen der Automation; nach D'Addona et al. (2018) angelehnt an Endsley und Kiris (1995)	12
Tabelle 8 Grundlegende Merkmale multimodaler Systeme; nach Coutaz et al. (1995) und Rodriguez & Moissinac (2015)	26
Tabelle 9 Übersicht der bei der Adaption berücksichtigten Parameter.....	29
Tabelle 10 Übersicht über die möglichen Systemzustände und deren Visualisierung durch die LED-Matrix.....	39
Tabelle 11 Übersicht über die aufgestellten Hypothesen.....	45
Tabelle 12 Zu Hypothese 1 zugeordnete Fragen (ohne SUS)	47
Tabelle 13 Zu Hypothese 2 zugeordnete Fragen.....	48
Tabelle 14 Zu Hypothese 3 zugeordnete Fragen.....	49
Tabelle 15 Zu Hypothese 4 zugeordnete Fragen.....	50
Tabelle 16 Zu Hypothese 5 zugeordnete Fragen.....	51
Tabelle 17 Zu Hypothese 6 zugeordnete Fragen.....	52
Tabelle 18 Klassifikation der beschriebenen Systeme.....	66
Tabelle 19 Angepasste Form des <i>SUS</i>	67

Literaturverzeichnis

- Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M. & Steggles, P. (1999). Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In G. Goos, J. Hartmanis, J. van Leeuwen & H.-W. Gellersen (Hrsg.), *Handheld and Ubiquitous Computing* (Lecture notes in computer science, Bd. 1707, S. 304–307). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Abramovici, M., Wolf, M. & Neges, M. (2017). Graph-Based Model for Context-Aware Maintenance Assistance with Augmented Reality and 3D Visualization. In L. Redding, R. Roy & A. Shaw (Hrsg.), *Advances in Through-life Engineering Services* (Decision Engineering, Bd. 5, S. 367–386). Cham: Springer International Publishing.
- Aehnelt, M. & Müller, A. (2016). Werker der Zukunft: Assistenz im Zeitalter von Industrie 4.0.
- Akpolat, C., Sahinel, D., Sivrikaya, F., Lehmann, G. & Albayrak, S. (2017). CHARIOT: An IoT Middleware for the Integration of Heterogeneous Entities in a Smart Urban Factory. In *Position Papers of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (Annals of Computer Science and Information Systems, S. 135–142). Piscataway, NJ: PTI; IEEE.
- Aleksy, M., Rissanen, M. J., Maczey, S. & Dix, M. (2011). Wearable Computing in Industrial Service Applications. *Procedia Computer Science*, 5, 394–400.
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*.
- Asque, C. T., Day, A. M. & Laycock, S. D. (2014). Augmenting graphical user interfaces with haptic assistance for motion-impaired operators. *International Journal of Human-Computer Studies*, 72, 689–703.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 355–385.
- Biondi, F., Strayer, D. L., Rossi, R., Gastaldi, M. & Mulatti, C. (2017). Advanced driver assistance systems: Using multimodal redundant warnings to enhance road safety. *Applied ergonomics*, 58, 238–244.
- Blumendorf, M. & Albayrak, S. (2009). Towards a Framework for the Development of Adaptive Multimodal User Interfaces for Ambient Assisted Living Environments. In C. Stephanidis (Hrsg.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments* (Lecture notes in computer science, Bd. 5615, S. 150–159). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Boverie, S., Cour, M. & Le Gall, J. Y. (2011). Adapted Human Machine Interaction concept for Driver Assistance Systems DrivEasy, 44, 2242–2247.
- Brooke, J. (1996). SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. In P. W. Jordan, B. Thomas & B. A. Weerdmeester (Hrsg.), *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor & Francis.
- Coutaz, J., Nigay, L., Salber, D., Blandford, A., May, J. & Young, R. M. (1995). Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The Care Properties. In Nordby, Helmersen et al. (Hg.) 1995 – *Human-Computer Interaction* (S. 115–120).

- Czerniak, J. N., Brandl, C. & Mertens, A. (2017). Designing human-machine interaction concepts for machine tool controls regarding ergonomic requirements. *IFAC-PapersOnLine*, 50, 1378–1383.
- D'Addona, D. M., Bracco, F., Bettoni, A., Nishino, N., Carpanzano, E. & Bruzzone, A. A. (2018). Adaptive automation and human factors in manufacturing: An experimental assessment for a cognitive approach. *CIRP Annals*, 67, 455–458.
- Diamond, D. M., Campbell, A. M., Park, C. R., Halonen, J. & Zoladz, P. R. (2007). The temporal dynamics model of emotional memory processing: a synthesis on the neurobiological basis of stress-induced amnesia, flashbulb and traumatic memories, and the Yerkes-Dodson law. *Neural plasticity*, 2007.
- DIN SPEC 91280:2012-09.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., Jung, B. & Grimm, P. F. (Hrsg.). (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (eXamen.press). Berlin: Springer Vieweg.
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human factors*, 37(2), 381 - 394.
- Gabbanini, F., Burzagli, L. & Emiliani, P. L. (2012). An innovative framework to support multimodal interaction with Smart Environments. *Expert Systems with Applications*, 39, 2239–2246.
- Gaouar, L., Benamar, A., Le Goer, O. & Biennier, F. (2018). HCIDL: Human-computer interface description language for multi-target, multimodal, plastic user interfaces. *Future Computing and Informatics Journal*, 3, 110–130.
- Garza, L. E., Pantoja, G., Ramírez, P., Ramírez, H., Rodríguez, N., González, E. et al. (2013). Augmented Reality Application for the Maintenance of a Flapper Valve of a Fuller-kynion Type M Pump. *Procedia Computer Science*, 25, 154–160.
- Geiser, G. (1990). *Mensch-Maschine-Kommunikation*. München: Oldenbourg.
- Henderson, S. & Feiner, S. (2011). Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17, 1355–1368.
- Hou, L., Wang, X., Bernold, L. & Love, P. E. D. (2013). Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27, 439–451.
- Jasperneite, J. & Niggemann, O. (2012). Intelligente Assistenzsysteme zur Beherrschung der Systemkomplexität in der Automation. *atp edition*.
- John, E. S., Rigo, S. J. & Barbosa, J. (2016). Assistive Robotics: Adaptive Multimodal Interaction Improving People with Communication Disorders. *IFAC-PapersOnLine*, 49, 175–180.
- Krogsaeter, M. & Thomas, C. G. (1994). Adaptivity: system-initiated individualization. In R. Oppermann (Ed.), *Adaptive User Support. Ergonomic Design of Manually and Automatically Adaptable Software* (Computers, Cognition, and Work, 1st ed., pp. 67–96). Mahwah: CRC Press.
- Krüger, J., Wang, L., Verl, A., Bauernhansl, T., Carpanzano, E., Makris, S. et al. (2017). Innovative control of assembly systems and lines. *CIRP Annals*, 66, 707–730.

- Lewis, J. R. & Sauro, J. (2009). The Factor Structure of the System Usability Scale. In M. Kurosu (Hrsg.), *Human centered design. First international conference, HCD 2009, held as part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009 proceedings* (Lecture notes in computer science, Bd. 5619, S. 94–103). Berlin: Springer.
- Loch, F., Magerstedt, S. & Vogel-Heuser, B. Nutzerspezifische Assistenz in manuellen Prozeduren mit Hilfe von Sprachinteraktion. In *VDI-Kongress Automation 2018* (S. 811–820).
- Loch, F., Quint, F. & Brishtel, I. (2016). Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly. In *2016 12th International Conference on Intelligent Environments* (S. 147–150).
- Loch, F., Ziegler, U. & Vogel-Heuser, B. (2018). Integrating Haptic Interaction into a Virtual Training System for Manual Procedures in Factory Environments. In *16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)* (S. 60–65).
- Maguire, M. (2001). Context of Use within usability activities. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55, 453–483.
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M. et al. (2017). Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. *Procedia Manufacturing*, 11, 1296–1302.
- Möller, S. (2017). *Quality Engineering. Qualität kommunikationstechnischer Systeme* (2. Auflage). Berlin: Springer.
- Neges, M., Wolf, M. & Abramovici, M. (2015). Secure Access Augmented Reality Solution for Mobile Maintenance Support Utilizing Condition-Oriented Work Instructions. *Procedia CIRP*, 38, 58–62.
- Nguyen, T. D., McFarland, R., Kleinsorge, M., Krüger, J. & Seliger, G. (2015). Adaptive Qualification and Assistance Modules for Manual Assembly Workplaces. *Procedia CIRP*, 26, 115–120.
- Nieto Lee, A. N., Evchina, Y., Dvoryanchikova, A. & Martinez Lastra, J. L. (2013). Pro-active Content Managing System for Efficient Human Machine Interaction in Data Intensive Environments. In *2013 IEEE 11th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 29 - 31 July 2013, Bochum, Germany*. Piscataway, NJ: IEEE. Verfügbar unter <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6599026>
- Nieto Lee, A. N. & Martinez Lastra, J. L. (2013). Enhancement of industrial monitoring systems by utilizing context awareness. In *2013 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support // 2013 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA). 25 - 28 Feb. 2013, San Diego, California, USA*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Pacaux-Lemoine, M.-P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G. & Millot, P. (2017). Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 581–595.
- Pantförder, D., Schaupp, J. & Vogel-Heuser, B. (2017). Making Implicit Knowledge Explicit – Acquisition of Plant Staff's Mental Models as a Basis for Developing a Decision Support System. In C. Stephanidis (Hrsg.), *HCI International 2017 – Posters' Extended Abstracts* (Communications in Computer and Information Science, Bd. 713, S. 358–365). Cham: Springer International Publishing.

- Papageorgiou, X. S., Tzafestas, C. S., Maragos, P., Pavlakos, G., Chalvatzaki, G., Moustiris, G. et al. (2014). Advances in Intelligent Mobility Assistance Robot Integrating Multimodal Sensory Processing. In S. Constantine & A. Margherita (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Aging and Assistive Environments. 8th International Conference, UAHCI 2014, Proceedings, Part III* (pp. 692–703). Cham: Springer International Publishing.
- Quint, F., Kreutel, J., Loch, F., Volkmer, M. & Pollmans, P. (2015). A System Architecture for Knowledge Exchange in the Industrial Domain. In A. Weisbecker, A. Schmidt & M. Burmester (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015 – Workshopband* (S. 189–196). s.l.: De Gruyter.
- Ras, E., Wild, F., Stahl, C. & Baudet, A. (2017). Bridging the Skills Gap of Workers in Industry 4.0 by Human Performance Augmentation Tools. In *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (S. 428–432). ACM.
- Rodriguez, B. H. & Moissinac, J.-C. (2015). Discovery and registration of components in multimodal systems distributed on the IoT.
- Rodriguez, C., Perez, J., Rivera, P. & Marinero, J. (2012). Using Psychophysiological Feedback to Enhance Physical Human Robot Interaction in a Cooperative Scenario. In *4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob), 2012. 24 - 27 June 2012, Rome, Italy ; [including] the first edition of the Symposium on Surgical Robotics ; part of the Bioengineering Week (June 20 - 29, 2012)*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Røssvoll, T. H. (2013). The European MobileSage Project – Situated Adaptive Guidance for the Mobile Elderly. Overview, status, and preliminary results. In L. Miller (Ed.), *The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions // ACHI 2013. The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions : February 24-March 1, 2013, Nice, France*. Wilmington, DE, USA: IARIA.
- Roth, A. (Hrsg.). (2016). *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sabattini, L., Villani, V., Czerniak, J. N., Mertens, A. & Fantuzzi, C. (2017). Methodological approach for the design of a complex inclusive human-machine system. In *2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (S. 145–150). IEEE.
- Schenk, J. & Rigoll, G. (2010). *Mensch-Maschine-Kommunikation. Grundlagen von sprach- und bildbasierten Benutzerschnittstellen*. Heidelberg: Springer.
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Auflage). Berlin: Springer Vieweg.
- Schmuntzsch, U. & Feldhaus, L. H. (2013). The Warning Glove: Wearable Computing Technology for Maintenance Assistance in IPS. *IFAC Proceedings Volumes*, 46, 70–75.
- Simonetti, D., Zollo, L., Papaleo, E., Carpino, G. & Guglielmelli, E. (2016). Multimodal adaptive interfaces for 3D robot-mediated upper limb neuro-rehabilitation: An overview of bio-cooperative systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 85, 62–72.
- Simons, S., Abé, P. & Naser, S. (2017). Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing*, 9, 81–88.

- Spillner, R. (2015). *Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion* (Forschungsberichte IWB, Bd. 296). Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2014. München: Utz Herbert.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2015). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden.
- Villani, V., Sabattini, L., Czerniak, J. N., Mertens, A., Vogel-Heuser, B. & Fantuzzi, C. (2017). Towards Modern Inclusive Factories: A Methodology for the Development of Smart Adaptive Human-Machine Interfaces. In *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Vitolina, I. (2015). E-inclusion Modeling for Blended e-learning Course. *Procedia Computer Science*, 65, 744–753.
- Wandke, H. (2005). Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6, 129–155.
- Weidner, R., Redlich, T. & Wulfsberg, J. P. (Hrsg.). (2015). *Technische Unterstützungssysteme* (Bd. 2015). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Wogalter, M. S. (Ed.). (2006). *Handbook of Warnings* (Human Factors and Ergonomics Ser). Boca Raton: Chapman and Hall/CRC.
- Yan, F., Eilers, M., Luedtke, A. & Baumann, M. (2017). Building Driver's Trust in Lane Change Assistance Systems by Adapting to Driver's Uncertainty States. June 11-14, 2017, Redondo Beach, California, USA. In *28th IEEE Intelligent Vehicles Symposium. June 11-14, 2017, Redondo Beach, California, USA*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Zanotto, D., Rosati, G., Spagnol, S., Stegall, P. & Agrawal, S. K. (2013). Effects of complementary auditory feedback in robot-assisted lower extremity motor adaptation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21, 775–786.
- Zühlke, D. (2012). *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. Useware-Engineering für technische Systeme*. Dordrecht: Springer.

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Garching, den 06. Dezember 2018

Anhang

Tabellen und Abbildungen

Legende zu Tabelle 18 (nachfolgende Seite)

Abkürzungen und Erläuterungen

- GW - Gesundheitswesen, FA - Fahrerassistenz, WAR - Wartung, MON - Montage
- *ad.* - adaptiv (Anm.: Bis auf [15] erfolgte die Adaption systeminitiiert.)
- *ia.* - interaktiv
 - ➔ beidseitige Interaktion zwischen Nutzer und System möglich oder notwendig
- *mm.* - multimodal
- Basis der Adaption: Grundlage (Umstand), auf Basis derer die Adaption erfolgt
- Gegenstand der Adaption: Parameter, der adaptiert wird
- AR - Augmented Reality

Literatur

- [1] John, Rigo und Barbosa (2016)
- [2] Asque, Day und Laycock (2014)
- [3] Papageorgiou et al. (2014)
- [4] Simonetti, Zollo, Papaleo, Carpino und Guglielmelli (2016)
- [5] Biondi, Strayer, Rossi, Gastaldi und Mulatti (2017)
- [6] Boverie, Cour und Le Gall (2011)
- [7] Yan, Eilers, Luedtke und Baumann (2017)
- [8] Schmunzsch und Feldhaus (2013)
- [9] Neges, Wolf und Abramovici (2015)
- [10] Henderson und Feiner (2011)
- [11] Garza et al. (2013)
- [12] Nguyen, McFarland, Kleinsorge, Krüger und Seliger (2015)
- [13] Nguyen et al. (2015)
- [14] Quint, Kreutel, Loch, Volkmer und Pollmans (2015)
- [15] Hou, Wang, Bernold und Love (2013)
- [16] Loch, Quint und Brishtel (2016)
- [17] Aehnelt und Müller (2016)

<i>ad.</i>		<i>ia. mm.</i>		
Basis der Adaption	Gegenstand der Adaption	Ziel der Adaption	verwendete Modalitäten	verwendete Technologien
GW				
✓	Nutzerprofil	verbesserte Kommunikation	✓	Tablet, Lautsprecher, Mikrofon
✗			✓	visuell, auditiv, taktil
✓	Sensordaten	Art der physischen Unterstützung	✗	visuell, haptisch
✓	Nutzerzustand	Komplexität und Bewegungswiderstand	✓	visuell, auditiv, haptisch
			✓	multimodale Sensorik
			✓	Roboterarm, Elektroden
FA				
✗			✗	Lautsprecher
✓	Verkehrssituation	Art und Menge der Informationsdarstellung	✓	auditiv, taktil
✓	Fahrerzustand, Verkehrssituation	Beurteilung der Sicherheit eines Spurwechsels	✓	visuell, auditiv, haptisch, taktil
			✗	Display, Lautsprecher
			✗	Lautsprecher
WAR				
✗			✗	LEDs, Vibrationselemente
✓	Systemzustand	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✓	AR
✓	Systemzustand	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✓	AR
✓	Systemzustand	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✓	AR
			✗	AR
MON				
✓	Arbeitsschritt	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✗	Kamera, Display
✓	Körperposition	Höhe des Arbeitstisches	✗	Kamera
✓	Nutzer, Ort	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✓	Tablet, Lautsprecher, Mikrofon
✓	Arbeitsschritt	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✗	AR
✓	Fehlerrate	Menge der Hinweise	✓	AR, reale Werkzeuge
✓	Arbeitsschritt	Inhalt der Arbeitsanweisungen	✓	Tablet-PC

Tabelle 18

Klassifikation der beschriebenen Systeme

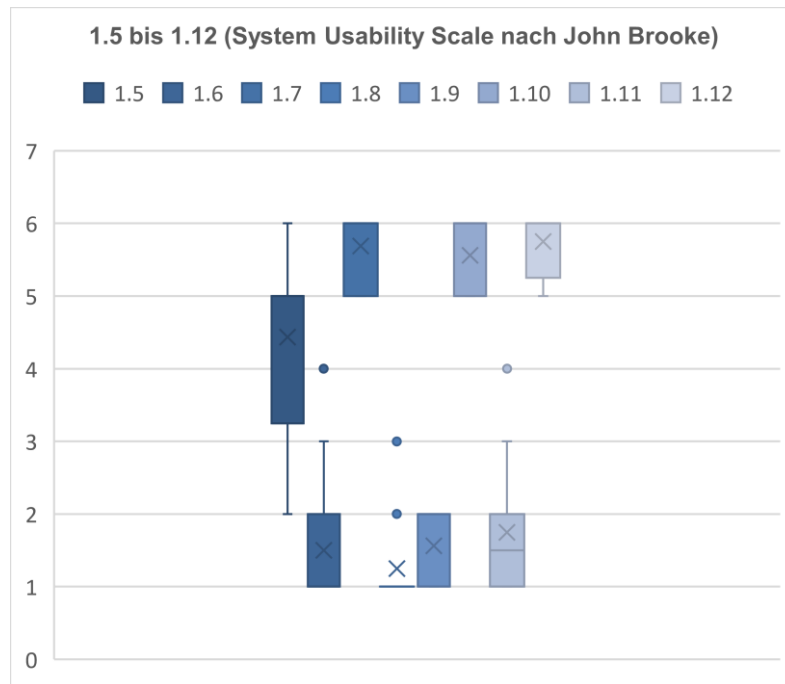


Abbildung 25
Einzelauswertung der Fragen des SUS

Tabelle 19
Angepasste Form des SUS

Nr.	nach: Brooke 1996 (zitiert nach Lewis und Sauro 2009)	Formulierung der Aussage
1.5	Ich würde dieses System gerne häufig benutzen.	positiv
1.6	Ich fand das System unnötig komplex.	negativ
1.7	Ich fand, das System war leicht zu nutzen.	positiv
1.8	Ich würde die Unterstützung einer technisch versierten Person benötigen, um das System nutzen zu können.	negativ
1.9	Es gab zu viel Inkonsistenz in diesem System.	negativ
1.10	Die meisten Leute würden sehr schnell lernen mit diesem System umzugehen.	positiv
1.11	Es war sehr mühsam, das System zu nutzen.	negativ
1.12	Ich fühlte mich sehr sicher darin, das System zu nutzen.	positiv

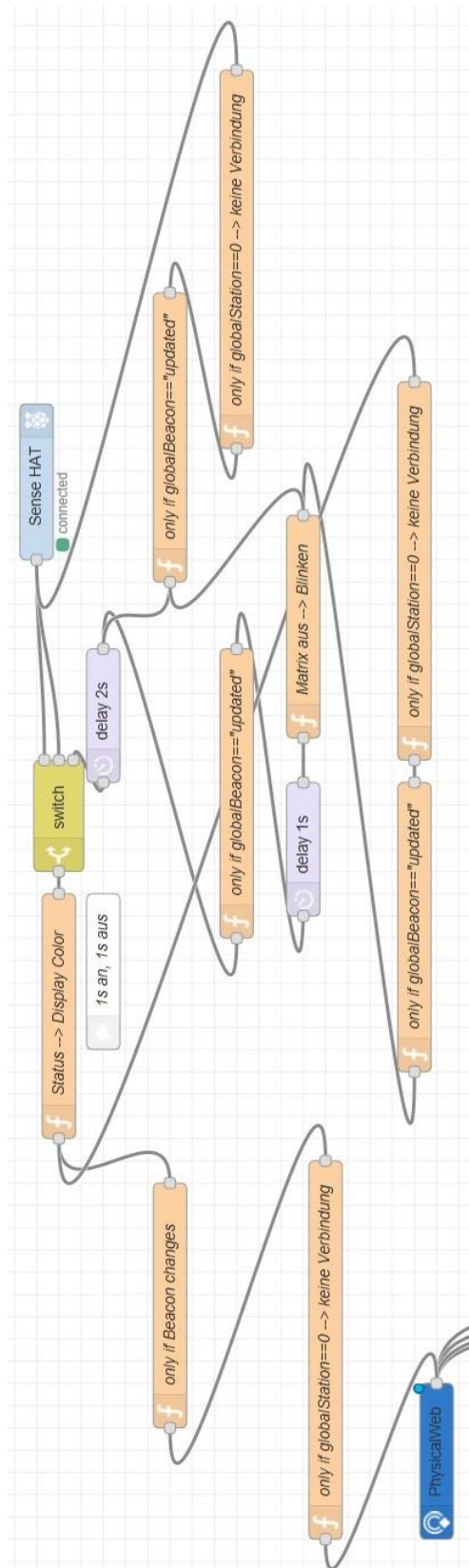


Abbildung 26

Programmierprinzip anhand eines exemplarischen Ausschnitts des Programmablaufs

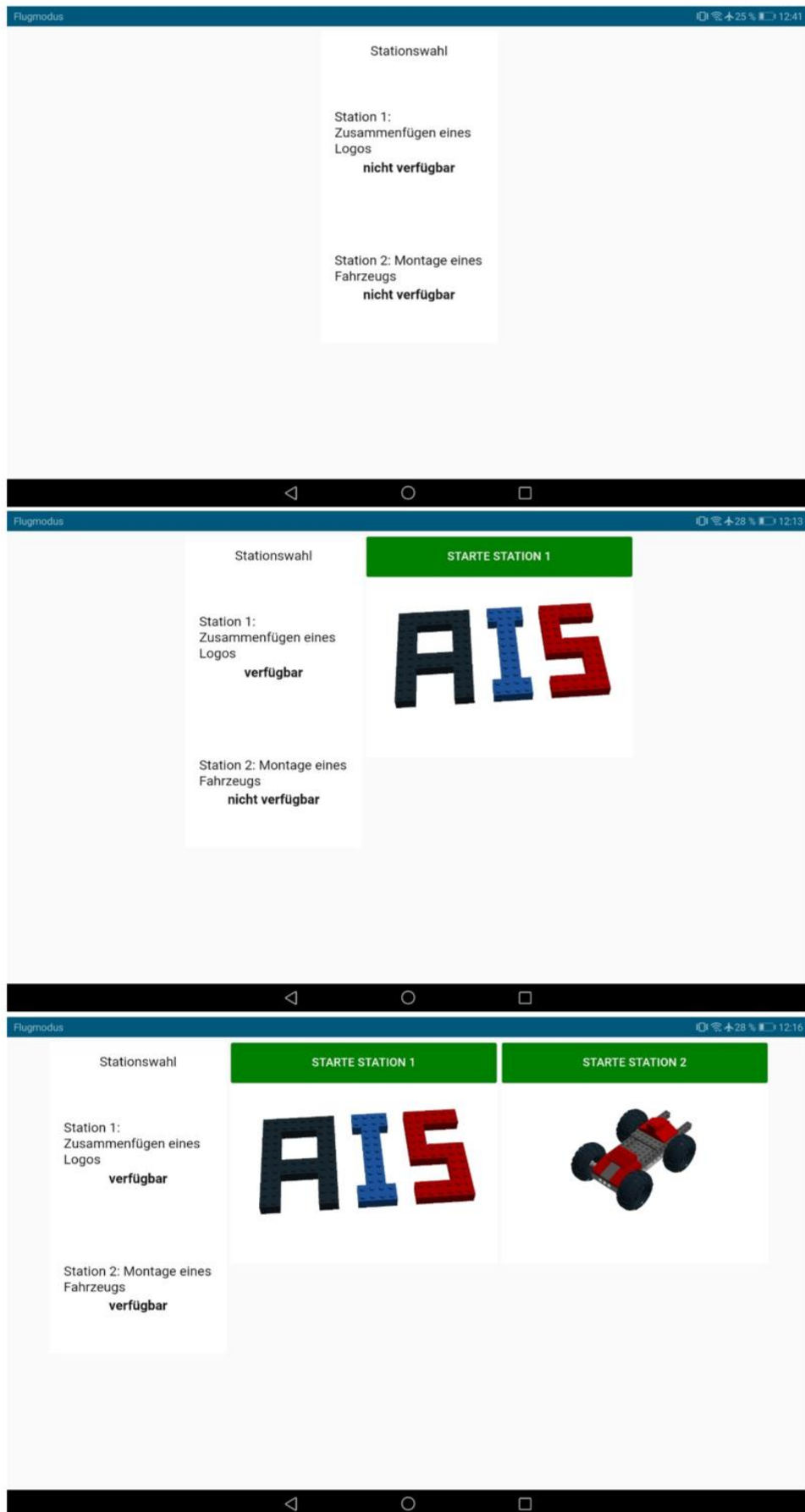


Abbildung 27
Adaption der GUI des Tablets anhand der verfügbaren Stationen

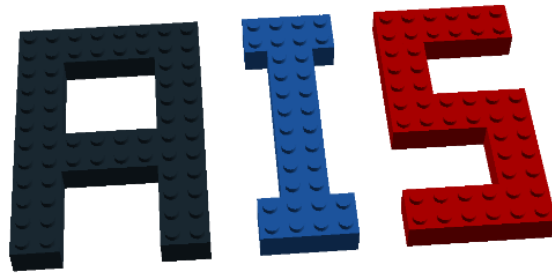


Abbildung 28
AIS-Logo

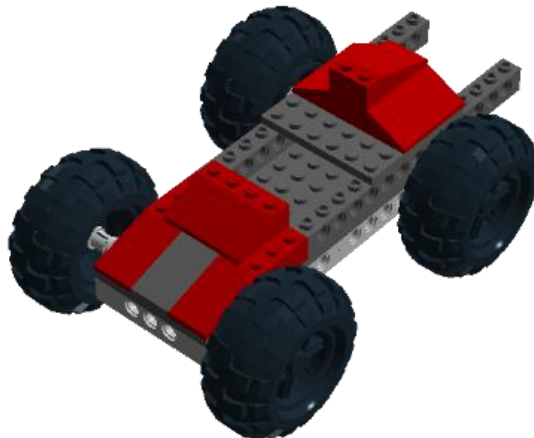


Abbildung 29
Lego-Fahrzeug

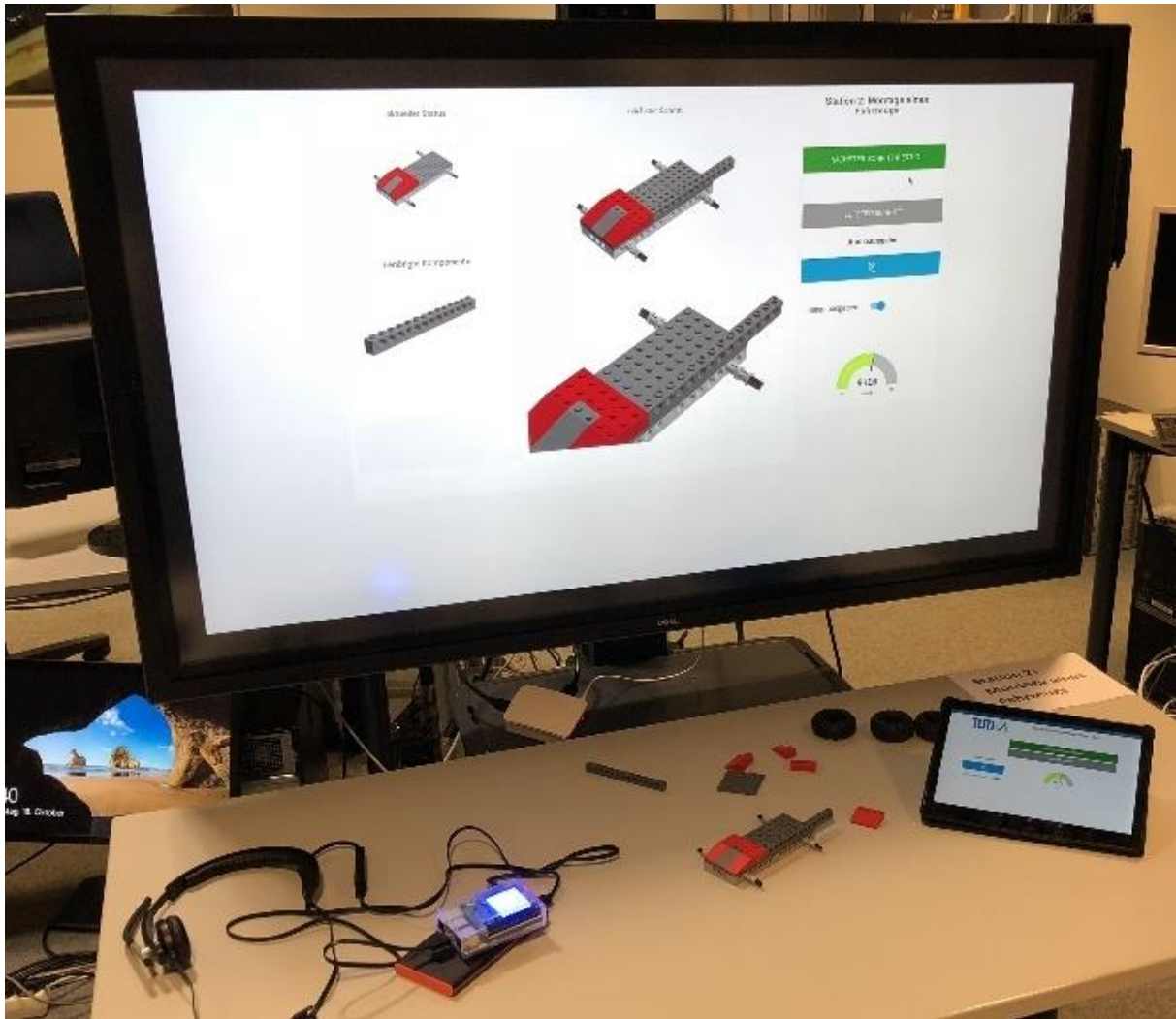


Abbildung 30
Station 2 (Montage eines Fahrzeugs)

Verwendete Fragebögen und weitere Dokumente zur Studie

Fragen zur Person

Alter:

Geschlecht:

- Männlich
- Weiblich

Höchster Bildungsabschluss:

- Hauptschulabschluss
- Realschulabschluss / Mittlere Reife
- Ausbildung
- Abitur
- Hochschulabschluss

Letzter ausgeübter Beruf/Studium/Ausbildung

Brillenträger: Ja Nein

Ich besitze folgende technische Geräte:

- Computer/Laptop
- Smartphone
- Tablet
- eBook Reader

Ungefähre Dauer der Nutzung pro Tag:

- < 30 min.
- 30-60 min
- 1-2 Stunden
- >2 Stunden

Ich benutze meine technischen Geräte für folgende Zwecke:

- Kommunikation
- Information
- Unterhaltung

„System Usability Scale“ - Fragebogen nach John Brooke (Ausschnitt)

(Brooke 1996, zitiert nach Lewis und Sauro 2009)

	Trifft überhaupt nicht zu			Trifft völlig zu		
	1	2	3	4	5	6
Ich würde dieses System gerne häufig benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das System unnötig komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand, das System war leicht zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde die Unterstützung einer technisch versierten Person benötigen, um das System nutzen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es gab zu viel Inkonsistenz in diesem System.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die meisten Leute würden sehr schnell lernen mit diesem System umzugehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es war sehr mühsam, das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühlte mich sehr sicher darin, das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Weitere Fragen

	Trifft überhaupt nicht zu			Trifft völlig zu		
	1	2	3	4	5	6
Station 1: AIS-Logo						
Mir fehlte die Möglichkeit, ein weiteres Eingabegerät zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich wünsche mir mehr Interaktionsmöglichkeiten mit dem System.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Tablet reicht zur Steuerung der Prozedur aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Station 2: Montage eines Fahrzeugs						
Die Möglichkeit ein weiteres Eingabegerät (Touch-Display) zu nutzen fand ich interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die mögliche Bedienung der Station über den Touch-Display verwirrte mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Tablet allein hätte auch zur Bedienung ausgereicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mobile Geräte						
Wenn die Steuerung anderer Stationen auch immer über das Tablet möglich wäre, traue ich mir zu, die dortigen Prozeduren durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Allgemeines						
Ich fühle mich zuversichtlich, mithilfe des Assistenzsystems auch andere, komplexere Aufgabenstellungen als diese Prozeduren lernen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Möglichkeit, an den zwei Stationen verschiedene Eingabegeräte zur Steuerung nutzen zu können, fand ich interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat Sie der unterschiedliche Stationsaufbau verwirrt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde lieber immer die gleichen technischen Ein- und Ausgabegeräte an jeder Station vorfinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie oft nutzen Sie die Möglichkeit der Audioausgabe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Audioausgabe unterstützte mich bei den Vorgängen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Audioausgabe allein hätte gereicht, um die Prozeduren korrekt durchführen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohne Audioausgabe wäre das System besser.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die LED-Matrix hat mir geholfen den Systemzustand nachvollziehen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Leuchtsignale der LED-Matrix haben mich irritiert und abgelenkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich wünsche mir mehr Rückmeldung vom System.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anweisungen des Assistenzsystems waren nachvollziehbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es hat mir Spaß gemacht, das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hätte mir bei einigen Schritten mehr Informationen gewünscht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Interaktion mit dem Assistenzsystem war intuitiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte teilweise Probleme zu erkennen, was der nächste Schritt ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

persönliche Kommentare, Wünsche, Kritik, Anregungen:

Interviewleitfaden zur Mobilität des Assistenzsystems

- Wie war die Kombination aus Pi und Tablet? Waren zwei (bzw. mit Powerbank drei) Geräte zu viel? Auch wenn man den Pi besser am Körper tragen könnte? (→ Frage 2)

- Wo würdest du den Pi am liebsten tragen? Zum Beispiel am Arm, in einer Tasche, wie eine Uhr, umgehängt, als Brustgurt?

- Konntest du Nutzen aus der LED-Matrix ziehen? Hast du sie überhaupt bei der Stationsauswahl beobachtet?
→ Testfrage: Was war der Unterschied, wenn man mit einer Station verbunden war und wenn man nicht mit ihr verbunden war?
(Antwort: blinkend und durchgängig leuchtend mit weißem Text.)

- Wie zufrieden warst du mit dem Tablet? Würdest du lieber einen kleineres/größeres Gerät mit dir herumführen? War es zu unhandlich?

- Sollen mehr Informationen über das Tablet angezeigt werden (Schritte?)

- Sollen die Informationen nur über das Tablet/mobil angezeigt werden und auf die Geräte an den Stationen verzichtet werden? Oder denkst du, die unterschiedlichen Stationen mit verschiedenen Eingabe- und Ausgabegeräten könnten die einzelnen Prozeduren, die bei mehrfacher Ausführung (z.B. Fabrikarbeiter) doch eher monoton werden können, interessanter machen?

- Würdest du das System noch einmal gerne mit einer komplexeren bzw. realitätsnäheren Prozedur testen? Kannst du dir vorstellen, dass es auch da funktioniert?

Aufgabenbeschreibung

Ihre Aufgabe besteht darin, an zwei verschiedenen Stationen jeweils eine Lego-Konstruktion zusammenzubauen. Dabei werden Sie von einem Assistenzsystem unterstützt und durch die notwendigen Schritte geführt.

Stationen

Station 1: Zusammenfügen eines Logos

- verfügbare Geräte: Projektor
- Aufgabe: Logo gemäß den Anweisungen des Assistenzsystem zusammenfügen, Legosteine dabei richtig andrücken.

Station 2: Montage eines Fahrzeugs:

- verfügbare Geräte: LCD-Fernseher mit Touch-Screen
- Aufgabe: Montage gemäß den Anweisungen des Assistenzsystems durchführen.

Assistenzsystem

Das mobile Assistenzsystem besteht aus einer Power-Bank mit dem daran angeschlossenen Raspberry-Pi samt Headset sowie einem Tablet.

Der Raspberry-Pi verfügt über eine LED-Matrix, von der Sie folgende Informationen erhalten können:

- kurzes grünes Aufleuchten: neue Station gefunden
- blaues Blinken: mind. eine Station verfügbar und zur Kopplung bereit
- blaues Leuchten mit laufendem weißen Text: erfolgreiche Kopplung mit Station
- weiß: keine Station verfügbar

Über das Headset können bei Bedarf auditive Hinweise abgespielt werden. Nutzen Sie zur Lautstärkeregelung bitte das Bedienelement am Kabel des Headsets. Über das Tablet haben Sie die Möglichkeit, zwischen den verschiedenen gefundenen Stationen zu wählen und sich so mit dieser zu verbinden. Die Steuerung der Prozedur ist jederzeit über das Tablet möglich. Zusätzlich dazu bietet Station 2 die Steuerung über den Touch-Screen des LCD-Fernsehers an.

Ablauf

Gehen Sie zunächst zu einer der beiden Stationen und machen Sie sich mit der dortigen Umgebung vertraut. Mit welcher Station Sie beginnen, ist Ihnen überlassen. Wählen Sie über das Tablet die entsprechende Prozedur aus. Folgen Sie anschließend den Montageanweisungen. Haben Sie eine Station erfolgreich beendet, wiederholen Sie den Ablauf bitte an der anderen Station.

Nachdem Sie beide Prozeduren durchgeführt haben, werden Ihnen noch Fragebögen zum Ablauf und Ihren Eindrücken bei der Nutzung des Systems ausgehändigt.

Hinweise

Lassen Sie sich so viel Zeit wie nötig. Es geht hierbei nicht um den Vergleich Ihrer Leistungen mit denen anderer, sondern vielmehr um Ihre subjektiven Eindrücke im Umgang mit dem Assistenzsystem. Dabei gibt es weder richtige noch falsche Ansichten. Fühlen Sie sich in Ihrer abschließenden Bewertung völlig frei.

Hypothesen und zugeordnete Fragen/quantitative Werte

- 1. Die Interaktion mit dem Assistenzsystem ist intuitiv und unterstützt den Nutzer.**
 - a. zugeordnete Fragen:
 - 1.1 Ich fühle mich zuversichtlich, mithilfe des Assistenzsystems auch andere, komplexere Aufgabenstellungen als diese Prozeduren lernen zu können.
 - 1.2 Es hat mir Spaß gemacht, das System zu nutzen.
 - 1.3 Ich wünsche mir mehr Rückmeldung vom System.
 - 1.4 Die Interaktion mit dem Assistenzsystem war intuitiv.
 - 1.5 Ich würde dieses System gerne häufig benutzen.
 - 1.6 Ich fand das System unnötig komplex.
 - 1.7 Ich fand, das System war leicht zu nutzen.
 - 1.8 Ich würde die Unterstützung einer technisch versierten Person benötigen, um das System nutzen zu können.
 - 1.9 Es gab zu viel Inkonsistenz in diesem System.
 - 1.10 Die meisten Leute würden sehr schnell lernen mit diesem System umzugehen.
 - 1.11 Es war sehr mühsam, das System zu nutzen.
 - 1.12 Ich fühlte mich sehr sicher darin, das System zu nutzen.
- 2. Die Informationsdarstellung für die durchzuführenden Prozeduren ist ausreichend.**
 - a. Messung der Fehlerquote
 - b. zugeordnete Fragen:
 - 2.1 Die Anweisungen des Assistenzsystems waren nachvollziehbar.
 - 2.2 Ich hatte teilweise Probleme zu erkennen, was der nächste Schritt ist.
 - 2.3 Ich hätte mir bei einigen Schritten mehr Informationen gewünscht.
- 3. Multimodale Informationen werden bei dem System als unterstützend empfunden.**
 - a. Messung der Anzahl an Betätigungen der Audioausgabe
 - b. zugeordnete Fragen:
 - 3.1 Wie oft nutzen Sie die Möglichkeit der Audioausgabe?
 - 3.2 Die Audioausgabe unterstütze mich bei den Vorgängen.
 - 3.3 Die Audioausgabe allein hätte gereicht, um die Prozeduren korrekt durchführen zu können.
 - 3.4 Ohne Audioausgabe wäre das System besser.
- 4. An den Stationen stationär verfügbare Eingabegeräte werden weiterhin benötigt/gewünscht.**
 - a. Messung der Interaktionsrate mit dem Touchscreen
 - b. zugeordnete Fragen:
 - 4.1 Mir fehlte die Möglichkeit, ein weiteres Eingabegerät zu nutzen.
 - 4.2 Das Tablet reicht zur Steuerung der Prozedur aus.
 - 4.3 Die Möglichkeit ein weiteres Eingabegerät (Touch-Display) zu nutzen fand ich interessant.
 - 4.4 Die mögliche Bedienung der Station über den Touch-Display verwirrte mich.
 - 4.5 Das Tablet allein hätte auch zur Bedienung ausgereicht.
 - 4.6 Die Möglichkeit, an den zwei Stationen verschiedene Eingabegeräte zur Steuerung nutzen zu können, fand ich interessant.
- 5. Die GUI des Tablets bietet Kontinuität, um sich auch in neuen Geräteperipherien zurechtzufinden.**
 - a. zugeordnete Fragen:
 - 5.1 Wenn die Steuerung anderer Stationen auch immer über das Tablet möglich wäre, traue ich mir zu, die dortigen Prozeduren durchzuführen.
 - 5.2 Hat Sie der unterschiedliche Stationsaufbau verwirrt?
 - 5.3 Ich würde lieber immer die gleichen technischen Ein- und Ausgabegeräte an jeder Station vorfinden.
- 6. Zusätzliche, einfache visuelle Signale (LED-Matrix) tragen zur Übersichtlichkeit und zum Verständnis des Systemzustands bei.**
 - a. zugeordnete Fragen:
 - 6.1 Die LED-Matrix hat mir geholfen den Systemzustand nachvollziehen zu können.
 - 6.2 Die Leuchtsignale der LED-Matrix haben mich irritiert und abgelenkt.
 - b. Testfrage aus Interview: Wie verändert sich die Anzeige bei Verbindung mit einer Station?

Inhalt elektronischer Anhang

1. Informationen zum Gebrauch des Demonstrators
2. Gesamte Ergebnisse der Evaluation
3. Informationen zur technischen Umsetzung
4. Elektronische Version der Arbeit