



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUT FÜR TELEMATIK

Aus dem Institut für Telematik der
Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. Stefan Fischer

SELBSTREFLEXIVE SMARTE UMGEBUNGEN IM INTENSIVKONTEXT

EINE PLATTFORM ZUR UNTERSTÜTZUNG DER
KOMMUNIKATION, INFORMATION UND
PATIENTENAUTONOMIE MITTELS ANGEPASSTER
INTERAKTIONSVERBÜNDE

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck

Aus der Sektion Informatik/Technik

vorgelegt von
Börge Kordts, M. Sc.
aus Hamburg

Lübeck, 2023

1. Berichterstatter:
Prof. Dr.-Ing. Andreas Schrader

2. Berichterstatter:
Prof. Dr. phil. André Calero Valdez

Tag der mündlichen Prüfung:
21. April 2023

Zum Druck genehmigt.
Lübeck, den 24. April 2023

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich von ganzem Herzen bei all denen bedanken, die mich – direkt oder indirekt – während der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater Andreas Schrader bedanken, der mich nicht nur fachlich begleitet, gefordert und gefördert hat, sondern auch immer ein offenes Ohr für mich hatte. Du hast mich nicht nur während meiner Dissertation, sondern auch darüber hinaus immer wieder motiviert und mit kreativen Einfällen meinen Horizont erweitert und mich inspiriert.

Auch meiner Familie, Saskia Schillmann und ihrer Familie gebührt mein aufrichtiger Dank. Ihr habt mich gelehrt neugierig zu bleiben, selbstständig zu sein und mich immer wieder angespornt. Ihr wart mir ein Rückhalt in schwierigen Zeiten und habt mich mit lehrreichen Diskussionen und Hinweisen unterstützt. Ihr habt mich immer wieder ermutigt, mir den Rücken gestärkt und mir Zerstreuung angeboten, wenn ich sie benötigte.

Und natürlich möchte ich auch all meinen FreundInnen danken, die mich während dieses Prozesses immer wieder aufgemuntert haben und für mich da waren, sodass ich meine Gedanken ordnen und mich von der Arbeit erholen konnte. Eure Freundschaft und Unterstützung haben mir geholfen, durchzuhalten und meine Ziele zu erreichen. Besonderer Dank gilt dabei Maurice Melius für seinen Einsatz und auch für seine Korrekturen an dieser Arbeit.

Darüber hinaus möchte ich auch meinen aktuellen und ehemaligen KollegInnen vom Institut für Telematik, aber auch von den anderen Instituten der Universität zu Lübeck für die interessanten Gespräche, kreativen und manchmal ungewöhnlichen Ideen, aber auch für die Hilfsbereitschaft danken. Insbesondere möchte ich mich bei Jan Kopetz für die gemeinsame Zeit und die fruchtbare Zusammenarbeit im Forschungsprojekt und in der Lehre bedanken. Du standest mir stets mit Rat und Tat zur Seite und hast für eine gute Atmosphäre gesorgt. Auch Daniel Burmeister, Lea Brandl, Susan Brauer und Nicole Jochems gilt mein besonderer Dank, weil sie sich stets und in besonderem Maße für mich einsetzten.

Abschließend möchte ich mich bei allen StudienteilnehmerInnen für ihre Hilfsbereitschaft bedanken.

Danke, dass ihr alle an mich geglaubt und mich unterstützt habt. Ich bin euch allen zutiefst dankbar.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit ist auch im Kontext des vom BMBF geförderten ACTIVATE-Forschungsprojekts entstanden und nimmt an mehreren Stellen Bezug auf das Projekt und die in dessen Rahmen erarbeiteten Erkenntnisse und Ergebnisse. Insbesondere Teile der in dieser Arbeit vorgestellten Analysen und das Integrationsbeispiel nehmen engen Bezug zum Forschungsprojekt. Die im Rahmen dieser Dissertation erarbeiteten Erkenntnisse und entwickelten (Teil-)Systeme bilden wiederum das Fundament des im ACTIVATE-Forschungsprojekt in gemeinsamer Zusammenarbeit realisierten Gesamtsystems. Daher ist es nicht zu vermeiden, dass es in der vorliegenden Arbeit zu gewissen Überschneidungen kommt, wobei versucht wurde, diese Überschneidungen möglichst gering zu halten. Zudem sind die entsprechenden Textstellen mit Hinweisen versehen, um Ergebnisse, die dem Projekt entstammen sowie den im Rahmen dieser Dissertation erbrachten Eigenanteil möglichst transparent darzulegen.

Dies gilt auch für die Beiträge von Marina Ziewe und Malgorzata Mlostek, die im Rahmen einer Projekt- bzw. Bachelorarbeit entstanden sind und in dieser Dissertation thematisiert werden.

PUBLIKATIONEN

Teile der in dieser Dissertation dargelegten Konzepte, Abbildungen, Texte und Ergebnisse wurden bereits in folgenden wissenschaftlichen Publikationen vorgestellt:

- Börge Kordts, Jan Patrick Kopetz, Katrin Balzer und Nicole Jochems (2018): „Requirements for a System Supporting Patient Communication in Intensive Care in Germany“ · English · *Zukunft Der Pflege Tagungsband Der 1. Clusterkonferenz 2018* · Oldenburg, Germany: BIS-Verlag der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg · ISBN: 978-3-8142-2367-4
- Jan Patrick Kopetz, Börge Kordts, Adrienne Henkel und Nicole Jochems (2018b): „Requirements for a Novel Interaction Device for Patients in Intensive Care“ · *Mensch Und Computer 2018 - Tagungsband* · hrsg. von Raimund Dachsel und Gerhard Weber · Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. · DOI: 10.18420/muc2018-mci-0201
- Börge Kordts, Jan Patrick Kopetz, Adrienne Henkel, Andreas Schrader und Nicole Jochems (2019): „Requirements and Interaction Patterns for a Novel Interaction Device for Patients in Intensive Care“ · *i-com* Bd. 18, Nr. 1, S. 67–78 · ISSN: 2196-6826 · DOI: 10.1515/icom-2019-0004
- Jan Patrick Kopetz, Börge Kordts, Andreas Schrader und Nicole Jochems (2019): „Rufsystem 4.0 in der Intensivpflege – Brücke zwischen PatientInnen und Pflegenden“ · Poster (European Nursing Informatics 2019, Flensburg, Germany) · URL: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10166.45120>
- Börge Kordts, Bennet Gerlach und Andreas Schrader (2021a): „Towards Self-Explaining Ambient Applications“ · *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2021)* · Corfu, Greece: ACM · ISBN: 978-1-4503-8792-7 · DOI: 10.1145/3453892.3461325
- Börge Kordts, Kopetz, Jan Patrick und Schrader, Andreas (2021b): „A Framework for Self-Explaining Systems in the Context of Intensive Care“ · *2021 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS)* · Washington DC, USA: IEEE · ISBN: 978-1-66541-261-2 · DOI: 10.1109/ACSOS52086.2021.00040
- Börge Kordts, Bennet Gerlach und Andreas Schrader (2022): „Self-Organizing and Self-Explaining Pervasive Environments by Connecting Smart Objects and Applications“ · *Technologies* Bd. 10, Nr. 1, S. 15 · DOI: 10.3390/technologies10010015 · URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/10/1/15> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)

ABSTRACT

The staff of an intensive care unit regularly encounters various challenges in their daily work. They are responsible for the care of mechanically ventilated intensive care patients, who form a significant and highly vulnerable group among the patients. The ventilation and particularly weaning from the ventilator poses substantial stress to them. This situation is exacerbated by the fact that patients are severely limited in their ability to communicate and are thus often unable to adequately communicate even basic needs. A prolonged healing process, insufficiently treated pain, delirium and other complications are possible consequences. The tense personnel situation in German intensive care units represents an additional stress factor.

While technical solutions can in principle be used to address these circumstances, they must take into account different diseases as well as individual symptoms and abilities, but also the specific situation. Particularly, smart environments may assist patients and staff in various ways provided that the concept of decoupling input and output allows for highly dynamic application scenarios. Then again, new challenges arise, since the interaction with the dynamically assembled smart environment may remain unclear to the users. Furthermore, the provision and connection of such systems can be time-consuming and thus place an additional burden on personnel.

Hence, in this dissertation, the approach of controlled self-organization and self-explainability is applied to smart environments for intensive care to address these challenges. In doing so, the concept of self-reflection of smart objects is employed but also extended to cover applications for these smart environments as well. These concepts are realized in a reference framework based on a middleware approach.

Several surveys focusing on its ability to self-organize and to self-explain show that this approach is in principle suitable for finding mediation solutions and generates comprehensible instructions. An integration example also shows to what extent the presented framework can be a basis for smart environments in intensive care. Moreover, a market analysis carried out in this connection identifies different candidates for interaction devices for the context of intensive care, whereby particularly BIRDY and the Litho controller represent promising devices.

KURZFASSUNG

Dem Personal einer Intensivstation begegnen im Alltag regelmäßig unterschiedliche Herausforderungen. So sind sie für die Pflege maschinell beatmeter IntensivpatientInnen verantwortlich, die eine signifikante und besonders vulnerable Gruppe unter den PatientInnen bilden. Die Beatmungssituation und speziell die Phase der Beatmungsentwöhnung stellt eine erhebliche Belastung für sie dar. Verschärfend kommt dabei hinzu, dass die PatientInnen in ihrer Fähigkeit zu kommunizieren stark eingeschränkt sind und somit oftmals selbst grundlegende Bedürfnisse nicht adäquat mitteilen können. Ein verlängerter Heilungsprozess, unzureichend behandelte Schmerzen, Delirium und andere Komplikationen können die Folge sein. Dabei stellt die angespannte Personalsituation auf deutschen Intensivstationen einen zusätzlichen Belastungsfaktor dar.

Während technische Lösungen prinzipiell eingesetzt werden können, um diese Umstände zu adressieren, müssen sie den individuellen Krankheitsbildern und Fähigkeiten, aber auch der jeweiligen Situation Rechnung tragen. Speziell der Einsatz Smarter Umgebungen eröffnet hierbei vielseitige Unterstützungsmöglichkeiten für PatientInnen und Personal, wobei das Konzept der Entkopplung von Ein- und Ausgabe die Würdigung hochdynamischer Anwendungsszenarien erlaubt. Allerdings ergeben sich hieraus wiederum neue Herausforderungen, da die Interaktion mit der dynamisch zusammengestellten Smarten Umgebung nicht direkt ersichtlich ist. Zudem kann der Prozess der Zusammenstellung derartiger Systemverbünde aufwändig sein und somit für das Personal eine zusätzliche Belastung darstellen.

In dieser Dissertation wird daher der Ansatz der kontrollierten Selbstorganisation und der Selbsterklärungsfähigkeit auf Smarte Umgebungen für den Intensivkontext übertragen, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Dabei wird auf das Konzept der Selbstreflexion Smarter Objekte zurückgegriffen, wobei der Begriff auf Anwendungen für diese Smarten Umgebungen ausgeweitet wird. Realisiert werden diese Konzepte in einem Referenzframework basierend auf einem Middleware-Ansatz.

Mehrere Erhebungen bezüglich dessen Fähigkeit zur Selbstorganisation und zur Selbsterklärung zeigen, dass es prinzipiell geeignet ist Vermittlungslösungen zu finden und nachvollziehbare Anleitungen zu generieren. Ein Integrationsbeispiel zeigt zudem, inwiefern das vorgestellte Framework eine Grundlage für Smarte Umgebungen im Intensivkontext sein kann. Eine in dessen Rahmen durchgeführte Marktanalyse identifiziert zudem unterschiedliche Kandidaten für Interaktionsgeräte für den Intensivkontext, wobei insbesondere mit BIRDY und dem Litho-Controller vielversprechende Geräte existieren.

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	iii
VORWORT	v
PUBLIKATIONEN	vii
ABSTRACT	ix
KURZFASSUNG	xi
INHALTSVERZEICHNIS	xiii
1 EINLEITUNG	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problembeschreibung	4
1.3 Kontext und Fokus der Arbeit	6
1.4 Wissenschaftlicher Beitrag	7
1.5 Methodik	8
2 DIE SMARTE INTENSIVSTATION	11
2.1 Smarte Objekte	11
2.2 Smarte Umgebungen	13
2.3 Interaktion in Smarten Umgebungen	17
2.4 Der Begriff Natürlichkeit	21
2.5 Ambiente Anwendungen	23
2.6 Smarte Umgebungen im Gesundheitssektor	24
2.7 Fazit	29
3 ENTKOPPLUNG VON EIN- UND AUSGABE	31
3.1 Softwarekomposition in Smarten Umgebungen	31
3.2 Interaktionsprimitive	34
3.3 Das Vermittlungsproblem	43
3.4 Fazit	47
4 SELBSTORGANISATION IN SMARTEN UMGEBUNGEN	49
4.1 Autonomic Computing und Grad der Autonomie	49
4.2 Selbst-X-Eigenschaften	54
4.3 Selbstorganisation und Grad des Selbst	56
4.4 Selbsterklärungsfähigkeit	58

4.5	Ambient Reflection	64
4.5.1	Der Description Mediator	65
4.5.2	Die Smart Object Library	70
4.6	Fazit	71
5	ANALYSE	73
5.1	Organisationsanalyse	73
5.2	Benutzeranalyse	76
5.2.1	PatientInnen	76
5.2.2	Personal	81
5.2.3	Angehörige	83
5.2.4	Personas	84
5.3	Kontextanalyse	87
5.4	Aufgabenanalyse	89
5.5	Szenarien	91
5.5.1	Szenario zum Kommunikationsdefizit	91
5.5.2	Szenario zur Ensemblebildung	92
5.5.3	Szenario zu Interaktionsgeräten	93
5.6	Anforderungsanalyse	94
5.6.1	Nicht-funktionale Anforderungen	94
5.6.2	Funktionale Anforderungen	96
6	KONZEPTION	101
6.1	Designentscheidungen	101
6.2	Abstraktes Systemmodell	103
6.3	Die Smart Object Description Language	105
6.3.1	Allgemeiner Teil	106
6.3.2	Komponenten- und Zustandbeschreibungen	107
6.3.3	Interaktionsmodellierung	107
7	DAS FRAMEWORK	111
7.1	Der Description Mediator	112
7.2	Die Smart Object Library	121
7.3	Der Virtual Device Daemon und API	125
7.4	Grundlagen eines Tutorialsystems	129
7.4.1	JSON Rendering Engine	130
7.4.2	Fortschrittsermittlung	131
7.5	Selbstorganisation und -erklärungsfähigkeit des Frameworks	131
7.6	Evaluation	134
7.6.1	Evaluation des Vermittlungsverfahrens	134
7.6.2	Evaluation der Selbsterklärungsfähigkeit	137
8	INTEGRATIONSBEISPIEL EINES ENSEMBLES (PROJEKT ACTI- VATE)	145
8.1	Unterstützte Kommunikation im Intensivkontext	146
8.2	PatientInnenanwendung	150
8.3	Smartphoneanwendung für das Pflegepersonal	153
8.4	Geräte zur Raumsteuerung	154

8.5	Das Interaktionsgerät BIRDY	155
8.5.1	Vorstudien und Workshops	155
8.5.2	Anforderungen	157
8.5.3	Verwandte Geräte	161
8.5.4	Demonstrator	162
8.5.5	Realisierung als Smartes Objekt	164
8.5.6	Verarbeitung der Sensordaten	167
8.5.7	Realisierung der Gestensteuerung	171
8.5.8	Aktivitätserkennung	179
8.5.9	Integration in das Framework	181
8.6	Alternative Interaktionsgeräte	182
8.6.1	Marktanalyse	183
8.6.2	Integration in das Framework	186
8.7	Evaluation	188
8.7.1	Formative Evaluation im Kontext von ACTIVATE	189
8.7.2	Gerätevergleichsstudie	190
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	197
9.1	Zusammenfassung	197
9.2	Übertragbarkeit auf andere Domänen	201
9.3	Ausblick	202
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	205
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	209
	TABELLENVERZEICHNIS	211
	QUELLTEXTVERZEICHNIS	213
A	PERSONAS	215
B	REST-SCHNITTSTELLE DES DESCRIPTION MEDIATOR	225
C	DOKUMENTE DER STUDIE ZUR SELBSTERKLÄRUNGSFÄHIGKEIT	235
D	ALTERNATIVE INTERAKTIONSGERÄTE	245
E	LEITFADEN FOKUSGRUPPENINTERVIEW 2021	255
F	DOKUMENTE DER GERÄTEVERGLEICHSTUDIE	259
	PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	269
	Artikel aus Fachzeitschriften	269
	Konferenzbeiträge	269
	LITERATURVERZEICHNIS	271
	Dissertationen und Fachbücher	271
	Artikel aus Fachzeitschriften	274

INHALTSVERZEICHNIS

Konferenzbeiträge	283
Sonstige	288
LEBENS LAUF DES AUTORS	291

EINLEITUNG

Beatmete IntensivpatientInnen stellen eine signifikante und besonders vulnerable Gruppe unter den IntensivpatientInnen dar, die aufgrund des Gesundheitszustands besondere Aufmerksamkeit erfordert. Die Beatmungssituation und insbesondere die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung (Weaning) stellt eine erhebliche Belastung für die PatientInnen dar. Eine Situation, die durch die stark eingeschränkte Kommunikationsfähigkeit der PatientInnen weiter verschärft wird. Die Unfähigkeit, selbst grundlegende Bedürfnisse mitzuteilen, kann den Heilungsprozess negativ beeinflussen und zu Delirium und weiteren Komplikationen führen. Da typischerweise eingesetzte Hilfsmittel im Klinikalltag ungeeignet sind, um eine adäquate Kommunikation mit den PatientInnen zu führen, handelt es sich bei der Suche nach geeigneten Hilfsmitteln um eine offene Forschungsfrage.

Die individuellen Krankheitsbilder, Beeinträchtigungen, Fähigkeiten und Präferenzen, aber auch die variable Technikaffinität lassen es fraglich erscheinen, ob ein einzelnes Eingabegerät nach dem One-Size-Fits-All-Prinzip in allen – oder zumindest den meisten – Situationen geeignet ist. Die genannten Eigenschaften, aber auch der eingeschränkte Bewegungsspielraum typischer IntensivpatientInnen deuten allerdings darauf hin, dass eine Smarte Umgebung, die entweder an die NutzerInnen angepasst wird oder sich selbst anpasst, einen Beitrag zur Verbesserung der Situation leisten kann. In einer solchen Umgebung können Smarte Objekte individuell zusammengestellt werden, um die jeweilige Situation, aber auch die Wünsche und Ziele der NutzerInnen zu adressieren.

1.1 MOTIVATION

Die maschinelle Beatmung bildet einen Eckpfeiler der modernen Intensivtherapie. In den Jahren 2016-2019 wurden in Deutschland jährlich etwa zwei Millionen intensivmedizinische Behandlungsfälle gemeldet; etwa 20% davon wurden maschinell beatmet (Destatis, 2017, 2018, 2020b, 2021). Die Intensivmedizin ist aufgrund der Schwere der Erkrankungen, des weitreichenden Einsatzes

medizinischer Geräte und umfassender Interventionen durch eine hohe Komplexität charakterisiert. Sie stellt in Kliniken ein hochspezialisiertes Umfeld für die Behandlung schwerst- und kritisch kranker PatientInnen dar. Obwohl Intensivstationen ein höheres Pflegenden-PatientInnen-Verhältnis aufweisen als andere Stationen, ist die Personalsituation oftmals prekär: Die empfohlene 1-zu-2-Besetzung ist in Deutschland – insbesondere während der Nachtschichten – oft nicht realisierbar.

Obwohl die COVID-19-Pandemie die Intensivmedizin stärker in den öffentlichen Fokus gerückt hat, hat sich die Lage auf den Intensivstationen während der Pandemie weiter zugespitzt. So stellten COVID-19-Fälle im April 2021 während der dritten Welle etwa 20% der Behandlungsfälle auf den Intensivstationen Deutschlands (DIVI, 2021). Über die Hälfte der behandelten COVID-19-PatientInnen mussten invasiv beatmet werden. Allgemein weisen aktuelle Erkenntnisse darauf hin, dass COVID-19-PatientInnen häufiger beatmet werden müssen als PatientInnen mit einer Lungenentzündung. Im Vergleich zur saisonalen Influenza sind die PatientInnen jünger und gesünder, müssen aber dennoch viel länger beatmet werden (Tolksdorf et al., 2020). Die erhöhte Beatmungsdauer führt dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem prolongierten Weaning (Wiesner et al., 2020).

Insbesondere für nicht-elektive IntensivpatientInnen stellt das Informationsdefizit in der Aufwachphase ein großes Problem dar. Häufig wissen die PatientInnen nicht, was passiert ist, wo sie sich befinden oder wie lange sie sediert waren. Aufgrund der kurzen Aufmerksamkeitsspannen und eingeschränkten Phasen der Wachheit und Ansprechbarkeit steht das Pflegepersonal vor der herausfordernden Aufgabe, Kontakt mit den PatientInnen aufzunehmen. Dieser Umstand wird durch die oftmals prekäre Personalsituation weiter verschärft.

Besonders kritisch ist zudem die Weaning-Phase, bei dem sich der Körper wieder an die eigenständige Atemtätigkeit gewöhnen muss. Dieser Prozess kann innerhalb weniger Minuten vollzogen sein, sich aber auch über Tage oder Wochen erstrecken. Je nach Dauer wird zwischen einfachem, schwierigem und prolongiertem Weaning unterschieden (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2015). Wie lange das Weaning dauern wird, ist dabei schwer vorherzusagen.

Das schwierige und insbesondere das prolongierte Weaning stellen eine sowohl physisch als auch psychisch belastende Situation dar. Eine zusätzliche Bürde liegt in der stark eingeschränkten Fähigkeit zu kommunizieren. Ein Umstand, der zu einer schlechteren Behandlung führen kann, weil Bedürfnisse ggf. nicht mehr adäquat kommuniziert werden können (Handberg und Voss, 2018). Zudem weisen Untersuchungen darauf hin, dass Bedürfnisse und Symptome von beatmeten PatientInnen vom Pflegepersonal oft nicht korrekt erkannt werden (Schindler et al., 2013). Dabei nimmt insbesondere eine schnelle und korrekte Erkennung dieser Bedürfnisse und Symptome eine herausragende Rolle ein, deren Fehlen das Risiko von Komplikationen wie dem Delirium erhöht und zu einem komplizierteren und prolongierten Weaning führen kann.

Gerade in den Phasen des Aufwachens und des Weanings ist eine eindeutige Kommunikation mit den Betroffenen von zentraler Bedeutung. Es mangelt

jedoch an effektiven unterstützenden Methoden (Happ et al., 2011). Vorhandene Hilfsmittel und Strategien zur Unterstützung der Kommunikation werden als ungeeignet eingeschätzt, sodass die Situation auch seitens des Pflegepersonals als für die PatientInnen belastend beschrieben wird (Abuatiq, 2015).

Der Situation auf der Intensivstation steht die rasante Entwicklung der modernen Informations- und Kommunikationstechnologie gegenüber. Neuen Paradigmen, wie dem des Pervasive Computing (Hansmann et al., 2003), folgend, findet eine zunehmende Integration der Interaktionsgeräte in die Umgebung statt. Insbesondere in diesem Bereich ist der Übergang von vielversprechenden Forschungsprojekten zu marktverfügbaren Produkten gelungen. Moderne vernetzte Smarte Objekte unterstützen BenutzerInnen in vielfältiger Art und Weise in ihrem Alltag. Auch im Gesundheitssektor bieten Smarte Umgebungen viel Potenzial und so wurde beispielsweise der Begriff des Smarten Krankenhauses geprägt (s. Abschnitt 2.6).

Die Integration Smarter Objekte in das Patientenzimmer kann eine elegante Möglichkeit darstellen, die PatientInnen zu unterstützen und die Patientenautonomie zu fördern. Darüber hinaus erlaubt der Einsatz dieser Geräte aber auch auf vielfältige Weise eine Unterstützung des Pflegepersonals. So kann beispielsweise der Austausch mit den PatientInnen unterstützt werden oder pflegerische Prozesse dokumentiert bzw. mit Handlungshinweisen untermauert werden.

Smarte Umgebungen, die aus unterschiedlichen vernetzten Komponenten bestehen, werden, sofern sie eine Mensch-Computer-Interaktion erfordern, durch Interaktionsgeräte gesteuert, sodass entsprechende Geräte bereitgestellt werden müssen. Aufgrund der heterogenen Nutzergruppe der IntensivpatientInnen und ihrer individuellen Beeinträchtigungen und Fähigkeiten kann ein einzelnes Eingabegerät jedoch wahrscheinlich nicht jede Situation adressieren, so dass eine Entkopplung der Interaktion von der Geräte- und Anwendungslogik und eine individuelle Bereitstellung von Geräte- und Anwendungsverbänden in den Vordergrund tritt. Die Entkopplung und dynamische Zusammenstellung von Ein- und Ausgabe der Smarten Objekte erlaubt zudem eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Interaktionsmöglichkeiten, die auf die Fähigkeiten, Vorerfahrungen und Vorlieben der Nutzenden zugeschnitten sind (s. Kapitel 3). Des Weiteren ermöglicht dieser Ansatz eine Entwicklung unterschiedlicher Teilkomponenten losgelöst von anderen Komponenten, wie beispielsweise konkreten Interaktionsgeräten. Diese können letztlich flexibel zusammengestellt werden.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Unterstützung von IntensivpatientInnen mit besonderem Augenmerk auf die Weaningphase durch eine assistive Umgebungen, die die PatientInnen auf vielfältige Art und Weise unterstützen können. Dabei bietet sich für die unterschiedlichen Probleme, wie das Informationsdefizit, die erschwerte Kommunikation und die besonders stark eingeschränkte Patientenautonomie, eine Realisierung mittels einer Smarten Umgebung an. So kann ein Smarter Interaktionsraum gut an die heterogene Patientengruppe mit den vielfältigen Krankheitsbildern, individuellen Beeinträchtigungen, Fähigkeiten und Vorlieben, aber auch der uneinheitlichen Technikaffinität angepasst werden und diesen Rechnung tragen. Zudem kann eine geeignete Plattform eine frühzeitige patientInneninitiierte Steuerung des Ambiente ermöglichen,

beispielsweise durch die Ansteuerung eines Smarten Beleuchtungssystems und weitere Smarte Objekte, die auch bereits aus dem Smarten Zuhause bekannt sind.

1.2 PROBLEMBESCHREIBUNG

Im Smarten Krankenhaus eröffnen miteinander vernetzte, Smarte Objekte neue Möglichkeiten und bieten PatientInnen wie Personal die Möglichkeit, sie im Klinikalltag zu unterstützen. Die Trennung von Ein- und Ausgabe und die Entkopplung der Interaktion von der Geräte- und Anwendungslogik eröffnet so zwar neue Möglichkeiten, stellt die EntwicklerInnen und auch die NutzerInnen solcher Systeme aber auch vor neue Herausforderungen.

Eine der Herausforderungen ist die Gestaltung der Interaktionsmodalitäten zur Steuerung Smarter Systeme (Streitz und Nixon, 2005). Häufig wird dieser Problematik mit sogenannten Natural User Interfaces (NUI) begegnet, welche sich an der zwischenmenschlichen Interaktion orientieren. Sie umfassen daher unter anderem Sprach- und Gestensteuerungssysteme. Bei diesen Interaktionsformen spielt allerdings das sogenannte Invisibility Dilemma (Kranz et al., 2010) eine wichtige Rolle. Es beschreibt das Problem unsichtbar werdender Interaktionsmodalitäten, wie es bei Gestensteuerungssystemen prinzipiell der Fall ist. Bei diesen ist aufgrund fehlender Hinweise (engl. *signifiers*) oftmals nicht klar, welche Eingabemöglichkeiten angeboten werden (vgl. Norman, 2008). Die dynamische Verknüpfung von Smarten Objekten und Anwendungen ermöglicht zwar bedarfs- und aufgabengerechte Lösungen, erschwert aber die Handhabung und erfordert jeweils das Erlernen der Interaktionsmöglichkeiten.

Ein möglicher Lösungsansatz ist die von Burmeister (2018) entwickelte Selbstbeschreibungsfähigkeit Smarter Objekte im Ambient-Reflection-Framework. Sie ermöglicht es, sowohl Gebrauchsanleitungen, als auch interaktive Tutorials für dynamisch zusammengestellte Geräteverbände in Smarten Umgebungen zu erstellen. Mittels einer automatischen Generierung und Bereitstellung von Anleitungen können BenutzerInnen durch die Nutzung des interaktiven Systems geführt werden, wobei jeweils die möglichen Eingabeaktionen und die direkte erwartete Wirkung beschrieben werden.

Dieser Ansatz ist für viele Szenarien sehr gut geeignet. Es gibt aber auch Situationen, wo ein etwas anderer Ansatz zielführender ist. Da Ambient Reflection grundsätzlich auf physische Smarte Objekte mit relativ fester Funktionalität abzielt, ist das Hinzufügen neuer Funktionalität typischerweise gleichbedeutend mit einer Modifikation bestehender oder einer Konstruktion neuer Geräte, obwohl sich diese gegebenenfalls einfacher über eine externe Softwarekomponente unter Verwendung vorhandener Geräte realisieren ließe. Im Folgenden werden derartige Softwarekomponenten, die mit Smarten Objekten in Smarten Umgebungen interagieren, als *Ambiente Anwendungen* bezeichnet (s. Abschnitt 2.5).

Auch die beschriebene Smarte Umgebung zur Unterstützung von IntensivpatientInnen lässt sich einfacher durch die Integration einer Ambienten Anwendung in einen bereitgestellten Geräteverbund realisieren, da hierbei primär die Anwendung, nicht jedoch komplexe zusätzliche Geräte entwickelt werden müssen.

Die Anwendung übernimmt dabei die Aufgaben der Informationsgabe und fungiert als Werkzeug zur Unterstützung der Kommunikation. Hierzu kann sie eine geeignete Bedienoberfläche anbieten. Die Anwendung kann einerseits durch individuell ausgewählte Interaktionsgeräte gesteuert werden. Sie ist andererseits aber auch prinzipiell in der Lage weitere Smarte Objekte (wie beispielsweise jene eines Smarten Beleuchtungssystems) anzusteuern. Im Folgenden wird diese Anwendung, welche sich primär an die PatientInnen richtet, als *PatientInnenanwendung* bezeichnet. Während in dieser Arbeit geeignete Schnittstellen zur Integration vorgestellt werden, ist die konkrete Realisierung der PatientInnenanwendung und insbesondere die Gestaltung der Bedienoberfläche nicht Teil dieser Dissertation.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Plattform zur Realisierung des beschriebenen Smarten Interaktionsraums und der Integration relevanter Komponenten. Die hierzu vorgestellte Referenzimplementierung eines Frameworks für Smarte Umgebungen mit Fokus auf den Intensivkontext basiert dabei auf der Referenzimplementierung des Ambient-Reflection-Frameworks. Das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Framework ist in der Lage, entkoppelte Ein- und Ausgabegeräte (Hardware) zu verbinden und ad-hoc Anleitungen und Tutorials zu generieren. Die Grundlage bilden Selbstbeschreibungen der jeweiligen Komponenten, die neben Smarten Objekten auch Ambiente Anwendungen umfassen. Dadurch wird die Selbstbeschreibungsfähigkeit von Geräte- und Anwendungsverbänden in pervasiven Umgebungen adressiert, wobei die Interaktions- und Steuerungsmöglichkeiten von Anwendungen sowie verschiedenen Ein- und Ausgabegeräten im Vordergrund stehen.

Die Plattform ist dabei auf den Intensivpflegekontext zugeschnitten, denn die Bereitstellung und Verknüpfung von Smarten Objekten und Anwendungen ist aufgrund der Vielfalt der Smarten Objekte und der zu erwartenden heterogenen Verteilung der Geräte ein komplexes Thema. Es gibt in der Klinik weder die ExpertInnen noch die Zeit für eine aufwändige Einrichtung. Eine im Rahmen dieser Arbeit adressierte Fragestellung ist daher, ob und inwiefern eine Selbstorganisation und Selbstbeschreibungen der technischen Komponenten hilfreiche Werkzeuge darstellen, um der Situation auf der Intensivstation gerecht zu werden.

Zudem muss die Frage geklärt werden, wie PatientInnen im Krankenhaus und speziell auf der Intensivstation mit einem technischen System allgemein sowie insbesondere mit einer Smarten Umgebung interagieren können. Während vorangegangene Forschungsarbeiten auf positive Ergebnisse und Einflüsse auf die Kommunikationsfähigkeit – insbesondere durch den Einsatz von Systemen mit Augensteuerung und interaktiven Oberflächen (beispielsweise Tablets) – hinweisen, deuten Gespräche mit ExpertInnen und eine umfassende Literaturrecherche darauf hin, dass diese Systeme nicht für die Weaning-Phase geeignet sind. Im Zuge dieser Arbeit wird daher auch die Frage adressiert, wie eine konkrete Smarte Umgebung zur Unterstützung von WeaningpatientInnen realisiert werden kann. Das umfasst insbesondere auch die Realisierung einer Steuerungsmöglichkeit über ein angepasstes Interaktionsgerät.

Obwohl einige vielversprechende Kandidaten für den Einsatz im Intensivkontext identifiziert werden konnten (s. Abschnitt 8.1), erfüllt kein identifiziertes Eingabegerät die strengen Anforderungen an einen Einsatz im Intensivbett. Aufgrund dieses Umstands wurde im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts *BIRDY* (Ball-shaped Interactive Rehabilitation Device) entwickelt – ein speziell für den Einsatzort Intensivbett und die besonderen Einschränkungen von WeaningpatientInnen designtes Interaktionsgerät (s. Abschnitt 1.3). Das Gerät ist dabei so gestaltet, dass es die strengen Hygienerichtlinien eines Krankenhauses erfüllt, mit der Hand im Bett liegend bedient werden kann und keine starken oder besonderen Anforderungen an den Nutzungskontext stellt.

Während die Hardware und Schnittstellen für das Bereitstellen der Sensordaten und die Ansteuerung der Aktorik bereitgestellt wurden, ist die Realisierung von Gestensteuerungsvarianten mit *BIRDY* und eine Integration in die beschriebene Plattform im Zuge eines Integrationsbeispiels eines Ensembles für WeaningpatientInnen Thema dieser Arbeit (s. Kapitel 8).

1.3 KONTEXT UND FOKUS DER ARBEIT

Gegenstand dieser Dissertation sind die Entwicklung einer Plattform zur Realisierung einer Smarten Umgebung für beatmete IntensivpatientInnen, die Integration bestehender Smarter Objekte und marktverfügbarer Interaktionsgeräte sowie die Integration des neuartigen Eingabegeräts *BIRDY*, welche die Realisierung einer Gestensteuerung umfasst.

Die im Rahmen dieser Dissertation erarbeiteten Erkenntnisse und entwickelten (Teil-)Systeme bilden das Fundament des im ACTIVATE-Forschungsprojekt¹ realisierten Systems, welche auf eine Verringerung des Informations- und Kommunikationsdefizits von WeaningpatientInnen abzielt und zudem die Patientenautonomie durch die Bereitstellung einer Raumsteuerung fördern soll. Das Ziel des Projekts ist, das Informationsdefizit zu überwinden und die Kommunikationsfähigkeiten der PatientInnen zu verbessern. Dadurch sollen die Belastungen der PatientInnen durch die Gesamtsituation (Krankheit, Medikation, Entwöhnung etc.) reduziert, eine bessere Behandlung erreicht und das Pflegepersonal entlastet werden. Zudem sollen Pflegenden durch das Gesamtsystem mehr Sicherheit im Umgang mit den PatientInnen bekommen.

Das ACTIVATE-Gesamtsystem besteht aus mehreren weiteren Komponenten und Anwendungen, die jedoch nicht Teil dieser Forschungsarbeit sind. Während die bereits beschriebene PatientInnenanwendung als zentrale Anwendung für die PatientInnen dient, steht für das Pflegepersonal die *Pflegenden*anwendung bereit. Über diese werden Pflegenden über Aktivitäten der PatientInnen und über Benachrichtigungen informiert. Das von der Firma CogniMed GmbH² im Rahmen des Projekts entwickelte Interaktionsgerät *BIRDY* dient als primäres Eingabegerät zur Steuerung der PatientInnenanwendung.

¹ <https://projekt-activate.de> (Abrufdatum 21.12.2022)

² <https://www.cognimed.de> (Abrufdatum 21.12.2022)

Der Fokus dieser Arbeit liegt bei den Interaktionsgeräten auf Geräten, die haptisches Feedback geben. Insbesondere für spätere Phasen können neben den angesprochenen Blicksteuerungssystemen aber auch Brain-Computer-Interfaces interessante Kandidaten für eine Steuerung darstellen. Deren Bereitstellung und Kalibrierung stellt für das Personal allerdings zusätzlichen Aufwand und damit eine gewisse Hürde dar. Aufgrund der nicht einzuschätzenden Akzeptanz und des besonderen Fokus auf die Weaningphase, werden diese Interaktionsmodalitäten in dieser Arbeit nicht tiefergehend behandelt. Eine Integration dieser Geräte lässt sich allerdings mit geeigneten Anpassungen an der Plattform vornehmen und ist nicht per se ausgeschlossen.

Während die Entwicklung der in dieser Arbeit vorgestellten Plattform auf einen Einsatz in der Nutzungsdomäne Intensivstation ausgelegt ist, lässt sie sich prinzipiell auch in anderen Bereichen im Klinikum, aber auch allgemein in diversen Anwendungsszenarien einsetzen. Eine Untersuchung der Übertragbarkeit des Frameworks auf andere Nutzungsdomänen wird in Abschnitt 9.2 abgehandelt.

1.4 WISSENSCHAFTLICHER BEITRAG

Zur Begegnung der beschriebenen Herausforderungen beim Einsatz digitaler Lösungen (insbesondere Smarter Umgebungen) im Intensivkontext wurden im Rahmen dieser Dissertation folgende wissenschaftliche Beiträge erarbeitet:

- Ausweitung des Zuordnungsproblems Smarter Objekte auf das allgemeinere Ensemble-Vermittlungsproblem (s. Kapitel 3).
- Übertragung des Ansatzes der Selbstreflexion auf Verbünde Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen, die für den Intensivkontext geeignet sind (vgl. Kapitel 4).
- Identifikation von Anforderungen, die an eine Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen im Intensivkontext zur Unterstützung der PatientInnen (insbesondere während des Weanings) sowie des Pflegepersonals gestellt werden (s. Kapitel 5).
- Die im Rahmen dieser Dissertation erarbeiteten Erkenntnisse münden in der Konzeption und prototypischen Umsetzung eines Middleware-Ansatzes zur Realisierung und Vernetzung selbstreflexiver Verbünde Smarter Objekte sowie Ambienter Anwendungen (s. Kapitel 6 und 7).
- Die realisierten Ansätze zur Selbstorganisation und Selbstreflexion wurden im Rahmen einer technischen Evaluation und einer Laborstudie untersucht und eingeordnet (s. Abschnitt 7.6).
- Prototypische Realisierung einer Smarten Umgebung für den Intensivkontext anhand eines Integrationsbeispiels, welches auf die Information, Unterstützte Kommunikation und Förderung der Autonomie beatmeter IntensivpatientInnen zielt und die Realisierung einer Gestensteuerungsvariante für das an den Intensivkontext angepasste Interaktionsgerät (BIRDY) umfasst (s. Kapitel 8).
- Eine Evaluation des Konzepts der kontrollierten Selbstorganisation anhand eines im Zuge des Integrationsbeispiels realisierten semi-automatischen Kopplungsprozesses (s. Unterabschnitt 8.7.1).

- Eine Bewertung der für BIRDY realisierten Gestensteuerungsvariante bestehend aus Neigegesten und einer Druckgeste anhand von Erkennungsraten (s. Unterabschnitt 8.7.2).
- Eine Identifikation vielversprechender Kandidaten von Interaktionsgeräten für den Intensivkontext im Zuge einer Nutzwertanalyse (s. Unterabschnitt 8.6.1) und deren Vergleich untereinander sowie eine Gegenüberstellung mit BIRDY im Rahmen einer Laborstudie (s. Unterabschnitt 8.7.2).

Diese Beiträge adressieren dabei insbesondere folgende Forschungsfragen:

- Wie kann sich ein dynamisches System, das nicht per se (bzw. »by-design«) selbstbeschreibend ist, kontinuierlich selbstbeschreiben?
- Wie kann der Prozess der Bereitstellung eines Ensembles für eine IntensivpatientIn geeignet unterstützt werden?
- Welche Interaktionsgeräte sind im Kontext einer Smarten Umgebung zur Unterstützung der Information, Kommunikation und Autonomie relevant und könnten eingesetzt werden?
- Wie können speziell für den Kontext einer Smarten Umgebung zur Unterstützung der Information, Kommunikation und Autonomie ausgelegte Interaktionsgeräte aussehen und realisiert werden?
- Welche Arten der Steuerung sind mit einem ballförmigen Interaktionsgerät für den Kontext einer Smarten Umgebung zur Unterstützung der Information, Kommunikation und Autonomie relevant sowie realisierbar und wie könnte ein Gerät dies geeignet umsetzen?

1.5 METHODIK

Ein erfolgreicher Einsatz des ACTIVATE-Systems und all seiner Komponenten hängt maßgeblich von der Akzeptanz der Beteiligten ab. Besonders hervorzuheben ist dabei die Rolle der PatientInnen und des Pflegepersonals, die das System direkt nutzen sollen. Die Akzeptanz hängt maßgeblich davon ab, ob der zu erwartende Nutzen den zusätzlichen Aufwand bei der Nutzung des Systems übersteigt und ob die Bedürfnisse, Fähigkeiten und Vorlieben der BenutzerInnen adäquat gewürdigt werden. Die Berücksichtigung der Bedürfnisse potenzieller NutzerInnen bereits bei der Entwicklung sowie eine Fokussierung auf die Gebrauchstauglichkeit sind daher als entscheidende Faktoren für den Erfolg des Systems anzusehen. Konsequenterweise folgt die Entwicklung des ACTIVATE-Systems im Rahmen des Forschungsprojekts und auch der in dieser Arbeit vorgestellten Teilsysteme dem Human-Centered-Design-Prozess (HCD), wie er in der DIN EN ISO 9241-210 (ISO, 2020) festgelegt ist.

Das Rahmenmodell stellt das Verständnis der BenutzerInnen, deren Aufgaben und Arbeitsumgebungen in den Mittelpunkt. Daher werden die BenutzerInnen als Wissensquelle in den Prozess der Gestaltung und Entwicklung einbezogen. Gemeinsam werden so iterativ Gestaltungslösungen erarbeitet, evaluiert und fortwährend angepasst, bis die Gestaltungslösung die ebenfalls fortwährend überarbeiteten Anforderungen erfüllt. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass

es den Beteiligten aufgrund der im Laufe des Prozesses gewonnenen Erfahrung zunehmend leichter fällt, Anforderungen zu artikulieren.

Das HCD sieht als ersten Schritt die Planung des Gestaltungsprozesses vor. Dieser umfasst die Identifikation geeigneter Methoden und Ressourcen für nachfolgende Gestaltungsaktivitäten, die Klärung von Verantwortlichkeiten, das Etablieren des Informationsaustauschs zwischen den Beteiligten sowie die Festlegung von Meilensteinen mit Zeitvorgaben.

Die sich anschließenden Gestaltungsaktivitäten werden durch den Prozess in vier miteinander verbundene Phasen gegliedert:

1. Verstehen und Beschreiben des Nutzungskontexts,
2. Spezifizieren der Nutzungsanforderungen,
3. Erarbeiten von Gestaltungslösungen und
4. Evaluieren der Gestaltung.

Dabei fließen in einer Phase gewonnene Erkenntnisse in den Entwicklungsprozess mit ein und wirken sich so auf nachfolgende Phasen aus. Auf diese Weise dienen die Aktivitäten der Rückmeldung, bevor Anforderungen endgültig festgelegt werden. Einen zentralen Baustein des Prozesses stellen Iterationen dar, die den sich entwickelnden Kenntnisstand der beteiligten Personen widerspiegeln. Nach dem Abschluss einer Iteration werden Gestaltungskonzepte bewertet, um ein besseres Verständnis für die Anforderungen der BenutzerInnen zu gewinnen, Rückmeldungen zur Gestaltungslösung zu erhalten sowie Gestaltungsalternativen zu diskutieren. Abb. Abbildung 1.1 illustriert diese Abläufe.

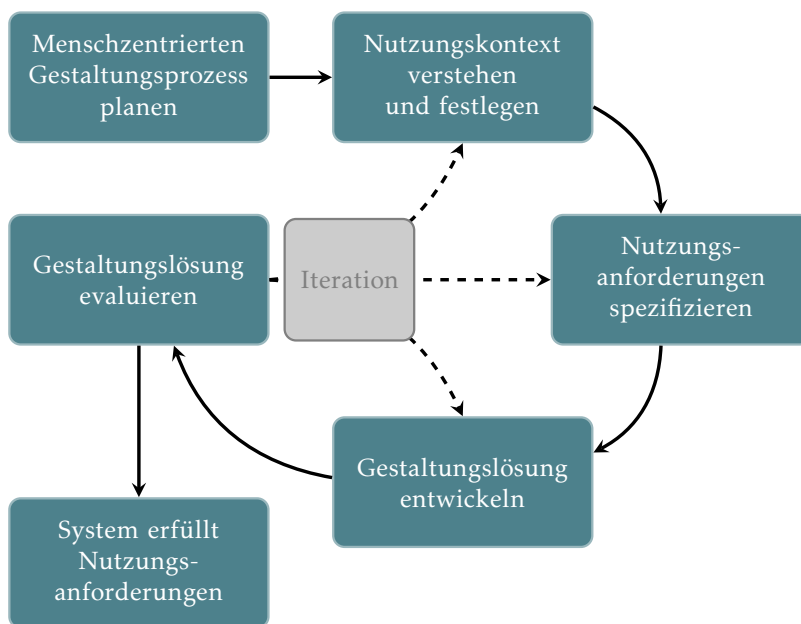


ABBILDUNG 1.1 – Ablauf des Human-Centered-Design-Prozesses in Iterationen

DIE SMARTE INTENSIVSTATION

Individuell zusammengestellte Verbünde aus Geräten und Anwendungen sind im Rahmen von Smarten Umgebungen in der Lage BenutzerInnen in ihrem Alltag zu unterstützen. Grundlage hierfür sind die besonderen Eigenschaften der Smarten Objekte, sowie der Anwendungen, die mit ihnen interagieren. Allen voran steht hier neben der Sensorik und Aktorik der Geräte die Netzwerkfähigkeit der beteiligten Komponenten. Dazu muss zunächst einmal geklärt werden, was Smarte Objekte sind, wie Smarte Umgebungen charakterisiert werden und wie die Mensch-Maschine-Interaktion in diesen Umgebungen gestaltet werden kann.

Während der Einsatz smarterer Umgebungen auch im klinischen Kontext neue Unterstützungsmöglichkeiten bietet, gelten hierbei andere Rahmenbedingungen. Einerseits ist eine stärkere Heterogenität der NutzerInnen – auch hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs – zu erwarten als in anderen Einsatzszenarien, sodass die konkreten Fähigkeiten der jeweiligen NutzerInnen mehr ins Gewicht fallen. Andererseits ergeben sich im Krankenhaus allgemein und in der Intensivstation im speziellen andere Nutzungs- bzw. Interaktionssituationen. Darüber hinaus spielen andere Daten eine Rolle. So steht im Gesundheitskontext die Überwachung von Gesundheitsparametern mehr im Vordergrund. Zudem rücken Prozesse mehr in den Fokus, wodurch sich für Smarte Umgebungen ein besonderes Potenzial ergibt.

2.1 SMARTE OBJEKTE

Besonders im Zuge des Smarten Zuhauses werden alltägliche Objekte zunehmend um Recheneinheiten und eine Netzwerkfähigkeit erweitert, sodass smarte Geräte vermehrt Einzug in den Alltag breiter Bevölkerungsschichten halten. So nutzten einer Umfrage von Bitkom (2021) zufolge im Jahr 2021 bereits 29

Prozent der Deutschen eine smarte Beleuchtung, 17 Prozent eine intelligente Heizung bzw. smarte Thermostate und 13 Prozent eine smarte Rollladensteuerung oder smarte Markisen. Im Jahr 2021 hat insbesondere der Bereich der Sicherheit ein gesteigertes Interesse erfahren. So nutzten 23 Prozent eine smarte Videoüberwachung und 21 Prozent eine intelligente Alarmanlage. Insgesamt dient die Hausautomation vorrangig der Unterstützung der Hausbewohner im Alltag. Sie erhöht den Komfort und die Lebensqualität, erfüllt Sicherheitsfunktionen, ermöglicht die Einsparung von Kosten und kann dabei unterstützen den ökologischen Fußabdruck zu reduzieren. Letzteres lässt sich insbesondere durch den Einsatz einer smarten Heizungssteuerung realisieren.

In den vergangenen Jahren ist somit ein wachsender Markt für smarte Geräte entstanden, für den vermehrt neue Geräte entwickelt werden. Durch die zunehmende Anzahl marktverfügbarer Smarter Objekte entstehen umfassende Vernetzungsmöglichkeiten, die wiederum vielfältige Unterstützungs- bzw. Einsatzmöglichkeiten bieten.

In der Literatur werden viele Begriffe für derartige Geräte mit Recheneinheiten und Netzwerkfunktionalität angeführt, die weitgehend synonym verwendet werden. Hierunter fallen Bezeichnungen wie Intelligente Produkte (Wong et al., 2002), Smarte Produkte (Porter und Heppelmann, 2014), empfindungsfähige Artefakte / Sentient Artefacts (Fujinami und Nakajima, 2005), Digitale Artefakte (Beigl et al., 2001), Smarte Artefakte (Streitz et al., 2005), Smarte Objekte (González García et al., 2017; Kallmann und Thalmann, 1999; Kawsar et al., 2005; Kortuem et al., 2010; López et al., 2011; Mattern und Floerkemeier, 2010; Tschofenig und Arkko, 2012; Vasseur und Dunkels, 2010), aufmerksame oder wachsame Objekte / Attentive Objects (Maes, 2005), Smarte Dinge (Kuniavsky, 2010; Möller, 2016) und Smarte Geräte (Poslad, 2009b; Suarez-Tangil et al., 2014; Thompson, 2005).

Als wesentlich für diese Geräte werden folgende Eigenschaften herausgestellt: Die Fähigkeit zur Kommunikation bzw. Interaktion mit der Umgebung und anderen Objekten durch Sensorik und Aktorik zum Zwecke des Datenaustauschs, die Existenz einer Recheneinheit und somit die Fähigkeit der Programmierbarkeit zur Entscheidungsfindung und Steuerung unterschiedlicher Zustände und letztlich eine gewisse Interoperabilität.

Weitere Eigenschaften, die in der Literatur teilweise genannt werden, sind: Identität, Mobilität, autonome Energieversorgung, Sicherheit und Privatsphäre, ein »Bewusstsein über die Entscheidungsfindung«, Wartbarkeit und Skalierbarkeit.

In seiner Dissertation stellt Burmeister (2018) einen Minimalkonsens in Bezug auf die charakterisierenden Eigenschaften smarterer Objekte heraus: Der Begriff smartes Objekt beschreibt alltäglich eingesetzte physische Geräte oder Gegenstände, die sich eindeutig identifizieren lassen. Sie verfügen über (interaktive) Fähigkeiten in Form von Sensorik und / oder Aktorik sowie eine Recheneinheit und sind in der Lage über ein Netzwerk mit anderen Geräten zu kommunizieren. Diese Kommunikationsfähigkeit dient dem Datenaustausch der mittels der Sensorik des Geräts erfassten Daten. Dies beinhaltet Informationen, die nützlich sind, um den Kontext oder die Situation der BenutzerInnen zu beschreiben, umfasst aber auch Geräteinformationen. Zudem kann die Netzwerkfähigkeit

der Bereitstellung von Diensten oder der Ansteuerung anderer smarterer Objekte dienen. Insbesondere sind smarte Objekte in der Lage in eingeschränktem Maße Schlussfolgerungen zu ziehen und sich auf Wunsch automatisch an gewisse Situationen anzupassen bzw. auf bestimmte Situationen zu reagieren. Im Folgenden wird der Begriff des Smarten Objekts stellvertretend für die von Burmeister herausgearbeitete Beschreibung des Konsens der in der Literatur angeführten Begriffe genutzt.

Im Rahmen seiner Arbeit hat Burmeister (2018) bereits herausgestellt, dass die dort von ihm untersuchten marktverfügbaren smarten Objekte entweder Ein- oder Ausgabefunktionalität bieten, sodass es eine gewisse Trennung zwischen diesen beiden Funktionalitäten gibt und Geräte ohne Gegenstück zunächst nur einen geringen Mehrwert für potenzielle NutzerInnen bieten. Während dieser Umstand bei einigen Geräten, wie beispielsweise für die virtuellen Assistenten der Firmen Amazon¹, Google² oder Apple³, nicht gegeben ist, trifft diese Beobachtung auf eine Mehrzahl der marktverfügbaren Geräte zu. Folglich erscheint ein Zusammenschluss von Sensorik und Aktorik sinnvoll, um den BenutzerInnen eine vollständige Applikation anzubieten. Während die Modularisierung der Sensorik und Aktorik eine flexible Zusammenstellung erlaubt und so vielfältige Verbünde ermöglicht, steigt jedoch auch der Aufwand diese zusammenzustellen, zu konfigurieren und anschließend zu benutzen.

Während die mehrheitlich angebotenen »einfachen« Smarten Objekte (beispielsweise reine Eingabegeräte oder solche Geräte, die bzgl. ihrer Aktorik nur eingeschränkte Funktionen anbieten) für viele Anwendungsfälle sehr gut geeignet sind, benötigen komplexere Einsatzszenarien eine zwischengeschaltete Logik, die weitere Verarbeitungsschritte, Fallunterscheidungen oder umfassendere Anwendungsabläufe umfasst. Bei hybriden Smarten Objekten, die komplexe Funktionen anbieten, wie beispielsweise eine Menüführung oder Erweiterungsmöglichkeiten (beispielsweise per integriertem App-Store), bietet sich indes eine andere Betrachtung an: Diese Geräte können als ein Verbund aus (virtuellen) Smarten Objekten und einer oder mehrerer Anwendungen (die jeweils eine Anwendungslogik mitbringen) betrachtet werden. In dieser Betrachtungsweise liegen wieder »einfache« Smarte Objekte und eine zwischengeschaltete Logik vor. Gestaltungsmöglichkeiten und die Begrifflichkeit dieser zwischengeschalteten Logik werden in Abschnitt 2.5 tiefergehend behandelt.

2.2 SMARTE UMGEBUNGEN

Grundsätzlich ist die Idee (Haushalts-)Geräte zu vernetzen nicht neu. Bereits in den 1970-Jahren entwickelte die Firma Pico Electronics ein Konzept zur Vernetzung elektronischer Haushaltsgeräte unter Verwendung des stromleitungs-basierenden X10-Protokolls (Thompson, 2005). Dieses erlaubte es, Schaltsignale über die vorhandene Hausinstallation zu senden, ohne dass neue Leitungen verlegt wer-

¹ <https://www.amazon.com/smart-home-devices/b?ie=UTF8&node=9818047011> (Abrufdatum 21.12.2022)

² https://store.google.com/category/connected_home (Abrufdatum 21.12.2022)

³ <https://www.apple.com/de/homepod-mini/> (Abrufdatum 21.12.2022)

den mussten. Auf diese Weise vernetzte Geräte sollten eine Alltagserleichterung darstellen. Sie dienten auch der Automatisierung von Abläufen. Wesentlicher Nachteil des Systems war der fehlende Rückkanal, sodass Anwendungen, die eine Schaltsicherheit erfordern, nicht realisiert werden konnten.

Umgebungen werden mit derartig oder vergleichbar vernetzten Geräten angereichert, um die Fähigkeiten von Nutzern zu erweitern und diese bei der Ausführung von Tätigkeiten zu unterstützen. Werden dabei Smarte Objekte vernetzt, um aus gesammelten Daten Schlussfolgerungen zu ziehen und das Systemverhalten anzupassen, so wird in der Literatur üblicherweise von Smarten oder Intelligenten Umgebungen gesprochen (vgl. Cook und Das, 2004; Cook und Das, 2007; Dey et al., 2000; Ferscha, 2007; Youngblood et al., 2005). Dabei rückt die Technologie in den Hintergrund der Wahrnehmung und agiert somit unaufdringlich.

Cook und Das definieren eine Smarte Umgebung anhand des Einsatzes Smarter Geräte (vgl. Abschnitt 2.1) sowie der Fähigkeit sich Wissen anzueignen und dieses anzuwenden, um eine Adaptivität zu ermöglichen:

»A smart environment is a small world where all kinds of smart devices are continuously working to make inhabitants' lives more comfortable. A definition of smart or intelligent is the ability to autonomously acquire and apply knowledge, while environment refers to our surroundings. We therefore define a smart environment as one that is able to acquire and apply knowledge about an environment and also to adapt to its inhabitants in order to improve their experience in that environment.« — Cook und Das (2004)

Laut Burmeister (2018) werden normale Umgebungen durch die Vernetzung und Einbettung von Technologie und die Koordination durch eine Umgebungsintelligenz zu Smarten Umgebungen. Das umfasst insbesondere auch die Anreicherung von Gegenständen hin zu Smarten Objekten. Konsequenterweise prägt die Vielzahl und Heterogenität der eingesetzten Geräte das Bild in einer Smarten Umgebung.

Während die beiden Begriffe Smarte Umgebung und Intelligente Umgebung in der Literatur weitgehend synonym verwendet werden, betrachten Augusto et al. (2013) Intelligente Umgebungen als um eine Umgebungsintelligenz erweiterte Smarte Umgebungen. In dieser Betrachtungsweise gestattet die Umgebungsintelligenz den Intelligenten Umgebungen – im Gegensatz zu Smarten Umgebungen – erfasste Daten zu Kontextinformationen weiterzuverarbeiten und gegebenenfalls eigenständig auf Situationen zu reagieren, die ein Handeln erforderlich machen.

Smarte Umgebungen können als eine Realisierungsmöglichkeit der Visionen des Ubiquitous Computings und des Pervasive Computing betrachtet werden. Daher sind im Kontext smarter Umgebungen insbesondere auch diese beiden Paradigmen zu betrachten.

Marc Weiser beschreibt in seiner Vision des Ubiquitous Computing eine neue Form der Computernutzung, bei der Computer in der physischen Umgebung

verfügbar gemacht werden, die jedoch unaufdringlich eingesetzt werden und für die BenutzerInnen somit effektiv unsichtbar sind:

»Ubiquitous Computing enhances computer use by making computers available throughout the physical environment, while making them effectively invisible to the user.« — Weiser (1999)

IBM prägte einen ähnlichen, häufig synonym verwendeten Ansatz, basierend auf der industriellen Sichtweise auf das Ubiquitous Computing. Hier steht der Zugriff auf für eine Situation relevante Informationen – wann immer und wo immer sie benötigt werden – im Fokus:

»Convenient access, through a new class of appliances, to relevant information with the ability to easily take action on it when and where you need.« — IBM, entnommen aus Hansmann et al. (2003)

Beide Visionen beschreiben somit nahezu identische Paradigmen, die sich im Wesentlichen in ihrer Sichtweise auf bestimmte Teilaspekte und den technischen Grundlagen unterscheiden. In der Literatur wurden mehrere Versuche unternommen, die beiden Paradigmen aus unterschiedlichen Perspektiven voneinander abzugrenzen.

So wird dem Ubiquitous Computing ein Fokus auf den Zugang zu Rechnern überall und jederzeit (Ronzani, 2009) und eine Assoziation mit der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) in Smarten Umgebungen (Augusto et al., 2013) zugeschrieben. Dem Pervasive Computing wird hingegen eine stärkere Ausrichtung auf technische Aspekte zugeordnet, wie beispielsweise die eingesetzten Systeme, das Vernetzungskonzept oder die Datenverarbeitung (Augusto et al., 2013; Ronzani, 2009).

Mattern (2001) differenziert die beiden Paradigmen anhand der perspektivischen Ausrichtung. So schreibt er dem Ubiquitous Computing eine langfristige akademische Vision mit einem Fokus auf eine menschenzentrierte, unaufdringliche Interaktion mit diversen Geräten in der Umgebung sowie der Umgebung selbst zu. Das Pervasive Computing betrachtet er hingegen als eine kurzfristig erreichbare, industrielle Sicht mit einem Fokus auf eine allgegenwärtige Informationsverarbeitung vorrangig für Geschäftsprozesse.

Ein weiterer Ansatz der Abgrenzung basiert auf einer Gegenüberstellung der Paradigmen anhand des Grads der Einbettung und des Grads der Mobilität (Lyytinen und Yoo, 2002). Die Autoren schreiben dem Ubiquitous Computing einen höheren Grad der Mobilität zu, welcher aus der stärkeren Assoziation zum Mobile Computing resultiert. Dem Pervasive Computing hingegen ordnen die Autoren eine stärkere Ortsabhängigkeit zu, da diese durch die zugrundeliegende Modellierung der jeweiligen Umgebung stärker ortsbezogen sind. Konsequenterweise heben sie die beschränkte Gültigkeit der Modelle und den hohen Aufwand, einem Computer Kenntnisse über dessen Umgebung zu verschaffen als Hauptherausforderung des Pervasive Computing hervor. Die Schlüsselherausforderungen des Ubiquitous Computing erwachsen den Autoren zufolge aus der Integration der hohen Mobilität und Pervasiven Umgebungen.

Eine Erweiterung der Konzepte des Ubiquitous und Pervasive Computing stellt die Idee der Ambient Intelligence (bzw. der Umgebungszintelligenz) dar (Zelkha et al., 1998). Laut Aarts und Encarnaço (2006) nimmt der Begriff Ambiente Bezug auf die Umgebung und spiegelt dabei die Notwendigkeit wider Technologie so einzubetten, dass sie unaufdringlich in Alltagsgegenstände integriert ist. Zudem stellen die Autoren heraus, dass sich der Begriff Intelligenz darauf bezieht, dass die digitale Umgebung bestimmte Formen der sozialen Interaktion aufweist. So sollte sie in der Lage sein, in der Umgebung befindliche Menschen zu erkennen, sich an sie anzupassen, aus ihrem Verhalten zu lernen und gegebenenfalls an ihrer statt zu handeln.

Somit kann die digitale Umgebung zwar proaktiv handeln, dennoch stellen Cook et al. (2009) heraus, dass Systeme mit Umgebungszintelligenz ebenfalls wissen sollten, wann sie die BenutzerInnen nicht unterbrechen bzw. wann sie keine Vorschläge machen sollen. Auch Petersen (2005) betont, dass die BenutzerInnen das Intelligenteste in der Umgebung sind und sie somit die Entscheidungshoheit haben sollten. Dies spiegelt sich auch in dem von Streit et al. (2005) angeführtem Grundsatz »*Human in the loop*« wider. In der Folge werden geeignete Benutzungsschnittstellen erforderlich, mittels derer die BenutzerInnen Einfluss auf die Umgebung nehmen können.

Der erstmals im Jahr 1999 verwendete Begriff des Internets der Dinge (engl. Internet of Things, kurz IoT) beschreibt die Vernetzung von eindeutig identifizierbaren, physischen Objekten (Ashton et al., 2009). Das Internet der Dinge findet in Smarten Umgebungen konkrete Anwendung und birgt das Potenzial zur Realisierung der Paradigmen des Ubiquitous und Pervasive Computings (Perera et al., 2014). Der Begriff unterstreicht zudem die Fokussierung auf eine Kommunikation mittels des Internet Protocol (IP) bzw. über das Internet. Insgesamt handelt es sich somit beim Internet der Dinge um einen Verbund aus per IP gekoppelten, dezentral organisierten Smarten Objekten.

Die Heterogenität der Smarten Objekte, Vielzahl der eingesetzten Protokolle, Datentypen und -formate sowie künstlich erzeugte »Walled Gardens« erschweren jedoch eine herstellerunabhängige Verknüpfung Smarter Objekte im Internet der Dinge.

Eng verwandt mit dem Begriff IoT sind Cyber-physische Systeme (engl. Cyber-Physical Systems, kurz CPS). Hierbei handelt es sich um Verbünde aus Software und mechanischen und elektronischen Komponenten, die über ein Netzwerk kommunizieren.

Die Nähe der beiden Begriffe wird anhand einer Betrachtung der gängigen Definitionen des Begriffs des Cyber-physischen Systems deutlich. So wird oft lediglich angeführt, dass es sich bei CPS um Verbünde von Systemen handelt, die mit ihrer physischen Umgebung interagieren können (vgl. Johansson et al., 2014; Lee, 2015; Metzger et al., 2015). Diese allgemeine Begriffsbeschreibung trifft somit auch auf Systeme des IoT zu. An anderer Stelle wird hervorgehoben, dass es sich bei CPS um mechatronische Systeme handelt, die eine enge Verknüpfung zwischen Berechnung, Kommunikation und physischen Komponenten aufweisen (Ragavan und Shanmugavel, 2016).

Konkreter wird die Begriffsunterscheidung anhand der Definition von Boulila (2019), die hervorhebt, dass es sich um eine Verknüpfung von Computersystemen mit physikalischen Prozessen handelt:

»Cyber-Physical Systems consist[...] of computation, communication and control components tightly combined with physical processes of different domains such as mechanical, electrical, and chemical.« — Boulila (2019)

Eine Abgrenzung der Begriffe kann somit folgendermaßen vorgenommen werden: Während bei Cyber-Physical Systems die physikalischen Prozesse aus verschiedenen Bereichen (Mechanik, Elektrik und Chemie) stärker hervorgehoben werden, liegt die Betonung beim Internet der Dinge auf der Adressierung der Systemkomponenten (IP). Dabei handelt es sich grundsätzlich um komplementäre Technologien, sodass Systeme des Internets der Dinge beispielsweise eingesetzt werden können, um ein Cyber-physisches System zu schaffen.

Die Produkte des Internets der Dinge lassen sich in unterschiedliche Marktsegmente unterteilen (s. Abbildung 2.1). So werden vom Menschen am Körper getragene Geräte, die netzwerkfähig und mit Sensorik und/oder Aktorik ausgestattet sind als Wearables bezeichnet. Im Smarten Zuhause unterstützen smarte Objekte alltägliche Aufgaben und Prozesse der Bewohner. Auch im öffentlichen Raum können Produkte des Internets der Dinge durch entsprechende Dienste eine Vielzahl an Prozessen unterstützen. So ermöglichen Smarte Städte eine effiziente Steuerung der Energieversorgung oder des Verkehrs. Hierzu können Informationen über und für VerkehrsteilnehmerInnen – sei es im Individual- oder im öffentlichen Personennahverkehr – herangezogen werden. Außerdem können Anwendungen realisiert werden, die die öffentliche Sicherheit betreffen. Darüber hinaus gestattet der Einsatz von Produkten des Internets der Dinge die Automatisierung von Herstellungs- und Betriebsprozessen sowie von Lieferketten im Rahmen der Smarten Fabrik. Dieser industriellen Sektor umfasst auch den Gesundheitsbereich, wo Produkte des Internets der Dinge beispielsweise im Rahmen eines Smarten Krankenhauses zur Optimierung von Prozessen oder in der Gesundheitsversorgung eingesetzt werden können.

2.3 INTERAKTION IN SMARTEN UMGEBUNGEN

Laut Duden⁴ beschreibt der Begriff der Interaktion ein »aufeinander bezogenes Handeln zweier oder mehrerer Personen« sowie eine »Wechselbeziehung zwischen Handlungspartnern«. Während diese Beschreibung offensichtlich auf die zwischenmenschliche Interaktion bezogen ist, lässt sie sich leicht auf den Austausch zwischen Mensch und Maschine übertragen: Die Mensch-Maschine-Interaktion bezeichnet das aufeinander bezogene Handeln einer oder mehrerer BenutzerInnen und einer oder mehrerer Maschinen, sodass eine Wechselbeziehung zwischen diesen entsteht. Konsequenterweise lässt sich ein Mensch-Maschine-System folgendermaßen charakterisieren:

⁴ »Interaktion« auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/71681/revision/534348> (Abrufdatum 21.12.2022)

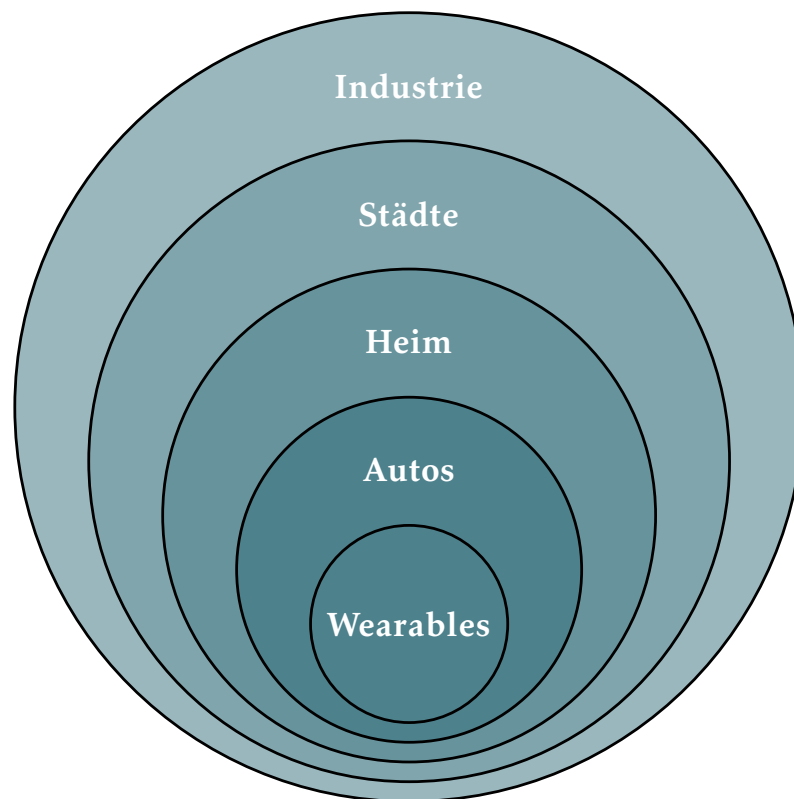


ABBILDUNG 2.1 – Marktsegmente des Internets der Dinge (vgl. Jankowski et al., 2015)

»Ein Mensch-Maschine-System ist durch das Zusammenwirken eines oder mehrerer Menschen mit einem technischen System gekennzeichnet. [...] Die Wechselwirkung (oder Interaktion) zwischen Mensch und Maschine dient in allen Fällen der bestmöglichen Erfüllung vorgegebener Ziele.« — Johannsen (1993)

Während die Interaktion mit klassischen Computersystemen meist über eine klar definierte und für die BenutzerInnen offensichtlich erkennbare (wenn auch nicht unbedingt offensichtlich zu bedienende) Schnittstelle erfolgt, ist diese Schnittstelle bei Smarten Umgebungen nicht mehr zwangsläufig direkt ersichtlich. Aufgrund der Integration der Technik in Smarte Objekte und über diese in das Ambiente, rückt die Technik in den Hintergrund. Dies bietet Vorteile, sofern die Objekte über eine geeignete Affordanz (Norman, 1988, 1999) oder Signalgeber (engl. *signifiers*, s. Norman, 2008) verfügen. Zudem können die mit der Heterogenität der verfügbaren und vorstellbaren Objekte verbundenen Ein- und Ausgaben die Grundlage für eine multimodale Interaktion darstellen (Pruvost et al., 2011). Darüber hinaus ermöglicht die Verknüpfung unterschiedlicher Objekte das Angebot einer Vielzahl individuell auswählbarer Interaktionsmoda-

litäten. Eine über die typische Interaktion mit diesen an Alltagsgegenständen orientierten Objekten hinausgehende Interaktion erfordert allerdings Kenntnisse über die Schnittstelle seitens der BenutzerInnen. In diesem Fall werden zusätzliche Hilfestellungen benötigt, da die Affordanzen und Signalegeber nicht ausreichen. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn Ein- und Ausgabefunktionalität mehrerer Smarter Objekte verknüpft werden, sodass die BenutzerInnen explizites Wissen über diese Verknüpfung haben müssen.

Interaktionsmöglichkeiten und Gerätefunktionalität sind bei Smarten Umgebungen für die sich in ihnen bewegende Menschen oftmals nicht mehr bewusst wahrnehmbar, was insbesondere auch durch den Umfang, in dem diese realisiert sind, beeinflusst wird. Darüber hinaus können Smarte Umgebungen unterschiedlich stark mit zusätzlicher Funktionalität angereichert sein, was eine erwartungskonforme Gestaltung erschwert. Die Gegensätzlichkeit der erweiterten Funktionalität in Smarten Umgebungen und der (Un-)Sichtbarkeit dieser wird auch als *Invisibility Dilemma* bezeichnet (Kranz et al., 2010).

Die beschriebene Einbettung in Alltagsgegenstände und somit in die Umgebung erfordert daher neue Bedienkonzepte und Interaktionsmuster, da altbekannte Konzepte schlecht übertragbar oder schlicht ungeeignet für eine räumlich bezogene Interaktion sind. Auch stellt eine Umgestaltung der Benutzungsschnittstellen einen denkbaren Ansatz dar, um dem *Invisibility Dilemma* zu begegnen. So könnten Interaktionsmöglichkeiten und Gerätefunktionalität über einen Dialog zugänglich gemacht werden, bei dem die BenutzerInnen die Bedienung während der Benutzung erlernen.

Mit dem Begriff *Natürliche Benutzungsschnittstellen* (engl. *Natural User Interfaces*, kurz NUI) werden Benutzungsschnittstellen bezeichnet, die effektiv unsichtbar sind und unsichtbar bleiben, während die BenutzerIn kontinuierlich immer komplexere Interaktionen erlernt. Sie sind nach dem Vorbild der zwischenmenschlichen Interaktion (Gesten, Sprache und Mimik) und der alltäglichen menschlichen Interaktion mit physischen Objekten (berühren und greifen) gestaltet. Daher wird ihnen eine leichte Erlernbarkeit und eine Intuitivität zugeschrieben (Wachs et al., 2011). Die zwei Kernansätze des NUI sind eine Interaktion über Gestik (im Rahmen einer Gestensteuerung, die auch Berührungen auf Interaktiven Oberflächen umfasst) und über Sprache (im Rahmen einer Sprachsteuerung), deren Kombination bereits von Krueger (1983) mit dem Begriff *natürliche Interaktion* beschrieben wurde. Auch Wachs et al. (2011) berufen sich auf Interaktionen basierend auf Sprache und Kinetik. Darüber hinaus existieren diverse weitere Klassen an Benutzungsschnittstellen, die den NUI zugeordnet werden können. Hierzu zählen unter anderem die von Ishii (2008) beschriebenen *Tangible User Interfaces* (TUI) und die von Vertegaal und Poupyrev (2008) und von Holman und Vertegaal (2008) vorgestellten *Organic User Interfaces* (OUI), die sich an der typischen, menschlichen Interaktion mit Alltagsgegenständen orientieren.

NUI stellt ein sinnvolles Bedienkonzept dar, welches die zwischenmenschliche Interaktion und die natürliche Interaktion mit Alltagsgegenständen zum Vorbild nimmt und daher gut für mit Technologie angereicherte Umgebungen und eine räumliche Interaktion geeignet ist. Allerdings ist es ohne weitere Maßnahmen unzureichend, um dem *Invisibility Dilemma* zu begegnen, da auch bei diesen

die Interaktionsmöglichkeiten zunächst unbekannt sind und erst durch die NutzerInnen erlernt werden müssen. So bleibt das verwendete Gestenalphabet eines Interaktionsgeräts oder eines (Teil-)Systems ohne weitere Hilfestellungen verborgen und auch verstandene Sprachkommandos und Dialogmöglichkeiten erschließen sich nicht unbedingt sofort. Die fehlende Explorierbarkeit der Interaktionsmöglichkeiten stellt somit eine weitere Hürde dar, die die Problematik des Invisibility Dilemma noch weiter verschärft. Daher sind auch bei dem Einsatz von NUI in Smarten Umgebungen weitere Hilfestellungen und Instruktionen zu erwägen, die geeignet sind, um BenutzerInnen den Umgang mit der Umgebung zu ermöglichen.

Dey et al. (2001) bezeichnen im Kontext des Ubiquitous Computing in den Hintergrund tretende Benutzungsschnittstellen als *Disappearing Interfaces*, wobei sie drei Abstufungen der Unsichtbarkeit unterscheiden:

Vollständig unsichtbar Computer und Schnittstelle sind fast vollständig in die vertraute Umgebung der BenutzerInnen integriert. Die Interaktion findet implizit und oftmals unbewusst statt.

Transparent Bei der Verwendung machen sich BenutzerInnen keine Gedanken über die Benutzungsschnittstelle. »Unsichtbarkeit« ist hier nicht wörtlich zu nehmen, sondern vergleichbar mit der alltäglichen Interaktion mit vertrauten Werkzeugen. Die Nutzung erfolgt ohne weiteres Nachdenken und der Fokus liegt stattdessen auf dem eigentlichen Ziel.

Untergeordnet Funktionalen Aspekte rücken in den Hintergrund und werden von der BenutzerIn nicht weiter beachtet. Sie werden ästhetischen oder anderen persönlichen Aspekten untergeordnet. Dies ist vergleichbar mit Kleidung, die zwar eine Funktion erfüllt, jedoch vorrangig aufgrund ästhetischer oder anderer persönlicher Aspekte ausgewählt wird.

Auf ähnliche Art unterscheiden Streit und Nixon (2005) zwei Formen des »Verschwindens« von Computern. Während sie das physische Verschwinden auf eine Miniaturisierung und Integration von Computern in Alltagsgegenstände zurückführen, beschrieben sie das mentale Verschwinden als einen Vorgang, bei dem Computer nicht mehr als solche wahrgenommen werden, weil sie anhand ihrer Funktionalität als andere Dinge wahrgenommen werden. Als Beispiel nennen die Autoren das mentale Verschwinden von Computern in interaktiven Wänden oder Tischen.

Ebenfalls im Kontext des Ubiquitous Computing beschreiben Janlert und Stolterman (2015) die *Faceless Interaction* (bezugnehmend auf den englischen Begriff »Interface«) als eine Interaktion, die entweder ohne expressive oberflächengebundene Modalitäten oder ohne impressive oberflächengebundene Modalitäten auskommt. Während das Tippen auf einer Tastatur eine oberflächengebundene expressive Modalität und die Verwendung eines Bildschirms eine oberflächengebundene impressive Modalität ist, handelt es sich bei einer Sprachsteuerung um eine Faceless Interaction. Werden Alltagsgegenstände im Rahmen des Internets der Dinge um Interaktionsmöglichkeiten mit Smarten Objekten angereichert, so sprechen Kranz et al. (2010) – analog zur Faceless Interaction – von *Embedded Interaction*. Die Autoren grenzen die Begriffe dabei anhand der Abhängigkeit

der Vernetzung von Smarten Objekten vom Nutzerkontext und einer möglichen Multimodalität bei der Embedded Interaction ab.

2.4 DER BEGRIFF NATÜRLICHKEIT

Im Rahmen von Benutzungsschnittstellen wird zunehmend das Kriterium der *Natürlichkeit* angeführt. Laut Herczeg (2018) bezieht sich der Begriff auf eine Naturtreue bezüglich der Wahrnehmungskanäle, sodass der Grad der Natürlichkeit einer Benutzungsschnittstelle auf den Grad der Synästhesie der eingesetzten Medien zurückzuführen ist. Durch das Wirken der einzelnen Medien entwickelt sich ein konsistenter Gesamteindruck, sodass letztlich ein entsprechender Grad an Erwartungskonformität bezüglich der Wahrnehmungserfahrung aus der realen Welt entsteht.

Ebenfalls im Zuge der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen häufig genannt wird die *Intuitivität*. Bei dem Begriff handelt es sich um einen Neologismus, denn der Begriff existiert in der deutschen Sprache genau genommen nur als Adjektiv (vgl. Herczeg, 2018). Laut Duden⁵ ist der Begriff gleichbedeutend mit »auf Intuition beruhend« oder »mit Intuition erfolgend, Intuition besitzend«, wobei sich der Begriff Intuition laut Duden⁶ im ersten Fall auf »das unmittelbare, nicht diskursive, nicht auf Reflexion beruhende Erkennen, Erfassen eines Sachverhalts oder eines komplizierten Vorgangs« und im zweiten Fall auf die »Eingebung, (plötzliches) ahnendes Erfassen« bezieht. Umgangssprachlich bezeichnen wir Dinge als intuitiv, wenn sie keiner Erklärung bedürfen (Herczeg, 2018). Aspekte dieses umgangssprachlichen Kriteriums lassen sich laut Herczeg auf unterschiedliche andere Gestaltungskriterien, wie die Natürlichkeit oder die Selbstbeschreibungsfähigkeit zurückführen. Der Autor stellt jedoch auch heraus, dass die Frage, inwiefern Intuitivität darüber hinaus noch weitere Aspekte umfasst, noch nicht umfassend geklärt ist.

Obwohl sich die Interaktion bei NUI an der alltäglichen Umgangsweise des Menschen orientiert, wird argumentiert, dass Natürliche Benutzerschnittstellen in Wahrheit und im Widerspruch zum Begriff nicht natürlich sind, da sie sich auf Handlungen stützen, die untypisch für eine natürliche menschliche Kommunikation sind. Zudem hängt die Bedeutung von Symbolen, wie sie beispielsweise auch bei Gesten Anwendung finden, vom kulturellen Hintergrund des Nutzers ab. Obwohl keine Kultur bekannt ist, die beim Sprechen nicht gestikuliert (Seyfeddinipur, 2012), variiert die Bedeutung derselben Gesten in unterschiedlichen Kulturen, wobei einige Gesten sogar gegensätzliche Bedeutungen haben (Preim und Dachselt, 2015). Daher kann nicht angenommen werden, dass BenutzerInnen ein entsprechendes System ohne den (bewussten oder unbewussten) Einsatz von Vorwissen verwenden können.

Norman (2010) und auch Norman und Nielsen (2010) führen den begrifflichen Widerspruch am Beispiel der gestischen Interaktion aus und stellen mehrere

⁵ »intuitiv« auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/147547/revision/535102> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁶ »Intuition« auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/72049/revision/534155> (Abrufdatum 21.12.2022)

Probleme heraus, die einer Natürlichkeit im Wege stehen. Aufgrund der beschriebenen Mehrdeutigkeit unterschiedlicher Gesten haben diese Interaktionen nicht dieselbe Bedeutung für alle potentiellen BenutzerInnen. Bei Gesten gibt es typischerweise keine direkte Aufzeichnung der Ausführung (beispielsweise des Bewegungspfad). Sie sind ephemere. Die flüchtige Natur der Gesten erschwert das Bereitstellen von Rückmeldungen, welche jedoch wichtig sind, damit BenutzerInnen bei einer fehlerhaften Ausführung einer Gesten Korrekturen vornehmen können, sodass diese bei der nächsten Ausführung erkannt wird. Neben uninformativen Systemantworten und allgemein fehlenden Rückmeldungen bei vielen Systemen, führt Norman an, dass Gestensysteme aufgrund der Unsichtbarkeit nicht explorierbar sind und daher Wissen über die Interaktionsmöglichkeiten erfordern.

Auch Malizia und Bellucci (2012) argumentieren, dass es sich bei Natürlichen Benutzungsschnittstellen eigentlich um eine künstliche Natürlichkeit handelt, da diese Schnittstellen im Fall von Gestensteuerung zwar auf Körperbewegungen beruhen, die aber von Interaktionsdesignern vorgegeben sind. Laut den Autoren sollte das Ziel darin bestehen, dass NutzerInnen Gesten zur Verfügung gestellt werden, an die sie eher gewöhnt sind, wobei ihre Gewohnheiten, ihr Hintergrund und kulturelle Aspekte berücksichtigt werden sollten.

Wigdor und Wixon (2011) argumentieren hingegen, dass mit dem Begriff NUI nicht gemeint sei, dass die Schnittstelle selbst natürlich wäre, sondern dass sich die Interaktion mit der Technologie auf natürliche Weise entwickelt:

»A NUI is not a natural user interface, but rather an interface that makes your user act and feel like a natural.« — Wigdor und Wixon (2011)

Preim und Dachzelt (2015) definieren den Begriff daher folgendermaßen:

DEFINITION 2.1 (Natürliche Benutzungsschnittstelle) – *Eine natürliche Benutzungsschnittstelle ist ein System zur Mensch-Computer-Interaktion, mit dem Benutzer mittels intuitiver und zumeist direkter Bedienhandlungen interagieren, die einen klaren Bezug zu natürlichem, realweltlichem menschlichen Alltagsverhalten aufweisen. Natürlich heißt dabei nicht angeboren, sondern bezieht sich auf dem Benutzer durch den Alltag vertraute und erlernte Handlungen bzw. auf solche Handlungen, die Benutzern im Moment der Interaktion als angemessen erscheinen.*

Im Folgenden wird bei der Verwendung des Begriffs Natürliche Benutzungsschnittstelle auf diese Definition Bezug genommen. Der Begriff der *Natürlichkeit* wird in dieser Arbeit stellvertretend für eine erwartungskonforme Art und Weise verwendet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kritik von Norman (2010) nach wie vor Gültigkeit besitzt und dass bei der Gestaltung Natürlicher Benutzungsschnittstellen ein besonderer Fokus auf die Limitation dieser Schnittstellen gesetzt werden muss, um eine Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten. Insbesondere im Bereich der Explorierbarkeit und der Rückmeldungen ist noch offen,

wie BenutzerInnen geeignet unterstützt werden können bzw. welche alternativen Ansätze geeignet sind, um einen Teil der Erkenntnisse und Errungenschaften anderer Benutzungsschnittstellen zu übertragen.

2.5 AMBIENTE ANWENDUNGEN

Zu beachten ist, dass Smarte Objekte stets physische Objekte sind, die daher immer auch aus einer Hardwarekomponente bestehen. Grundsätzlich muss darüber hinaus zwischen Smarten Objekten und separater Software sowie Mischformen in Systemverbänden unterschieden werden.

Während ein Großteil der marktverfügbaren Smarten Objekte über »einfache« Ein- oder Ausgabefunktionalität verfügt, mittels derer sich ohne komplexe Logik beispielsweise Licht- oder Heizungssteuerungssysteme realisieren lassen, werden für umfangreichere Aufgaben andere Gerätetypen angeboten, die über weitreichende Funktionalität verfügen. In der Regel handelt es sich um hybride Geräte, die viele Ein- und Ausgabefunktionen bieten und oftmals über nachinstallierbare Anwendungen (teilweise als Skills oder Features bezeichnet⁷) erweitert werden können.

Darüber hinaus existieren in Smarten Umgebungen in der Regel weitere Anwendungen, die nicht direkt an physische Geräte gebunden sind oder auf Smarten Objekten ausgeführt werden. Stattdessen werden sie an anderer Stelle zur Verfügung gestellt, um mittels zwischengeschalteter Logik komplexere Einsatzszenarien zu realisieren. In der Literatur wird diese zwischengeschaltete Logik teilweise als Dienst (engl. *service*) bezeichnet (vgl. Goumopoulos und Mavrommati, 2020). Hierbei wird jedoch kein Fokus auf die Interaktion einer BenutzerIn mit einem System aus Smarten Objekten und dieser zwischengeschalteten Logik gelegt, sondern in der Regel eine sensorbasierte Steuerung von Ausgabegeräten basierend auf unterschiedlichen Regelsätzen angestrebt. Diese Logik wird also im Hintergrund ausgeführt, wie es die Einordnung als Dienst auch schon nahelegt.

Im Gegensatz hierzu bietet sich bei der Verknüpfung von Smarten Objekten mit Ein- und Ausgabefunktionalität im Zuge der Mensch-Computer-Interaktion der Begriff der Anwendung an, wie er prinzipiell auch bei klassischen Computersystemen genutzt wird. Somit wird das Konzept der Benutzeranwendung als eine Anwendung, die auf Eingaben einer BenutzerIn reagiert und ggf. Ausgaben weiterleitet, auf Smarte Umgebungen übertragen:

DEFINITION 2.2 (Ambiente Anwendung) – *Ambiente Anwendungen zeichnen sich durch ihren engen Bezug zu einer Smarten Umgebung aus, wobei sie entweder mittels Komponenten der Umgebung gesteuert werden oder über Ausgabemöglichkeiten zur Steuerung weiterer vergleichbar gestalteter Anwendungen oder Smarter Objekte verfügen. Hierbei handelt es sich um reine Softwaresysteme, die zwar auf einem konkreten Rechensystem ausgeführt werden müssen, bei denen die Hardware aber prinzipiell austauschbar ist.*

⁷ <https://www.amazon.com/alexa-skills/b?ie=UTF8&node=13727921011> (Abrufdatum 21.12.2022)

Diese Betrachtungsweise bietet die grundsätzliche Möglichkeit der Entkopplung von Interaktion und Anwendungs- bzw. Geschäftslogik. Bei entsprechender Gestaltung der Schnittstellen lassen sich so Anwendungen sowie Ein- und Ausgabegeräte trennen und prinzipiell auf unterschiedliche Weise für den jeweiligen Nutzungskontext zusammenstellen (s. Kapitel 3). Diese Aufteilung der Komponenten kann dabei sowohl auf einer physischen als auch auf einer logischen Ebene erfolgen.

Zur besseren Unterscheidung der beiden beschriebenen Typen Smarter Objekte werden die »einfachen« Smarten Objekte, die im Wesentlichen über Ein- oder Ausgabefunktionalität nach dem Prinzip Auslöser-Aktion und über kein extern steuerbares Menüsystem verfügen, im Folgenden als *Ambiente Objekte* bezeichnet. Beispiele für Ambiente Objekte sind Smarte Heizkörperthermostate oder Smarte Lampen.

Demgegenüber stehen *Komplexe Smarte Objekte*, die über zusätzliche Funktionen oder komplexe Dialogoptionen verfügen. Beispiele für Komplexe Smarte Objekte sind Smarte Speaker, wie sie von Amazon, Google oder Apple angeboten werden. Somit können Komplexe Smart Objekte, die neben Ein- und Ausgabefunktionalität auch über eine umfangreiche Anwendungslogik verfügen, logisch als ein Verbund aus Eingabegerät, einer oder mehrerer integrierter Ambienter Anwendungen und Ausgabegerät bzw. als Verbund aus Ambienten Objekten und Ambienten Anwendungen betrachtet werden, der in einem Gerät integriert ist.

In der Literatur werden Verbünde von Smarten Objekten, die mitunter auch weitere Dienste umfassen, gelegentlich als Pervasive Anwendungen (vgl. Goumopoulos und Mavrommati, 2020) oder als Ubiquitäre Anwendungen (vgl. Davidyuk et al., 2015) bezeichnet, ohne jedoch einen besonderen Bezug zur Mensch-Computer-Interaktion herzustellen. Bezugnehmend auf die von Altakrouri (2014) als Interaktionsensembles (in der Quelle engl. *interaction ensembles*) bezeichneten Verbünde unterschiedlicher Interaktionsmodalitäten, wird im Folgenden ein Systemverbund aus Ambienten Objekten (also Smarten Objekte in der Betrachtungsweise als Ein- und Ausgabegeräte) und Ambienten Anwendungen als *Ambient Ensemble* (kurz *Ensemble*) bezeichnet.

2.6 SMARTE UMGEBUNGEN IM GESUNDHEITSEKTOR

Ähnlich wie in anderen Bereichen des täglichen Lebens können Smarte Umgebungen Menschen im (Berufs-)Alltag im Gesundheitssektor unterstützen, wodurch neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Gesundheitssysteme geboten werden. So stellen Madakam und Uchiya (2019) heraus, dass sich – getrieben durch das Internet der Dinge – mittels Identifizierung, Erfassung und Kommunikation alle Objekte im Gesundheitssystem, einschließlich Personen, Geräte, Medikamente usw. verfolgen und überwachen lassen. Hierdurch gewonnene Informationen lassen sich in den Bereichen Logistik, Diagnose, Therapie, Genesung, Medikation, Management, Finanzen und sogar tägliche Aktivitäten nutzen.

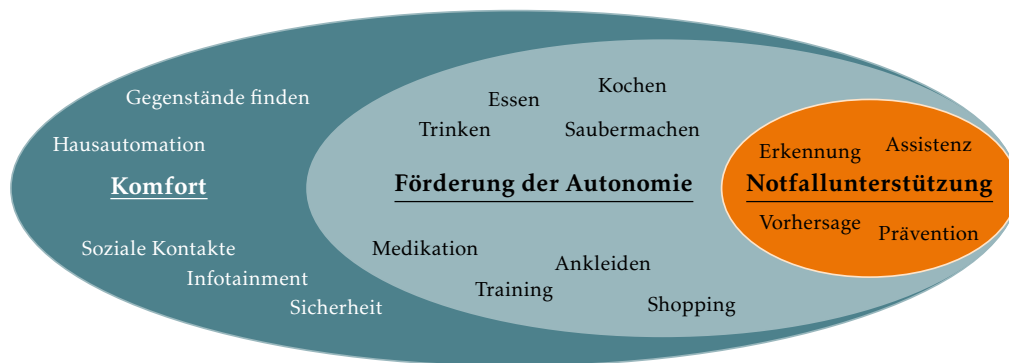


ABBILDUNG 2.2 – Kernbereiche häuslicher Pflege von der Förderung von Komfort und Autonomie bis hin zur Notfallunterstützung (vgl. Kleinberger et al., 2007). Sie sind auch auf andere Bereiche im Gesundheitssektor übertragbar.

Unter dem Begriff des *Smart Health* lässt sich die Zusammenführung der Ideen des Ubiquitous Computing und der ambienten Intelligenz und die Übertragung dieser auf den angestrebten proaktiven Ansatz der sogenannten *P4-Medizin* (bezugnehmend auf die vier Begriffe prädiktiv, personalisiert, präventiv und partizipativ) zusammenfassen (Holzinger et al., 2015). Der Begriff *Smart Health* ist somit eng mit den Konzepten *Wellness* und *Wohlbefinden* verknüpft und umfasst Themenkomplexe wie *Big Data*, *Sensorik*, *Aktorik* und *Monitoring*.

Dabei wird das Ubiquitous Computing als wesentlicher Einflussfaktor zur Etablierung von Diensten im Bereich des *Smart Health* dargestellt. Die Ziele von Anwendungen im Bereich des *Smart Health* reichen von der Verbesserung des Komforts über die Förderung der Autonomie bis hin zur Unterstützung im Notfall, einschließlich Erkennung, Vorbeugung und Vorhersage (s. auch Abbildung 2.2).

Auch im Bereich der Pflege finden Systeme des Internets der Dinge Anwendung (Mieronkoski et al., 2017). So unterstützen Notruf-, Monitoring- und Alarmsysteme das Beaufsichtigen der PatientInnen, die Überwachung gesundheitspezifischer Parameter und die Medikationsüberwachung. Aktivitätsverfolgung und Sturzerkennung ermöglichen ein schnelles Eingreifen im Ernstfall und Systeme zur Kontrolle der Hygiene sorgen für die Einhaltung von Hygienestandards und können somit zur Patientensicherheit beitragen.

Diese im Bereich der Forschung untersuchten Systeme unterstreichen die Vision des *Smart Health* unter Nutzung der konkreten Anwendungsplattform des Internets der Dinge und stellen somit die Möglichkeiten heraus, die sich durch den Einsatz Smarter Umgebungen im Gesundheitsbereich ergeben können.

Besonderes Potenzial kann in der Übertragung des Konzept Smarter Umgebungen auf den Krankenhauskontext gesehen werden, da in diesen umfangreiche und teilweise aufwändige Betriebsabläufe, komplexe Fachbereiche mit speziell ausgebildetem Personal, besonders vulnerable PatientInnengruppen und hochspezialisierte Technologie zusammentreffen. Bei vielen Abläufen ist zu

erwarten, dass Konzepte aus den Bereichen der Smarten Umgebungen, insbesondere hinsichtlich der Vernetzung unterschiedlicher Geräte, unterstützend oder vereinfachend eingesetzt werden können, um beispielsweise eine Einhaltung der vorgesehenen Abläufe zu gewährleisten und Fehler zu vermeiden. Eine frühe Vision eines Systems, welches mit dem Begriff Smart Hospital in Verbindung gebracht wurde, stellt das Konzept des iHospital dar (Sánchez et al., 2008). Es beschreibt eine hochgradig interaktive, Smarte Umgebung, die aus heterogenen Computergeräten zusammengestellt ist. Ein Fokus liegt hierbei auf kontextsensitiven Anwendungen und einer Erkennung der Aktivitäten des Krankenhauspersonals.

Bezugnehmend auf die von Weiser (1999) formulierte Vision (»The most profound technologies are those that disappear.«) stellen Holzinger et al. (2015) den Leitsatz auf, dass die beste Technologie jene sei, die im direkten Arbeitsablauf eingebunden ist und praktisch nicht als solche wahrgenommen wird. Dementsprechend beschreiben die AutorInnen das Smarte Krankenhaus als einen Ort, der die Bereiche Notfallunterstützung, Überwachung von PatientInnen mit chronischen Krankheiten, integrierte Pflegeumgebungen, maschinelles Lernen, Zukunftsmedizin als Datenwissenschaft und natürlichsprachige medizinische Frage-Antwort-Systeme (vgl. IBM Watson, High, 2012) integriert, um sowohl Fachkräfte als auch PatientInnen zu unterstützen. Konkret geben die AutorInnen folgende Begriffsbeschreibung an:

»Smart Hospital: An old dream of a highly interactive environment saturated with high-end ubiquitous devices, and closely related to the context aware health paradigm; this topic is in the strategic focus of large companies including IBM, Siemens, Google, etc., as it is highly business relevant, as it might help to overcome the worldwide cost problems of health systems.« — Holzinger et al. (2015)

Rodrigues et al. (2021) stellen darüber hinaus einen Bezug zum Internet der Dinge her, indem sie dieses als Grundlage für die automatisierten und optimierten Prozesse im digitalisierten Krankenhaus herausstellen, welche wiederum das Smarte Krankenhaus charakterisieren. Die AutorInnen heben zudem hervor, dass Geräte des Internets der Dinge dazu dienen können, bestehenden Verfahren der Patientenversorgung zu verbessern und neue Dienstleistungen einzuführen.

An anderer Stelle wird neben automatisierten und optimierten Prozessen auf Basis des Internets der Dinge zudem die Vernetzung der Komponenten als zentrales Charakteristikum für das Smarte Krankenhaus hervorgehoben:

»A smart hospital is a hospital that relies on optimised and automated processes built on an ICT environment of interconnected assets, particularly based on Internet of things (IoT), to improve existing patient care procedures and introduce new capabilities.« — European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) (2016)

Auch wenn es keine einheitliche Definition des Begriffs des Smarten Krankenhauses gibt, so lassen sich doch Gemeinsamkeiten in den in der Literatur vorgestellten Beschreibungen finden. In Anlehnung an die bereits angeführte Charakterisierung von Smarten Umgebungen und den im Krankenhaus besonders relevanten Aspekt der Prozesse, wird der Begriff des Smarten Krankenhauses im Folgenden stellvertretend für die Vernetzung und Einbettung von Technologie in die Umgebung und deren Koordination insbesondere zum Zwecke der Automatisierung und Optimierung von Prozessen im Klinikum genutzt. Dabei kommt neben Smarten Objekten auch Ambienten Anwendungen eine besondere Bedeutung zu.

Im Kontext des Smarten Krankenhauses beschreiben Kartakis et al. (2012) ein Smartes Krankenzimmer, welches sowohl die PatientInnen als auch das medizinische Personal unterstützen soll. Während den PatientInnen eine Raumsteuerung mittels Smarter Objekte geboten wird, ermöglichen Systeme zur einfachen Erfassung der Vitaldaten eine Unterstützung der täglichen pflegerischen Abläufe. Zudem erlauben die sensorisch erfassten Gesundheitsparameter ÄrztInnen eine bessere Einschätzung des Gesundheitszustands der PatientInnen.

Auch im Intensivkontext bietet das Konzept der Smarten Umgebungen Unterstützungspotenzial. Die Intensivmedizin gilt im Vergleich zu anderen Medizinischen Disziplinen als relativ junges Fachgebiet (Vincent et al., 2010). Erste *Intensivstationen* wurden in den 1950er und 1960er Jahren eingerichtet (Kelly et al., 2014). Sie sind auf die Behandlung von schwerstkranken PatientInnen spezialisiert und sind daher mit besonders erfahrenem Personal besetzt. Zudem zeichnen sie sich durch einen entsprechenden Pflegeschlüssel, also einen höheren Anteil an Pflegepersonal pro PatientIn aus. Dabei stellen Heindl (2019) heraus, dass Intensivstationen von heute nicht mehr nur durch »High-tech«, sondern auch durch »High-social«, »High-knowledge« und »High-responsibility« charakterisiert sind. Heidl führt weiter an, dass der mit der Intensivstation eng verknüpfte Begriff der »Critical Care« nicht einheitlich definiert ist und sich auch schwer übersetzen lässt. Dem Begriff lassen sich jedoch die drei Merkmale Intensivpflege, Intensivüberwachung und Intensivmedizin zuordnen. Larsen (2016) definiert die Intensivstation als spezielle Einrichtung, auf der speziell ausgebildetes pflegerisches und ärztliches Personal schwerstkranken PatientInnen mit höchstem Aufwand überwacht und behandelt. Sie setzt sich aus der Intensivüberwachung, der Intensivtherapie und der Intensivpflege zusammen.

Halpern (2014a,b,c) stellt in seiner Arbeit allgemein Aspekte der Gestaltung moderner Intensivstationen vor, speziell mit Blick auf zukünftige Konzepte. In dritten Teil der Serie wird konkret der Einsatz von moderner Informations- und Kommunikationstechnologie hervorgehoben (Halpern, 2014c). Der Autor beschreibt in diesem Zuge die *Smarte Intensivstation* als eine Einrichtung, die IntensivpatientInnen und alle Pflegeaspekte umfassend und elektronisch zusammenführt. Sie bietet Zugriff auf Daten in einer Vielzahl von Formaten, wandelt Daten in verwertbare Informationen um, nutzt Daten proaktiv, um die Patientensicherheit zu verbessern, und überwacht die Intensivstation, um die Patientenpflege und das Management der Intensivstation zu erleichtern. Dabei geht es laut den AutorInnen in erster Linie darum, die PatientIn elektronisch

in alle Aspekte der Pflege einzubinden und patientenbezogene Daten mithilfe »smarter« oder »intelligenter« Technologien in Informationen umzuwandeln, die in weiteren Prozessen verarbeitet werden können.

Ahouandjinou et al. (2016) verstehen unter dem Begriff der Smarten Intensivstation den Einsatz von *Smarten Medizinischen Geräten* im Kontext der Intensivstation, wobei dort das Konzept der Smartness einen besonderen Beitrag leisten kann, da der Gesundheitszustand der dort versorgten PatientInnen besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Dabei stellen sie eine Übertragung von smarter und vernetzter Gesundheitsversorgung mit Hilfe des Internets der Dinge in den Vordergrund. Die Autoren stellen in ihrer Publikation ein smartes und ubiquitäres (mit Bezug zum Paradigma des Ubiquitous Computing) System für die Patientenüberwachung auf der Intensivstation vor, dessen Ziel eine Verbesserung des Monitorings mittels eines automatischen Systems zur Erfassung medizinischer Daten in Echtzeit und deren Analyse ist, um somit das Personal in der Entscheidungsfindung auf der Intensivstation zu unterstützen.

Zusammenfassend lässt sich unter dem Begriff der Smarten Intensivstation die Übertragung des prozessorientierten Begriffs des Smarten Krankenhauses auf die Intensivstation und die dortigen spezifischen Begebenheiten verstehen, was in erster Linie eine Berücksichtigung der hohen Anforderungen an Personal und Technik umfasst. Ein besonderer Fokus liegt auf der Patientenüberwachung und Datenauswertung. Dabei ist insbesondere die Rolle Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen hervorzuheben, wobei erstere in Form von Smarten Medizinischen Geräten auftreten können, aber nicht auf diese beschränkt sind.

Am Beispiel technologiegestützter Strategien zur Prävention oder Reduktion des für die Intensivmedizin hochgradig relevanten Syndroms des Deliriums, welches sich insbesondere auch durch therapeutische Maßnahmen adressieren lässt, wird das Potenzial Smarter Umgebungen für den Bereich der Intensivpflege besonders deutlich. So identifizieren Kim et al. (2021) 14 technologiegestützte Ansätze, die sie wiederum zu sieben Leitwegen der Delirprävention zusammenfassen:

1. Wiederherstellung der circadianen Rhythmik (u. a. Schlaf-Wach-Rhythmus),
2. Aktivierung des Körpers,
3. Aktivierung des Geists,
4. Förderung der Entspannung,
5. Vermittlung des Gefühls von Sicherheit,
6. Vermittlung des Gefühls von Kontrolle und
7. Vermittlung des Gefühls von Verbundenheit.

Dabei ist hervorzuheben, dass sich eine Smarte Umgebung gut eignet, um viele der genannten Aspekte zu adressieren. So lässt sich beispielsweise durch eine Raumsteuerung (mittels einer Smarten Beleuchtung sowie Smarten Jalousien) Einfluss auf den circadianen Rhythmus nehmen oder mithilfe eines kontextsensitiven Systems mittels Raumlautsprechern eine Entspannung oder Aktivierung unterstützen.

2.7 FAZIT

Smarte Umgebungen bieten auch im Intensivkontext das Potenzial den Arbeitssalltag des medizinischen Personals, aber auch die Situation der PatientInnen zu verbessern. So lassen sich unterschiedliche Prozesse auf der Personalseite unterstützen, eine bessere Beobachtung der Gesundheitsparameter der PatientInnen realisieren oder mittels Smarter Objekte, wie smarte Beleuchtungssysteme oder smarte Jalousien, die Patientenautonomie fördern.

Dabei reicht eine alleinige Vernetzung von Smarten Objekten nicht aus, um alle Anwendungsszenarien abzudecken. Dies gilt in besonderem Maße für Smarte Umgebungen im Gesundheitssektor und auch auf der Smarten Intensivstation, weil die Prozesse hier komplexer sind und sich vielseitigere Unterstützungsbedarfe ergeben.

Durch das Zusammenschließen von Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen können Systemverbünde zusammengestellt werden, wobei durch derartige Ensembles die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, dass Bedarfe besser erfüllt werden. Sie sind somit flexibler einsetzbar als alleinstehende Geräte, die über eine Vielzahl an Funktionen verfügen. Insbesondere können durch Ensembles komplexe Anwendungen in der Smarten Umgebung entstehen, ohne dass eine Anwendung oder ein Gerät jedes mal neu entwickelt werden muss. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise unterschiedliche Interaktionsformen, Modalitäten und Formfaktoren einfach austauschen.

Hierdurch entsteht jedoch auch zusätzlicher Konfigurationsaufwand, da die Ensembles entsprechend zusammengestellt werden müssen. Die Bereitstellung und Verknüpfung dieser Ensembles kann komplex und zeitaufwändig sein. Zudem stehen in vielen Smarten Umgebungen – auch im Gesundheitssektor – keine technischen ExpertInnen bereit, die diese Aufgabe übernehmen könnten. Daher müssen hier geeignete Werkzeuge zur Reduzierung des Aufwands gefunden werden.

Zudem entsteht durch die Entkopplung und dynamische Bereitstellung von Ein- und Ausgabegeräten sowie von Ambienten Anwendungen eine weitere Herausforderung, der begegnet werden muss. Da BenutzerInnen Ensembles typischerweise nicht selbst zusammenstellen, sind sie sich der Steuerungsmöglichkeiten und des Systemverhaltens meist nicht bewusst. In vielen Fällen sind selbst die in der Smarten Umgebung verfügbaren Ausgabemöglichkeiten (wie beispielsweise eine Heizungssteuerung über smarte Thermostate) nicht bekannt. Dieser Umstand verschärft die als Invisibility Dilemma bezeichnete Gegensätzlichkeit von erweiterter Funktionalität in Smarten Umgebungen und der (Un-)Sichtbarkeit selbiger, sodass bei der Gestaltung Smarter Umgebungen mittels dynamisch verknüpfter Ensembles geeignete Hilfestellungen umgesetzt werden müssen.

ENTKOPPLUNG VON EIN- UND AUSGABE

Überlegungen zur Austauschbarkeit von Interaktionsmodalitäten sind beinahe so alt wie der erste kommerziell verfügbare Personal Computer (vgl. Abschnitt 3.2). Dabei erlaubt eine Entkopplung von Ein- und Ausgabe die Würdigung hochdynamischer, mobiler und ambienter Anwendungsszenarien, wie sie insbesondere bei Smarten Umgebungen im Gesundheitskontext anzutreffen sind. Aber auch in anderen Domänen, wie beim Smarten Zuhause, zeichnen sich Smarte Umgebungen typischerweise durch eine Vielzahl miteinander verbundener, heterogener Geräte aus, die Fähigkeiten der NutzerInnen erweitern und sie so in ihrem Alltag unterstützen können. Die Entkopplung von Eingabe und Ausgabe Smarter Objekte sowie eine dynamische Zusammenstellung ermöglicht somit eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Interaktionstechniken, die auf die Fähigkeiten und Vorlieben der NutzerInnen zugeschnitten sind.

Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kordts et al. (2022) publiziert.

In der Literatur wurde zudem bereits eine Entkopplung der Interaktion von der Geräte- und Anwendungslogik in Smarten Umgebungen vorgeschlagen, um der hohen Mobilität und Diversität der NutzerInnen, der Heterogenität des Kontexts und den sich ändernden Ressourcen Rechnung zu tragen (Altakrouri, 2014) und somit die Adaptivität derartiger Systeme hinsichtlich der Fähigkeiten der NutzerInnen und des Anwendungskontexts zusätzlich zu unterstützen.

3.1 SOFTWAREKOMPOSITION IN SMARTEN UMGEBUNGEN

Das Ziel der Softwarekomposition ist eine möglichst einfache und umfangreiche Wiederverwendung von Softwaremodulen nach dem Baukastenprinzip, um die Komplexität von Entwürfen zu reduzieren und die Entwicklung von Softwaresystemen zu vereinfachen. Der Forschungsbereich der Softwaremodularisierung und -komposition ist ein breites Feld, das hier nicht vollumfänglich adressiert

werden kann und soll. Stattdessen geht es an dieser Stelle um einen kurzen Überblick mit einem speziellem Fokus auf Smarte Umgebungen, um die Entkopplung und Komposition von Interaktionsmodalitäten einordnen zu können. Dabei ist zu beachten, dass sich herkömmliche Ansätze der Softwarekomposition aufgrund der in Smarten Umgebungen zu erwartenden Dynamik nur bedingt für den Einsatz in diesen eignen, weil Vorhersagen über zur Laufzeit tatsächlich verfügbare Komponenten und Geräte oftmals erst kurz vor dem tatsächlichen Einsatz sinnvoll möglich sind und daher bei der Entwicklung nicht genutzt werden können (vgl. Delcourt et al., 2021). Stattdessen werden alternative Ansätze herangezogen.

Die Komposition allgemeiner Softwaremodule und Dienste auch für Smarte Umgebungen wurde allerdings in der jüngeren Vergangenheit ebenfalls untersucht. So stellen Stavropoulos et al. (2011) in ihrer Publikation eine Übersicht über Systeme vor, die im Kontext der Ambient Intelligence eine Komposition von Diensten (engl. *Services*) zur Verfügung stellen. Die meisten vorgestellten Systeme nutzen zur Identifikation kompatibler Dienste semantische Annotationen, in der Regel basierend auf der Web Ontology Language (OWL). Die Ziele der NutzerInnen werden bei den vorgestellten Systemen explizit angegeben, wobei hierzu bei einigen Systemen abstrakte Ziele formuliert werden müssen (z. B. »*Spieler das Video ab*«), welche vom System in Arbeitsabläufe (engl. *workflows*) übersetzt werden. Bei anderen Systemen müssen die Arbeitsabläufe direkt angegeben werden. Diese Arbeitsabläufe werden letztlich durch eine Abfolge von Diensten bereitgestellt, wobei die konkret genutzten Dienste durch das System ermittelt werden. Bei der eigentlichen Komposition basierend auf den ermittelten Arbeitsabläufen identifizieren die Autoren im Wesentlichen zwei unterschiedliche Ansätze. Das ist einerseits die als *Planung* bezeichnete Komposition basierend auf bereits ausgeführten Schritten sowie vorgefertigten Algorithmen (typischerweise realisiert durch maschinellen Lernverfahren), wobei es darum geht eine Reihe von Aktionen zu finden, um von einem Ausgangszustand zu einen Zielzustand zu kommen. Und das ist andererseits die als *Zuordnung* (engl. *Matching*) bezeichnete Komposition basierend auf klassischen Algorithmen (üblicherweise Varianten des Brute-Force-Ansatzes), wobei iterativ untersucht wird, ob *Services* die geforderte Funktionalität bieten.

Davidyuk et al. (2015) geben in ihrer Publikation einen Überblick über unterschiedliche Ansätze zur Anwendungskomposition (die Zusammenstellung unterschiedlicher Softwareanwendungen basierend auf kleineren Komponenten) in diesem Kontext. Die AutorInnen analysieren zudem die in ihrer Publikation vorgestellten Konzepte hinsichtlich der Unterstützung der BenutzerInnen während des Lebenszyklus der Anwendung und die Einbeziehung der BenutzerInnen in die Phasen der Komposition und Ausführung. Zudem stellen die Autoren fest, dass sich zwei grundsätzliche Prinzipien der Komposition unterscheiden lassen: Einerseits die automatisierte Komposition und andererseits die interaktive Anwendungskomposition. Während die interaktiven Ansätze Eingriffe der NutzerInnen zur Komposition erfordern, werden bei den vorgestellten automatisierten Ansätzen stets geeignete Dienste anhand von Vorlagen ausgewählt, in denen Kategorien der Dienste und deren Eigenschaften (bzw.

Funktionen) festgehalten sind, die zur Erfüllung bestimmter Aufgaben nötig sind.

Die AutorInnen beschreiben den allgemeinen Fall der Anwendungskomposition als einen vierphasigen Prozess, bestehend aus der Initialisierung (inklusive Dienstbereitstellung und -spezifikation), der Definition eines Szenarios, der eigentlichen Komposition (basierend auf einem Matchmaking) und der Ausführung (inklusive Steuerung und Adaption). Typischerweise wird die Phase der Definition eines Szenarios bei einer automatischen Komposition übersprungen und stattdessen angenommen, dass Vorlagen für die Anwendung bei der Initialisierung erstellt werden.

In einer neueren Publikation beschreiben Bellavista et al. (2018) die Komposition von Diensten in diesem Kontext mittels anpassbarer Regelsätze und Algorithmen zur Lösung eines Constraint-Satisfaction-Problems, über welches die Komposition modelliert wird. Hierzu können – unter anderem – ein Brute-Force-Ansatz, ein vollständiges oder ein unvollständiges Backtracking mit einer Heuristik (realisiert durch Filterkriterien) eingesetzt werden. Das Vorgehen erfordert dabei, dass die NutzerInnen ihre Anforderungen spezifizieren, wobei diese kein tieferes Verständnis des Systems und der technischen Informationen benötigen. Diese abstrakten Anforderungen werden von der von den Autoren vorgestellten Middleware in konkrete Arbeitsabläufe basierend auf konkreten, verfügbaren Diensten übersetzt.

Einen etwas anderen Ansatz zum Zusammenstellen von Software im Kontext Smarter Umgebungen verfolgen Koussaifi et al. (2018), die eine Komposition mittels maschineller Lernverfahren anstreben. Hierzu wird auf die Methode des Bestärkenden Lernens (engl. *reinforcement learning*) zurückgegriffen. Dabei werden die Dienste opportunistisch und automatisch zusammengesetzt, wobei die BenutzerInnen die Entscheidungshoheit haben. Sie können bei der Konfliktlösung helfen und die Anpassungsstrategie verbessern, indem sie Rückmeldungen geben. Das System erfasst dabei zunächst bestehende Komponenten, trifft eine Entscheidung bezüglich der Vernetzung dieser (unter der Bedingung, dass zwei vernetzte Komponenten zueinander kompatibel sind) ohne dabei auf einen vorher festgelegten Plan zurückzugreifen und teilt den Komponenten die Vernetzung mit.

Kürzlich stellen die AutorInnen darüber hinaus einen Ansatz zur Generierung von Erklärungen des Systemverhaltens vor, wobei jedoch kein expliziter Fokus auf eine Erklärung der Interaktionsmöglichkeiten gelegt wird (Koussaifi et al., 2019). Hierzu werden benutzerorientierte Beschreibungen der zusammengesetzten Softwarekomponenten generiert, die hauptsächlich aus Regeln bestehen, die die Komponenten und die Anwendungen erklären. Sie werden aus den Beschreibungen der einzelnen Komponenten, die beim Entwurf der Komponenten angegeben werden, und den Verbindungen zwischen den Diensten, die vom System ermittelt werden, zusammengesetzt. Zudem haben die AutorInnen einen Editor entwickelt, der eine Anwendung vorschlägt und es den BenutzerInnen erlaubt, eine Bereitstellung zu veranlassen oder den Vorschlag zu verwerfen.

Delcourt et al. (2021) beschreiben die automatische und dynamische Zusammenstellung von Anwendungen basierend auf Verbänden von Smarten Objekten

sowie Diensten, sodass diese an den aktuellen Zustand der Umgebung und der BenutzerIn angepasst sind. Hierbei steht die Verknüpfung von Sensorik und Aktorik im Zuge einer Automatisierung im Vordergrund, sodass die Vernetzung primär die Systemverhaltensebene adressiert. Die NutzerInnen haben die Möglichkeit in den Prozess einzugreifen, indem sie vorgeschlagene Anwendungen entweder annehmen, ablehnen oder ändern können, bevor sie bereitgestellt werden. Diese Rückmeldung an das System wird wiederum genutzt, um mittels der Methode des Bestärkenden Lernens Wissen über die BenutzerIn in Bezug auf die aktuelle Situation zu sammeln und die Komposition zu verbessern.

Bei den in dieser Passage beschriebenen Systemen wird das allgemeinere Problem der Softwarekomposition im Kontext Smarter Umgebungen adressiert, wobei kein expliziter Fokus auf der Interaktion mit den entstehenden Systemen liegt und eine Entkopplung von Ein- und Ausgabe nicht im Vordergrund steht. Prinzipiell ist eine Zusammenstellung von Interaktionsverbänden mit den vorgestellten Ansätzen denkbar. Allerdings ist zu erwarten, dass ein klarerer Fokus die Qualität der Komposition, die Gebrauchstauglichkeit des Spezifikationsprozesses, die Effizienz der Nutzung des Systems und die Verständlichkeit möglicher generierter Erklärungen verbessert. Dies lässt sich aus der Erwartung ableiten, dass bei einer expliziten Berücksichtigung der Interaktion mit größerer Wahrscheinlichkeit ein gebrauchstaugliches Ergebnis erzielt wird.

3.2 INTERAKTIONSPRIMITIVE

Ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu austauschbaren Interaktionsmodalitäten ist die Definition von Interaktionsprimitiven, die als grundlegende Interaktionseinheiten zwischen Eingabegeräten und Anwendungen verwendet werden. Sie dienen als Austauschformat zwischen verschiedenen Interaktionsformen und Anwendungen, die auf Steuerbefehlen basieren. Das Schlüsselkonzept der Interaktionsprimitive ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Um mit einem technischen System zu interagieren, greift eine BenutzerIn auf eine von der Benutzungsschnittstelle vorgesehene Interaktionsform zurück. Einzelne Aktionen werden von einem Eingabegerät (auf der Grundlage von Sensoren) interpretiert, um Eingabeereignisse zu erzeugen. Diese Ereignisse können mittels Interaktionsprimitiven repräsentiert werden. Im Folgenden werden diesbezüglich relevante Arbeiten vorgestellt.

In seiner Arbeit stellt Buxton (1983) eine Taxonomie zur Unterstützung der Isolation relevanter Merkmale von Eingabegeräten vor. Sie dient der Kategorisierung von Eingabegeräten auf der Grundlage ihrer kontinuierlichen oder diskreten Natur, des genutzten Körperteils zur Steuerung (z. B. per Hand, Fuß oder Stimme), der sensorisch erfassten Eigenschaft (Position, Bewegung oder Druck) und der Anzahl der Dimensionen (eine, zwei oder drei). Sie berücksichtigt also physikalische Eigenschaften und die durch das Gerät erzeugten Daten (diskret/kontinuierlich sowie die Dimension). Buxton entwickelte diese Taxonomie aufbauend auf den beiden Taxonomien von Foley und Van Dam (1982) und von Moran (1981), bei denen die Mensch-Computer-Interaktion auf verschiedene Ebenen (z. B. semantisch, syntaktisch, lexikalisch) aufgeteilt wird,

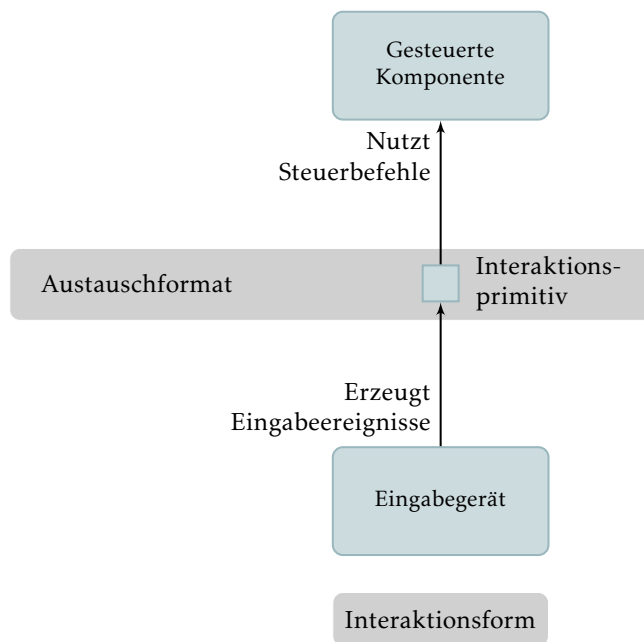


ABBILDUNG 3.1 – Das Konzept der Interaktionsprimitive

um Bedienschwierigkeiten bei Benutzungsschnittstellen analysieren zu können. Seine zugrundeliegende Annahme ist, dass NutzerInnen primär auf der Ebene der Pragmatik mit einem interaktiven System in Kontakt treten und diese daher den größten Einfluss auf die Wahrnehmung des jeweiligen Systems hat. Zudem zieht Buxton drei Schlüsse: Erstens gibt es ein wichtiges Wechselspiel zwischen der syntaktisch-lexikalischen Ebene und der pragmatischen Ebene. Zweitens kann dieses so beeinflusst werden, sodass der Lernaufwand zur Nutzung eines Systems sinkt, und drittens kann dies nicht ohne ein umfassendes Verständnis der pragmatischen Aspekte erreicht werden.

Die von Foley et al. (1984) entwickelte Taxonomie bezieht sich auf sechs grafische Teilaufgaben, die auch als Interaktionsaufgaben (engl. *interaction tasks*) bezeichnet werden. Die AutorInnen stellen fest, dass die meisten Befehle in interaktiven Grafiksystemen aus mehreren primitiven Nonterminalsymbolen (Symbole, die in der finalen Anwendung nicht vorkommen) bestehen und dass jede Interaktionsaufgabe durch viele verschiedene Interaktionsmodalitäten realisiert werden kann. Diese Interaktionsaufgaben bilden eine Grundlage für austauschbare Interaktionsmodalitäten und sind folgendermaßen definiert:

Auswahl Auswahl aus einer Liste von Alternativen (eine Gruppe von Befehlen oder eine Sammlung von angezeigten Entitäten),

Positionierung Platzierung einer Entität an einer bestimmten Position,

Orientierung Ein Objekt im 2D- oder 3D-Raum ausrichten,

Pfad Eine Positionierung oder Orientierung mit zeitlichem Verlauf (die Unterscheidung ist relevant, da der hinzukommende zeitliche Aspekt die Wahrnehmung der Aufgabe durch die BenutzerIn verändert),

Quantifizierung Angabe eines Wertes zur Quantifizierung einer Größe (korrespondiert mit einer Parameteranpassung einer Entität) und

Text Eingabe einer Zeichenfolge.

Dabei heben die AutorInnen hervor, dass diese Aufgaben nicht auf Grundlagenforschung, sondern auf ihren persönlichen Erfahrungen mit verschiedenen interaktiven Grafiksystemen und einer Kategorisierung der beobachteten Interaktionsmöglichkeiten beruhen. Sie weisen auch darauf hin, dass weitere Untersuchungen und Detaillierungen der Aufgaben erforderlich sind.

Mackinlay et al. (1990) stellen hingegen eine Taxonomie vor, die auf der von den jeweiligen Eingabegeräten gemessenen und verarbeiteten, physikalischen Eigenschaft, die jeweils erfassten Freiheitsgrade und dem Wertebereich der Eingabe (Anzahl der Elemente in der Menge der möglichen Eingaben, s. Tabelle 3.1) beruht. Sie definieren Eingabegeräte als ein Sechstupel (Manipulationsoperator, Eingabedomäne/Definitionsmenge der Eingabe, aktueller Zustand, Auflösungsfunktion zur Abbildung von Eingaben auf Ausgaben, Ausgabedomäne/Wertemenge der Ausgabe, allgemeine Geräteeigenschaften) und erörtern die Abbildung der Eingabedomäne (Elemente aus der Menge möglicher Eingaben) auf die Ausgabedomäne (Elemente aus der Menge möglicher Ausgaben) wobei Informationsverluste auftreten können, wenn die Kardinalität der Mengen nicht übereinstimmt (sich also nicht alle Elemente aufeinander abbilden lassen). Die Autoren geben an, dass ihre Taxonomie gleichwertig zu den beiden bereits beschriebenen Taxonomien sei, sie aber aufgrund der Trennung der Geräte- von der Aufgabenklassifizierung kompakter und systematischer sei.

Nigay und Coutaz (1993) stellen in ihrer Publikation einen dreidimensionalen Gestaltungsraum für Benutzungsschnittstellen vor. Die Achsen beschreiben die Abstraktionsebenen (Bedeutung vs. keine Bedeutung), die Verwendung von Modalitäten (sequentiell oder parallel) und das Vorhandensein oder Fehlen einer Fusion (kombiniert vs. unabhängig). Auf der Grundlage dieses Gestaltungsraums beschreiben die AutorInnen ein Klassifikationsschema für multimodale Systeme, das Merkmale, ihre Position innerhalb des beschriebenen Gestaltungsraums und ihre Nutzungshäufigkeit berücksichtigt. Die Befehle, die ein System

	Menge	Kardinalität
Diskret	$\{a, b\}$ oder $\langle a, b \rangle$	2
(nominal oder ordinal)	$\{a, b, c\}$ oder $\langle a, b, c \rangle$	3
	$\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ oder $\langle \min, \dots, \max \rangle$	Endlich
	$\{a_1, a_2, \dots\}$ oder $\langle \dots, a_1, a_2, \dots \rangle$	Unendlich
Kontinuierlich	$[\min, \max]$	Begrenzt
	Reell	Unbegrenzt

TABELLE 3.1 – Für Eingabegeräte besonders relevante Mengen und ihre Kardinalität nach Mackinlay et al. (1990)

unterstützt (wie beispielsweise das Einfügen einer Notiz, das Bearbeiten des Inhalts einer Notiz oder das Leeren des Notizbuchs), stellen ein relevantes Merkmal im Klassifikationsraum dar. Die AutorInnen geben an, dass die Kombination aus ihrem Designraum und dem Klassifikationsschema dazu verwendet werden kann, die Auswirkungen einer Anpassung von Befehlen (und somit einer Verschiebung von Befehlen innerhalb des Gestaltungsraums) zu analysieren.

Scoditti et al. (2011) beschreiben einen neuen taxonomischen Raum, der als systematische Struktur zur Unterstützung einer vergleichenden Analyse von Interaktionsprinzipien dient. Um die physischen Aktionen zu charakterisieren, die eine BenutzerIn zur Eingabe eines Befehls ausführen muss, umfasst die Taxonomie vier Hauptprinzipien:

1. Die Abdeckung der semantischen, syntaktischen, lexikalischen und pragmatischen Aspekte der Interaktion,
2. die Annahme einer nutzerzentrierten Perspektive (physische Interaktionen stehen im Vordergrund, interne Berechnungen und Transformationen rücken in den Hintergrund),
3. die Berücksichtigung des Kontextes und
4. die Erfassung der Interaktion zwischen Vorder- und Hintergrund.

Insbesondere der zweite Grundsatz unterstreicht den Fokus auf menschliche physische Bedienhandlungen in der Publikation.

Die AutorInnen argumentieren, dass physische Aktionen eine atomare Ebene darstellen, von der aus neuartige Interaktionsmöglichkeiten entwickelt werden können, um eine sprachübergreifende und systemweite Konsistenz zu schaffen. Darüber hinaus schlagen die AutorInnen vor, dass sich mittels ihres Klassifizierungsraums Vorhersagen über die Lernkurve einer bestimmten Interaktionsmodalität treffen lassen. Anhand ihrer Taxonomie klassifizierten die AutorInnen 30 Interaktionstechniken, die mittels Beschleunigungsmessern (Accelerometern) Eingaben erfassen. Dabei ergaben sich zwei für diese Arbeit interessante Schlüsselerkenntnisse: Erstens werden überwiegend Interaktionsaufgaben zur Auswahl und Positionierung verwendet und zweitens erfolgt die Interaktion aus pragmatischen Gründen meist auf indirektem Wege.

Vlist et al. (2011) gehen das Problem der Interoperabilität unterschiedlicher Eingabemöglichkeiten an, indem sie das Konzept der Interaktionsprimitive aufgreifen und somit eine Möglichkeit der Modellierung von Interaktionen basierend auf ihren atomaren Bestandteilen vorstellen. In Ermangelung einer geeigneten Definition in der Literatur definieren sie Interaktionsprimitive für NUI sinngemäß folgendermaßen:

DEFINITION 3.1 (Interaktionsprimitive) – *Ein Interaktionsprimitive bezeichnet das kleinste adressierbare Element, das eine bedeutungstragende Beziehung zur Interaktion selbst hat.*

Die Autoren nehmen an, dass sich die Intentionen einer BenutzerIn ableiten lassen, wenn semantische Beschreibungen der Interaktionsfunktionalität vorliegen

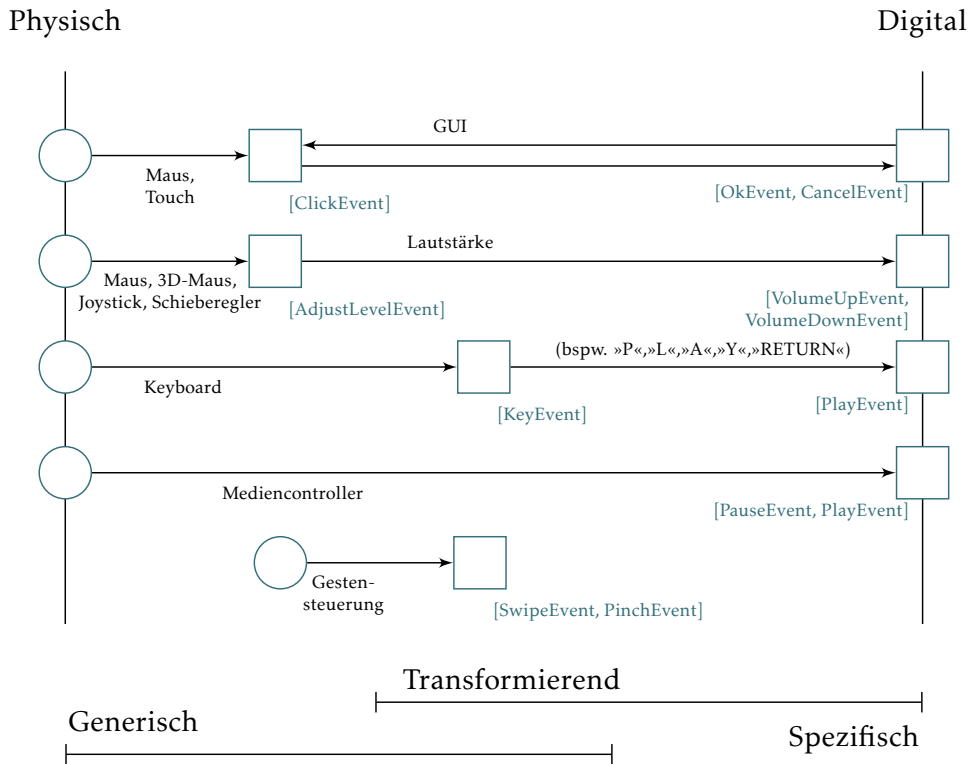


ABBILDUNG 3.2 – Schnittstellenmodell nach Vlist et al. (2011)

und die Verbindung zwischen Eingaben über konkrete Geräte und Bedienelementen einer Oberfläche bekannt und mittels semantischer Verbindungen beschrieben sind. Bezugnehmend hierauf stellen die Autoren eine Ontologie zur Modellierung dieser Interaktionen vor. Darüber hinaus betonen sie die Notwendigkeit eines Konsens in der Forschergemeinde, wie die verschiedenen an den Interaktionen beteiligten Elemente beschrieben werden können. Daher schlagen sie eine Methode zur Modellierung von Benutzungsschnittstellen vor, die sich auf Interaktionseigenschaften im physischen Raum (nämlich Position, Bewegung, Orientierung, Kraft und Drehmoment) und deren Transformation zu einem Effekt im Digitalen (beispielsweise das Auslösen von Ereignissen oder Zustandsänderungen) konzentriert. Ein Beispiel für dieses Modell ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Ein Interaktionspfad besteht aus den Entitäten und ihren Beziehungen in einer Interaktion und stellt den gesamten Pfad zwischen Quelle (physische Bedienelemente) und Senke (Ereignisse in digitalen Anwendungen) dar. Ein Informationsaustausch zwischen Elementen im Pfad findet über Interaktionskanäle (Verbindungen zwischen zwei Elementen im Interaktionspfad) statt.

Um Interaktionsprimitive in einen größeren Rahmen einzuordnen, stellen die Autoren eine semantische Interaktionsontologie vor (s. Abbildung 3.3), die die Beziehungen zwischen Smarten Objekten, Interaktionsprimitive und den

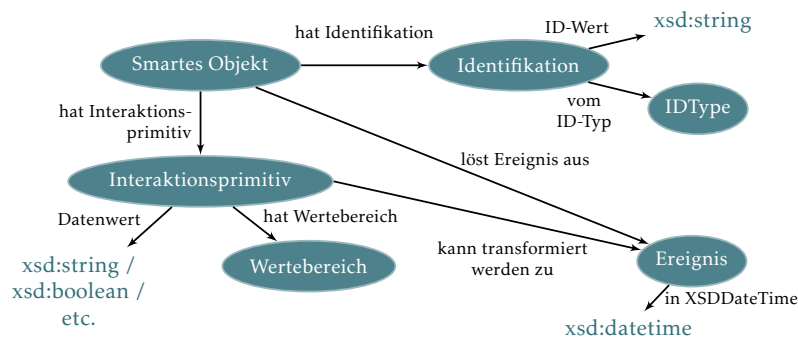


ABBILDUNG 3.3 – Semantische Interaktionsontologie nach Vlist et al. (2011)

entsprechenden Ereignissen beschreibt. Ein Interaktionsprimitiv hat eine Eingabemenge, den das Primitiv erzeugen kann (beispielsweise kann ein Wippschalter die Eingaben »Hoch«, »Runter« oder »Neutral« erzeugen). Dieses Konzept ähnelt den von Mackinlay et al. (1990) verwendeten Ein- und Ausgabedomänen. Diese Maße ermöglichen ein Schließen auf das Transformationsereignis, das zur Abbildung der Eingabewerte auf andere Interaktionsprimitive oder Ereignisse verwendet werden kann.

Auf der Grundlage des Konzepts der Interaktionsprimitive stellen Kalawa et al. (2012) ein Konzept vor, um Teile der (grafischen) Benutzungsschnittstelle wiederzuverwenden und gleichzeitig die Ergonomie und die Kommunikation mit der Programmlogik zu erhalten. Zu diesem Zweck verwenden sie Interaktionsprimitive (in ihrer Veröffentlichung als »*Primitives of Interaction*« bezeichnet), um äquivalente und somit austauschbare (G)UI-Widgets in unterschiedlichen Softwarebibliotheken zu identifizieren. Sie definieren Interaktionsprimitive als »die abstrakte Benennung der verschiedenen Arten von Bedienhandlungen, die eine BenutzerIn durchführen kann, um mit der Anwendung zu interagieren«. Unter Bezugnahme auf die Arbeit von Nigay und Coutaz (1993) identifizierten sie sieben Primitive für die Wiederverwendung der Bedienoberfläche (nämlich *Editieren*, *Auswählen*, *Anzeigen*, *Navigieren*, *Skalieren*, *Bewegen* und *Aktivieren*). Nach der Identifikation gleichwertiger Widgets sorgt ein Ranking- und Anpassungsschritt für die Erstellung ergonomischer Anwendungen. Schließlich wird in einem Generierungsschritt UI-Code für die Zielplattform sowie Code zur Integration der UI in den Rest der Anwendung bereitgestellt.

Zur Unterstützung der Interaktion im Kontext des Ubiquitous Computing stellt Niezen (2012) eine Ontologie und ein Framework auf Basis der OWL vor. Wie bereits in der vorangegangenen Arbeit von Vlist et al. beschrieben, basiert das Konzept auf Interaktionsprimitive, die die kleinsten adressierbaren Elemente darstellen, die noch eine Bedeutung für die Interaktion selbst haben (Vlist et al., 2011). Sie werden zur Beschreibung der Interaktionsmöglichkeiten Smarter Objekte verwendet und ermöglichen einen Austausch der Komponenten. In seiner Arbeit beschreibt Niezen Beispiele für Interaktionsprimitive, wie die Taste »A« auf einer Tastatur (das Drücken dieser Taste würde den Zustand der Taste von oben nach unten ändern und ist auch mit dem Ereignis der Erzeugung des

Buchstabens »A« verknüpft) oder die »Swipe Left«-Geste auf einem Touchpad. Niezen stellt fest, dass beides die kleinsten adressierbaren Elemente sind, die noch eine Bedeutung haben, und dass die Beschreibung der Eingabe auf einer niedrigeren Ebene zu einem Verlust ihrer sinnvollen Beziehung zur Interaktion führen würde. Um Interaktionsprimitive austauschbar zu gestalten, wird zudem der Bereich der Werte angegeben, die es erzeugen kann. Eine Transformationsfunktion kann diese Werte auf den Wertebereich eines Ereignisses abbilden, das kompatibel gestaltet wurde (das Interaktionsprimitiv wird als in das jeweilige Ereignis transformierbar beschrieben).

Ähnlich der Definition von Vlist et al. (2011) und Niezen (2012) bezieht sich Altakrouri (2014) auf Interaktionsprimitive als »die grundlegenden Interaktionseinheiten, die die Verbindung zwischen physischen Eingabegeräten und von Anwendungen genutzten Darstellungen herstellen«. Altakrouri stellt fest, dass Interaktionsprimitive entweder direkt von einer Anwendung verwendet oder in eine spezifische, von der Anwendung nutzbare Darstellung umgewandelt werden können. Darüber hinaus übernimmt Altakrouri die semantische Interaktionsontologie von Vlist et al. (2011) und erweitert dieses um das Konzept des Interaktionsplugins, das eine dynamische Austauschbarkeit verschiedener Interaktionsmöglichkeiten erlaubt (s. Abbildung 3.4). Damit verschiebt sich der Fokus von den Geräten und den reinen Eingabemodalitäten des Geräts in der ursprünglichen Ontologie hin zu den Interaktionsmöglichkeiten. Darüber hinaus übernimmt Altakrouri das Konzept der Interaktionsaufgaben von Foley et al. (1984) und überträgt es auf Smarte Umgebungen, um die Semantik physischer Aktionen zu beschreiben (anstelle des ursprünglichen Fokus auf die physischen Eigenschaften des Geräts oder die grafische Teilaufgabe). Altakrouri bezeichnet diese als grundlegende Eingabeaufgaben (engl. *basic input tasks*) und beschreibt sie folgendermaßen:

Auswahl Auswahl aus einer Liste von Alternativen (eine Gruppe von Befehlen oder eine Sammlung von angezeigten Objekten),

Positionierung Platzierung einer Entität an einer bestimmten Position,

Orientierung Ausrichten eines Objekts im 2D- oder 3D-Raum,

Pfad Veränderung einer Position oder Orientierung über die Zeit (relevant, da die Zeit die Wahrnehmung der Aufgabe verändert),

Modifizierung Angabe einer Änderung einer physikalischen Eigenschaft oder der Form einer Entität (anstelle der Quantifizierung bei Foley et al., 1984) und

Semiotik Zeichenbezogene Interaktionen wie Schreiben, Sprechen, Scannen von Codes (anstelle der Texteingabe bei Foley et al., 1984).

Interaktionsprimitive ermöglichen eine lose Kopplung von Benutzereingaben (über konkrete Eingabegeräte) und einer Gegenstelle (wie Anwendungen oder Ausgabegeräte). Der Ansatz von Altakrouri, der ausschließlich auf Interaktionsplugins basiert (die es erlauben, die Interpretation von Sensordaten und Sensoren zu ersetzen), kann somit eine Grundlage für diese Ensembles darstellen. Er erlaubt es, unterschiedliche Ein- und Ausgabekomponenten zu trennen und austauschbar zu gestalten.

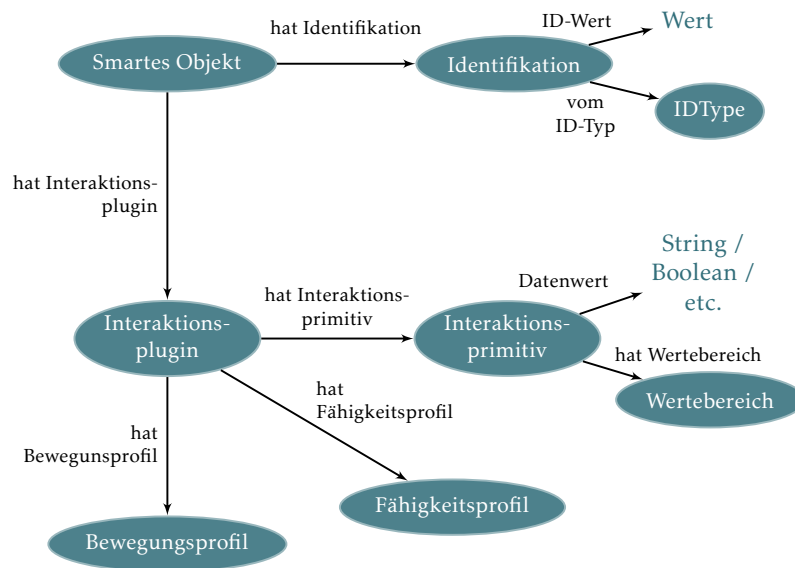


ABBILDUNG 3.4 – Semantische Interaktionsontologie für Smarte Umgebungen nach Altakrouri (2014)

Ein Abonnieren von Interaktionsprimitiven, wie »*Swipe Left*« oder »*Key A*«, ist jedoch meist nicht das, was eine EntwicklerIn bei der Konzeption einer Anwendung oder eines Ausgabegeräts im Sinn hat. Sinnvollerweise werden stattdessen Ereignisse genutzt, die sich direkt auf die Steuerung der Anwendungen oder des Geräts beziehen, wie beispielsweise der Befehl »*Navigiere nach links*«. So werden Ausgabegeräte in der Regel ohne bestimmte vorgesehene Benutzereingaben entworfen. Stattdessen werden typischerweise ausschließlich Steuerereignisse vorgesehen.

Deutlich wird dies auch am Beispiel von Videospielen, die mit verschiedenen Eingabegeräten, wie Tastatur und Maus oder Gamepads, gesteuert werden können. Sie erfordern oft eine manuelle Zuordnung auf der Grundlage von Tastencodes, und einige Spiele können nur mit einem bestimmten Eingabegerät, beispielsweise einem speziellen Gamepad, gespielt werden. Mitunter ist hiermit ein gewisser Konfigurationsaufwand für die BenutzerInnen verbunden, wenn beispielsweise Work-Arounds zur Problemlösung (wie die manuelle Umkonfiguration von Eingaben auf die erwarteten Tastencodes) erforderlich werden. Idealerweise haben EntwicklerInnen die Möglichkeit Anwendungen auch ohne konkrete Eingabegeräte oder Tastencodes zu entwickeln, indem sie auf Events zur Steuerung zurückgreifen, die automatisch angesprochen werden können.

Diese Transformation auf konkrete Steuerereignisse für eine Anwendung wurde von Niezen (2013), Vlist et al. (2011) und Bartolini et al. (2012) in ihren jeweiligen Arbeiten reflektiert. Altakrouri (2014) gibt an, dass Interaktionsprimitive entweder direkt konsumiert oder in Eingabebefehle übersetzt werden können, stellt zweiteres in seiner Modellierung jedoch nicht weiter heraus.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Konzept von Altakrouri übernommen und um Transformationsfunktionen erweitert. Somit können Anwendungen und Ausgabegeräte auf Ereignisse mit Bezug zur eigenen Steuerung zurückgreifen, die basierend auf ausgeführten Interaktionsprimitiven und der Abbildung ausgelöst werden.

Ein Interaktionsprimitiv bezeichnet somit die fundamentalen Elemente einer Interaktion, die eine bedeutungstragende Beziehung zur Interaktion haben und eine Verbindung zwischen physischen Eingabegeräten und von den gesteuerten Komponenten genutzten Steuerereignissen herstellen.

Die von Altakrouri eingeführten Interaktionsplugins werden in seiner Arbeit im Kontext von Anwendungen betrachtet und nehmen keinen direkten Bezug zur Steuerung Smarter Objekte. In Erweiterung der Definition von Altakrouri werden Interaktionsplugins im Rahmen dieser Arbeit daher folgendermaßen definiert:

DEFINITION 3.2 (Interaktionsplugin) – *Ein Interaktionsplugin bezeichnet eine Softwarekomponente, die in der Lage ist, basierend auf sensorisch erfassten Bedienhandlungen Interaktionsprimitive zur Verfügung zu stellen. Dabei stellt ein Interaktionsplugin eine konkrete Interaktionsform bereit.*

Interaktionsplugins sind austauschbar, wenn die erzeugten Interaktionsprimitive in dasselbe Steuerereignis transformiert werden können und es eine Komponente gibt, die Sensordaten für das jeweilige Plugin liefern kann. Das gilt selbstverständlich insbesondere dann, wenn zwei Plugins dasselbe Interaktionsprimitiv erzeugen. Die Transformationsfunktion zur Überführung eines Interaktionsprimitivs in ein (höherwertiges) Steuerereignis jeweils inklusive zugehöriger Parameter kann unterschiedlich komplex sein und an unterschiedlichen Stellen erfolgen. Während in einfachen Fällen ein Wertebereich in einen andere transformiert werden muss, können anspruchsvollere Abbildungen beispielsweise Koordinaten in die Auswahl eines Elements der Bedienoberfläche überführen. Die Transformationsfunktionen können direkt mit dem Interaktionsplugin ausgeliefert werden oder in einer Einheit mit der gesteuerten Komponente bereitgestellt werden. Darüber hinaus ist auch eine separate Bereitstellung an anderer Stelle denkbar.

Bei der Vermittlung von Eingaben und Ausgaben basierend auf Interaktionsprimitiven können insbesondere die Transformationsfunktionen ein Auswahlkriterium darstellen. Existiert keine Transformationsfunktionen zur Überführung eines Interaktionsprimitivs in ein Steuerereignis, so lassen sich zwei Komponenten nicht vermitteln. Zudem kann die Güte der Transformation als Kriterium herangezogen werden, um zu ermitteln, wie gut zwei Komponenten zueinander passen.

Eingabehandlungen, wie das Ausführen einer bestimmten Geste (die Geste trägt ein Symbol) oder das Drücken eines bestimmten Knopfs haben eine gewisse, nicht immer eindeutige Semantik. Sie ist insbesondere durch Alltagserfahrungen und den Kulturkreis geprägt. So sind viele Gesten einer oder mehreren Bedeutungen und Tasten auf einer Tastatur bestimmten Buchstaben oder Textoperationen

zugeordnet. Tasten können aber auch anders belegt sein. Bei Videospielen werden beispielsweise die Tasten »W«, »A«, »S« und »D« üblicherweise mit den Bewegungsrichtungen »Vorwärts«, »Nach links«, »Rückwärts« und »Nach rechts« verknüpft. Diese Semantik und deren Assoziation zu einer Interaktionsaufgabe ist daher zwar nicht eindeutig, lässt sich prinzipiell aber dennoch ausnutzen, um eine Zuordnung zwischen Interaktionsprimitiven und Steuerungsereignissen zu schaffen.

In der Regel besteht ein Smartes Objekt mit Eingabefunktionalität aus einem logischen Verbund von Eingabegerät inklusive der Vorverarbeitung und Bereitstellung von Sensordaten und einem Interaktionsplugin zur Erzeugung von konkreten Interaktionsprimitiven. Vorstellbar sind jedoch auch Geräte, die vorverarbeitete Sensordaten über das Netzwerk für die Weiterverarbeitung bereitstellen.

Der gesamte Zusammenhang von Eingabegerät, Interaktionsplugin basierend auf Interaktionsprimitiven und gesteuerten Komponenten, die auf Steuerungsergebnisse reagieren, ist in Abbildung 3.5 dargestellt.

3.3 DAS VERMITTLUNGSPROBLEM

Mittels Interaktionsprimitiven lassen sich austauschbare Interaktionsmodalitäten realisieren. Darüber hinaus können sie zur Realisierung allgemeiner Geräte- und Anwendungsverbände, also Ensembles, herangezogen werden. Jedoch ist eine Zusammenstellung dieser Verbände unter Berücksichtigung der Wünsche und Bedürfnisse der NutzerInnen nicht immer einfach möglich.

Der naheliegende Ansatz Ensembles zusammenzustellen besteht darin, die BenutzerInnen darin zu befähigen, selbst die Verbindungen für alle Ensembles, mit denen sie in ihrer Umgebung interagieren wollen, auszuwählen. Anschließend können die so ausgewählten Verbindungen durch einen technischen Prozess realisiert werden. Dieser Ansatz ist zwar oft angemessen, aber nicht immer wünschenswert, denn der Auswahlprozess kann in vielen Situationen aufwändig und überfordernd sein. Zudem kann das Ergebnis dieses Prozesses unzufriedenstellend sein, da für die ideale Anpassung an die Bedürfnisse der BenutzerInnen und Rahmenbedingungen in konkreten Smarten Umgebungen Hintergrundwissen erforderlich sein kann, das den BenutzerInnen nicht immer (spontan) präsent ist. So werden, abhängig vom Szenario, mitunter Informationen bezüglich Sicherheitskonzepten oder Expertenwissen einer Domäne nötig. Außerdem sind die BenutzerInnen oft nicht im Klaren über die vollständige Funktionalität der verfügbaren Komponenten. Daher stellt sich das automatische Vorschlagen geeigneter Ensembles als ein nützliches Instrument dar, welches geeignet sein kann, um BenutzerInnen bei diesem Prozess zu unterstützen.

Während die Softwarekomposition im Kontext Smarter Umgebungen eingangs bereits beschrieben wurde, finden sich in der Literatur darüber hinaus einige Ansätze zur automatischen Vermittlung von Verbänden Smarter Objekte.

So beschreibt Hellenschmidt (2005) ein Modell für selbstorganisierende Verbände Smarter Objekte, die ohne eine zentrale Steuerungskomponente auskommen.

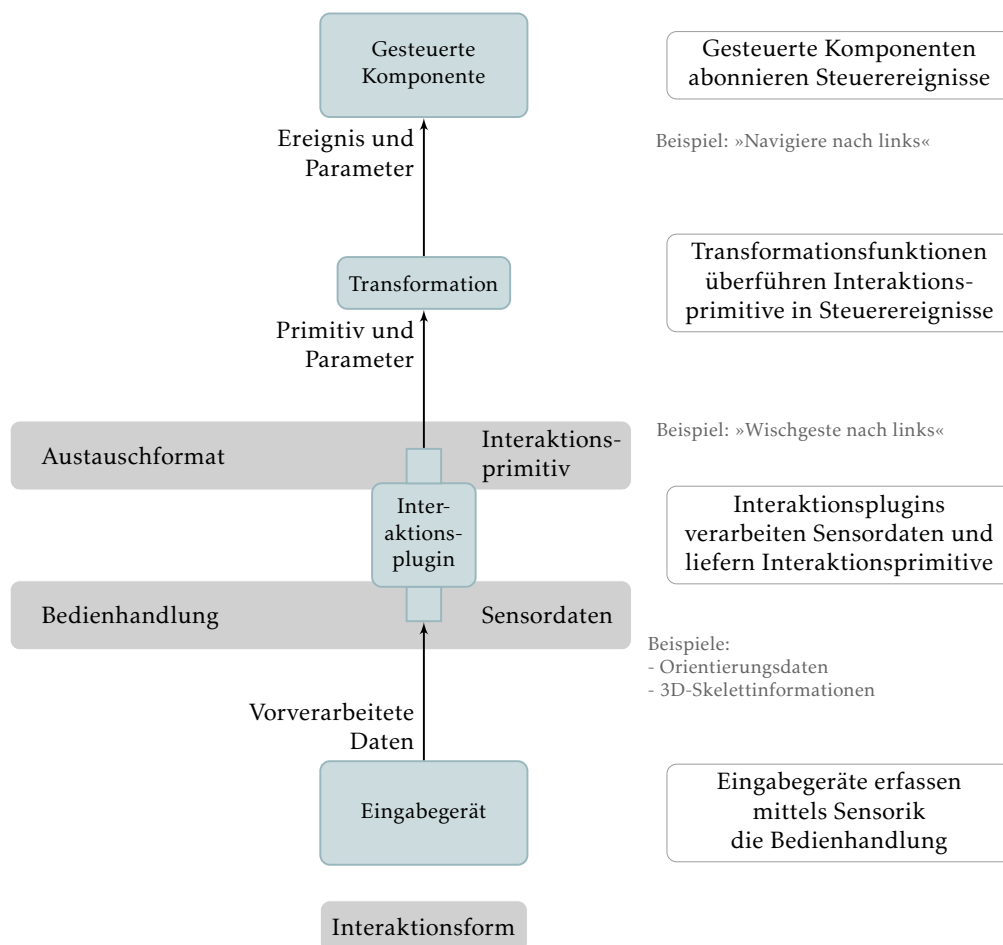


ABBILDUNG 3.5 – Das Konzept der Interaktionsplugins im Zusammenspiel mit Transformationsfunktionen

Ausgabegeräte stellen ihre Funktionalität im Netzwerk zur Verfügung und Eingabegeräte prüfen, in welchem Maße ihre Eingaben konform zur Ausgabe sind und wählen anschließend das Ausgabegerät aus, welches am passendsten ist. Um alle miteinander agierenden Smarter Objekte zu synchronisieren, werden diese zu Gruppen zusammengefasst und sämtliche Informationen per Broadcast innerhalb dieser Gruppe ausgetauscht.

Goldmann und Salomon (2008) setzen zur Verknüpfung der Sensorik und Aktorik unterschiedlicher Smarter Objekte auf den Einsatz eines evolutionären Algorithmus und somit auf ein naturanaloges Optimierungsverfahren. Um der dynamischen Natur Smarter Umgebungen gerecht zu werden, verzichten die Autoren dabei, anders als bei klassischen evolutionären Algorithmen, auf eine zentralisierte Verarbeitung.

Jeong et al. (2015) stellen eine Plattform für ortsbezogene Dienste in Innenräumen vor, wobei die eingesetzten Netzwerkkomponenten basierend auf der räumlichen und logischen Distanz verknüpft werden. Hierbei wird auch die mögliche Mobilität der Netzteilnehmer berücksichtigt. Der entstehende Vernetzungs-

graph erlaubt letztlich die Realisierung von ortsbezogenen Bedienhandlungen basierend auf dem Zusammenspiel Smarter Objekte (beispielsweise »*Drucke auf dem nächstgelegenen Drucker*«), wobei die Distanz als zentrales Merkmal auftritt. Denkbar ist somit auch eine Ensemblebildung basierend auf den Kriterien der räumlichen und der logischen Distanz, wobei sich die Geräte hierbei weitgehend unabhängig voneinander und selbstständig miteinander vernetzen können.

Bezugnehmend auf das von Burmeister et al. (2018) vorgestellte Zuordnungsproblem Smarter Objekte (engl. *smart object matching problem*), wird das Problem geeignete Verbindungen zwischen Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen vorzuschlagen im Folgenden als das *Ensemble-Vermittlungsproblem* (kurz *Vermittlungsproblem*) bezeichnet. Während sich das von Burmeister et al. beschriebene Zuordnungsproblem auf eine dynamische Vermittlung von Ein- und Ausgabemodalitäten ausschließlich bei Smarten Objekten bezieht, adressiert das in dieser Arbeit vorgestellte Vermittlungsproblem einen allgemeineren Fall, der auch Ambiente Anwendungen umfasst. Zudem handelt es sich bei dem Vermittlungsproblem nicht um ein Zuordnungsproblem, bei welchem versucht wird, eine maximale Vermittlung herzustellen, also möglichst alle Komponenten zu verknüpfen. Stattdessen steht beim Vermittlungsproblem die gesamte Qualität der Ensembles im Vordergrund, welche durch unterschiedliche und für das jeweilige Anwendungsszenario wählbare Kriterien bestimmt wird. So kann es in bestimmten Situationen sinnvoll sein, nicht immer alle bzw. nicht möglichst viele Komponenten zu vermitteln, um beispielsweise die Bedienung einfach zu halten oder andere Rahmenbedingungen nicht zu verletzen.

Zu unterscheiden sind hierbei einerseits *Gütekriterien* (kurz *Kriterien*), welche als Einflussfaktoren auf die Bewertung einer Lösung genutzt werden können und somit beeinflussen, ob eine Lösung besser oder schlechter als eine andere Lösung gewertet wird. Andererseits können *Filterbedingungen* (kurz *Bedingungen*) verwendet werden, um Eigenschaften einer gültigen Lösung festzulegen und zu bestimmen, welche unerwünschte Lösungen herausgefiltert werden sollen. Eine *Lösung* besteht dabei aus mehreren Verbindungen zwischen einzelnen Gerätefunktionen, also eine Verbindung von Interaktionsprimitiven (Eingaben mit einem Eingabegerät) und Interaktionsereignissen (Ausgaben auf einem Ausgabegerät). Eine *gültige Lösung* erfüllt dabei alle Filterbedingungen. Die *Gesamtgüte* (kurz *Güte*) einer Lösung ergibt sich aus der (gegebenenfalls gewichteten) Verrechnung der Werte der Gütekriterien. Diese kann multiplikativ erfolgen, um Lösungen mit einer Güte von 0 zu bewerten, bei der ein einzelnes Gütekriterium zu einem Wert von 0 ausgewertet. Alternativ sind aber auch andere Formen möglich, wie beispielsweise eine Durchschnittsbildung der Kriterien.

Das Vermittlungsproblem birgt dabei inhärent die Herausforderung, dass alle möglichen Verbindungen für alle denkbaren Kombinationen von Ambienten Anwendungen und Smarten Objekten einer Umgebung betrachtet und bewertet werden müssen, um geeignete Ensembles zusammenzustellen und die Aufgabenangemessenheit sicherzustellen. Dabei entsteht durch die potenziell große Anzahl möglicher Verbindungen ein entsprechend hoher Rechenaufwand, welcher bei Lösungsansätzen nach dem Brute-Force-Prinzip in einer hohen Komplexität mündet. Da eine Lösung für jede Verbindungen eine Entscheidung beinhaltet,

ob sie Teil oder nicht Teil der Lösung ist, folgt aus der vollständigen Betrachtung des Suchraums ein exponentielles Wachstum in Abhängigkeit zur Anzahl der möglichen Verbindungen. Die inhärent hohe Komplexität erschwert dabei das Finden einer optimalen Lösung mittels Brute-Force, wobei dies für eine große Anzahl möglicher Verbindungen allgemein nicht mehr in annehmbarer Laufzeit erfolgen kann. Darüber hinaus kann eine ausreichende Berücksichtigung von Sicherheits- und Expertenwissen detaillierte Informationen über die BenutzerIn und den Kontext erfordern, welche mitunter schwierig zu erhalten und zu formalisieren sind. Dabei ergibt sich insbesondere die Herausforderung, dieses Wissen zu spezifizieren und so zu formalisieren, dass es für Verfahren zur Lösung des Vermittlungsproblems zur Verfügung steht.

Aufgrund der somit anpassbaren Bewertungskriterien nimmt das Vermittlungsproblem je nach Kontext sowie den zugehörigen, benötigten Informationen und Berechnungen unterschiedliche Formen an. Eine komplexitätstheoretische Optimierung der Verfahren ist daher nur für ausgewählte Szenarien bzw. für festgelegte Arten von Kontextinformationen als Kriterien und nicht für das allgemein gehaltene Vermittlungsproblem möglich. In diesen Fällen ist dabei denkbar, dass ein angepasster Algorithmus das Problem leicht und schnell lösen kann. Der allgemeine Fall berücksichtigt jedoch auch die mögliche Formulierung komplexer Kriterien und Bedingungen bei der Lösungsfindung. Konsequenterweise lässt sich der allgemeine Fall des Vermittlungsproblems nicht nicht effizient lösen, sodass sich der Einsatz eines Best-Effort-Ansatzes anbietet.

Trotz dieser Herausforderungen sollte ein praktisch einsetzbares Verfahren zur Lösung des Vermittlungsproblems innerhalb einer »*annehmbaren Zeitspanne*« eine »*akzeptable Lösung*« bereitstellen.

Hinsichtlich einer »*annehmbaren Zeitspanne*« lässt sich argumentieren, dass eine Vermittlung typischerweise deutlich seltener nötig ist, als Interaktionen mit den zusammengestellten Verbänden ausgeführt werden. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass eine Vermittlung prinzipiell etwas länger dauern darf, als die für eine Interaktion geltenden strikten Echtzeitanforderungen (die sich typischerweise in der Höhe von einigen wenigen bis zu einigen Hundert Millisekunden bewegen). Dennoch sollte die Berechnung maximal einige wenige Minuten in Anspruch nehmen und für bestimmte Szenarien deutlich kürzer dauern. Insbesondere wenn eine Neuvermittlung regelmäßig nötig wird, muss der Vermittlungsprozess deutlich schneller Ergebnisse erzeugen. Generell können, abhängig vom Szenario, unterschiedliche Stakeholder bei der Formulierung von Kriterien und Bedingungen einwirken. Das umfasst die EntwicklerInnen, DomänenexpertInnen, administratives Personal, Provider (also Menschen, die das System und fertige Ensembles für die NutzerInnen bereitstellen) und die BenutzerInnen selbst. Aufgrund der dynamischen Situation in Smarten Umgebungen und der Tatsache, dass einige dieser Kriterien und Bedingungen mitunter erst kurz vorher zur Verfügung stehen, kann eine sinnvolle Vermittlung in vielen Szenarien nicht im Vorfeld durchgeführt werden. Die konkrete Bewertung der »*annehmbaren Zeitspanne*« hängt vom konkreten Szenario ab, erfolgt aber typischerweise entweder durch die BenutzerIn oder die Provider. Für eine

Konkretisierung der noch akzeptablen Berechnungsdauer muss letztlich das konkrete Nutzungsszenario untersucht werden.

Inwiefern eine konkrete Vermittlung als eine »akzeptable Lösung« betrachtet werden kann, hängt vorrangig von der Validität der spezifizierten Kriterien und Bedingungen (inklusive der formalisierten Vorlieben der BenutzerInnen) ab. Diese wiederum ist maßgeblich dadurch beeinflusst, wie gut sich Wissen und Vorlieben in Form von Kriterien formalisieren lassen, die auf konkrete numerische Werte abbilden. Zudem spielt die individuelle Wahrnehmung der Güte einer Lösung eine Rolle. Darüber hinaus beeinflusst die Qualität der Heuristik bzw. der Approximation bei einem Best-Effort-Ansatz das Ergebnis, wobei hierbei maßgeblich entscheidend ist, wie weit die ermittelte Lösung numerisch von einer optimalen Lösung entfernt liegt. Grundsätzlich gilt allerdings, dass eine »akzeptable Lösung« gewisse Grundvoraussetzungen erfüllen muss. So müssen zumindest die basalen Ausgabefunktionen der Geräte, die im konkreten Szenario gesteuert werden sollen, Teil der Lösung sein (beispielsweise das Ein- und Ausschalten eines Smarten Beleuchtungssystems). Das bedeutet, dass die für dieses Szenario definierten, obligatorischen Gerätefunktionen vollständig abgedeckt sein müssen.

3.4 FAZIT

Der Einsatz von Interaktionsprimitiven erlaubt die prinzipielle Entkopplung und Komposition von Ein- und Ausgaben bei Mensch-Maschine-Systemen und kann somit eine Grundlage für die Realisierung von austauschbaren Interaktionsmodalitäten darstellen. Zudem lässt sich die Sensordateninterpretation mittels Interaktionsplugins austauschen, wodurch verfügbare Eingabegeräte prinzipiell noch flexibler genutzt werden können.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Gebrauchstauglichkeit einer Benutzungsschnittstelle in der Regel eng an die von den EntwicklerInnen vorgesehenen Eingabegeräte gekoppelt ist, sodass Geräte nicht immer einfach ausgetauscht werden können ohne Qualitätseinbußen zu erwarten (vgl. Baecker, 1979). Bei der dynamischen Bereitstellung individueller Eingabegeräte sollte daher auch die Eignung für die jeweilige Benutzungsschnittstelle untersucht werden.

In lose gekoppelten Smarten Umgebungen mit individuell zusammengestellten Systemverbänden eröffnet sich die Frage, wie diese Verbände bereitgestellt werden können. Neben pragmatischen Lösungen, welche von einer manuellen Auswahl bis hin zu einem geführten Prozess reichen, existieren Ansätze zu einer automatischen Vermittlung. Während eine manuelle Vermittlung zwischen Ein- und Ausgabekomponenten eine aufwändige und langwierige Aufgabe darstellen kann, stellt die automatische Vermittlung zwar grundsätzlich einen möglichen Lösungsansatz dar. Dieser ist jedoch mit unterschiedlichen Herausforderungen verbunden, wobei hierbei die Formalisierung von Domänenwissen und Nutzervorlieben hervorzuheben ist. Zudem sollte Rücksicht auf die BenutzerInnen genommen und ihnen letztlich die Entscheidungshoheit gelassen werden. Diese Aspekte müssen bei der Umsetzung einer dynamischen Vermittlung von Ensembles für Smarte Umgebungen berücksichtigt werden.

Während das Problem einer automatischen Vermittlung im allgemeinen Fall komplex ist, lassen sich in einigen konkreten Anwendungsszenarien prinzipiell optimierte Verfahren finden. EntwicklerInnen einer dynamisch konfigurierbaren Smarten Umgebung müssen daher einen konkreten Ansatz zur Bestimmung von Verbindungen einzelner Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen auswählen. Im Falle einer automatischen Vermittlung bietet sich ein Best-Effort-Ansatz an.

Eine automatische Vermittlung lässt sich somit prinzipiell für den allgemeinen Fall realisieren, sollte jedoch stets in Abstimmung mit dem konkreten Anwendungsszenario umgesetzt werden, da durch den Nutzungskontext unterschiedliche Rahmenbedingungen hinzukommen können, die bei der Vermittlung berücksichtigt werden müssen. Zudem eignet sich eine automatische Vermittlung nicht zwangsläufig in jeder Anwendungssituation.

Eine dynamische Zusammenstellung von Verbänden in Smarten Umgebungen ermöglicht eine bessere Unterstützung der NutzerInnen und erlaubt insbesondere maßgeschneiderte interaktive Lösungen, die dem räumlichen Kontext in Smarten Umgebungen gerecht werden können. Sie eröffnen in hochdynamischen Prozessen aber auch neue Herausforderungen, da die Interaktionsmöglichkeiten und die einer Aktion zugeordnete Systemreaktion nicht unbedingt direkt ersichtlich sind. Dadurch kann eine Entkopplung von Ein- und Ausgabe auch eine Beeinträchtigung des Interaktionserlebnisses und der Gebrauchstauglichkeit zur Folge haben. Auch diese Aspekte müssen bei der Gestaltung Smarter Umgebungen auf dem Prinzip der Entkopplung berücksichtigt werden.

SELBSTORGANISATION IN SMARTEN UMGEBUNGEN

Smarte Umgebungen bieten durch die Einbettung der Geräte in die Umgebung, die Gerätevielfalt und die umfassenden Vernetzungsmöglichkeiten vielseitige Einsatzmöglichkeiten. Aufgrund der Heterogenität der eingesetzten Technologien (insbesondere hinsichtlich der Gerätefunktionalität, Rechenleistung, Speicherkapazität und Energieversorgung) und der prinzipiellen Verteilung der Geräte erfordern sie jedoch auch ein erhöhtes Maß an Konfigurationsaufwand. Dieser Umstand wird bei einer Entkopplung der Interaktion von der Geräte- und Anwendungslogik und einer individuellen Bereitstellung von Geräte- und Anwendungsverbänden noch weiter verschärft. Einen Ansatz, um dieser zunehmenden Komplexität zu begegnen, bietet das Paradigma des Organic Computing bzw. die hiermit assoziierten Selbst-X-Eigenschaften (Roth et al., 2011). *Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kordts et al. (2022) publiziert.*

4.1 AUTONOMIC COMPUTING UND GRAD DER AUTONOMIE

Unter dem Hintergrund steigender Komplexität verteilter Rechnersysteme entstanden erste Ideen administrative Abläufe mittels Selbstmanagements zu automatisieren. Hieraus ging das von IBM im Jahr 2001 geprägte Paradigma des *Autonomic Computing* (AC) hervor. Der Begriff stellt dabei eine Beziehung zum autonomen Nervensystem des menschlichen Körpers her, welches sich an viele Situationen eigenständig anpasst ohne auf externe Hilfe angewiesen zu sein (Manoel et al., 2005). IBM schlägt vor, IT-Infrastruktur auf ähnliche Weise zu gestalten, sodass die Systeme in der Lage sind, eigenständig auf Änderungen in der IT-Umgebung zu reagieren. Das zugrundeliegende Ziel ist eine Reduktion notwendiger Eingriffe durch BenutzerInnen oder BetreiberInnen und somit der Verantwortung, indem administrative Vorgänge und Funktionen in einem System anhand vordefinierter Regelsätze durch das System selbst verwaltet

werden (Nami und Bertels, 2007). IBM selbst beschreibt den Begriff Autonomic Computing folgendermaßen:

»Autonomic computing is the ability of an IT infrastructure to adapt to change in accordance with business policies and objectives. Quite simply, it is about freeing IT professionals to focus on higher-value tasks by making technology work smarter, with business rules guiding systems to be self-configuring, self-healing, self-optimizing, and self-protecting.«
— IBM, entnommen aus Manoel et al. (2005)

Dabei hebt IBM einige Leitprinzipien hervor (Manoel et al., 2005) und stellt heraus, dass die Vision des Autonomic Computing insbesondere intelligente, offene Systeme adressiert, die:

- komplexe Umgebungen verwalten,
- sich selbst »kennen« (engl. »*know*« *themselves*),
- sich selbst fortwährend verbessern,
- sich an unvorhersehbare Umstände anpassen,
- Ausfälle verhindern und den Betrieb nach Fehlern wiederherstellen
- sowie eine sichere Betriebsumgebung bereitstellen.

Um diese Aspekte zu realisieren, stellt IBM ein Softwarearchitekturkonzept vor, welches auf einer Kontrollschleife basiert (IBM, 2003). Diese setzt sich aus vier Prozessschritten und einer gemeinsamen Wissensbasis (engl. *Knowledge*) zusammen:

Beobachten (engl. *Monitor*) Im Beobachtungsschritt werden Mechanismen zur Datensammlung, -aggregation, -filterung, -verwaltung, und -weiterleitung (*Reporting*) eingesetzt.

Analysieren (engl. *Analyse*) Im Analyseschritt werden Mechanismen zur Korrelation und Modellierung komplexer Situationen eingesetzt. Sie helfen dabei, die IT-Umgebung kennenzulernen und zukünftige Situationen vorherzusehen.

Planen (engl. *Plan*) Im Planungsschritt werden Mechanismen zur Strukturierung der zur Erreichung der Vorgaben und Ziele nötigen Maßnahmen eingesetzt. Diese werden durch Richtlinien geleitet.

Ausführen (engl. *Execute*) Im Ausführungsschritt werden Mechanismen zur Ausführung der erstellten Pläne eingesetzt. Dabei werden spontane bzw. dynamische Updates berücksichtigt.

Diese Kontrollschleife wird – beziehend auf die englischen Begriffe – auch als MAPE- oder MAPE-K-Schleife bezeichnet. Abbildung 4.1 veranschaulicht die strukturelle Anordnung der Prozessschritte. Dabei ist zu beachten, dass sich die Anordnung auf die Struktur bezieht und nicht auf den Kontrollfluss. Der Nachrichtenaustausch findet asynchron statt, um eine Zusammenarbeit der Komponenten zu gewährleisten. So kann es notwendig werden, dass beispielsweise der Planungsprozess dem Beobachtungsprozess meldet mehr oder weniger

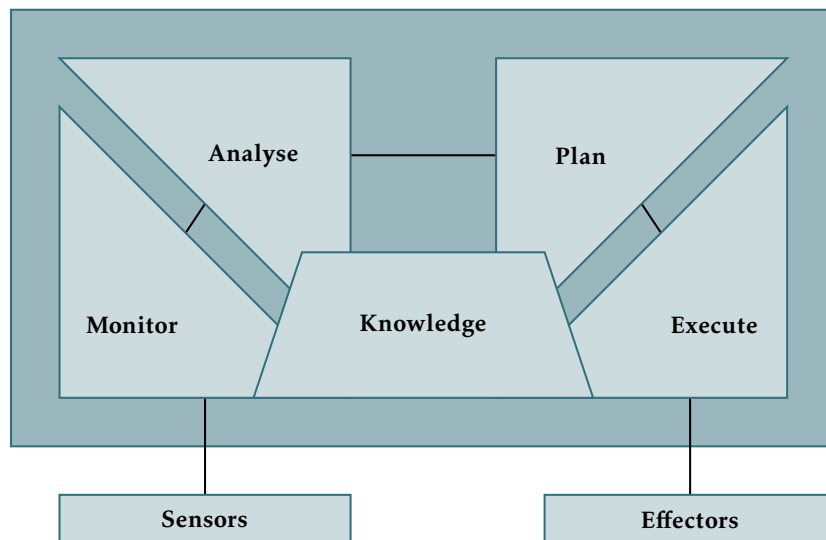


ABBILDUNG 4.1 – Von IBM vorgeschlagene MAPE-K-Kontrollschleife (vgl. IBM, 2003)

Informationen zu erfassen oder der Beobachtungsprozess das Erstellen eines neuen Plans auslöst. Eine Realisierungsmöglichkeit dieses Nachrichtenaustauschs stellt ein Bussystem dar.

Während vollautonome Systeme vollständig ohne Eingriffe von außen (beispielsweise durch einen Menschen) auskommen sollen, haben externe Kontrollmöglichkeiten im Rahmen des Autonomic Computing durchaus eine Daseinsberechtigung. Autonome Systeme können daher anhand des Grads der Autonomie unterschieden werden. Schmeck et al. (2010) unterscheiden hierzu drei Kategorien von Systemen:

Keine Autonomie Das System wird vollständig durch externe Kontrollinstanzen (wie beispielsweise Operateure oder externe Systeme) gesteuert.

Volle Autonomie Das System wird vollständig durch einen internen Kontrollmechanismus gesteuert.

Mittlere Autonomie Sowohl externe als auch interne Mechanismen beeinflussen das System.

Ein wesentlicher Aspekt autonomer Systeme ist das – zumindest teilweise – Verbergen der internen Steuerung und damit der Komplexität des Systems vor den externen Kontrollinstanzen und somit auch vor möglichen BenutzerInnen. Der Grad der Autonomie hängt daher wesentlich davon ab, in welchem Verhältnis interne und externe Konfigurationsmöglichkeiten zueinander stehen. Schmeck et al. (2010) definieren hierzu die Variabilität des Konfigurationsraums adaptiver Systeme sinngemäß folgendermaßen:

DEFINITION 4.1 (Variabilität des Konfigurationsraums) – Sei S ein adaptierbares System. Dann wird eine Konfiguration des Systems S durch die Werte einer Sammlung von System- oder Umgebungsattributen bestimmt, die durch Steuerungsaktionen geändert werden können. Diese Attribute werden auch als Konfigurationsattribute bezeichnet. Der Konfigurationsraum ist die Menge der Konfigurationen, die S annehmen kann. Die Variabilität des Konfigurationsraums V wird mit

$$V = \log_2(\text{Anzahl der Konfigurationen})$$

angegeben.

Offensichtlich hängt die Variabilität V von der Anzahl der Bits ab, die zur Beschreibung der Konfigurationen nötig ist. Daher bezeichnen die Autoren die Anzahl der für eine konkrete Steueraktion \vec{c} (engl. *control*) notwendigen Bits mit $v(\vec{c})$. Weiter haben Steueraktionen \vec{c} eine maximale Anzahl an Bits $\max v(\vec{c})$. Folglich ist $V \geq \max v(\vec{c})$.

Ein adaptives System S' lässt sich prinzipiell als ein Verbund eines adaptierbaren Systems S (also einem beobachteten und gesteuerten System, engl. *system under observation and control*, kurz SuOC) und eines Kontrollmechanismus (engl. *control mechanism*) CM betrachten. Das adaptierbare System S verarbeitet eine reguläre Eingabe \vec{x} . Steuerungsaktionen \vec{c} werden separat von \vec{x} genutzt, um die Ausgabe \vec{y} zu beeinflussen.

Weiter führen die Autoren an, dass für ein adaptierbares System S und ein adaptives System S' zwei Konfigurationsräume unterschieden werden können (s. Abbildung 4.2):

1. Der Konfigurationsraum von S wird auch als *interner Konfigurationsraum*, dessen Variabilität wird mit V_i und interne Steuerungsaktionen mit \vec{c}_i bezeichnet.
2. Der Konfigurationsraum von S' wird auch als *externer Konfigurationsraum*, dessen Variabilität wird mit V_e und externe Steuerungsaktionen mit \vec{c}_e bezeichnet.

Eine genauere Einordnung der Autonomie eines Systems erlaubt nun die ebenfalls von Schmeck et al. (2010) vorgestellte Definition des (statischen) Grads der Autonomie:

DEFINITION 4.2 (Statischer Grad der Autonomie) – Sei S' ein aus einem adaptierbaren System S und einem Kontrollmechanismus CM bestehendes, adaptives System. Dann ist der externe Konfigurationsraum von S' durch die Sammlung der Konfigurationsattribute und deren zugehöriger Variabilität V_e bestimmt. Analoges gilt für den internen Konfigurationsraum von S , der durch die internen Konfigurationsattribute und deren zugehöriger Variabilität V_i bestimmt wird.

Dann ist der statische Grad der Autonomie α des Systems S' definiert durch:

$$\alpha = \frac{V_i - V_e}{V_i}.$$

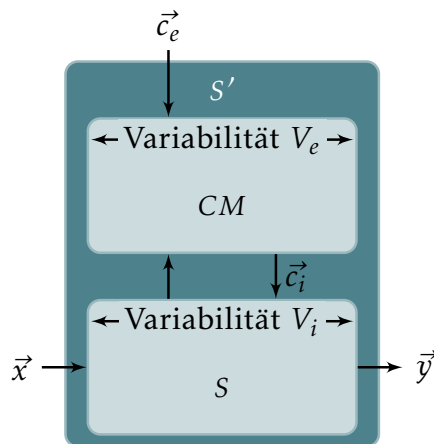


ABBILDUNG 4.2 – Steuerungsmöglichkeiten des adaptierbaren Systems S und des adaptiven Systems S' (vgl. Schmeck et al., 2010). S' kann als ein Verbund aus dem System S und einem Steuerungsmechanismus CM betrachtet werden.

Dabei ist α ungefähr 1, sofern das System durch (fast) keine externe Variabilität beeinflusst wird (es also nicht möglich ist, Attribute von S' durch eine externe Steuerung zu beeinflussen). In diesem Fall handelt es sich um ein vollautonomes System.

Wenn α hingegen etwa 0 ist, dann halten sich externe und interne Variabilität die Waage, sodass die Komplexität des Systems durch die Autonomie weder gestiegen, noch reduziert wurde. Sollte der externe Konfigurationsraum mehr Attribute als der interne Konfigurationsraum bieten, so wird $\alpha < 0$. Dies ist dann der Fall, wenn alle Attribute extern beeinflusst werden können und zusätzliche Konfigurationsattribute für die Kontrollmechanismus CM eingeführt werden. In diesem Fall bedeutet dies, dass S keine Autonomie bietet.

Bei der Betrachtung des Grads der Autonomie kann es durchaus relevant sein, in welchem Maß Konfigurationsattribute genutzt werden müssen, um eine akzeptable Ausgabe zu erhalten oder ob diese nur eine weitere Eingriffsmöglichkeit darstellen, beispielsweise um eine gewisse Güte der Ausgabe zu gewährleisten. Diesbezüglich stellt die Betrachtung der obligatorischen (engl. *mandatory*) Konfigurationsräume und deren assoziierte Variabilität

$$V_m = \log_2(\text{Anzahl der obligatorischen Konfigurationen})$$

einen pragmatischen Ansatz dar. Der obligatorische Konfigurationsraum umfasst dabei ausschließlich jene Konfigurationsmöglichkeiten, die genutzt werden müssen, um eine akzeptable Ausgabe zu produzieren. Darüber hinausgehende Konfigurationen, die lediglich weitere Eingriffsmöglichkeiten darstellen, sind nicht Teil des obligatorischen Konfigurationsraums. Basierend hierauf lässt sich der im Rahmen dieser Arbeit neu eingeführte pragmatische Grad der Autonomie bestimmen:

DEFINITION 4.3 (Pragmatischer Grad der Autonomie) – Sei S' ein aus einem adaptierbaren System S und einem Kontrollmechanismus CM bestehendes, adaptives System. Seien weiter $V_{m,i}$ die Variabilität des obligatorischen, internen Konfigurationsraums von S und $V_{m,e}$ die Variabilität des obligatorischen, externen Konfigurationsraums von S' .

Dann ist der pragmatische Grad der Autonomie γ des Systems S' definiert durch:

$$\gamma = \frac{V_{m,i} - V_{m,e}}{V_{m,i}}.$$

Darüber hinaus kann auch eine Betrachtung des zeitlichen Aspekts eine Rolle spielen. Daher führen Schmeck et al. (2010) eine Definition des dynamischen Grads der Autonomie an, der zusätzlich Veränderungen während eines Zeitintervalls berücksichtigt. Somit erlaubt dieser eine noch detailliertere Charakterisierung der Autonomie eines Systems.

Die hier beschriebenen Grade der Autonomie stellen eine Grundlage für den im Folgenden beschriebenen Begriff der Selbstorganisation dar.

4.2 SELBST-X-EIGENSCHAFTEN

Bereits im Kontext des Autonomic Computing wurden Selbst-X-Eigenschaften als die vier Kernprinzipien des Selbstmanagements herausgestellt (Kephart und Chess, 2003). Sie werden im Englischen unter dem Begriff Self-CHOP zusammengefasst:

Selbstkonfiguration Die Fähigkeit sich selbst dynamisch zu konfigurieren, erlaubt es einem System spontan und mit minimaler Intervention durch BetreiberInnen auf die Bereitstellung neuer Komponenten oder auf Änderungen in der IT-Umgebung zu reagieren.

Selbsteilung Selbstheilende Systeme sind in der Lage problematische Vorgänge (beispielsweise proaktiv durch Vorhersagen) zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen (beispielsweise Zustandsänderungen) zu ergreifen ohne den Betrieb zu unterbrechen.

Selbstoptimierung Selbstoptimierung beschreibt die Fähigkeit eines Systems, die verfügbaren Ressourcen effizient zu nutzen bzw. zuzuweisen, um die Anforderungen der BenutzerInnen mit geringem Eingriff durch diese NutzerInnen zu erfüllen. Dabei geht es primär um eine Verringerung der Komplexität bei der Verwaltung des Systems bzw. dessen Leistung.

Selbstschutz Ein sich selbst schützendes System erlaubt ausschließlich autorisierten Personen zu ausgewählten Zeitpunkten Zugriff auf die ihnen zugeordneten Daten. Es ist in der Lage eigenständig Schwachstellen in der IT-Umgebung und Einbrüche in das System zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Später wurde – aufbauend auf diesen vier Grundprinzipien – der Begriff des *Organic Computing* (OC) geprägt (Müller-Schloer et al., 2004). Dabei wird der Bezug des Autonomic Computing zum menschlichen Körper auf weitere biologische Prinzipien (mit Fokus auf die von der Natur verwendeten Organisationsprinzipien) ausgeweitet und allgemeiner Computersysteme und deren Komponenten (beispielsweise im Kontext des Ubiquitous Computing) statt Rechenzentren und Netze betrachtet:

»Ein organischer Computer (OC) ist definiert als ein selbst-organisierendes System, das sich den jeweiligen Umgebungsbedürfnissen dynamisch anpasst.« — Müller-Schloer et al. (2004)

Hierzu werden zusätzlich zu den vier Kernprinzipien des Autonomic Computing die Aspekte Selbstorganisation, Selbstbeschreibung und Kontextsensitivität hinzugezogen (Müller-Schloer, 2004). Im Gegensatz zum Autonomic Computing stehen auch nicht primär wirtschaftliche und administrative Aspekte im Fokus des Organic Computing, sondern allgemeiner die Flexibilität, Optimierung und Robustheit der Systeme sowie die Aufwände für EntwicklerInnen und NutzerInnen (Müller-Schloer et al., 2004). Zudem wird die Sichtweise des Selbstmanagements ausgeweitet, wobei prinzipiell weitere Aspekte basierend auf neu gewonnenen Erkenntnissen herangezogen werden können (vgl. Burmeister, 2018). Daher werden im Kontext des Organic Computing neben den vier Kernprinzipien, die weiterhin im Mittelpunkt stehen, auch weitere Prinzipien bzw. Qualitätsmerkmale unter dem Begriff Selbst-X-Eigenschaften (oder auch Selbst*-Eigenschaften) zusammengefasst (Babaoglu et al., 2005). Poslad (2009a) listet eine Reihe weiterer, für ubiquitäre Systeme relevante Selbst-X-Eigenschaften auf, die unter anderem folgende Prinzipien umfassen:

Selbstregulation Die Fähigkeit eines Systems, bestimmte Parameter (beispielsweise die Dienstgüte, engl. *Quality of Service*, kurz QoS) ohne externe Eingriffe in einem definierten Wertebereich zu halten.

Selbstlernen Die Fähigkeit eines Systems, maschinelle Lernverfahren ohne Eingriffe von außen zu nutzen (beispielsweise unüberwachtes Lernen).

Selbstbewusstsein Die Fähigkeit eines Systems, sich selbst »zu kennen«. Hierzu zählen Systeme, die Informationen über den Umfang der eigenen Ressourcen sowie der Ressourcen, mit denen sie verbunden sind, und Informationen über ihre internen Komponenten sowie externen Verbindungen bereithalten, um diese zu verwalten.

Selbstorganisation Die Fähigkeit eines Systems, die eigene Systemstruktur ohne Eingriffe von außen anzupassen.

Selbsterschaffung Selbsterschaffende Systeme werden durch ökologische und soziale Modelle und ohne explizite Eingriffe von außen gesteuert. Die jeweiligen Systemteile sind selbstmotiviert und selbstgesteuert.

Selbstverwaltung Die Fähigkeit eines Systems, sich selbst ohne externe Eingriffe zu verwalten. Welcher Aspekt konkret verwaltet wird, ist abhängig vom System und der Anwendung. Selbstverwaltung beschreibt eine übergeordnete

te Eigenschaft, die sich auf mehrere unterschiedliche Selbst-X-Eigenschaften bezieht.

Selbstbeschreibung/-erklärung Die Fähigkeit eines Systems, sich selbst zu erklären, sodass es von Menschen ohne weitere Erklärungen verstanden wird.

Poslad (2009a) selbst merkt dabei bereits an, dass diese Liste durchaus um diverse Aspekte erweitert werden kann. Weiter erklärt Poslad, dass die angeführten Eigenschaften auch als Untereigenschaften oder unterstützende Eigenschaften der vier Kernprinzipien betrachtet werden können.

4.3 SELBSTORGANISATION UND GRAD DES SELBST

Während der Begriff Selbstorganisation von Poslad als separater Aspekt aufgeführt ist, stellt Müller-Schloer ihn als zentralen Baustein des Organic Computing vor. Dabei ist zu beachten, dass sich einige Selbst-X-Eigenschaften gegenseitig bedingen und insbesondere der Begriff der Selbstorganisation (ähnlich wie das Selbstmanagement) auf weitere Eigenschaften zurückgeführt wird. So gilt ein selbstorganisierendes System ebenfalls als selbstkonfigurierend. Umgekehrt lässt sich von einer Selbstkonfigurationsfähigkeit jedoch nicht auf eine Selbstorganisation schließen.

Schmeck et al. (2010) beschreiben selbstorganisierende Systeme als aus mehreren Komponenten bestehende Systeme, welche ohne externe Steuerung auskommen und sich ohne diese umstrukturieren (können). Sie besitzen also eine hohe Autonomie (vgl. Definition 4.2 und Definition 4.3). Die Autoren führen weiterhin aus, dass meist davon ausgegangen wird, dass der Kontrollmechanismus CM über die Komponenten verteilt ist.

Bezugnehmend auf den Grad der Autonomie lässt sich auch der Grad der Selbstorganisation charakterisieren. Der Grad der Autonomie korrespondiert prinzipiell mit dem Grad des Selbst (engl. *degree of self*) der Selbst-X-Eigenschaften. Schmeck et al. (2010) definieren den Grad der Selbstorganisation bezugnehmend auf den Grad der Verteilung des Kontrollmechanismus CM sinngemäß folgendermaßen:

DEFINITION 4.4 (Grad der Selbstorganisation) – Seien k die Anzahl der Kontrollmechanismen CM und m die Anzahl der durch die Mechanismen gesteuerten Komponenten eines Systems S' . Dann bezeichnet der Grad der Selbstorganisation ε das Verhältnis ($k : m$), bzw.

$$\varepsilon = \frac{k}{m}.$$

Hierauf aufbauend definieren Schmeck et al. (2010) den Begriff Selbstorganisation sinngemäß folgendermaßen:

DEFINITION 4.5 (Selbstorganisation) – Sei S' ein adaptives System bestehend aus m Komponenten ($m > 1$), welches durch einen hohen Grad an Autonomie

gekennzeichnet ist und durch k vollständig oder teilweise verteilte Kontrollmechanismen CM gesteuert wird ($k \geq 1$). Dann ist das System S'

- (a) **stark selbstorganisiert**, wenn $k \geq m$, also der Grad der Selbstorganisation mindestens $(m : m)$ beträgt.
- (b) **selbstorganisiert**, wenn $k > 1$, also der Grad der Selbstorganisation mindestens $(2 : m)$ beträgt.
- (c) **schwach selbstorganisiert**, wenn $k = 1$, es also einen zentralen Kontrollmechanismus gibt und der Grad der Selbstorganisation $(1 : m)$ beträgt.

Darüber hinaus weisen die Autoren darauf hin, dass in der Literatur mitunter gefordert wird, dass ein selbstorganisierendes System auch strukturadaptiv sein muss (vgl. Mühl et al., 2007). Diese Eigenschaft wird in Definition 4.5 zwar nicht explizit genannt, lässt sich aber implizit ableiten: Wenn sich die Systemziele auf strukturelle Konfigurationsattribute von S' beziehen, dann ist ein adaptives System nach einer Störung oder nach einer Änderung der Bewertungs- und Akzeptanzkriterien in der Lage, seine Struktur so umzugestalten, dass es wieder akzeptabel ist.

Im Kontext des Organic Computing spielen Eingriffsmöglichkeiten in das Systemverhalten eine wichtige Rolle. Das gilt insbesondere für Systeme im Kontext von Smarten Umgebungen. So kann es beispielsweise bei Störungen oder in einer veränderten Umgebung nötig werden, das Systemziel bzw. Bewertungs- und Akzeptanzkriterien anzupassen oder direkt in den Betrieb einzugreifen. Selbstorganisierende Systeme, die eine derartigen Einflussnahme zulassen, können in Anlehnung und Erweiterung der Definition von Schmeck et al. (2010) folgendermaßen charakterisiert werden:

DEFINITION 4.6 (Kontrollierte Selbstorganisation) – Sei S' ein aus einem adaptierbaren System S und einem Kontrollmechanismus CM bestehendes, adaptives System. Dann erlaubt das System eine **kontrollierte Selbstorganisation**, wenn es über einen geringen statischen Grad der Autonomie ($\alpha < 1$) und über einen hohen pragmatischen Grad der Autonomie ($\gamma > 0$) verfügt.

Das System muss also einerseits externe Konfigurationsmöglichkeiten bieten, gleichzeitig soll das System jedoch die meiste Zeit autonom arbeiten und nur zu bestimmten Zeitpunkten externe Eingriffe benötigen. Eine Einflussnahme kann dabei einerseits auf der Zielebene (bzw. der Ebene der Bewertungs- und Akzeptanzkriterien) und andererseits durch direkte Steuerungsaktionen erfolgen.

Abweichend von Schmeck et al., 2010 wird bei der Definition 4.6 in dieser Arbeit statt des dynamischen Grads der Autonomie auf den pragmatischen Grad der Autonomie zurückgegriffen. Dies liegt in der Schwierigkeit begründet, dass für den dynamischen Grad der Autonomie ein Zeitintervall für ein zu erwartendes oder repräsentatives Einsatzszenario des adaptiven Systems ausgewählt werden muss. Der pragmatische Grad der Autonomie ist hingegen allgemeiner und lässt sich zudem einfacher berechnen.

4.4 SELBSTERKLÄRUNGSFÄHIGKEIT

Die Bedeutung der Selbsterklärungsfähigkeit für Systeme im Kontext des Organic Computing wurde bereits von Müller-Schloer et al. (2004) hervorgehoben, wobei die Autoren primär herausstellen, dass EntwicklerInnen Einblicke und Kontrollmöglichkeiten über selbstorganisierende System behalten müssen. Allerdings sind Selbsterklärungen – besonders im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit interaktiver Systeme – auch für BenutzerInnen selbstorganisierender Systeme von herausragender Bedeutung.

Insbesondere im Kontext von Smarten Umgebungen ermöglicht eine dynamische Verknüpfung von Smarten Objekten und Anwendungen die Bereitstellung von Systemlösungen, die auf die jeweiligen Bedürfnisse und Aufgaben zugeschnitten sind. Diese dynamische Kopplung verschleiert jedoch tendenziell auch die Interaktionsmöglichkeiten und kann es erforderlich machen, dass die NutzerInnen eingesetzte Interaktionsmuster und die zugeordnete Systemreaktion erlernen. Dabei ist zu erwarten, dass der Einsatz einer Selbstorganisation diesen Effekt weiter verstärkt. Ein Kernaspekt dieser Arbeit stellt daher der Einsatz von Selbsterklärungen für Smarte Umgebungen auf Basis von Selbstbeschreibungen dar. Die Begriffe können im Kontext von technischen Systemen folgendermaßen beschrieben und voneinander abgegrenzt werden (vgl. Fährdrich et al., 2013 sowie Poslad, 2009b):

Selbsterklärungsfähigkeit Unter dem Begriff Selbsterklärung wird die Fähigkeit von Systemen und Systemkomponenten verstanden, sich selbst und die eigene Funktionalität anderen Systemen, Komponenten und Menschen gegenüber zu beschreiben. Die Selbsterklärung eines Systems umfasst dabei eine vollständige und nachvollziehbare Erläuterung verfügbarer Interaktionsmöglichkeiten und die hierdurch gesteuerte Systemfunktionalität.

Selbstbeschreibungsfähigkeit Der Begriff der Selbstbeschreibungsfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, eine strukturierte, maschinenlesbare Beschreibung der eigenen Fähigkeiten und Zustände anzubieten.

Bei dynamisch verknüpften Smarten Objekten und Anwendungen stehen vollständige Informationen erst zur Laufzeit bereit. Daher schlägt Burmeister (2018) die Übertragung des aus der Programmierung bekannten Konzepts der Reflexion auf die Selbst-X-Eigenschaften als Verbindungsstück zwischen Selbsterklärung und Selbstbeschreibung vor:

DEFINITION 4.7 (Selbstreflexion) – *Sind Smarte Objekte aufgrund einer ausreichenden Informationsbasis in der Lage, ihr Handeln sowie deren Auswirkungen zur Laufzeit zu beobachten und können sie dies selbstständig oder auf Anweisung modifizieren sowie Dritten mitteilen, wird dies als **Selbstreflexion** bezeichnet.*

Der Begriff Dritte bezieht sich in dieser Definition auf andere Systeme, Komponenten oder auch Menschen. Da sich die Verbindungen zwischen Smarten Objekten in Smarten Umgebungen jederzeit ändern können, erweitert Burmeister den Begriff der Selbstreflexion zudem um Geräteverbünde:

DEFINITION 4.8 (Ambiente Reflexion) – *Die Beobachtung, Repräsentation und Modifikation des durch Vernetzung bedingten Handelns Smarter Objekte in einer Smarten Umgebung wird in Folge dessen als **Ambiente Reflexion** bezeichnet.*

Während sich die ursprünglichen Definitionen auf physische Smarte Objekte beziehen, wird die Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit auch auf Ambiente Anwendungen ausgeweitet, die als virtuelle Smarte Objekte angesehen werden können.

Trotz des Stellenwerts für Systeme im Bereich des Organic Computing und des Umstands, dass die Selbsterklärungsfähigkeit als eines der zentralen Merkmale zukünftiger digitaler Systeme gehandelt wird (Drechsler et al., 2018), wurde dem Thema im Forschungsbereich des Pervasive Computing bisher wenig Beachtung geschenkt. Im Folgenden werden die relevanten Forschungsarbeiten vorgestellt.

Der Fokus der Forschung im Bereich der Selbsterklärungsfähigkeit selbstadaptiver Systeme liegt im Wesentlichen darauf, die Gründe für das Erreichen des aktuellen Zustands hinsichtlich des Adaptionsprozesses zu erläutern. Das bedeutet, dass primär erklärt wird, welche Anpassungen durch das System vorgenommen wurden und welche Ursache dahinter steht.

So wurde beispielsweise eine Erklärungsfähigkeit bei Systemen, deren Verhalten vergangene Anpassungen und Entscheidungen berücksichtigen, auf der Grundlage einer expliziten Darstellung dieser Prozesse diskutiert (Garcia Dominguez et al., 2019; Parra-Ullauri et al., 2020). Diese Eigenschaft soll es Menschen ermöglichen, die Auswirkungen des Systemverlaufs auf den Entscheidungsprozess zu verstehen. Die AutorInnen stellen hierzu eine Architektur vor, mit der sich zeitbezogene Daten festhalten lassen, um sie später abfragen zu können und somit das Verhalten eines Systems und die Entscheidungsfindung zu erklären. In diesem Fall wird der Begriff der Selbsterklärungsfähigkeit als die Fähigkeit eines Systems Fragen zu in der Vergangenheit getroffenen Entscheidungen zu beantworten interpretiert.

In der jüngeren Vergangenheit wurde darüber hinaus Forschung zur Erklärungsfähigkeit selbstadaptiver Systeme im Kontext Smarter Umgebungen vorgestellt (Fadiga et al., 2021). Hierbei soll die Erklärungsfähigkeit BenutzerInnen dabei unterstützen, das Systemverhalten zu verstehen und somit in die Lage versetzt zu werden bei Bedarf angemessen reagieren zu können. Grundlage stellen hierbei mittels maschinellen Lernverfahren aufgestellte Kausalmodelle dar, die auf Experimenten in der Smarten Umgebung sowie auf aufgezeichneten Beobachtungen basieren.

Der Schwerpunkt der beschriebenen Forschungsarbeiten liegt dabei auf der Erklärung der Selbstanpassung der jeweiligen Systeme. Im Gegensatz zu dem in Zuge dieser Arbeit adressierten Ansatz zielen die vorgestellten Arbeiten nicht explizit auf eine Erklärung der Benutzungsschnittstelle ab, sodass die Mensch-Computer-Interaktion nicht im Vordergrund steht.

Im Rahmen ihrer Arbeit motivieren Autexier und Drechsler (2018) die Selbsterklärungsfähigkeit für intelligente Umgebungen, wobei sie einen Schwerpunkt

auf intelligente Assistenzprozesse setzen. Sie argumentieren, dass die Akzeptanz dieser Assistenzprozesse durch Erklärungen oder eine intrinsische Intuitivität des Systemverhaltens verbessert werden kann. Dies gilt insbesondere für intelligente Systeme, die schwer vorhersehbare Aktionen ausführen bzw. deren Aktionen von den NutzerInnen möglicherweise nicht erwartet werden.

Um die Motivation zu unterstreichen, stellen die Autoren zwei Beispiele aus ihrer eigenen Forschung vor. Im ersten Beispiel geht es um automatische Fahrerassistenten für selbstfahrende Rollstühle und Gehhilfen. Die Autoren konnten beobachten, dass die Fahrwege andere Personen im Raum irritierten und für diese schwer vorhersehbar waren. Daher stellen sie einen Assistenten vor, der die geplanten Bewegungen anderen Personen im Raum mitteilt. Im zweiten Beispiel stellen die Autoren eine Situation mit mehreren miteinander interagierenden intelligenten Assistenten vor. Bei derartigen miteinander vernetzten Systemen kann die Ursache einer Handlung durch die Systeminteraktion verschleiert werden und somit Außenstehende irritieren. Zwei im Rahmen dieses Beispiels vorgestellte Prozesse sind ein nächtliches Überwachungssystem und ein Transportassistent, der Türen und Lichter steuert. In einigen Anwendungsfällen sind die Gründe für Systemaktionen (also das Öffnen oder Schließen von Türen und das Schalten von Lichtern) für die BenutzerInnen nicht nachvollziehbar. Autexier und Drechsler schlagen daher vor, bei solchen Systemen Erklärungen einzusetzen, sodass das Systemverhalten besser nachvollziehbar ist.

Zunächst stellen die Autoren Gestaltungskriterien für selbsterklärende, intelligente Umgebungen vor. Zudem unterscheiden sie zwischen einer Benutzerebene von Erklärungen (einer Ebene, die für technisch nicht versierte BenutzerInnen verständlich ist) und einer Programmebene (einer Programmiersprache oder Low-Level-Spezifikationen des Systemverhaltens). Zudem stellen sie spezifikationsgetriebene Erklärungen (partielle Erklärungen, die nur eine für bestimmte Aktionen relevante Spezifikation enthalten) und architektonische Erklärungen (auf Basis der für eine Aktion relevanten Module) vor. Die Autoren argumentieren, dass auf bestimmte Situationen bezogene Teilmodelle auch eine ausreichende Erklärung ermöglichen können. Sie stellen jedoch heraus, dass diese konsistent gehalten werden müssen, damit die BenutzerInnen bei der Bildung mentaler Modelle des System unterstützt werden.

In einer neueren Arbeit stellen Fey und Drechsler (2020) ein konzeptionelles Framework vor, welches auf den beschriebenen Erklärungsebenen aufsetzt. Erklärungen werden im Framework mittels Ursache-Wirkungs-Beziehungen modelliert. Diese Beziehungen können wiederum transitiv kombiniert werden, sodass sich Ursache-Wirkungs-Ketten bilden. Darüber hinaus stellen die Autoren eine technische Lösung für Erklärungen auf der funktionalen Ebene und eine Fallstudie mit einer Robotersteuerung vor. Da der in diesen beiden Arbeiten vorgestellte Ansatz das Schreiben von zusätzlichem Code für die Erklärungen erfordert, entsteht zusätzlicher Aufwand, der Kosten verursacht. Fey und Drechsler argumentieren daher dafür, dass sich die EntwicklerInnen entscheiden können, ob sie Systeme implementieren, die nur teilweise selbsterklärend sind und so beispielsweise nur die wichtigsten Systemteile erklären. Auf diese Weise

kann der zusätzliche Aufwand für die Erklärungen reduziert und gleichzeitig die Selbsterklärungsfähigkeit für kritische Teile gewährleistet werden.

Während Autexier, Drechsler und Fey darauf abzielen, das Verhalten digitaler Systeme und intelligenter Umgebungen sowohl den BenutzerInnen als auch anderen (indirekt) beteiligten Personen in der Situation (online) zu erklären, spielen die Interaktionen zwischen einer BenutzerIn und dem System in ihrer Arbeit nur eine untergeordnete Rolle. Da diese für Mensch-Maschine-Systeme und insbesondere für dynamische Interaktionsverbände in Smarten Umgebungen eine wichtige Rolle spielen, liegt der Fokus in dieser Arbeit hauptsächlich darauf, Ambiente Anwendungen aus der Interaktionsperspektive zu beschreiben. Somit stehen die Beschreibung der physischen Interaktionen und des entsprechenden Systemverhaltens im Vordergrund. Im Gegensatz zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz bietet das konzeptionelle Framework von Fey und Drechsler kein konkretes Beschreibungsformat für eine umfassendere Mensch-Computer-Interaktion.

In seiner Dissertation stellt Burmeister (2018) ein Konzept und ein Framework für die Selbsterklärungsfähigkeit und Selbstorganisation von dynamisch vernetzten Geräteverbänden in Smarten Umgebungen auf Basis des Konzeptes der Selbstreflexion (vgl. Definition 4.7) vor. Der Ansatz basiert auf einer im Rahmen der Dissertation entworfenen Selbstbeschreibungssprache für Smarte Objekte, mittels der Gerätebeschreibungen festgehalten werden können. Diese Beschreibungen dienen als Informationsbasis für die Generierung von Anleitungen zur Laufzeit unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Verbindung der Geräte. Die Auslieferung dieser Anleitungen erfolgt an Geräte, die in der Lage sind die jeweils generierte Anleitung darzustellen.

Im Rahmen seiner Arbeit stellt Burmeister sowohl den Bedarf als auch vorangegangene Arbeiten bzgl. strukturierter Selbstbeschreibungen vor. Da keine bestehende Sprache die Anforderungen an eine Beschreibungssprache für Smarte Objekte im Kontext interaktiver Geräteverbände erfüllt, führt Burmeister die Smart Object Description Language (SODL) ein (vgl. auch Burmeister et al., 2017).

Selbstbeschreibungen werden mittels SODL menschen- und maschinenlesbar festgehalten. Jede Selbstbeschreibung besteht dabei aus drei Teilen: Einem allgemeinen Teil, Gerätekomponenten sowie deren Zustandsgruppen und einer Aufgabenanalyse mit deren Hilfe Ein- und Ausgabemöglichkeiten dokumentiert werden.

Der allgemeine Teil dient der Dokumentation allgemeiner Information über das Gerät basierend auf den Produktinformationen. Es beinhaltet Informationen über den Hersteller, den Modellnamen, Produktabmessungen und vergleichbare Details. Das Gerät kann anhand der räumlichen Nutzung (mobil, stationär oder eingebettet) klassifiziert und der Gerätetyp anhand einer ID festgehalten werden. Zudem erlaubt die Angabe einer Seriennummer eine eindeutige Identifikation eines bestimmten Geräts.

Geräte werden mit ihren jeweiligen Komponenten und den Zuständen, die diese jeweils annehmen können, modelliert. Zur einfacheren Zuordnung der Gerä-

te durch die BenutzerInnen können Bilder des Geräts und der Komponenten hinterlegt werden. Grundsätzlich werden Komponenten anhand der Ein- bzw. Ausgabeeigenschaften unterteilt. So wird eine Komponente, die Eingabemodalitäten anbietet, als Eingabekomponente beschrieben. Insgesamt wird somit ein Eingabegerät als Gerät beschrieben, das nur Eingabekomponenten bietet. Analoges gilt für Ausgabegeräte. Ein kombiniertes Ein- und Ausgabegerät wird konsequenterweise als Gerät beschrieben, das sowohl aus Eingabe- als auch aus Ausgabekomponenten besteht.

Zustände, die Komponenten annehmen können, sind in Zustandsgruppen organisiert (beispielsweise die Schaltzustände einer Lampe). Zustandsgruppen können einerseits aus diskreten Zuständen oder aus kontinuierlichen Werten bestehen. Um Interaktionen und die entsprechende Systemreaktion auf der Grundlage eines einzelnen Zustands zu modellieren, können Zustände durch eine ID referenziert werden. Darüber hinaus können Zustandsgruppen adressiert werden (beispielsweise zum Umschalten von Zuständen, zum Übergang in eine Sequenz von Zuständen oder zur Adressierung eines Wertes aus einem Bereich).

Darüber hinaus kann die Ausgabefähigkeit einer Komponente beschrieben werden, die angibt, welche Medienarten eine Komponente (oder das Gerät) darstellen kann. Diese Eigenschaft wird mittels der von Freed und Borenstein (1996) spezifizierten MIME Types (Multipurpose Internet Mail Extension¹) festgehalten, die im Bereich der Dateiverwaltung verbreitet Anwendung finden. Mittels MIME Type können Geräte identifiziert werden, die in der Lage sind, die jeweils generierten Anleitungen anzuzeigen. Das Ambient Reflection Framework greift hierzu auf diese Information zu und wählt aus, auf welchem Gerät Anleitungen dargestellt werden.

Die Darstellung der Selbsterklärung kann somit auf beliebigen Bestandteilen einer Smarten Umgebung erfolgen, wobei sich eine vollständige Umgebungsbeschreibung über mehrere Komponenten erstrecken kann. Die Darstellung erfolgt somit potentiell wiederum auf einem selbstorganisierten System aus Einzelkomponenten, das (teilweise) auch aus Elementen des zu beschreibenden Systems aufgebaut sein kann (beispielsweise bei einem Smarten Objekt mit integriertem Display), aber nicht notwendigerweise muss (beispielsweise bei einer audiobasierten Anleitung über zusätzliche Raumlautsprecher).

Der Aufgabenanalyseteil der SODL dient der detaillierten Beschreibung der Interaktion. Er basiert auf den zwei (im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion etablierten) Werkzeugen der hierarchischen Aufgabenanalyse (engl. *Hierarchical Task Analysis*, kurz HTA) (Stanton, 2006) und des Virtual Protocol Model (VPM) (Nielsen, 1986).

Die HTA setzt auf eine Aufgabenzerlegung, wobei es sich hier um ein rekursives Verfahren handelt, Aufgaben in kleinere Unteraufgaben aufzuteilen, bis eine Unteraufgabe einfach direkt gelöst werden kann. Die Aufgaben werden hierzu in einer Baumstruktur festgehalten. Für die jeweiligen Ebenen des Baums werden Ausführungsreihenfolgen definiert. Diese werden auch als Plan bezeichnet.

¹ <https://www.w3.org/2020/01/registering-mediatypes> (Abrufdatum 21.12.2022)

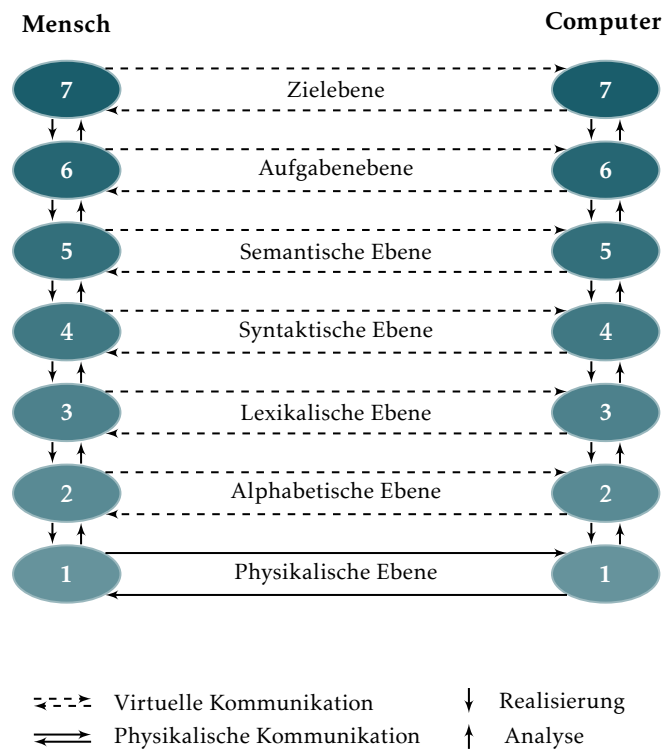


ABBILDUNG 4.3 – Übersicht über das Virtual Protocol Model (vgl. Nielsen, 1986)

Das Virtual Protocol Model wurde von Jacob Nielsen zur detaillierten Beschreibung der Interaktion zwischen Mensch und Computer eingeführt (s. Abbildung 4.3). Im Modell werden sieben aufeinander aufbauende Ebenen unterschieden. Realweltliche Ziele werden auf der obersten Ebene, der Zielebene, beschrieben. Sie können durch Ausführen von Aufgaben an einem Computer (Aufgabenebene) erreicht werden, welche sich auf das Ausführen von Operationen, deren Ergebnisse und die darin verwendeten Objekte (semantische Ebene) zurückführen lassen. Die zeitliche und räumliche Reihenfolge der Ein- und Ausgabeoperationen wird auf der syntaktischen Ebene erfasst. Darunter befindet sich die lexikalische Ebene, auf welcher sich die kleinsten informationstragenden Einheiten involvierter Operationen und Objekte befinden, die auch als Token bezeichnet werden. Diese Einheiten wiederum bestehen aus atomaren Befehlen, welche als Lexeme bezeichnet werden und auch als Interaktionsprimitive (vgl. Vlist et al., 2011) bekannt sind. Sie werden der alphabetischen Ebene zugeordnet. Auf der untersten Ebene, der physikalischen Ebene, werden schließlich die physischen Aktionen beschrieben, die für eine Kommunikation nötig sind.

Auch bei der HTA wird oft eine Zerlegung in sieben Detaillierungsebenen vorgenommen, sodass Burmeister (2018) vorgeschlägt, diese beiden Werkzeuge zu verbinden, um Interaktionen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden zu mo-

dellieren. Auf diese Weise dient die HTA der grundsätzlichen Strukturierung. Diese wird wiederum mit Informationen zur Interaktion nach dem VPM befüllt. Eine Schlüsselerkenntnis bei der derartigen Strukturierung ist, dass sich der Ebenenstapel aufspalten lässt und so eine Trennung zwischen Eingabeebenen und Ausgabebenen ermöglicht werden kann. Eine mögliche Trennung ist die von Burmeister vorgeschlagene Aufteilung zwischen der alphabetischen und der lexikalischen Ebene. Während Interaktionsprimitive (das kleinste adressierbare Element, das einen sinnvollen Bezug zur eigentlichen Interaktion hat, vgl. Niezen, 2012) durch Eingabegeräte erzeugt werden, lassen sich Ausgabegeräte durch kleinste informationstragende Einheiten involvierter Operationen und Objekte steuern, die durch die Interaktionsprimitive angestoßen werden können. Bei der Vermittlung von Ein- und Ausgabegeräten können somit Interaktionsprimitive diesen Einheiten zugeordnet werden, sodass Eingabegeräte in der Lage sind, Ausgabegeräte zu steuern. In der Folge werden die NutzerInnen in die Lage versetzt, mit den Geräten ihre Ziele zu erreichen. Darüber hinaus erlaubt diese Modellierung eine detaillierte Beschreibung der Schritte, die zur Erfüllung einer Aufgabe nötig sind. Diese Beschreibungen können aufgrund der Ebenen einerseits grobgranular Aufgaben umfassen, aber auch detailliert notwendige Körperbewegungen beinhalten.

Sowohl das Framework als auch SODL fokussieren primär auf Verbünde Smarter Objekte. Während dieser Ansatz für viele Szenarien sehr gut geeignet ist, reicht er nicht aus, um Anwendungssituationen zu adressieren, die komplexere Prozesse oder vielseitige Unterstützungsbedarfe umfassen. Dies gilt insbesondere für Assistenzsysteme in Smarten Umgebungen für den Intensivkontext (s. Kapitel 2), ist aber auch in anderen Anwendungsszenarien der Fall. So kommt Ambienten Anwendungen hierbei eine besondere Bedeutung zu, mithilfe derer sich Unterstützungs-systeme einfacher realisieren lassen. Beispielsweise lässt sich eine Anwendung für die Unterstützte Kommunikation mittels Ambienter Anwendungen losgelöst von Hardwarefragen und spezifischen Interaktionsgeräten flexibel entwickeln. In einem konkreten Szenario kann die fertige Anwendung dynamisch mit geeigneten Interaktionsgeräten gekoppelt werden. Dennoch stellt die Arbeit von Burmeister eine geeignete Grundlage dar, da sie ein Grundkonstrukt für Selbstbeschreibungen und ein Framework für Selbsterklärungen in Smarten Umgebungen liefert.

4.5 AMBIENT REFLECTION

Aufgrund der Relevanz des Ambient-Reflection-Frameworks für diese Arbeit, wird das von Burmeister (2018) entwickelte Referenzframework für ambientreflexive Umgebungen im Folgenden in seinem systemischen Bestandteilen vorgestellt. Der Kernbaustein des Frameworks ist eine Komponente zur Koordination Smarter Objekte und zur Zusammenführung der jeweiligen, in den Komponenten verankerten Geräteinformationen und Selbstbeschreibungen (unter Einsatz der SODL). Sie befähigt das Framework zur Lokalisation (engl. *Discovery*) der Smarter Objekte in der Umgebung, zur dynamischen Verbindung dieser und zur Bereitstellung von Selbsterklärungen, die aktuell verfügbare Geräte sowie die Vernetzungszustände berücksichtigen. Die Referenzarchitektur dieser

Komponente wird als *Description Mediator* (kurz Mediator) bezeichnet. Darüber hinaus umfasst das Referenzframework eine Softwarebibliothek, welche Smarte Objekte zur Selbstreflexion befähigt. Die Referenzrealisierung der Bibliothek wird *Smart Object Library* genannt.

Während das zugrundeliegende Konzept protokollagnostisch ist, basiert die vorgestellte Referenzimplementierung wahlweise auf den Protokollen UPnP oder DPWS. Realisiert ist das Framework im Wesentlichen mittels der Programmiersprache Java.

4.5.1 DER DESCRIPTION MEDIATOR

Mittels der Kernkomponente des Description Mediators ist Ambient Reflection in der Lage, Smarte Objekte im Netzwerksegment zu lokalisieren, die Selbstbeschreibungen aller Komponenten einzusammeln, diese Komponenten dynamisch zu verbinden und schließlich zusammengeführte und aufbereitete Gesamtbeschreibungen für diese dynamisch verbundenen Ensembles bereitzustellen. Die Lokalisation und Adressierung der Komponenten basiert dabei auf den zugrundeliegenden Protokollen UPnP bzw. DPWS. Im Fall von UPnP wird hierbei auf das Simple Service Discovery Protocol (SSDP) zurückgegriffen, während bei DPWS der Standard Web Services Dynamic Discovery (WS-Discovery) zum Einsatz kommt. In beiden Fällen wird letztlich ein Multicast ausgeführt. Die Protokolle sehen hierfür eine standardisierte Multicast-Gruppe für alle beteiligten Komponenten vor. Beim Betreten und Verlassen des Netzwerks senden die Komponenten jeweils eine *Hello-* bzw. eine *Bye-*Nachricht über diese Multicast-Gruppe, sodass sowohl Smarte Objekte als auch der Description Mediator in Kenntnis gesetzt sind. Da die einzelnen Komponenten das Netzwerk typischerweise sukzessive betreten, werden bei Bedarf Discovery-Nachrichten über die Gruppe an alle Komponenten verschickt, um auch bei zeitlich verpassten Hello-Nachrichten Geräte lokalisieren zu können. Im Fall des Mediators werden diese Discovery-Nachrichten periodisch verschickt. Smarte Objekte verschicken Discovery-Nachrichten hingegen nur, wenn ihnen Verbindungen zu noch unbekanntem Gegenstellen zugewiesen werden.

Darüber hinaus bieten beide Protokolle die Möglichkeit, Funktionen der einzelnen Komponenten aufzurufen und somit entweder Parameter zu erfragen oder Aktionen anzustoßen. Basierend hierauf und im Anschluss an eine Entdeckung eines neuen Smarten Objekts fragt der Mediator bei diesem die Selbstbeschreibung ab und wertet diese aus. Hierbei wird unter anderem identifiziert, ob und welche Interaktionsprimitive eine Komponente bereitstellen kann und welche Gerätefunktionalitäten (bzw. Interaktionsereignisse) steuerbar sind. Im Anschluss kann eine Vermittlung dieser beiden Teile über Gerätegrenzen hinweg erfolgen. Dieser Prozess kann einerseits automatisch vom Mediator durchgeführt werden, wobei in diesem Fall ein probabilistischer Algorithmus eingesetzt wird. Andererseits ist es aber auch möglich eine Vermittlung basierend auf einer Konfiguration eines gesamten Ensembles, aber auch nur von Teilen eines Ensembles zu erstellen. Diese Konfiguration einer Vermittlung erfolgt dabei in den Smarten Objekten selbst, wobei angegeben werden kann, welche (konkreten)

Gegenstücke erwartet werden. Somit ist die Vorkonfiguration von Ensembles EntwicklerInnen vorbehalten.

Zur Vermittlung der Smarten Objekte, haben Burmeister und Gerlach (basierend auf von diesen vorher entworfenen Algorithmen zur Adressierung des Zuordnungsproblems Smarter Objekte, vgl. Burmeister et al., 2018) einen probabilistischen Algorithmus entwickelt. Der Algorithmus basiert auf einer Menge von Wertfunktionen, die jeweils einer Menge von Verbindungen einen Wert (zwischen 0 und 1) zuweisen und so jeweils einem Gütekriterium für die Verbindungen entsprechen. Darüber hinaus können ungenügende Lösungen mittels Filterbedingungen außenvorgelassen werden (s. Abschnitt 3.3). Sowohl Kriterien als auch Bedingungen sind prinzipiell frei definierbar und können im Mediator dynamisch eingebunden werden.

Die Gütekriterien können sich auf vielfältige Aspekte von Ensembles in der Smarten Umgebung beziehen. Sie reichen von der Beschaffenheit der Geräte über Aspekte der Gebrauchstauglichkeit bis hin zu Expertenwissen. Wertfunktionen können beispielsweise für den Abgleich bestimmter Wertebereiche, die Priorisierung bestimmter Aufgaben, die Bevorzugung bestimmter Gerätekombinationen etc. genutzt werden.

Mittels der mit einem Filter verbundenen Bedingungen lassen sich Lösungen basierend auf unterschiedlichen Grundlagen ausschließen. So können beispielsweise Sicherheitsaspekte, aber auch Vorlieben der bereitstellenden Personen und Nutzerpräferenzen berücksichtigt werden. Filter können realisiert werden, indem beispielsweise bestimmte Geräte oder Verbindungen, die ausgeschlossen werden sollen, angegeben werden.

Burmeister et al. (2018) haben einige Kriterien und Bedingungen realisiert, die relativ allgemeingültig und somit für viele Szenarien geeignet sind:

Eindeutigkeit Eine Bedienhandlung sollte eindeutig einer Gerätefunktion zugeordnet werden. Daher sollte eine Eingabe nicht mit mehreren Ausgabegeräten in Verbindung gebracht oder eine Gerätefunktion durch mehrere unterschiedliche Bedienhandlungen gesteuert werden. Diese Bedingung wird durch ein Filter realisiert, welches nur eine Verbindung pro Token (informationstragendes Symbol der Interaktion, Element der lexikalischen Ebene) oder Lexem (Interaktionsprimitiv, Element der alphabetischen Ebene) erlaubt.

Gruppierung Zur Erfüllung eines Ziels einer BenutzerIn müssen typischerweise mehrere Interaktionsaufgaben durchgeführt werden, sodass diese zum Ziel gruppiert werden können. Die Gruppierung spiegelt dabei eine Abfolge von Aufgaben und die damit verbundenen Bedienhandlungen wider, die erforderlich sind, um ein Ziel im physischen Raum zu erreichen. Diese Bedingung wird durch einen Filter realisiert, welches nur Lösungen zulässt, bei denen die Ziele vollständig oder überhaupt nicht erreicht werden können.

Konformität Eingaben und Gerätefunktionen können jeweils durch diskrete oder kontinuierliche Zustände beschrieben werden. Ein relevanter Aspekt bei der Vermittlung ist, wie gut ihre numerischen Repräsentanten zueinander passen. Dieses Kriterium wird durch die Berücksichtigung der Differenz zwischen den Wertebereichen der Zustände realisiert.

Distanz Die räumliche Entfernung zwischen den Komponenten eines Ensembles hat einen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit. Die Steuerung von Gerätefunktionen in anderen Räumen oder außerhalb der Sichtweite kann dabei ein Hindernis für die Interaktion darstellen. Dieses Kriterium wird durch die Berechnung des Abstands auf der Grundlage eines hierarchischen Positionierungsschemas realisiert.

Abdeckung Das Verständnis für die Steuerung eines Ensembles kann beeinträchtigt werden, wenn eine Vielzahl von Interaktionsgeräten zur Steuerung eines einzelnen Ausgabegeräts verwendet werden muss. Ausgabegeräte sollten daher von einer geringen Anzahl von Interaktionsgeräten gesteuert werden. Dieses Kriterium wird durch die Berechnung der Anzahl der Eingabegeräte pro Ausgabe realisiert.

Konsistenz Die bereits gemachten Erfahrungen mit bestehenden Ensembles sollten in zukünftigen Ensembles berücksichtigt werden. Bereits bestehende Verbindungen zwischen Bedienhandlungen und Gerätefunktionen sollten daher tendenziell beibehalten werden. Dieses Kriterium wird dadurch realisiert, dass Lösungen stärker bevorzugt werden, je mehr sie bereits bekannte Verbindungen enthalten.

Das Framework erlaubt darüber hinaus die Integration weiterer, frei realisierbarer Kriterien und Bedingungen.

Grundsätzlich ist ein Austausch der Kriterien und Bedingungen, aber auch eine Anpassung der Gewichtung bzw. Priorisierung unterschiedlicher Kriterien zwischen jedem Durchlauf zur Laufzeit des Mediators möglich. Somit lassen sich Anpassungen an unterschiedliche Szenarien, aber auch an geänderte Rahmenbedingungen vornehmen.

Bei jedem Durchlauf sucht der Algorithmus nach einer Lösung mit dem höchsten numerischen Wert, der sich aus den gewichteten Gütekriterien ergibt, wobei die Lösung nicht durch eine Filterbedingung ausgeschlossen sein darf. Hierzu werden zunächst alle möglichen Verbindungen ermittelt und anschließend alle durch die vorhandenen Filter vorgegebenen Verbindungen ausgeschlossen. Jede Kombination der verbleibenden Verbindungen stellt dann eine mögliche Lösung dar und kann durch die Kombination der gewichteten Gütekriterien bewertet werden.

Die Anzahl der Lösungen wächst dabei exponentiell mit der Anzahl der möglichen Verbindungen, da jede Verbindung entweder Teil des zu realisierenden Ensembles sein kann oder nicht. Daher würde ein naiver Brute-Force-Algorithmus bei einer größeren Anzahl von potentiellen Verbindungen zu viel Zeit in Anspruch nehmen, als dass alle möglichen Lösungen durchsucht werden könnten. Da der implementierte Algorithmus auf den allgemeinen Fall abzielt, ist auch eine algorithmische Optimierung nicht anwendbar, obgleich sie für bestimmte Szenarien mit festgelegten Kriterien und Bedingungen durchaus vorstellbar ist. Dies liegt darin begründet, dass die Gütekriterien beliebig definiert werden können, sodass es bei bestimmten Kombinationen möglich ist, ein Problem zusammenzustellen, das aus Komplexitätstheoretischer Sicht sehr schwierig bis unmöglich zu lösen ist.

Typischerweise werden derartige, allgemeine Probleme mittels allgemeiner algorithmischer Ansätze adressiert. So werden beispielsweise naturanaloge Verfahren, wie genetische Algorithmen oder neuronale Netze, sowie probabilistische Algorithmen für diese Problemstellungen eingesetzt (vgl. Gerdes et al., 2004, sowie Mitzenmacher und Upfal, 2017). Letzteren liegt dabei die Annahme zugrunde, dass bei einer beschränkten Betrachtung des Suchraums per Zufallsauswahl bessere Lösungen gefunden werden als mittels einer systematischen Suche. Das Randomisierungsschema erlaubt dabei das Durchsuchen von weit auseinander liegenden Teilen des Suchraums und bildet somit das Herzstück eines jeden probabilistischen Algorithmus.

Dem im Mediator genutzten Algorithmus zur Vermittlung liegt die Annahme variierender Bedingungen und Kriterien zugrunde. Das Verfahren setzt auf einen Best-Effort-Ansatz basierend auf einem probabilistischen Brute-Force-Algorithmus und untersucht, solange es läuft, eine Pseudo-Zufallslösung nach der anderen, bewertet sie über die gewichteten Kriterien und hält die beste bisher gefundene Lösung vor.

Hierzu wird eine konfigurierbare Anzahl von Threads genutzt, die jeweils von verschiedenen Ausgangspunkten aus gleichzeitig nach Lösungen suchen. Das zugrundeliegende Randomisierungsschema sieht vor, dass die Threads regelmäßig zurückgesetzt werden, allerdings zusätzliche Laufzeit bekommen können, wenn sie verglichen mit den anderen Threads mehrmals bessere Lösungen finden. Jeder Thread konstruiert eine Lösung, indem dieser die Liste der möglichen Verbindungen abarbeitet und die nächstmögliche Verbindung auf der Grundlage einer für den jeweiligen Thread festgelegten, individuellen Wahrscheinlichkeit, zufällig auswählt bzw. ignoriert und anschließend nicht mehr erfüllbare Verbindungen herausnimmt. Ausgehend von dieser Zufallslösung und der Entscheidung für oder gegen die letzte Verbindung beginnt der Thread mit dem Vergleich der gefundenen Lösungen mit den Lösungen, die sich aus der umgekehrten Entscheidung ergeben. Angenommen, die letzte Entscheidung lautete, die Verbindung einzubeziehen, dann wird die Lösung mit einer Lösung verglichen, die die Verbindung ignorieren würde. Sofern es noch nicht evaluierte Verbindungen gibt, konstruiert der Thread eine neue Zufallslösung, die der Konstruktion des Ausgangspunkts ähnelt, aber auf der gegebenen Teillösung basiert.

Diesem Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass es Cluster von Lösungen mit ähnlicher Qualität gibt, bei denen es vorteilhaft sein kann, innerhalb eines Clusters weiterzusuchen, bis Verbesserungen selten werden. Gleichzeitig findet regelmäßig ein Übergang zu neuen Clustern statt.

Im Anschluss an eine Vermittlung erstellt der Mediator eine Gesamtbeschreibung basierend auf der SODL. Dabei werden im Abschnitt der Komponenten- und Zustandbeschreibung sämtliche Einzelkomponenten und Zustandsgruppen aufgeführt. Die Interaktionsmodellierung in Form der Aufgabenanalyse besteht dabei im Falle eines vermittelten Interaktionsprimitivs zu einer Gerätefunktion aus einem weitgehend vollständigen Ebenenstapel. Nicht vermittelte Elemente bleiben in dieser Gesamtbeschreibung zunächst weiterhin fragmentarisch und können in einem späteren Durchlauf vermittelt werden.

Die mittels des Frameworks realisierte Selbstreflexivität der Ensembles bezieht sich neben dem Selbstverständnis (bzw. der Fähigkeit, ihr Handeln sowie deren Auswirkungen zur Laufzeit zu beobachten und dies zu modifizieren) insbesondere auch auf die Möglichkeit der Vermittlung des Verhaltens gegenüber Dritten, wobei dies explizit auch Nutzende des Systems umfasst. Der Description Mediator bietet daher zum Zwecke der Selbsterklärungsfähigkeit als Teil der Ambienten Reflexion mehrere unterschiedliche Komponenten zur Übertragung der Selbstbeschreibungen in eine den Nutzenden präsentierbare Form. Diese sogenannten *Rendering Engines* können genutzt werden, um eine Gesamtbeschreibung oder Teile dieser in unterschiedliche Formate zu überführen. So lassen sich beispielsweise rein textuelle Beschreibungen aber auch entsprechend formatierte und aufbereitete Anleitungen oder Tutorials generieren.

Zur Realisierung der Generierung der Anleitungen sind im Description Mediator zwei unterschiedliche Traversierungsstrategien der zusammengeführten Gesamtbeschreibung auf Basis der SODL vorgesehen. Einerseits können die Ebenen des Abschnitts der Aufgabenanalyse mittels einer Tiefensuche (engl. *depth-first search*, kurz DFS) durchlaufen werden, wobei zunächst der Ebenenstapel in die Tiefe, beginnend mit der Zielebene bis hin zur physikalischen Ebene, durchlaufen wird. Alternativ können die Ebenen mittels einer Breitensuche (engl. *breadth-first search*, kurz BFS) durchgegangen werden, wobei zunächst alle Elemente auf derselben Ebene durchlaufen werden.

Neben textuellen Anleitungen wurden von Burmeister auch auf HTML basierende Tutorials vorgestellt, die mittels des Mediators erzeugt werden können (Burmeister und Schrader, 2018).

Der Description Mediator ist darüber hinaus so gestaltet, dass sich einfach weitere Rendering Engines hinzufügen und bestehende ersetzen lassen. Somit können zukünftig durch entsprechende ExpertInnen Anleitungen realisiert werden, die ein besonderes Augenmerk auf die Darstellung, Lernförderlichkeit, Gebrauchstauglichkeit und insbesondere die Bedarfe der jeweiligen Zieldomänen legen.

Eine Darstellung der aufbereiteten Anleitungen kann über die Smarten Objekte erfolgen. Hierzu werden die in der SODL zu dem einzelnen Komponenten hinterlegten Ausgabefähigkeiten genutzt, um Geräte zu identifizieren, die in der Lage sind, das jeweilige Format darzustellen. Die aufbereiteten Anleitungen werden auf diesem Wege an jene Komponenten geschickt, die sie darstellen können. Aber auch eine Darstellung an einer ganz anderen Stelle ist möglich. Hierzu bietet der Mediator die Möglichkeit, die erstellte Selbstbeschreibung per REST-Schnittstelle abzurufen.

Wie bereits beschrieben ist der Mediator in der Lage, automatisch Geräteverbindungen zu erstellen. Er ist jedoch auch in der Lage Verbindungen zu trennen, wiederherzustellen und somit (Teile von) Ensembles zu ersetzen, damit die BenutzerInnen ihre Aufgaben möglichst in vollem Umfang weiterhin lösen können.

Darüber hinaus stellt der Mediator eine REST-Schnittstelle (*Representational State Transfer*) bereit, über die unterschiedliche Zustände und Parameter abgefragt und konfiguriert werden können. So lassen sich beispielsweise Informationen zu

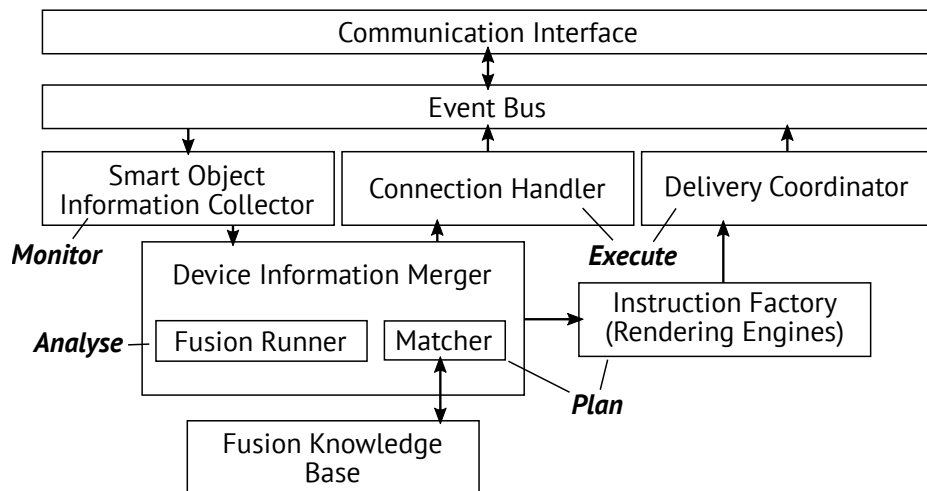


ABBILDUNG 4.4 – Aufbau der Referenzimplementierung der Vermittlungskomponente des Description Mediator (vgl. Burmeister, 2018). Ein Event Bus dient dem Nachrichtenaustausch zwischen den einzelnen Komponenten, die in Anlehnung an das MAPE-K-Prinzip entworfen wurden.

identifizierten Smarten Objekten (inklusive deren Selbstbeschreibungen) sowie aktuelle Verbindungen abrufen.

Der Description Mediator ist folgendermaßen aufgebaut. Interne Nachrichten zu unterschiedlichen Ereignissen werden im Mediator mittels eines *Event Bus* weitergeleitet. Nach einer Lokalisation werden die einer Komponente zugehörigen Metainformationen im *Smart Object Information Collector* zwischengespeichert. Zudem werden hier auch die Selbstbeschreibungen hinterlegt. Anschließend ermittelt der *Fusion Runner* mögliche Kanten (also Verbindungen von Interaktionsprimitiven zu Gerätefunktionen) und stößt die über einen *Matcher* realisierte Vermittlung basierend auf dem beschriebenen Vermittlungsalgorithmus an. Dieser nutzt für die Vermittlung Informationen zu aktuellen möglichen Lösungen sowie dem aktuellen Vernetzungszustand und greift hierzu auf die *Fusion Knowledge Base* zurück. Auf der Grundlage der gefundenen Lösung sowie der jeweiligen Selbstbeschreibungen erstellt der *Device Information Merger* eine Gesamtbeschreibung. Diese Beschreibung kann mittels der beschriebenen *Rendering Engines* in eine konkrete Anleitung in einem Medienformat überführt werden (s. auch *Instruction Factory*). Schließlich werden die Verbindungsinformationen über den *Connection Handler* und die Anleitungen über den *Delivery Coordinator* an die beteiligten Smarten Objekte gesendet. Der systemische Aufbau des Description Mediator ist in Abbildung 4.4 dargestellt.

4.5.2 DIE SMART OBJECT LIBRARY

Mittels der Java-basierten Smart Object Library können Smarte Objekte in das Framework integriert werden, wodurch diesen die Fähigkeit der Selbsterklärung

vermittelt wird. Die Bibliothek kümmert sich dabei um die nötige Netzwerkkommunikation, verarbeitet eingehende Nachrichten und leitet ausgehende Nachrichten an die gewünschten Gegenstellen weiter. Abgesehen vom netzwerkbezogenen Austausch zur Etablierung und Aufrechterhaltung der Vernetzung (inklusive der Vernetzungskonfigurationen) und der Kommunikation der jeweiligen Selbstbeschreibungen und Selbsterklärungen auf unterschiedlichen Ebenen, ist sie insbesondere für interaktionsbezogene (*Invocations*) Nachrichten zwischen Smarten Objekten zuständig.

Zur internen Nachrichtenweiterleitung setzt die Bibliothek, wie der Description Mediator auch, auf einen Event Bus. Die Programmierschnittstelle bietet mit dem *Smart Object Builder* eine dem Erbauer-Entwurfsmuster (vgl. Gamma et al., 1995) sowie dem Konzept des *Fluent Interface*², deren Kombination von Fowler (2010) als *Expression Builder* bezeichnet wird, folgende Komponente zur Bereitstellung, Initialisierung und Ausführung eines Smarten Objekts. Geräten wird beim Start eine eindeutige Kennung in Form eines Universally Unique Identifiers (UUID) zugewiesen, sodass diese fortan per UUID identifiziert werden können.

Nach der Erstellung wird zunächst die dem Smarten Objekt zugehörige Selbstbeschreibung im SODL-Format geparkt und in eine Datenstruktur überführt, die mittels der Java Architecture for XML Binding³ (JAXB) aus der SODL abgeleitet ist.

Zur Befähigung der Teilnahme an Geräteverbänden und zur Selbsterklärung, werden unterschiedliche Services bereitgestellt. Der *Description Service* stellt die Grundlage für das Abrufen von grundsätzlichen Information über das Gerät, der Selbstbeschreibung, dem Austausch von Vernetzungsinformationen und dem Aufrufen von Gerätefunktionen dar. Der *Display Instruction Service* dient hingegen der Präsentation durch den Mediator bereitgestellter Anleitungen. Vernetzungsstände von Komponenten werden über den *Information Event Service* ausgetauscht und *Discovery Service* dient der Lokalisation anderer Smarter Objekte oder Vermittlungskomponenten im Netzwerk. Die *Display Strategy Registry* dient hingegen der Koordination der durch den Instruction Service empfangenen Daten und Befehlen zur Darstellung.

4.6 FAZIT

Smarte Umgebungen werden aufgrund der Vielzahl möglicher Geräte und der nötigen Konfiguration der jeweiligen Komponenten und deren Zusammenwirken zunehmend komplexer. Diesbezüglich stellt der Ansatz der Selbstorganisation und die dazugehörigen Selbst-X-Eigenschaften ein geeignetes Mittel dar, um mit der zunehmenden Komplexität der Systeme in Smarten Umgebungen umzugehen und Systeme möglichst selbstorganisiert bereitzustellen.

In Smarten Umgebungen und insbesondere bei Mehrbenutzerszenarien erscheint es zudem sinnvoll, statt vollautonomer Systeme, die sich automatisch an jede

² »FluentInterface« im Bliki (Kofferwort aus *Blog* und *Wiki*) von Martin Fowler. URL: <https://www.martinfowler.com/bliki/FluentInterface.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

³ <https://jcp.org/en/jsr/detail?id=222> (Abgerufen am: 21.12.2022)

Situation anpassen, auf eine mittlere Autonomie abzielen und somit eine kontrollierte Selbstorganisation anzustreben. So gilt insbesondere in bestimmten Mehrbenutzerszenarien die Anforderung, dass Geräte, die einer BenutzerIn zugeordnet sind, nicht die Geräte einer anderen BenutzerIn steuern dürfen. Hierbei ist eine Zuordnung der Geräte zu einer Person notwendig, welche sich einfacher über eine externe Konfiguration realisieren lässt. Zudem kann die Anforderung bestehen, Ensembles oder Teile eines Ensembles händisch festzulegen oder anzupassen. Allgemein lässt sich festhalten, dass je nach Anwendungsgebiet und -szenario geprüft werden muss, welcher Grad der Autonomie gelten sollte bzw. in welchem Maße ein selbstorganisierendes System eine kontrollierte Selbstorganisation erlauben sollte.

Darüber hinaus stellen Selbsterklärungen auf Basis von Selbstbeschreibungen der einzelnen Komponenten einen gewinnbringenden Ansatz dar, um NutzerInnen den Umgang mit dynamisch zusammengestellten Systemverbänden zu erklären und sie so in die Lage zu versetzen, mit diesen Systemen zu arbeiten. In Situationen, wo BenutzerInnen auf sich alleine gestellt sind, es an der Möglichkeit oder der Zeit mangelt die NutzerInnen durch geschultes Personal anzuleiten, ermöglicht eine Selbsterklärungsfähigkeit dynamisch zusammengestellter Ensembles überhaupt erst die Benutzung. Darüber hinaus kann eine Selbsterklärungsfähigkeit auch als Ergänzung zu Anleitungen durch geschultes Personal einen Mehrwert bieten, da das Personal beispielsweise nicht immer zur Verfügung steht oder die Erklärungen des Personals um ein praktisches Ausprobieren – beispielsweise im Rahmen eines interaktiven Tutorials – erweitert werden können. Auf diese Weise haben BenutzerInnen mehr Gelegenheiten, sich mit dem jeweiligen System vertraut zu machen.

Um dynamisch bereitgestellte Verbände Smarter Objekte respektive ambienter Anwendungen sinnvoll zusammenstellen und erklären zu können, bedarf es allerdings Informationen, die erst zur Laufzeit feststehen. So können sinnvolle und korrekte Aussagen beispielsweise nur mittels des aktuellen Vernetzungsstands der jeweils verfügbaren Komponenten getroffen werden. Diesbezüglich stellt das Konzept der Selbstreflexion eine Grundlage dar, um Selbstorganisation und Selbsterklärungsfähigkeit in Smarten Umgebungen zu ermöglichen. Übertragen auf die gesamte Smarte Umgebung erlaubt das Konzept der ambienten Reflexion die Bereitstellung von Selbsterklärungen gesamter Umgebungen, die den BenutzerInnen die Bedienmöglichkeiten der jeweils vorliegenden Umgebung nahebringen können. Insbesondere stellen dabei die SODL und das Ambient-Reflection-Framework eine vielversprechende Grundlage zur Realisierung dieser Konzepte dar.

ANALYSE

Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung einer Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen für beatmete IntensivpatientInnen. Diese stellt die Grundlage für Beispiel-Ensembles dar, welche als soziotechnisches Unterstützungssystem die Kommunikation und Reorientierung von schwerstkranken Menschen in Intensivstationen in der Phase der Entwöhnung vom Beatmungsgerät fördern und eine Steuerung von Geräten in der Umgebung erlauben (s. Kapitel 8).

Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kordts et al. (2018), Kopetz et al. (2018b) und Kordts et al. (2019) publiziert.

Für Systeme, die für einen Einsatz im Intensivkontext entwickelt werden, gelten aufgrund des Anwendungskontexts besondere Anforderungen. Diese ergeben sich aus den typischen Organisationsstrukturen, Krankenhausrichtlinien, der Personalsituation und der jeweiligen Behandlungssituation auf der Intensivstation.

Entsprechend der in der Methodik der menschenzentrierten Gestaltung vorgesehenen Vorgehensweise, wird im Rahmen dieser Arbeit der Nutzungskontext beschrieben, um anschließend aufbauend hierauf Nutzungsanforderungen aufzustellen. Im Folgenden werden daher die für das Anwendungsgebiet geltenden Rahmenbedingungen erörtert und daraus geltende Anforderungen abgeleitet.

5.1 ORGANISATIONSANALYSE

Wie bereits beschrieben, handelt es sich bei der Intensivstation um eine spezielle Einrichtung, auf der speziell ausgebildetes pflegerisches und ärztliches Personal schwerstkranken PatientInnen mit höchstem Aufwand überwacht und behandelt (s. Abschnitt 2.6). Sie ist aufgrund der Schwere der Erkrankungen und der hochgradigen Technologisierung durch ein hohes Maß an Komplexität gekennzeichnet. Um dieser Situation und der damit einhergehenden gesteigerten Verantwortung gerecht zu werden, werden auf Intensivstationen weniger PatientInnen pro Pflegefachperson betreut als auf anderen Stationen, sodass hier ein engeres Betreuungsverhältnis vorliegt.

Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensivmedizin (DIVI) hat Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen verabschiedet, die die Personal- und Organisationsstruktur betreffen (Jorch et al., 2010). Sie empfiehlt, die Leitung einer Intensivtherapiestation einer ÄrztIn zu überlassen, die die Zusatzbezeichnung Intensivmedizin besitzt und hauptamtlich auf der Intensivtherapiestation arbeitet. Seitens des ärztlichen Teams wird geraten, dass rund um die Uhr eine in der Intensivmedizin erfahrene ÄrztIn präsent ist, die mit den aktuellen Problemen der PatientInnen vertraut ist. Darüber hinaus sollen, neben der Leitung und dessen Vertretung, bei einer 40 Stundenwoche auf 8 bis 12 Betten mindestens sieben Arztstellen eingesetzt werden, wobei spezielle Situationen mitunter einen höhere Zahl an ÄrztInnen bedingen.

Bezüglich der Pflegeausstattung empfiehlt die DIVI pro Schicht eine Pflegefachperson für zwei Behandlungsplätze, wobei bei speziellen Situationen eine erhöhte Präsenz pro Bettplatz pro Schicht erforderlich sein kann. Des Weiteren soll eine Stelle für die pflegedienstliche Leitung pro Intensivtherapieeinheit vorgesehen werden, die über eine Fachweiterbildung in Anästhesie und Intensivtherapie verfügt. Grundsätzlich sollen in einer Intensivtherapieeinheit mindestens 30% des Pflgeteams aus qualifizierten Intensivpflegefachpersonen bestehen.

Darüber hinaus werden Empfehlungen für weiteres Personal abgegeben. So soll auf Intensivtherapiestationen eine Physiotherapie für PatientInnen täglich gewährleistet und eine mit der Hygiene beauftragte Person jeweils seitens des ärztlichen und pflegerischen Personals benannt sein. Es wird geraten, dass eine klinische MikrobiologIn sowie eine klinische PharmakologIn/ApothekerIn/PharmazeutIn jederzeit konsiliarisch bereitstehen, wobei zweite mindestens einmal wöchentlich an der Visite teilnehmen soll. Darüber hinaus wird empfohlen, dass der Sozialdienst werktags für PatientInnen, Angehörige und das Personal zur Verfügung steht. Zudem soll eine fachspezifische psychologische Betreuung der PatientInnen für spezielle Situationen bereitstehen. Überdies sollte eine seelsorgerische Betreuung für Situationen am Lebensende kurzfristig erreichbar sein.

Die DIVI empfiehlt zudem Personalkapazitäten für das Training und die Einarbeitung von Personal, die Material- und Medikamentenversorgung, die Reinigung von Geräten, die Gerätwartung und -reparatur, die Einweisung in der Bedienung von Medizinprodukten sowie unterschiedliche Sekretariatstätigkeiten einzuplanen. Abschließend wird geraten, die Intensivstation täglich komplett durch mit den speziellen Hygieneanforderungen der Intensivstation vertrautem Personal reinigen zu lassen, welches überdies zu jeder Zeit zur Verfügung stehen soll.

Die Organisationsstruktur einer Intensivstation wird an dieser Stelle exemplarisch anhand der Intensivstationen des Universitätsklinikums Schleswig-Holsteins (UKSH) im Standort Lübeck dargestellt¹. Die Organisationsstruktur am UKSH aus Sicht der Pflege und Medizin ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

¹ Basierend auf internen Daten des UKSH und Informationen von MitarbeiterInnen des UKSH, die am ACTIVATE-Projekt mitgewirkt haben

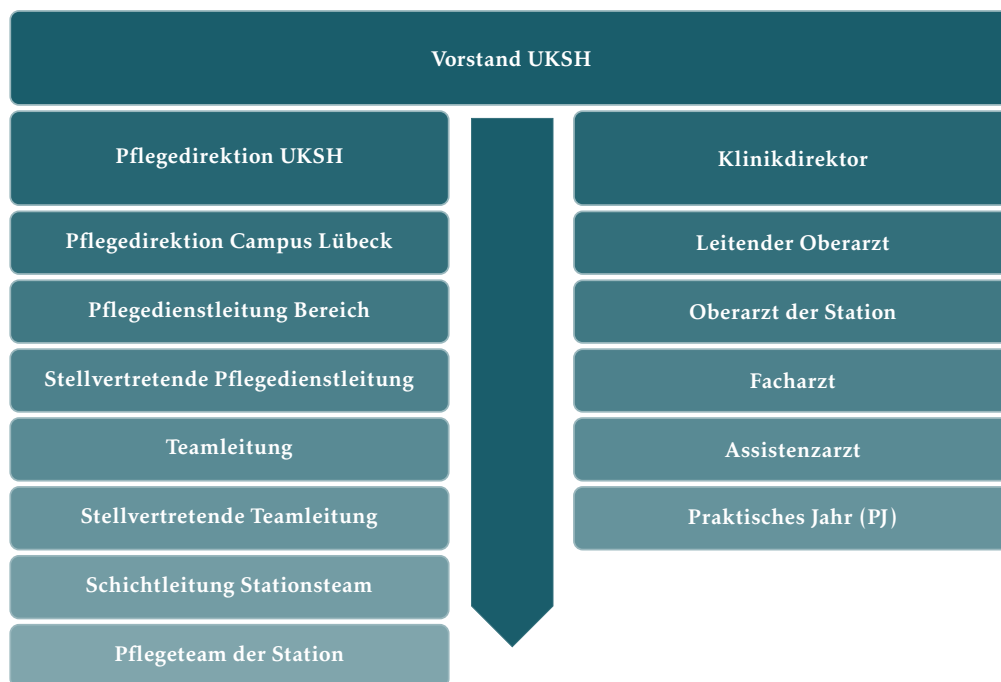


ABBILDUNG 5.1 – Hierarchische Struktur am UKSH aus Sicht der Pflege und Medizin

Seitens des pflegerischen Personals ist am UKSH die pflegerische Direktion der Pflegedienstleitung überstellt. Die Zuständigkeit der Pflegedienstleitung und deren Stellvertretungen umfasst die organisatorischen und fachlichen Belange der Pflege. Sie sind sowohl den Teamleitungen als auch den Pflegenden überstellt. Die Teamleitungen sind wiederum dem jeweiligen Pflegeteam überstellt und somit Ansprechpartner für dieses. Sie sind für die Organisation des Pflege- und des Serviceteams zuständig und kümmern sich um die Beschaffung von technischem und wirtschaftlichem Equipment sowie von Verbrauchsmaterial. Darüber hinaus planen und kontrollieren sie in Absprache mit der OberärztIn pflegerische Abläufe und Strukturen und stehen bezüglich medizinischer Abläufe und Standards im Austausch mit den OberärztInnen der Station sowie den StationsärztInnen.

Am UKSH kümmert sich die Schichtleitung um den reibungslosen pflegerischen Ablauf während der Schicht. Sie ist auch bezüglich organisatorischer Fragen für den Austausch zwischen ÄrztInnen und Pflegenden zuständig. Das umfasst beispielsweise die Belegungscoordination und die Einteilungen von Pflegenden zu speziellen Gruppen von PatientInnen. Darüber hinaus nimmt die Schichtleitung, wie die restlichen Pflegenden, auch die Versorgung der PatientInnen wahr.

Generell sind alle ÄrztInnen auf der Intensivstation medizinisch weisungsbe-rechtigt. Darüber hinaus ist das Personal der Krankenhaushygiene in hygienischen Angelegenheiten weisungsbefugt. Personal in den Bereichen Physiothera-

pie, Reinigung und Service wird über Dienstleister beschäftigt und untersteht daher nicht direkt der beschriebenen Hierarchie.

Für die Pflegeversorgung relevante technische Geräte werden am UKSH regelmäßig durch das Pflegepersonal geprüft. Das umfasst routinemäßige Überprüfungen der Beatmungsgeräte, Blutzuckermessgeräte und so weiter. Zudem stehen bei technischen Fragen und Problemen der oder die Medizintechnikbeauftragte der Station und Personal der Krankenhaus-Informationstechnik (UKSH Gesellschaft für IT-Services mbH) zur Verfügung. Darüber hinaus besteht ein Wartungsvertrag mit einem externen Unternehmen für alle medizintechnischen Geräte, die dem Medizinproduktegesetz (MPG) unterliegen.

5.2 BENUTZERANALYSE

Die Situation auf der Intensivstation stellt für alle Beteiligten eine hohe Belastung dar, wobei sich aufgrund der Rahmenbedingungen insbesondere für die PatientInnen und das Personal eine besondere Nutzungssituation ergeben. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Benutzergruppen vorgestellt.

Aufgrund des speziellen Fokus auf die Unterstützung der Kommunikation und der Versorgungsbedarfe der PatientInnen und somit auf die Intensivpflege wird seitens des Personals an dieser Stelle primär das pflegerische Personal beschrieben. Im Wesentlichen lassen sich somit drei für den Nutzungskontext besonders relevante Stakeholdergruppen unterscheiden: PatientInnen, die auf Intensivstationen behandelt werden, Pflegepersonal, das die Versorgung sicherstellt und Angehörige der PatientInnen.

5.2.1 PATIENTINNEN

Bei den auf Intensivstationen behandelten PatientInnen handelt es sich um schwerstkranke Menschen, deren Leben durch den Ausfall oder den drohenden Ausfall einer oder mehrerer lebenswichtiger Körperfunktionen gefährdet ist und deren Überleben von modernen Monitorüberwachungs- und Therapiemöglichkeiten abhängt (vgl. Jorch et al., 2010).

IntensivpatientInnen werden in einem Intensivbett behandelt und verbringen daher den Großteil der Zeit in diesem. Ausnahmen hiervon stellen Zeiten dar, in denen therapeutische oder diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden, wie beispielsweise die Frühmobilisation.

Die maschinelle invasive Beatmung stellt eine essenzielle Säule der Intensivtherapie dar, wobei individuell angepasste Formen der Beatmung gewählt werden können. In den Jahren 2016-2019 wurden etwa 20% der erfassten intensivmedizinischen Behandlungsfälle in deutschen Krankenhäusern maschinell beatmet (Destatis, 2017, 2018, 2020b, 2021).

Die Hauptindikationen einer maschinellen Beatmungstherapie sind sehr unterschiedlich, wobei laut Kopp und Rossaint (2014) am häufigsten das akute respiratorische Versagen (beispielsweise bedingt durch einen operativen Eingriff oder eine Lungenentzündung), die Beeinträchtigungen der Atemfunktion durch

komatöse Zustände und die Verschlechterung des Krankheitsbilds bei einer chronischen obstruktiven Lungenerkrankung (COPD oder Bronchialasthma) auftreten.

Der häufigste Beatmungszugang erfolgt über die endotracheale Intubation, also die Einführung des Beatmungsschlauchs über die Nase oder den Mund in die Luftröhre (Biermann und Geissler, 2016). Eine weitere Möglichkeit stellt der Zugang über eine Trachealkanüle (direkter Zugang zur Luftröhre über einen Luftröhrenschnitt) dar. Im Regelfall wird die Beatmung durch eine Analgosedierung begleitet, also eine Medikation zur Schmerzlinderung, Beruhigung und Schlafförderung.

Die durchschnittliche Beatmungsdauer von PatientInnen betrug im Jahr 2012 ca. sieben Tage (164 Stunden), wobei der Median bei etwa zwei Tagen (44 Stunden) lag (Biermann und Geissler, 2016). Die Autoren stellen zudem heraus, dass bei einem vergleichsweise hohen Anteil (37,9%) die Beatmung über einen Zeitraum von höchstens 24 Stunden erfolgte. Mehrheitlich wurde die Beatmungstherapie zwischen zwei und zehn Tagen (43%) durchgeführt.

Aufgrund der mit der Beatmung einhergehenden negativen Effekte und Risiken wird empfohlen, die invasive maschinelle Beatmung möglichst schnell wieder zu beenden (Kumpf et al., 2017). Der Prozess der Entwöhnung von der Beatmungsmaschine (Weaning) erfolgt typischerweise stufenweise, wobei zunächst eine Anpassung der medikamentösen Therapie und eine Reduktion der Analgosedierung vorgenommen wird. Das Weaning ist dabei mit sehr individuell verlaufenden und teils schwer vorhersehbaren körperlichen und psychischen Re-Adaptionsprozessen verbunden. Abhängig vom Verlauf werden drei Formen des Weanings unterschieden (Schönhofer et al., 2014):

Einfaches Weaning Erfolgreiche Entwöhnung nach erstem Spontanatemversuch (Versuch der selbstständigen, kontinuierlichen Atmung).

Schwieriges Weaning Erfolgreiche Entwöhnung nach zwei bis drei Spontanatemversuchen innerhalb von sieben Tagen Beatmungsdauer.

Prolongiertes Weaning Erfolgreiche Entwöhnung erst nach mehr als drei Spontanatemversuchen oder nach mehr als sieben Tagen Beatmungsdauer.

In einer im Jahr 2010 veröffentlichten Studie konnte die überwiegende Mehrheit der Weaningfälle (ca 59,1%) nach dem erstem Spontanatemversuch direkt beendet werden, wobei etwa 14,4% der Fälle auf das prolongierte Weaning entfielen (Funk et al., 2010). Andere Quellen schätzen den Anteil beim einfachen Weaning auf etwa 70% (Schönhofer et al., 2014). Eine Entfernung der Beatmung (Extubation) kann grundsätzlich erfolgen, wenn die PatientIn ausreichend vigilant ist, sie einen erfolgreichen Spontanatemversuch absolviert hat und der Hustenreflex erhalten ist (Bösel und Dziewas, 2012).

Der Weaningprozess ist durch wechselnde Phasen der Wachheit und Ansprechbarkeit gekennzeichnet (Henkel et al., 2018), wobei unterschiedliche Schritte vom Grad der Sedierung abhängen. Es wird empfohlen die Sedierungstiefe alle acht Stunden zu erheben (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2015). Dabei ist das vorrangig eingesetzte Instrument zur Erfassung der Sedierungstiefe die von Sessler et al. (2002) beschriebene

Wert	Bezeichnung	Erläuterung
-5	Nicht erweckbar	Keine Reaktion auf eine Ansprache oder körperliche Stimulation
-4	Tiefe Sedierung	Keine Reaktion auf eine Ansprache, aber Regung auf körperliche Stimulation
-3	Mäßige Sedierung	Regung auf Ansprache, aber kein Blickkontakt
-2	Leichte Sedierung	Auf Ansprache kurzzeitiges (weniger als 10 Sekunden anhaltendes) Aufwachen
-1	Schläfrig	Nicht vollständig wach, aber auf Ansprache (mehr als 10 Sekunden) anhaltendes Aufwachen mit Blickkontakt
0	Aufmerksam/ruhig	
+1	Unruhig	Ängstlich aber keine aggressiven oder energischen Bewegungen
+2	Agitiert	Häufige ungezielte Bewegungen oder Atmung gegen das Beatmungsgerät
+3	Sehr agitiert	Zieht oder entfernt Zu-/Ableitungen oder zeigt aggressives Verhalten gegenüber dem Personal
+4	Streitlustig	Offensichtlich aggressiv oder gewalttätig; unmittelbare Gefahr für das Personal

TABELLE 5.1 – Abstufung nach der *Richmond Agitation and Sedation Scale (RASS)*

Richmond Agitation and Sedation Scale (RASS), die zehn Stufen der Sedierung und Agitation unterscheidet (s. Tabelle 5.1). Jedoch kann sich die Bewertung nach der RASS schnell ändern, sodass das Risiko besteht, dass das pflegerisch-therapeutische Team mit den PatientInnen nicht immer zu Zeiten erhöhter Wachheit und Ansprechbarkeit in Kontakt tritt, was eine Interaktion mit diesen erschwert (vgl. Abschnitt 5.4).

Delirien gehören zu den häufig auftretenden Komplikation bei IntensivpatientInnen, wobei eine frühzeitige Behandlung essentiell ist, um schwerwiegenden Folgen zu vermeiden (Schubert et al., 2010). Daher wird empfohlen, das Vorliegen eines Delirs ebenfalls alle acht Stunden zu prüfen (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2015). Laut Weiß et al. (2014) wird hierzu am häufigsten die von Ely et al. (2001) entwickelte *Confusion Assessment Method* für die Intensivstation (CAM-ICU) eingesetzt. Weiß

et al. führen darüber hinaus an, dass neben pharmakologischen Maßnahmen zur Therapie auch Maßnahmen zur Schaffung einer Orientierung ergriffen werden können.

Während sich allgemein die Altersstruktur in der Bevölkerung verändert, nimmt auch der Anteil der sehr alten PatientInnen (mit einem Alter von oder über 80 Jahren) auf der Intensivstation zu (Bagshaw et al., 2009). Dies bedingt auch die für die intensivmedizinische Behandlung relevante, altersabhängig steigende Anzahl an Komorbiditäten (Janssens, 2015).

Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die Handkraft im Alter abnimmt (Bohannon et al., 2006) und sich eine verminderte Handkraft nachteilig auf die Handfunktion auswirkt, sodass beispielsweise die selbstständige Ausübung notwendiger Alltagsaktivitäten gefährdet sein kann (Shiffman, 1992). Somit verändern sich auch die erwartbaren Fähigkeiten der PatientInnen und die Möglichkeiten über die Hände mit einem technischen System zu interagieren. Dabei ist zu erwarten, dass die Handkraft auch infolge des Gesundheitszustands herabgesetzt ist. Bemerkenswert ist zudem, dass eine verminderte Handkraft mit gesteigerten Behandlungskosten verbunden ist (Guerra, 2015).

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die sich verändernde Altersstruktur auch die von den PatientInnen zu erwartende Technikaffinität beeinflusst. Untersuchungen zeigen einen leicht negativen Zusammenhang zwischen Alter und interaktionsbezogener Technikaffinität: Je älter eine Person ist, desto weniger ausgeprägt ist ihre interaktionsbezogene Technikaffinität, wobei dieser Effekt nur schwach ausgeprägt ist (Franke et al., 2019).

Eine Querschnittstudie mit potenziellen EndbenutzerIn einer Gesundheitsanwendung zeigte zudem, dass ProbandInnen im Alter über 50 Jahren eine geringere Technikaffinität zeigten als TeilnehmerInnen bis 50 Jahre, wobei ältere, multimorbide ProbandInnen eine besonders niedrige Technikaffinität aufwiesen (Göbl et al., 2022). Multimorbide und ältere TeilnehmerInnen bevorzugten in der Befragung zudem eine persönliche Unterstützung. Es ist anzunehmen, dass diese Effekte auch bei einer Interaktion mit einem technischen System in Intensivkontext auftreten.

Im Kerndatensatz des Registers der DIVI werden Strukturdaten, Grunddaten bei der Aufnahme auf die Intensivstation, tägliche Verlaufparameter sowie Entlassungsdaten erfasst. Teilnehmende Intensivstationen senden ihre Daten auf freiwilliger Basis an das Register. Laut der von Bingold et al. (2014) veröffentlichten Datenauswertung lag der Altersdurchschnitt in den Jahren 2000 bis 2010 im Register im Mittel bei 63,2 Jahren mit einer Standardabweichung von 17,1 Jahren. Der Anteil der weiblichen Patientinnen lag im selben Zeitraum bei 46,4%. Eine Aufnahme war in 45% der Fälle chirurgisch geplant. In 30,2% der Fälle erfolgte eine Aufnahme aufgrund der medizinischen Indikation und in 24,9% wurden die PatientInnen ungeplant chirurgisch aufgenommen.

Interne Daten des UKSH im Standort Lübeck² zeigen für das erste Halbjahr 2017 ein vergleichbares Durchschnittsalter von 64,36 Jahren unter den IntensivpatientInnen.

² Erhoben durch das Controlling des UKSH

Von den in Deutschland im Jahr 2019 in der DRG-Statistik (Diagnosis Related Groups) erfassten vollstationär in Krankenhäusern durchgeführten Operationen und Prozeduren entfielen etwa 19,5% auf die Gruppe der Menschen im Alter von 80 Jahren und älter (Destatis, 2020a). Laut derselben Statistik entfallen etwa 16,3% der durchgeführten Beatmungsentwöhnungen bei der maschineller Beatmung auf diese Altersgruppe und etwa 58,3% auf die Altersgruppe zwischen 60 und 80 Jahren.

Maschinell beatmete IntensivpatientInnen stehen infolge der durch die Beatmung beeinträchtigten Sprechfähigkeit, fluktuierender Wachheitsgrade und mitunter vorhandener kognitiver Einschränkungen vor einer Kommunikationsbarriere (Henkel et al., 2018). Diese verstärkt das bestehende Informationsdefizit, welches aufgrund des hohen Anteils der Notfalleinweisungen besonderer Beachtung bedarf. In vielen Situationen wissen PatientInnen nicht, was passiert ist oder wo sie sich befinden.

Im Zuge des Forschungsprojekts ACTIVATE wurden mittels einer Beobachtungsstudie, systematischen Literaturrecherchen und einer Interviewstudie Bedürfnisse ermittelt, die IntensivpatientInnen typischerweise mitteilen wollen (Henkel et al., 2018). Während die Literaturrecherchen die Bedürfnisse nach Information und Kommunikation zur Re-Orientierung, zum Gewinn von Sicherheit und Vertrauen und Wiedergewinn von Autonomie und sozialer Teilhabe ergaben, ließ sich aus der Interviewstudie das Bedürfnis nach Mitteilung der wahrgenommenen Symptome, Belastungen und Wünsche ableiten.

Im Rahmen der Interviewstudie wurden zudem Einschätzungen zu unterschiedlichen für eine Interaktion mit technischen Systemen relevante Körperfunktionen erhoben, jedoch bisher nicht publiziert³. Dabei ergab sich die Einschätzung, dass Hand-, Kopf-, und Beinbewegungen oft möglich sind und der Gehörsinn meist gut funktioniert. Demgegenüber stehen Einschränkungen im Sehsinn, ein verminderter Tastsinn und eine unscharfe Wahrnehmung (bezüglich Zeit, Ort und Person).

Diese Einschätzungen decken sich mit den von Mört und Lothar (2015) beschriebenen, typischen körperlichen Beeinträchtigungen intensivpflichtiger PatientInnen. Die AutorInnen beschreiben körperliche Schwäche aufgrund von Muskelabbau, beeinträchtigte feinmotorische Bewegungsabläufe aufgrund ödematös vergrößerter Extremitäten (beispielsweise geschwollene Hände) und Zudosie Ableitungen (u. a. Monitorkabel, Drainageschläuche, Infusionsleitungen), den Verlust der Sprache und der mimischen Ausdrucksfähigkeit im Falle einer Beatmungstherapie (auch durch die Fixierung im Gesichtsbereich) sowie eine Beeinträchtigung der Wahrnehmung. Neben möglichen Einschränkungen des Sehsinns führen die AutorInnen die besonderen Belastungen im Bereich des Mundes an, welche durch einen Tubus, Magensonden oder einem Beißschutz bedingt sein können. Zudem merken sie an, dass der Geruchssinn auf einem Luftstrom in der Nase basiert und dass Schmecken nur mit Zungenbewegungen möglich ist.

³ Die hier vorgestellten Erkenntnisse entstammen der Kommunikation mit den AutorInnen.

Allgemein wollen IntensivpatientInnen informiert werden, nachfragen und mitentscheiden können. Entsteht bei ihnen das Gefühl kommunikativ übergangen oder nicht verstanden zu werden, so beschweren sie sich bei Außenstehenden, verweigern sie die Zusammenarbeit und bleiben in ihren krankmachenden Mustern (Kaltwasser et al., 2014).

Tsay et al. (2013) fassen typische Verständigungsstrategien seitens der PatientInnen zusammen: Sie versuchen auf Tafeln zu schreiben, nutzen ihre Körpersprache, Handsignale oder Gesichtsausdrücke, verwenden aber auch ihre Nachttischlampe oder eine Klingel, um auf sich aufmerksam zu machen. Dabei heben die AutorInnen die Einschränkung der Körperfunktionen hervor und nennen als Beispiele eine körperliche Schwäche, verminderte Sehfähigkeit und allgemein Erschöpfung. IntensivpatientInnen sind dabei grundsätzlich bereit, moderne Hilfsmittel zur Unterstützung Kommunikation einzusetzen und sehen in diesen tendenziell nützliche, zuverlässige und akzeptable Kommunikationswerkzeuge (Ju et al., 2021).

Grundsätzlich ist von einer heterogenen Gruppe mit sehr individuellen Krankheitsbildern auszugehen, wobei allerdings mehr Einschränkungen als auf anderen Stationen im Krankenhaus zu erwarten sind. Dies betrifft insbesondere die Kraft, das Gespür für haptische Reize und die Sehfähigkeit. Darüber hinaus sind – bedingt durch die Sedativa und den Gesundheitszustand – auch kognitive Beeinträchtigungen zu erwarten.

Neigen IntensivpatientInnen zu aggressivem Verhalten, kann es zum Schutz der PatientIn und des Personals im Extremfall notwendig sein, diese am Bett zu fixieren (vgl. Wetterling, 2015). Hierbei handelt es sich um eine temporäre Maßnahme, die nur für die unbedingt notwendige Zeit durchgeführt werden sollte.

Bemerkenswert ist, dass PatientInnen die Situation auf der Intensivstation nicht ausschließlich als Belastung empfinden. So ist die Monitorüberwachung und die individuelle Betreuung durch das Pflegepersonal auch mit Gefühlen der Sicherheit verbunden (Hannich und Lawin, 1987).

5.2.2 PERSONAL

Das Personal auf der Intensivstation setzt sich aus unterschiedlichen Fachbereichen zusammen. Neben ÄrztInnen, dem Pflegepersonal und therapeutischem Personal – aus der Physiotherapie, Ergotherapie und Logopädie – (vgl. Gassner et al., 2014) gibt es noch weitere Berufsgruppen, die eine Rolle spielen. Hierzu zählt beispielsweise Personal aus der Mikrobiologie, der Sozialdienst, die Seelsorge, aber auch Reinigungspersonal und ggf. vorhandenes Servicepersonal (vgl. Abschnitt 5.1).

Aufgrund der Zielsetzung dieser Arbeit (wie auch im ACTIVATE-Forschungsprojekt) auf die Unterstützung des Intensivalltags durch eine Förderung der Kommunikationsfähigkeit, Reorientierung und der Autonomie, steht das Pflegepersonal im Vordergrund und wird im Folgenden beschrieben.

Anders als in der Pflege insgesamt, wo die Gruppe der 41- bis 50-Jährigen am größten ist, stellen auf Intensivstationen die Gruppe der 31- bis 40-Jährigen mit 28,7% die größte Altersgruppe dar. Die Gruppe der 41- bis 50-Jährigen umfasst mit 21,7% die zweitgrößte Gruppe, gefolgt von der Gruppe der 26- bis 30-Jährigen mit 20,5% (Isfort, 2017).

Aufgrund des umfassenden Einsatzes technischer Systeme und der engen sozialen Begegnung wird die Situation der Intensivpflege auch als »high tech and high touch« bezeichnet (Kaltwasser et al., 2014). Auf der einen Seite sind umfassende diagnostische und therapeutische Möglichkeiten im Rahmen der Behandlung verfügbar und auf der anderen Seite steht die Kommunikation zwischen Personal, PatientInnen und Angehörigen. Dabei stellen Pflegende und ÄrztInnen ein Team dar, wobei Pflegende laut Kaltwasser et al. durchaus auch primär ärztliche Tätigkeiten selbstständig übernehmen. Aufgrund der Komplexität des pflegerischen Handelns, dessen schnelles Wandeln und der sich rasant entwickelnden technischen Möglichkeiten, sind Intensivpflegende auf ein lebenslanges Lernen angewiesen.

Die Autoren stellen zudem heraus, dass Intensivpflegende neben der fachlich-technischen und der methodischen Kompetenz auch über psychosoziale Kompetenz und Empathie verfügen müssen. Das Personal trägt soziale Verantwortung und muss Respekt ausdrücken können. Darüber hinaus sind laut den Autoren Persönlichkeitskompetenzen gefordert, wie die Anwendung bestimmter Normen und Werte zur Situationsbeurteilung, Aufgeschlossenheit und Lernbereitschaft angesichts ständigen Wandels, Kreativität im Kontext neuer Herausforderungen und Ressourcenknappheit, Autonomie, Belastbarkeit, Flexibilität, Konflikt- und Kritikfähigkeit sowie Stressbewältigungsfähigkeit.

Neben dem in einer zweijährigen berufsbegleitenden staatlichen Weiterbildung ausgebildetem Personal für Intensivpflege gibt es auf vielen Intensivstationen speziell fortgebildetes Pflegepersonal für die Bereiche der Ausbildung, Wund- und Dekubitusmanagement, Schmerzmanagement, Hygiene, mechanische Beatmung, Betrieb von Medizinprodukten (Gerätebeauftragte) etc. (vgl. Ewers und Erbschwendtner, 2014, sowie Korn, 2008).

Das Intensivpflegepersonal ist einer besonders hohen Belastung ausgesetzt. Die Empfehlung der Deutschen interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin sieht als Mindestanforderung vor, dass für zwei Behandlungsplätze pro Schicht eine Pflegefachperson erforderlich ist (Kaltwasser et al., 2014). Bei PatientInnen mit unmittelbar lebensbedrohlichem, mehrfachem akutem Organversagen fordert die Europäische Gesellschaft für Intensivmedizin (European Society of Intensive Care Medicine, kurz ESICM) sogar eine eins-zu-eins-Betreuung (Valentin et al., 2011).

Tatsächlich zeigte sich im Rahmen einer Intensivpflegebefragung im Jahr 2017 (Isfort, 2017), dass in Deutschland tagsüber ein Pflegeschlüssel von eins-zu-drei vorherrschte (50,7% im Frühdienst und 58,3% im Spätdienst), wobei die Betreuungsrelation in einigen Fällen auch eins-zu-vier betrug (7,6% im Frühdienst und 15,2% im Spätdienst). Besonders prekär war die Situation nachts, wo deutlich mehr PatientInnen pro Pflegefachperson betreut wurden. Im Nachtdienst betrug

der Pflegeschlüssel mehrheitlich eins-zu-drei (46,3%), wobei Pflegende häufig sogar vier (35,2%) oder mehr (7,5%) IntensivpatientInnen betreuten.

In derselben Befragung geben nur 25,6% der Intensivpflegenden an, dass sie Pausen ungestört einhalten können und nur 14,9% verbrachten ihre Pausen überwiegend außerhalb der Station. Zudem waren nur in wenigen Kliniken Springerpools eingerichtet, die das Pflegepersonal entlasten können. Nur 3,7% der Befragten gaben an, dass Personalengpässe bei Krankheit wirksam aufgefangen werden.

Im Rahmen der Intensivpflegebefragung zeigte sich zudem, dass die hohe Personalbelastung durchaus zu einem erhöhten Auftreten vermeidbarer Zwischenfälle führt.

In der bereits angeführten Interviewstudie im Zuge des ACTIVATE-Projekts betonten Pflegende und Behandelnde, abweichend von seitens der PatientInnen berichteten Bedürfnissen, insbesondere die Notwendigkeit der adäquaten Schmerzerfassung (Henkel et al., 2018). Insgesamt fiel es allen ProbandInnen schwer, sich technische Unterstützungsmöglichkeiten für die Weaningphase vorzustellen. Aus den Interviews wurden ebenfalls mögliche Anforderungen und Wünsche an das ACTIVATE-System abgeleitet, jedoch nur teilweise in der Publikation aufgenommen⁴. Neben der Einfachheit und Sicherheit eines Unterstützungssystems, einer störungsfreien Interaktion mit anderen Geräten, der Berücksichtigung der Hygienerichtlinien, der Vermeidung von Hautschäden und Reizüberflutungen bei den BenutzerInnen sowie einer möglichst geringen Lärm- und Signalbelastung der Pflegenden wurden auch eine an den Wachheitsgrad und die kognitive Leistungsfähigkeit angepasste stufenweise Bedienbarkeit unter Einsatz unterschiedlicher Interaktionsgeräte genannt.

5.2.3 ANGEHÖRIGE

Von den drei vorgestellten Stakeholdergruppen sind Angehörige die am weitesten gefächerte Gruppe. Bei Angehörigen handelt es sich um Personen, die meist in einem engen familiären oder persönlichen Verhältnis zu den PatientInnen stehen.

Angehörige von IntensivpatientInnen befinden sich in einer Ausnahmesituation und leiden unter erheblichem Stress, der mit dem kritischen Gesundheitszustand verbunden ist. Schlimmstenfalls kann die Sorge um die lebensbedrohlich erkrankte Person zu einer persönlichen Krise führen (Kuhlmann, 2002), welche als eine Situation beschrieben wird, in der gewohnte Bewältigungsstrategien den empfundenen Stress nicht mildern und in deren Folge auftretende Probleme nicht bewältigt werden können (Appleyard et al., 2000; Reeder, 1991). Einen Belastungsfaktor stellen dabei auch die technologisch ausgerichteten, medizinischen Maßnahmen dar, die von Angehörigen als »unmenschlich« wahrgenommen werden können (Janssens, 2015).

Kuhlmann (2002) stellt in ihrer Publikation die durch die Situation bedingten Bedürfnisse der Angehörigen heraus, wobei zuvorderst das Bedürfnis nach

⁴ Die hier vorgestellten Erkenntnisse entstammen der Kommunikation mit den AutorInnen.

Zusicherung und Klarheit zu nennen ist. Angehörige wollen Zweifel ausblenden können und benötigen das Gefühl von Vertrauen und Sicherheit. Darüber hinaus wollen Angehörige informiert sein und wissen, wie die Behandlung aussieht, warum welche Maßnahmen durchgeführt werden und was als Nächstes zu tun ist. Sie brauchen das Gefühl der Hoffnung und wollen über die Prognose informiert sein. Auch stellt die Autorin heraus, dass Angehörige in der Nähe der PatientIn sein wollen. Einerseits ist zu erwarten, dass die Nähe Trost spendet und andererseits hilft sie, die Situation und den Gesundheitszustand realistisch einschätzen zu können. Abschließend nennt die Autorin das Bedürfnis nach Unterstützung und Trost.

Die drei Bedürfnisse nach Zusicherung, Information und Nähe werden dabei als wichtiger eingeschätzt als die Bedürfnisse nach Trost und Unterstützung. Das bedeutet allerdings nicht, dass die letztgenannten Bedürfnisse unwichtig wären.

5.2.4 PERSONAS

Im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts wurden basierend auf den gesammelten Erkenntnissen und in gemeinsamer Zusammenarbeit der ProjektmitarbeiterInnen aus den beteiligten Instituten der Universität zu Lübeck (Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie, Institut für multimediale und interaktive Systeme, Institut für Telematik) elf Personas mit typischen Merkmalen der Benutzergruppen IntensivpatientInnen, Angehörige und Pflegende erstellt. Hierzu wurden insbesondere die Merkmale geplante vs. ungeplante Aufnahme, körperliche Fitness (insbesondere altersbedingt), Fachdisziplin (chirurgisch oder internistisch), Sprachkenntnisse (Deutschkenntnisse vorhanden oder nicht), Vorliegen eines Delirs (ja oder nein) herangezogen. Dabei beeinflusst die Fachdisziplin den Zustand der PatientInnen: Während diese auf einer chirurgischen Intensivstation operativ behandelt wurden, sodass beispielsweise eine OP-Wunde vorliegt, liegen bei PatientInnen auf einer internistischen Station andere Krankheitsursachen vor, wie Asthma oder ein Herzinfarkt.

Die im Zuge des Projekts entworfenen Personas wurden im Zuge dieser Arbeit angepasst und ergänzt, um dem Bezug zum im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten System Rechnung zu tragen. Aus Lizenzgründen wurden zudem die den Personas ursprünglich zugeordneten Profilbilder ausgetauscht.

Im Folgenden werden exemplarisch drei der Personas vorgestellt, wobei es sich um zwei Personas (s. Persona 1 und Persona 11) aus der Perspektive der PatientInnen (Primary und Secondary) und eine Served/Supplemental Persona (s. Persona 8) aus der Pflegeperspektive handelt. Die weiteren Personas sind in Anhang A dargestellt.

Persona 1 (Primary): Herr Klaus Kleinschmidt

BENUTZERKLASSE

Internistischer Notfall



PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 62 Jahre
 Größe: 178 cm
 Gewicht: 153 kg
 Familienstand: Verheiratet
 Kinder: Zwei erwachsene Töchter (26 und 24 Jahre)
 Beruf: Arbeitet als Bereichsleitung in einer Altenpflegeeinrichtung
 Sonstiges: Raucht viel
 Lungenschädigung durch langjährigen Nikotinabusus
 Technikinteressiert, sitzt in seiner Freizeit viel vorm Computer
 Ist kurzsichtig – trägt immer eine Brille

EINLIEFERUNGSGRUND

Akute Lungenentzündung mit bereits erheblichen funktionalen Einschränkungen der Lunge.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Herr Kleinschmidt ist eher der gemütliche Typ. Er genießt das Leben in vollen Zügen. Er geht gerne gut essen und raucht sehr viel. Dass seine Gesundheit darunter leidet, weiß Herr Kleinschmidt, doch es macht ihm nichts aus. »Dass ich gut lebe, das sieht man!« bzw. »Ich bin nur zu klein für mein Gewicht!« sind typische Aussagen von Herrn Kleinschmidt. Herr Kleinschmidt hat einen ruhigen Charakter und ist sehr geduldig.

WEANINGSITUATION

Herr Kleinschmidt hat eine verlängerte Weaningphase. Obwohl die Sedierung schon seit über zwei Tagen aus ist, zeigt er noch keine Wachreaktion. Ein hypoaktives Delirium (öffnet nur kurz die Augen, Aufmerksamkeitsspanne kürzer als 10 Sekunden, Bewegungsarmut, nimmt keinen Kontakt zur Umwelt auf) kann nicht sicher ausgeschlossen werden.

Am dritten Tag wird Herr Kleinschmidt schnell wach und reagiert adäquat. Durch den Schlauch (Tubus) in der Luftröhre ist ein normales Sprechen nicht möglich, daher kommt es einer erschwerte Kommunikation (er versucht zu sprechen, in der Erwartung, dass von den Lippen abgelesen werden kann bzw. er versucht Aussagen aufzuschreiben, allerdings ist die Schrift aufgrund der Schwäche in den Händen noch nicht leserlich).

ANMERKUNG FÜR UNTERSTÜTZUNGSSYSTEME

In den ersten zwei Tagen kann ein Unterstützungssystem durch wiederholende Informationsausgabe (Tag, Zeit, Ort, Name etc.) eine Orientierung geben. Ein aktives Handeln wird noch nicht möglich sein.

Ab dem dritten Tag kann ein System zur Unterstützten Kommunikation aktiv genutzt werden. Die Hände sind noch schwach, können jedoch im Bett gedreht werden und ein Drücken eines Interaktionsgeräts ist möglich. Aufgrund der Kurzsichtigkeit ist dafür zu sorgen, dass verwendete Bildschirme sehr dicht an den Augen sind oder die Brille organisiert wird.

Persona 8 (Served/Supplemental): Michaela Dose

BENUTZERKLASSE

Anwenderin



PERSÖNLICHE DATEN

Tätigkeit: Fachkrankenschwester für Intensivpflege
Praxisanleiterin und Hygienebeauftragte

Alter: 28 Jahre

Familienstand: Single

Sonstiges: Lebt in der Großstadt
Sportlich sehr aktiv
Ist viel auf Reisen und »kennt die ganze Welt«

CHARAKTERBESCHREIBUNG

»Lebt gerne«, »Genießt das Leben«

Frau Dose ist politisch interessiert und diskutiert gerne mit Freunden über Gott und die Welt.

Sie sieht sich selbst als sehr aktiven Menschen, der etwas erleben und bewegen möchte.

COMPUTERERFAHRUNG

Ist mit Computer, Smartphone, etc. »aufgewachsen«. Ist sehr fit im Umgang mit allen elektronischen Geräten. Hat ein großes Interesse an Neuerungen und Weiterentwicklungen. Ist immer auf dem neusten Stand der Technik!

ANMERKUNG FÜR UNTERSTÜTZUNGSSYSTEME

Frau Dose ist neuen Ansätzen für Unterstützungssysteme gegenüber sehr offen und aufgeschlossen eingestellt.

Auf ein System zur Unterstützung der Kommunikation und Reorientierung angesprochen, antwortet sie: »Sehr gut! – Finde ich super die Idee!«, »Wie kann ich helfen?«

Frau Dose sieht ein großes Potential in der Entwicklung und hat schon weitere Ideen der Anwendung. Sie freut sich auf den Prototyp und möchte gerne aktiv dabei sein.

Persona 11 (Secondary): Herr Egon Müller

BENUTZERKLASSE

Chirurgische geplante Aufnahme

PERSÖNLICHE DATEN

Alter:	68 Jahre
Größe:	172 cm
Gewicht:	98 kg
Familienstand:	Verheiratet
Kinder:	Keine
Sonstiges:	Linke Halbseitenlähmung aufgrund eines Schlaganfalles Seit 10 Jahren frühberentet Lebt mit Unterstützung durch einen Pflegedienst (2x tgl.) und der Hilfe seiner Frau zu Hause Sitzt im Rollstuhl und ist stark kurzsichtig Hat eine chronisch-obstruktive Bronchitis (COPD) Wenig Erfahrung im Umgang mit Computern



EINLIEFERUNGSGRUND

Herr Müller ist beim Transport zur Physiotherapie von einem PKW erfasst worden und hat eine Leberuptur und eine Fraktur der rechten Unterarms und des Handgelenkes erlitten.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Herr Müller hat eine eher ungeduldige Wesensart. Er war für ihn sehr mühsam Aktivitäten und Bewegungsabläufe mit seiner körperlichen Einschränkung neu zu erlernen.

WEANINGSITUATION

Herr Müller wird nach der OP schnell wach. Das Weaning gestaltet sich aber aufgrund der fortgeschrittenen chronisch-obstruktiven Bronchitis (COPD) schwierig und er wird nach einer frustranen Extubation am vierten Tag tracheotomiert. Herr Müller toleriert nur kurze Phasen der Spontanatmung und reagiert dabei mit Angst, Panik und Ungeduld. Verstärkt werden diese Gefühle durch das Unvermögen schriftlich (linke Hand gelähmt, rechte Hand frakturiert und durch einen Gips ruhiggestellt) oder durch Tippen auf eine Buchstabentafel zu kommunizieren.

ANMERKUNG FÜR UNTERSTÜTZUNGSSYSTEME

Herr Müller kann Interaktionsgeräte nicht mit seinen Händen bedienen. Eine Fuß- oder Augensteuerung ist physisch möglich, sollte aber nicht einfach umsetzbar sein, da Herr Müller die nötige Geduld/psychische Ressourcen zum Erlernen fehlen. Aufgrund seiner starken Kurzsichtigkeit müssen Bildschirme individuell positionierbar sein (je nach Seiten- oder Rückenlage) und sich in der Nähe zu den Augen befinden.

5.3 KONTEXTANALYSE

Auf der Intensivstation gelten über die nutzergruppenspezifischen Beeinträchtigungen und Fähigkeiten hinaus weitere, allgemeine Rahmenbedingungen.

Aufgrund der Situation der PatientInnen ist bei der Entwicklung technischer Unterstützungssysteme im Intensivkontext eine Nutzung im Intensivbett vorzu-

sehen. Empfohlen wird dabei eine leichte Oberkörperhochlagerung (vgl. Wang et al., 2016). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Bewegungsspielraum aufgrund des Gesundheitszustands und der medizinisch-therapeutischen Maßnahmen (primär der Zugänge) eingeschränkt sein kann. Im Falle einer notwendigen temporären Fixierung der PatientIn ist die Bewegungsfreiheit zusätzlich besonders stark eingeschränkt.

Bei dem Einsatz technischer Geräte auf einer Intensivstation ist zudem zu berücksichtigen, dass es sich um hygienisch kritische Bereiche handelt in denen in hohem Maße Infekt-anfällige PatientInnen behandelt werden (Jorch et al., 2010). Eine Berücksichtigung der vorliegenden Hygienerichtlinien ist daher unerlässlich. Geräte, die im Kontakt mit den PatientInnen stehen, sollten daher möglichst glatt, fugendicht und wischdesinfizierbar sein. So empfiehlt das Robert Koch-Institut (2004) beispielsweise, dass medizinisch-technische Geräte und Einrichtungsgegenstände möglichst glatte Oberflächen haben und an den Kontaktstellen zur Bedienung leicht zu reinigen und desinfizieren sein sollten. Bei kleineren Objekten, die Löcher, Fugen oder anderweitige stärker ausgeprägte Strukturen haben, wird typischerweise eine Tauchdesinfektion durchgeführt. Hierbei ist insbesondere zu beachten, dass kleinere Objekte auch versehentlich per Tauchdesinfektion behandelt werden können. Grundsätzlich sollten eingesetzte Desinfektionsmittel ein möglichst umfassendes Wirkungsspektrum hinsichtlich der häufigsten Erreger haben (Robert Koch-Institut, 2004).

Darüber hinaus muss die Sicherheit der PatientInnen gewährleistet sein. Eine Interaktion mit einem technischen System darf daher keine Verletzungen verursachen, sodass Interaktionsgeräte robust sein müssen und keine scharfen oder rauen Kanten haben dürfen. Zudem muss die IT-Sicherheit gegeben sein. Es empfiehlt sich eine Entwicklung nach dem Prinzip »Safety and Security by Design«.

Als Maßnahme zur sicheren Betreuung der PatientInnen werden diese in vielen Kliniken mit Patientenarmbändern ausgestattet (Meßmer et al., 2011). Die Armbänder sollen die Identifikation unterstützen und sind neben dem Namen und dem Geburtsdatum oftmals auch mit einem Barcode versehen, der beispielsweise die Fallnummer kodiert. Teilweise ist auch ein Foto der PatientIn hinterlegt. In moderne Armbänder sind in einigen Einrichtungen auch RFID-Chips integriert, die befugten Personen beim Auslesen Zugriffe auf die Akte erlauben.

Teufert und Bercker (2014) stellen zudem heraus, dass Personal wie PatientInnen auf der Intensivstation einem hohen Geräuschpegel ausgesetzt sind. Neben Arbeitsgeräuschen (wie Arbeiten am Bett, das Öffnen von Kartons oder Absauggeräusche und Geräusche von Thoraxsaugdrainagen) stellen akustischen Alarme eine Belastung dar. Dazu kommen für das Personal optische Alarme. Insgesamt gibt es somit eine große Anzahl unterschiedlicher Alarme, die regelmäßig ausgelöst werden und eine Reaktion vom Personal erfordern, wobei gegebenenfalls aktuelle Tätigkeiten unterbrochen werden müssen.

5.4 AUFGABENANALYSE

Für ein vertieftes Verständnis der Aufgaben und Prozesse einschließlich der ablaufenden Aktivitäten, sowie logische und zeitliche Abhängigkeiten, in die die beschriebenen Stakeholder im Zuge der Beatmungsentwöhnung einer PatientIn involviert sind, wurde im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts in gemeinsamer Zusammenarbeit ein Prozessmodell erarbeitet. Federführend durch die KollegInnen aus der Pflegeforschung und der pflegerischen Praxis wurde so – basierend auf den durchgeführten Analysen und Studien sowie dem Domänenwissen der Beteiligten – der Weaningprozess inklusive vorgelagerter Schritte am Beispiel einer chirurgischen Intensivstation modelliert und abschließend dem Fachbeirat des Projekts zur Validierung vorgestellt. Eine etwas angepasste Version des modellierten Prozesses findet sich in Abbildung 5.2.

Auf einer chirurgischen Intensivstation beginnt der Prozess mit einer Aufbereitung des Bettplatzes nach einer Verlegung oder Entlassung der VorpatientIn. Dies umfasst eine Gerätedesinfektion, das Auffüllen von Verbrauchsmaterial und eine Geräteprüfung. An dieser Stelle kann die für das jeweilige Projekt benötigte Hardware bereitgestellt werden. Parallel hierzu oder zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt der Transfer der PatientIn in die Station. Nach einem Anruf aus dem Operationssaal begeben sich Pflegepersonal und eine ÄrztIn mit dem benötigten Material zur Schleuse, um die vollsedierte PatientIn in Empfang zu nehmen und in die Station zu transportieren. Dort angekommen wird die PatientIn in das vorbereitete Bett gelegt und an die im jeweiligen Fall benötigten Geräte angeschlossen. Nach der Ankunft am Bettplatz und unter der Voraussetzung stabiler Vitalwerte und suffizienter Beatmungsparameter kann der eigentliche Weaningprozess eingeleitet werden (RASS zwischen -5 und -4). Sind die Werte instabil wird ggf. eine Anpassung der medikamentösen Therapie vorgenommen, wobei die Sedierung tendenziell erhöht wird. Der Weaningprozess beginnt mit einer Anpassung der medikamentösen Therapie, wobei die Sedierung ausgeschaltet wird (RASS zwischen -4 und -3). Ab diesem Zeitpunkt kann mit dem Einsatz eines Systems zur Unterstützung der Informationen, Kommunikation und Patientenautonomie begonnen werden (wobei anfangs voraussichtlich nur Teile hiervon durch die PatientIn genutzt werden). Anschließend beginnt das pflegerische und ärztliche Team mit Weckversuchen über eine direkte Ansprache und eine Initialberührung (RASS bei -2). Zeigt die PatientIn keine oder nur eine schwache Reaktion, wird zu einem späteren Zeitpunkt ein erneuter Versuch unternommen. Zeigen sich Reaktionen, so unternimmt das Personal intensivierete Weckversuche, die eine Aufklärung über die Situation und eine Aufforderung zur Reaktion (beispielsweise die Hand zu drücken oder die Augen zu öffnen) umfassen können (RASS von -1 bis 0). Reagiert die PatientIn schläfrig, so wird zu einem späteren Zeitpunkt ein erneuter intensivierter Weckversuch unternommen. Reagiert sie hingegen inadäquat oder gestresst, so wird eine Anpassung der medikamentösen Therapie vorgenommen, wobei die Sedierung tendenziell erhöht wird. Zu einem späteren Zeitpunkt wird wieder bei der Überprüfung der Vitalwerte und der Beatmungsparameter fortgefahren. Ist die PatientIn hingegen adäquat wach, so kann prinzipiell mit der Extubation begonnen werden (RASS bei 0).

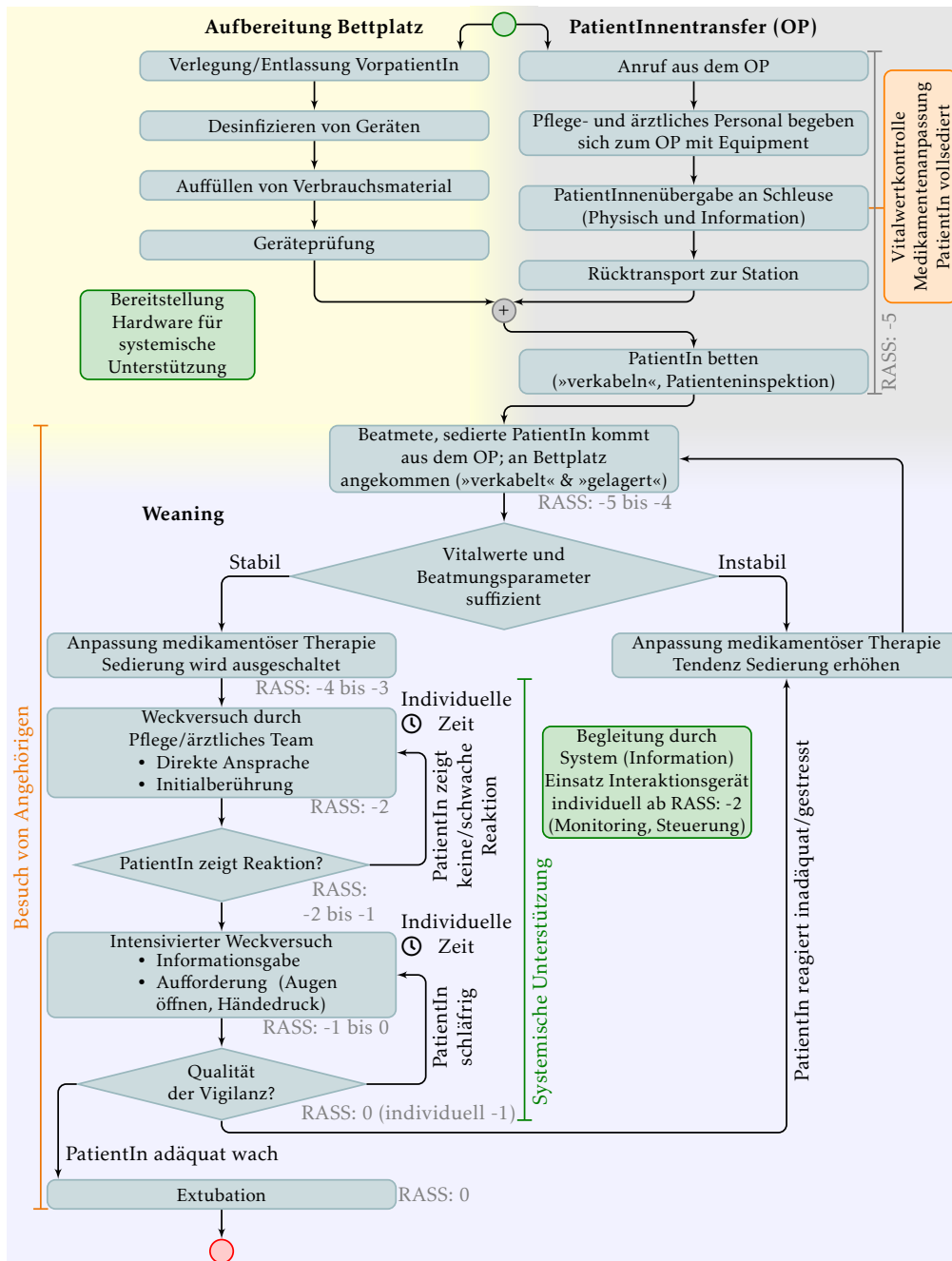


ABBILDUNG 5.2 – Prozessmodell des Weanings

Parallel zu den Weckversuchen kann die Beatmungstherapie angepasst werden, wobei bei einem erfolgreichen Spontanatemversuch die Extubation erfolgen kann. Beim einfachen Weaning gehen diese Schritte mit dem Aufwachen einher. Ist ein Spontanatemversuch erfolglos, so wird zu einem späteren Zeitpunkt erneut ein Versuch durchgeführt.

Grundsätzlich wird der Weaningprozess von pflegerischen (wie die Körperpflege und Umlagerungen), diagnostischen (wie das Röntgen im Bett) und therapeutischen Maßnahmen (wie das Anlegen einer Thoraxdrainage) begleitet. Während des gesamten Prozesses (zu Besuchszeiten) können Angehörige vorbeikommen.

5.5 SZENARIEN

Aufbauend auf den vorangegangenen Analysen und insbesondere den Personas wurden im Zuge des ACTIVATE-Forschungsprojekts in gemeinsamer, interprofessioneller Zusammenarbeit diverse Szenarien für unterschiedliche problematische Situationen im Intensivalltag sowie Szenarien für mögliche Lösungsansätze unter Einsatz des im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts entworfenen Systems herausgearbeitet. Trotz des Fokus auf das ACTIVATE-System lassen sich hieraus Anforderungen an eine allgemeinere Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen für beatmete IntensivpatientInnen ableiten. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Szenarien angepasst und erweitert. Im Folgenden werden drei dieser Szenarien vorgestellt, die in besonderem Maße im Bezug zur angestrebten Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen für beatmete IntensivpatientInnen stehen.

5.5.1 SZENARIO ZUM KOMMUNIKATIONSDEFIZIT

Im folgenden Problemszenario werden die Defizite im Bereich der Information und Kommunikation aufgezeigt, auf die die Persona 1 Klaus Kleinschmidt mit einem Rückzug, Traurigkeit und Passivität reagiert.

»Herr Kleinschmidt wird zunehmend wacher und würde gerne wissen, wie es seiner Ehefrau geht und ob sie informiert ist. Er erinnert sich nicht daran, wann er seine Frau das letzte Mal gesehen hat und er macht sich große Sorgen um ihren Verbleib.

Da vorangegangene Kommunikationsversuche mit den betreuenden Personen schon frustriert verlaufen sind, wagt er keinen Versuch sich mitzuteilen. Die Gedanken um seine Frau beschäftigen ihn sehr und er reagiert aus Traurigkeit und Sorge kaum auf seine Umwelt.«

Das im Folgenden vorgestellte Lösungsszenario beschreibt, wie der Patient mit zusätzlichen Informationen versorgt und in der Kommunikation mit dem Pflegepersonal unterstützt werden kann, sodass dieser durch die Sicherheit über die häusliche Situation aktiviert wird.

»Herr Kleinschmidt wird zunehmend wacher und würde gerne wissen, wie es seiner Ehefrau geht und ob sie informiert ist. Er erinnert sich nicht daran, wann er seine Frau das letzte Mal gesehen hat und er macht sich große Sorgen um ihren Verbleib.

Mittels eines Ensembles, das eine Ambient-Anwendung für eine Mediengalerie und ein Interaktionsgerät umfasst, kann Herr Kleinschmidt

Aufzeichnungen seiner Frau abspielen. Er hat die Möglichkeit manuell durch die Mediendateien zu gehen oder beispielsweise eine Diashow zu starten. Dies beruhigt ihn etwas, dennoch möchte er gerne genaueres erfahren.

Daher nutzt Herr Kleinschmidt beim nächsten Besuch des Pflegepersonals eine Ambiente Anwendung zur Unterstützten Kommunikation. Hierzu öffnet er die Maske zum Thema 'häuslicher Kontext' und kann dem Personal so gezielt seine Fragen stellen. Die Pflegende kann Herrn Kleinschmidt beruhigen und erzählt ihm, wann seine Frau zuletzt zu Besuch war und dass sie ihn bald wieder besuchen möchte.«

Da dieses Szenario mittels einer Smarten Umgebung realisiert werden soll (in der auch die Anwendungen und Funktionen der restlichen Szenarien abgedeckt sind), ergibt sich einerseits der Bedarf an Ambienten Anwendungen zur Realisierung der Informations- und Kommunikationsanwendung und andererseits die Anforderung, dass ein für die PatientIn ausgewähltes und durch diese benutzbares Interaktionsgerät mit dem System verbunden sein muss, sodass es gesteuert werden kann.

5.5.2 SZENARIO ZUR ENSEMBLEBILDUNG

Das folgende Szenario skizziert, wie Persona 8 Michaela Dose durch eine semi-automatische Konfiguration dabei unterstützt werden kann, eine Verbindung der Einzelkomponenten zu einem Ensemble zu erstellen und dieses einer PatientIn zuzuordnen.

»Ein neuer Patient wurde angekündigt, der der Pflegenden Frau Dose zugewiesen wird. Sie bereitet den Bettplatz vor. Nachdem die Überwachungs- und Versorgungsgeräte eingerichtet wurden, wird die Ambiente Anwendung zur Unterstützung der Kommunikation und Reorientierung konfiguriert und an den Patienten angepasst. Sofern hierzu Hardwarekomponenten fehlen, bringt sie diese ins Zimmer und verbindet sie mit Stromnetz und dem Netzwerk.

Verknüpfung der Geräte

Die Ambiente Anwendung zeigt nach dem Start einen QR-Code an und auch an allen potentiellen Geräten sind ebenfalls QR-Codes befestigt. Diese werden nacheinander mit einer hierfür vorgesehenen Smartphoneanwendung gescannt und abschließend durch ein Drücken des Buttons 'JETZT VERKNÜPFEN' zusammengestellt. Die Geräte sind damit konfiguriert und einander zugeordnet. Die Ambiente Anwendung zeigt nun den Hinweis, dass die Verknüpfung Patient zu Ensemble noch erfolgen muss und stellt weiterhin einen QR dar. Diese Verknüpfung kann durchgeführt werden, sobald der Patient angekommen ist.

Verknüpfung Ensemble zu Patient

Sobald der Patient im Zimmer ist, gibt Frau Dose über die Smartphoneanwendung Namen bzw. Fallnummer des Patienten ein oder scannt sein

Patientenarmband. Zudem scannt sie den in der Ambienten Anwendung angezeigten QR-Code, um die Verknüpfung zu initiieren und drückt den Button 'JETZT VERKNÜPFEN'. Anschließend sie die Konfiguration der Reorientierungsinformationen vornehmen (beispielsweise das Ansageintervall für Basisinformationen auf alle 15 Minuten stellen). Diese kann sie zusätzlich zu jeder Zeit ändern.»

Hieraus lässt sich ableiten, dass die Vermittlungskomponente(n) eine Konfigurationsschnittstelle benötigen, über die Ensembles konfiguriert werden können (Komponenten, die zusammen ein Ensemble bilden dürfen). Die konkrete Verknüpfung von Eingabefunktionen und Ausgabefunktionen sollte anschließend möglichst automatisch erfolgen, um aufwändige Konfigurationen zu vermeiden.

5.5.3 SZENARIO ZU INTERAKTIONSGERÄTEN

Das folgende Problemszenario unterstreicht die für beatmete PatientInnen typische Herausforderung in der Kommunikation, wobei die Persona 11 Egon Müller aufgrund körperlicher Einschränkungen unfähig ist, haptische Hilfsmittel zu nutzen. In der Folge ist dieser nicht in der Lage Bedürfnisse selbstbestimmt mitteilen zu können und empfindet Frust, Stress und Ungeduld.

»Herr Müller ist kognitiv wach, ansprechbar und orientiert (kein Delir). Durch seine körperliche Eingeschränktheit (linke Hand gelähmt, rechte Hand frakturiert und mit einem Gips ruhiggestellt) ist er nicht in der Lage seine Bedürfnisse, wie Durst, Schmerz, Atemnot, Umpositionierung, Erläuterungs- und Erklärungswünsche, schriftlich oder durch Tippen auf eine Buchstabentafel zu kommunizieren.

Er ist daher auf eine gut geschulte Fachpflegekraft angewiesen, die seine Bedürfnisse durch Lippenlesen und Ja-Nein Fragen wahrnimmt. Wenn diese Art der Kommunikationstechniken nicht zum Erfolg (Verstehen der Bedürfnisse) führen, löst dies bei Herrn Müller Frustration, Stress und Ungeduld aus und führt bei der zuständigen Pflegefachperson ebenfalls zu frustrierten Gefühlen.»

Nachfolgendes Lösungsszenario skizziert, wie eine selbstbestimmte und patienteninitiierte Kommunikation und Bedürfnismitteilung durch austauschbare Interaktionsgeräte ermöglicht werden kann.

»Herr Müller ist kognitiv wach, ansprechbar und orientiert (kein Delir). Durch seine körperliche Eingeschränktheit (linke Hand gelähmt, rechte Hand frakturiert und mit einem Gips ruhiggestellt) ist er nicht in der Lage seine Bedürfnisse, wie Durst, Schmerz, Atemnot, Umpositionierung, Erläuterungs- und Erklärungswünsche, schriftlich oder durch Tippen auf eine Buchstabentafel zu kommunizieren.

Um seine Bedürfnisse vermitteln zu können, wird Herrn Müller eine Ambiente Anwendung zur Unterstützten Kommunikation bereitgestellt.

Aufgrund der Umstände kann Herr Müller keine haptischen Eingabegeräte verwenden, um das System zu steuern. Daher wird beim Einrichten des Systems speziell für ihn ein Augensteuerungssystem bereitgestellt.

Beim Bereitstellen des Systems wird neben dem Patientenarmband und dem in der Anwendung dargestellten QR-Code auch das alternative Eingabegerät – in diesem Fall das Augensteuerungssystem gescannt. So wird das Augensteuerungssystem mit der Anwendung gekoppelt, sodass Herr Müller nun die Möglichkeit hat das System zu benutzen, um seine Bedürfnisse zu kommunizieren.

Als Herr Müller wieder einmal starke Schmerzen verspürt, nutzt er die Anwendung zur Unterstützen Kommunikation und wählt in der Maske den Menüpunkt 'Schmerz' aus. Das Pflegepersonal verabreicht ihm daraufhin ein schmerzstillendes Medikament und bereits kurze Zeit später tritt eine Linderung ein.«

Diese Szenarien unterstreichen den Bedarf nach einer Möglichkeit individuell ausgewählte Interaktionsgeräte dynamisch verbinden zu können, welcher in den zu erwartenden individuellen Beeinträchtigungen begründet liegt. Idealerweise werden ganze Ensembles daher eigens zusammengestellt, sodass jede PatientIn ein anderes Ensemble bereitgestellt bekommt.

5.6 ANFORDERUNGSANALYSE

Basierend auf den vorangegangenen Analysen lassen sich unterschiedliche nicht-funktionale und funktionale Anforderungen an eine Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen im Intensivkontext zur Unterstützung der PatientInnen (insbesondere während des Weanings) sowie des Pflegepersonals ermitteln.

5.6.1 NICHT-FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Von WeaningpatientInnen kann in der Regel nicht erwartet werden, komplexe Interaktionen zu erlernen. Das betrifft in besonderem Maße die frühen Phasen des Prozesses. Kurze Phasen der Ansprechbarkeit und Aufmerksamkeit sowie zu erwartende fehlende Erfahrung im Umgang mit Smarten Objekten machen es erforderlich, dass die Interaktion und die Systemreaktion sofort klar sein müssen.

ANFORDERUNG N 1 – *Die Interaktion und deren Effekt müssen sofort ersichtlich sein.*

Das System soll möglichst wenig zusätzliche Ressourcen des Personals binden. Zudem ist das Personal nicht immer dann anwesend, wenn PatientInnen kurze Phasen der Wachheit und Ansprechbarkeit haben, sodass die PatientInnen die meiste Zeit vom System selbst instruiert werden sollten.

ANFORDERUNG N 2 – *Die PatientInnen sollten, wann immer dies möglich ist, durch das System instruiert werden.*

Trotz verschiedener Fähigkeiten und Beeinträchtigungen der potentiellen BenutzerInnen (aufgrund des Gesundheitszustands, Alters oder unterschiedlicher Maßnahmen) soll die Steuerbarkeit gegeben sein. Zudem soll die Interaktionsmodalität an den Wachheitsgrad und die kognitive Leistungsfähigkeit angepasst werden können, um eine stufenweise Bedienung der Ensembles in der Smarten Umgebung zu ermöglichen.

ANFORDERUNG N 3 – *Die Interaktionsgeräte sollten für die jeweilige PatientIn individuell ausgewählt werden können, wobei unterschiedliche Alternativen bereitstehen sollten.*

Um Belastung für das Personal möglichst gering zu halten und einen kontinuierlichen Betrieb des Systems sicherzustellen, muss das System Konzepte zur Fehler- und Ausfallvermeidung berücksichtigen und möglichst automatisch funktionieren. Dabei gelten bestimmte Rahmenbedingungen, sodass das System nicht alle Entscheidungen vollautomatisch treffen sollte.

ANFORDERUNG N 4 – *Das System muss fehlertolerant sein.*

ANFORDERUNG N 5 – *Das System sollte möglichst automatisch funktionieren, wobei bestimmte Rahmenbedingungen gelten.*

Bei Krankenhäusern handelt es sich um hygienisch kritische Bereiche. Auf Intensivstationen soll daher auch entsprechend geschultes Personal zur Verfügung stehen.

ANFORDERUNG N 6 – *Das System und alle Komponenten müssen den Hygiene-richtlinien entsprechen.*

Das angestrebte System ist für den Einsatz in deutschen Krankenhäusern vorgesehen und muss somit der Datenschutzgrundverordnung entsprechen. Bei einem konkreten Einsatz im Krankenhaus muss daher die gesamte Datenkommunikation und das System gegen Angriffe gesichert sein. Um die Privatsphäre der PatientInnen zu wahren, sollten personenbezogene Daten außerdem so weit wie möglich vor neugierigen Blicken geschützt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass dies nicht immer vollumfänglich umgesetzt werden kann, beispielsweise bei gemeinsam genutzten Zimmern und Besuchen von Angehörigen.

ANFORDERUNG N 7 – *Das System muss den Richtlinien der IT-Sicherheit entsprechen.*

Um zu verhindern, dass sich die BenutzerInnen verletzen können, gelten bei der Gestaltung und Auswahl möglicher Interaktionsgeräte besondere Einschränkungen.

ANFORDERUNG N 8 – *Die Nutzung des Systems darf keine Verletzungen verursachen.*

Der Alltag auf der Intensivstation ist bereits durch akustische und optische Alarmer geprägt. Die Akzeptanz eines Systems für den Intensivkontext wird dabei auch durch das Maß, in welchem zusätzliche akustische und optische Reize genutzt werden, beeinflusst.

ANFORDERUNG N 9 – *Unnötiger akustischer und optischer Lärm durch das System sollte vermieden werden.*

Darüber hinaus gibt es auf der Intensivstation Situationen, wo das angestrebte System nicht benötigt wird und der weitere Betrieb eine Ablenkung oder Störung der Abläufe darstellen kann.

ANFORDERUNG N 10 – *Das System sollte einfach und schnell deaktivierbar sein.*

Um einen kontinuierlichen Betrieb sicherzustellen, sollte die Austauschbarkeit der Komponenten gewährleistet sein.

ANFORDERUNG N 11 – *Komponenten sollten leicht austauschbar sein.*

5.6.2 FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Einhergehend mit den nichtfunktionalen Anforderungen und teilweise aufbauend auf diesen, lassen sich funktionale Anforderungen formulieren.

So lässt sich die Austauschbarkeit der Komponenten in heterogenen Smarten Umgebungen (vgl. Anforderungen N 3 und N 11) durch eine Entkopplung von Ein- und Ausgabefunktionen realisieren.

ANFORDERUNG F 1 – *Die Plattform soll eine Entkopplung von Ein- und Ausgabe ermöglichen, sodass unterschiedliche Interaktionsformen, Modalitäten und Formfaktoren einfach ausgetauscht werden können.*

Zur Förderung der Autonomie der PatientInnen und zur Schaffung einer Wohlfühlumgebung, sollen diese in die Lage versetzt werden, Raumkomponenten zu steuern (beispielsweise eine smarte Beleuchtung).

ANFORDERUNG F 2 – *Die Plattform soll eine Integration Smarter Objekte zur Raum- bzw. Umfeldsteuerung erlauben.*

Die Plattform soll die Grundlage für das Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts angestrebte System zur Unterstützung der Information und Kommunikation darstellen. Dies lässt sich durch die Integration Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen realisieren. Durch die Nutzung von Ambienten An-

wendungen lassen sich spezialisierte Angebote einfacher bereitstellen (beispielsweise Anwendungen zur Unterstützung der Kommunikation).

ANFORDERUNG F 3 – *Die Plattform soll eine dynamische Vernetzung Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen ermöglichen.*

Da somit nicht nur Smarte Objekte direkt vernetzt sind sondern auch Ambiente Anwendungen, eröffnen sich neue Möglichkeiten, denn somit lassen sich zusätzliche Informationen darstellen. So können BenutzerInnen über Batteriestände informiert werden und auch eine Sperrfunktion (vgl. Anforderung F 12) lässt sich durch einen zusätzlichen Informationsaustausch besser unterstützen.

ANFORDERUNG F 4 – *Die Plattform soll neben dem Austausch interaktionsbezogener Daten auch eine Kommunikation nicht-interaktionsbezogener Nachrichten erlauben.*

Für IntensivpatientInnen ergibt sich grundsätzlich der Bedarf nach speziell auf eine Nutzung im Intensivbett ausgerichteten Interaktionsgeräten. Abhängig von der Situation (insbesondere beim Weaning) werden weitere Geräte benötigt (vgl. Anforderung N 3).

ANFORDERUNG F 5 – *Die Plattform soll eine dynamische Integration potenzieller Interaktionsgeräte (insbesondere für die Weaningphase) erlauben.*

Eine Personalisierung (Zuordnung der Komponenten zu einer PatientIn) ist nötig, um für eine PatientIn relevante Informationen und Steuerungsmöglichkeiten bereitzustellen.

ANFORDERUNG F 6 – *Komponenten sollen einer PatientIn zugeordnet werden können.*

Smarte Umgebungen sind aufgrund der Gerätevielfalt und deren Konfigurationen komplex. Da das Personal auf der Intensivstation bereits überlastet ist und es auch keine technischen ExpertInnen gibt, die eine Einrichtung übernehmen können, erscheint es sinnvoll, dass der Betrieb einer Smarten Umgebung möglichst automatisch abläuft (vgl. Anforderung N 5). Allerdings dürfen Komponenten eines Ensembles in der Regel nicht mit Komponenten eines anderen Ensembles interagieren. Da sich dieser Umstand nur schwer zuverlässig durch Vermittlungskriterien abbilden lässt, stellt eine händische Auswahl eine pragmatische Lösung dar.

ANFORDERUNG F 7 – *Die Plattform soll eine semi-automatische Verknüpfung der jeweils eingesetzten Komponenten (im Sinne einer kontrollierten Selbstorganisation) ermöglichen.*

Da PatientInnen das Ensemble vorkonfiguriert übergeben bekommen, sind ihnen die Steuerungsmöglichkeiten und das Systemverhalten zunächst nicht bekannt. Wechselnden Phasen der Wachheit erschweren die Bildung mentaler Modelle des Systems zusätzlich. Somit muss die Bedienung typischerweise mehrmals erklärt werden. Bezugnehmend auf die Anforderungen N 1 und N 2 stellt die Realisierung einer Selbsterklärungsfähigkeit somit eine sinnvolle Lösung dar.

ANFORDERUNG F 8 – *Die Plattform soll eine Selbsterklärung der aktuellen Interaktionsmöglichkeiten anhand der aktuellen Vernetzung der Komponenten bereitstellen.*

Aufgrund der dynamischen Vernetzung vielfältiger Geräte und Anwendungen zu Ensembles, die jeweils nicht per se selbsterklärend sind, weil die Interaktion erst im Zusammenspiel festgelegt wird, bietet sich der Einsatz von Beschreibungen der eingesetzten Komponenten zur Bildung einer Selbsterklärung der jeweiligen Ensembles an. Realisiert werden kann dies beispielsweise durch Selbstbeschreibungen der Komponenten, sodass Beschreibungen unabhängig von weiteren technischen Komponenten abgerufen werden können sowie einfach zu realisieren und zu orchestrieren sind. Zudem müssen die Beschreibungen hierbei nicht vorweg bekannt sein, sondern können durch die Komponenten selbst mitgebracht werden.

ANFORDERUNG F 9 – *Die Plattform soll Beschreibungen der jeweiligen Komponenten verwalten, die basierend auf den Zuständen der Komponenten und der Vernetzungssituation zu einer Gesamtbeschreibung zusammengefügt werden können.*

Generell ist der Einsatz von systemischen, interaktiven Gebrauchsanleitungen (im Folgenden kurz als *Tutorials* bezeichnet), bei denen BenutzerInnen die Bedienung in einem interaktiven System Schritt für Schritt vermittelt bekommen, zum Erlernen der Steuerung umfangreicherer Systeme sinnvoll. Im Intensivkontext ergibt sich aus der Situation der BenutzerInnen heraus eine besondere Relevanz. Interessant sind Tutorials insbesondere, weil das Personal nicht immer zur Verfügung steht, aber auch als Ergänzung zu mündlichen Anleitungen. Zudem haben die PatientInnen durch Tutorials mehr Gelegenheiten, sich mit dem System vertraut zu machen.

ANFORDERUNG F 10 – *Selbsterklärungen sollen in Form eines interaktiven Tutorials zur Verfügung stehen.*

Die Beeinträchtigungen der kognitiven und der sensorischen Fähigkeiten schränken die Aufnahmefähigkeit der PatientInnen ein, sodass nach Möglichkeit unterschiedliche Wahrnehmungskanäle adressiert werden sollten.

ANFORDERUNG F 11 – *Die Benutzung der bereitgestellten Ensembles sollte durch multimodale Anleitungen erklärt werden.*

Insbesondere in frühen Phasen, aber auch später, sollte das Risiko unbeabsichtigter Eingaben verringert werden. Beispielsweise können Ausgabegeräte und Anwendungen über eine Sperrfunktion/einen Sperrbildschirm verfügen, welche durch eine ausgewählte Interaktion entsperrt werden kann.

ANFORDERUNG F 12 – *Unbeabsichtigte Eingaben sollten nach Möglichkeit herausfiltert werden.*

KONZEPTION

Aufbauend auf den in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Erkenntnissen und insbesondere den Anforderungen aus Kapitel 5 wird im Folgenden der Systementwurf der Plattform für Smarte Umgebungen im Intensivkontext vorgestellt. Sie stellt eine Grundlage für die in Kapitel 7 vorgestellte Referenzarchitektur dar. Hierzu werden zunächst grundlegende Designentscheidungen erläutert und anschließend das zugrundeliegende abstrakte Systemmodell vorgestellt.

Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kordts et al. (2021a), Kordts et al. (2021b) und Kordts et al. (2022) publiziert.

Dabei wird der Ansatz der dynamischen Zusammenstellung von Systemverbänden für Smarte Umgebungen aufgegriffen, wobei insbesondere auch von konkreter Hardware losgelöste Software berücksichtigt werden soll. Konsequenterweise werden Smarte Umgebungen nicht ausschließlich oder primär als aus Smarten Objekten zusammengesetzte Geräteverbände betrachtet, sondern insbesondere auch Ambiente Anwendungen einbezogen, die typischerweise flexibler entwickelt und erweitert werden können, als dies bei Smarten Objekten der Fall ist. Zudem erlaubt dieser Ansatz die Realisierung von Komponenten für Smarte Umgebungen unabhängig von der Entwicklung zugehöriger Hardware, die jedoch auf bestehende Geräte und somit potentiell auf etablierte Hardware zurückgreifen können.

6.1 DESIGNENTSCHEIDUNGEN

Zur Entkopplung von Ein- und Ausgabe Smarter Objekte sowie Ambienter Anwendungen ist für die angestrebte Plattform der Einsatz von Interaktionsplugins basierend auf Interaktionsprimitiven und Transformationsfunktionen vorgesehen. Somit können unterschiedliche Interaktionsmodalitäten sowie konkrete Geräte und Anwendungen einfach ausgetauscht werden. Darüber hinaus sieht das Konzept einen separaten Kanal für Nachrichten vor, die keinen direkten Bezug zur Interaktion haben, sodass beispielsweise Informationen über Ladestände oder die Kalibrierung ausgetauscht werden können.

Bei der Realisierung der semi-automatischen Verknüpfung der unterschiedlichen Komponenten wird auf die in Abschnitt 3.3 vorgestellte Modellierung bestehend aus Gütekriterien und Filterbedingungen zurückgegriffen. Obwohl zukünftig sinnvoll, wird bezüglich des Vermittlungsproblems im Rahmen dieser Arbeit von einer Optimierung für den Intensivkontext abgesehen. Diese Entscheidung liegt darin begründet, dass der Fokus auf dem Prozess der semi-automatischen Verbindung liegt, sodass die vollautomatische Vermittlung als nachrangig betrachtet werden kann.

Die durch die BenutzerInnen zu initiiierende Auswahl zur semi-automatischen Verbindung von Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen zu einem Ensemble kann prinzipiell auf vielfältige Arten realisiert werden. So ließe sich eine Zuordnung beispielsweise durch das Zeigen auf die Geräte im Raum realisieren (eine entsprechende Ortsbestimmung der Komponenten sowie der BenutzerInnen und der durch sie angezeigten Richtungen vorausgesetzt). Der Kopplungsprozess wird im Zuge dieser Arbeit, wie auch im ACTIVATE-System, über eine Scan-Funktion realisiert (vgl. Unterabschnitt 5.5.2). Einerseits handelt es sich hierbei um eine pragmatische Realisierungsmöglichkeit mit den bereits im Intensivkontext eingesetzten Geräten (beispielsweise mittels eines Smartphones). Zudem ist auf den im UKSH verwendeten Armbandändern der PatientInnen bereits ein Barcode mit Fallnummer angebracht, sodass das Scannen zudem eine naheliegende Lösung zur Personalisierung eines Ensembles darstellt.

Zur Realisierung der Selbsterklärung der aktuellen Interaktionsmöglichkeiten wird im Folgenden aufgrund der dynamischen Situationen in Smarten Umgebungen auf das Konzept der Selbstreflexion (s. Definitionen 4.7 und 4.8) sowie den Einsatz von Selbstbeschreibungen der eingesetzten Komponenten zurückgegriffen. Dies erlaubt die Bereitstellung von Erklärung von Systemen, die nicht *per se* (*»by design«*) selbsterklärend sind, da somit zusätzlich erforderliche Informationen bereitgestellt werden können. So müssen unterschiedliche Aspekte der Interaktion konkretisiert werden, wie beispielsweise die genaue Durchführung bestimmter Aktionen sowie mögliche Systemreaktionen. Da die ursprünglich von Burmeister für Smarte Objekte entwickelte SODL ein geeignetes Grundkonstrukt für Selbstbeschreibungen in Smarten Umgebungen darstellt, wird im Zuge dieser Arbeit auf sie zurückgegriffen.

Aufgrund der möglichen Komplexität beliebiger, vorstellbarer Anwendungen, wird bei Ambienten Anwendungen im Kontext dieser Arbeit nur die Steuerung der jeweiligen Anwendung selbst sowie mögliche Aktionen zur Steuerung weiterer Komponenten in die Selbstbeschreibung aufgenommen. Das bedeutet, dass die Schnittstellen einer Anwendung hinsichtlich der Ein- und Ausgaben und des grundlegenden Systemverhaltens, wie die Auswahl von Menüelementen, beschrieben werden. Folglich werden Ambiente Anwendungen im Wesentlichen als Blackboxen betrachtet, ohne dass die gesamte interne Systemlogik abgebildet wird. Dieser Entscheidung liegt die Annahme zugrunde, dass die allgemeine Modellierung des gesamten Systemverhaltens für jede vorstellbare Anwendung im Rahmen einer Beschreibungssprache in der Praxis weder sinnvoll noch gewinnbringend ist. Die Beschreibung des Systemverhaltens auf einer anderen

Ebene kann jedoch in einigen Fällen eine sinnvolle Ergänzung zur Beschreibung der Steuermöglichkeiten und Ausgaben darstellen und sollte gegebenenfalls in Betracht gezogen werden.

Moderne Anwendungsentwicklung findet in vielen Fällen mittels Webtechnologien statt (HTML, CSS, JavaScript). Ambiente Anwendungen sollen daher auch mittels dieser Technologien realisierbar sein, wobei auch eine Nutzung im Browser vorgesehen ist. Aufgrund der hiermit verbundenen Restriktionen (die Sandbox des Browsers verhindert einen Zugriff auf lokale Geräte), wird eine Schnittstelle zwischen den im Browser ausgeführten Ambienten Anwendungen sowie Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen im lokalen Subnetz benötigt.

6.2 ABSTRAKTES SYSTEMMODELL

Die im Rahmen dieser Arbeit entworfene Plattform für Smarte Umgebungen im Intensivkontext wird ausgehend von einem abstrakten Systemmodell konzipiert (vgl. Abbildung 6.1). Dabei ist der Einsatz von Interaktionsplugins vorgesehen, die rohe Sensordaten verarbeiten und Interaktionsprimitive bereitstellen. Mittels Transformationsfunktionen können die Interaktionsprimitive inklusive der bereitgestellten Parameter in die von Ambienten Anwendungen oder Smarten Objekten genutzten Steuerereignisse überführt werden. Ambiente Anwendungen können wiederum Smarte Objekte oder andere Ambiente Anwendungen steuern, indem sie ihrerseits Primitive bereitstellen. Das Modell verdeutlicht das Potential der Interaktionsprimitive und Transformationsfunktionen als Schnittstellen zwischen den Ein- und Ausgaben und erlaubt die dynamische Integration der unterschiedlichen Komponenten. Ein der Ambienten Anwendung selbst zunächst völlig unbekanntes Ein- oder Ausgabegerät kann ohne weiteres Zutun der EntwicklerInnen oder BenutzerInnen direkt genutzt werden, um die Anwendung zu steuern oder von dieser angesprochen zu werden. Das Modell gewährleistet somit die Anforderung der dynamischen Kopplung.

Eine Bereitstellung von Selbsterklärungen dieser ad-hoc zusammengestellten Ensembles lässt sich durch ein System realisieren, welches abstrakte Gerätebeschreibungen der einzelnen Komponenten nutzt und diese zu einer Gesamtbeschreibung zusammenführen und für die jeweiligen NutzerInnen entsprechend aufbereiten kann.

Während Interaktionsplugins, Ambiente Anwendungen und Smarte Objekte durch Gerätehersteller und EntwicklerInnen realisiert werden, muss die Frage geklärt werden, wer Transformationsfunktionen für das Überführen von Interaktionsprimitiven in Steuerereignisse bereitstellen kann. Dabei ist anzunehmen, dass einige Funktionen und Zuordnungen von AnwendungsentwicklerInnen vorgegeben werden (sie antizipieren eine typische Nutzung und geben beispielsweise eine Standardbelegung vor). Denkbar ist zudem, dass Interaktionsdesigner und SignalverarbeitungsexpertInnen beim Entwurf von Interaktionsmustern konkrete Anwendungen im Sinn haben, die gesteuert werden sollen, sodass sich hieraus ebenfalls Zuordnungen ergeben können. Eine zentrale Rolle nehmen zudem die NutzerInnen ein, die Systeme an ihre Bedürfnisse anpassen und

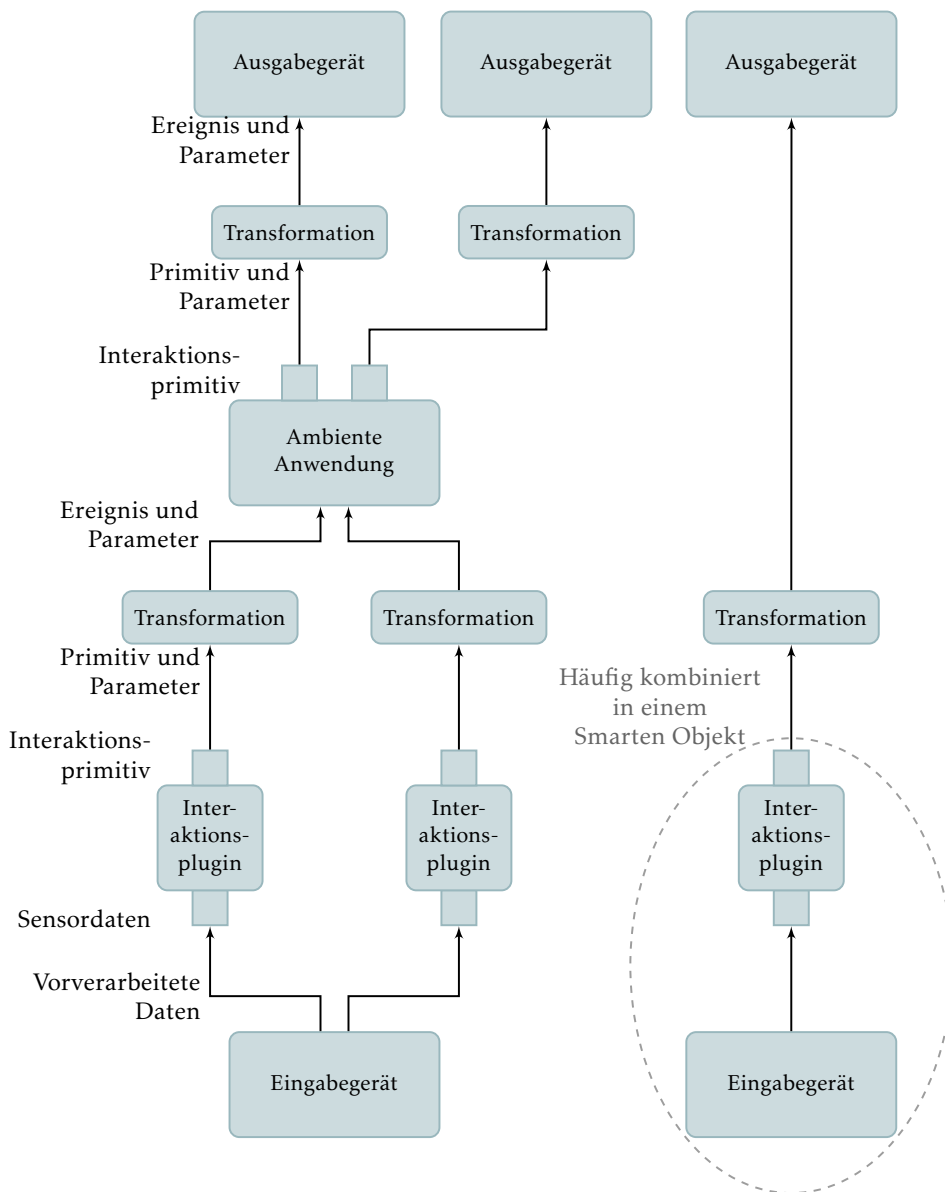


ABBILDUNG 6.1 – Abstraktes Systemmodell für ambiente Anwendungen. Eingaben werden durch Sensorik erfasst, anschließend verarbeitet und zu Interaktionsprimitiven ausgewertet. Diese werden in die von einer Ambienten Anwendung oder einem Smarten Objekt genutzten Steuerereignisse überführt. Die Ambiente Anwendung selbst kann ebenfalls Interaktionsprimitiv erzeugen.

Zuordnungen vornehmen wollen (die prinzipiell auch anderen BenutzerInnen zugänglich gemacht werden können). Letztlich ist jedoch auch das System selbst in der Lage Transformationen zu realisieren. So lassen sich Interaktionsprimitiv anhand des Grads der Übereinstimmung von Eingabe- und Ausgabedomäne (vgl. Mackinlay et al., 1990) Steuerereignissen zuordnen, wie es beispielsweise von Burmeister (2018) umgesetzt wurde. Im Zusammenspiel mit weiteren Krite-

rien der Zuordnung, lassen sich somit semantische und syntaktische Aspekte bei der Transformation berücksichtigen.

Während sich das eigentliche Ziel einer Interaktion zwischen Mensch und digitalem System auf ein realweltliches Konzept bezieht, beschreiben Interaktionsaufgaben wesentliche Schritte in der Bedienhandlung, die zur Erreichung des Ziels durchgeführt werden. Konkrete Steuerereignisse können dabei prinzipiell direkt mit diesen Interaktionsaufgaben verbunden sein (beispielsweise »Klicke auf das Element in der Liste«). In vielen Fällen sind jedoch Unteraufgaben, also weitere Zwischenschritte nötig, um die Interaktionsaufgabe zu erfüllen. Daher sind konkrete Steuerereignisse in der Regel an diese Unteraufgaben geknüpft (beispielsweise »Navigiere in der Liste nach unten« oder »Wähle aktuell hervorgehobenes Element aus«). Konkret bedeutet dies, dass eine Reihe von Unteraufgaben in einer meist vorbestimmten Abfolge durchgeführt werden müssen, um die Interaktionsaufgabe zu erfüllen. Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, sind Bedienhandlungen hingegen mit einer gewissen, nicht unbedingt eindeutigen Semantik verbunden. Ein Drehregler kann beispielsweise zum Navigieren in einem (kreisförmigen) Menü genutzt werden oder dem Einstellen der Audioausgabelautstärke dienen. Hierbei sind die konkreten Eingaben unterschiedlichen Interaktionsaufgabe zugeordnet (*Auswahl vs. Modifizierung*, s. Abschnitt 3.2). Die Bedienhandlung gibt aufgrund der Alltagserfahrung jedoch eine Tendenz für die Semantik vor, sodass sich hier prinzipiell Assoziationen zu Interaktionsunteraufgaben herstellen lassen. Dabei sind Interaktionsprimitive in der Regel nicht direkt Interaktionsaufgaben, sondern Unteraufgaben zugeordnet. Die Assoziation kann sich beispielsweise an der räumlichen Ausrichtung der Bedienhandlung oder der Symbolik des Interaktionsprimitivs orientieren. Dieser Zusammenhang zwischen Interaktionsprimitiv, Interaktionsaufgabe und Steuerereignis ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

In der Konsequenz lassen sich prinzipiell Gütekriterien (s. Abschnitt 3.3) formulieren, die diesen Zusammenhang adressieren, um ein besseres Ergebnis des Vermittlungsprozesses zu erzielen. Eine Möglichkeit stellt die Nutzung der Editierdistanz als Kriterium dar, bei welchem die Namensähnlichkeiten der Interaktionsprimitive und Steuerereignisse herangezogen werden, um beispielsweise enthaltene Richtungsangaben als Vermittlungskriterium heranzuziehen. Darüber hinaus ist auch denkbar, Assoziationen zwischen Interaktionsprimitiven und Unteraufgaben von der Community bewerten und in Datenbanken eintragen zu lassen (Assoziationen zwischen Steuerereignis und Interaktionsaufgaben sind bereits in der SODL hinterlegt) und bei der Vermittlung auf diese Information zurückzugreifen.

6.3 DIE SMART OBJECT DESCRIPTION LANGUAGE

Wie bereits in Abschnitt 4.4 beschrieben, hat Burmeister (2018) mit der SODL im Rahmen seiner Dissertation eine menschen- und maschinenlesbare Beschreibungssprache für Smarte Objekte entwickelt, die zur Beschreibung der Komponenten in Smarten Umgebungen dient. Dabei finden Anwendungen jedoch keine explizite Beachtung, sodass sich diese nicht ohne Weiteres adäquat mit der

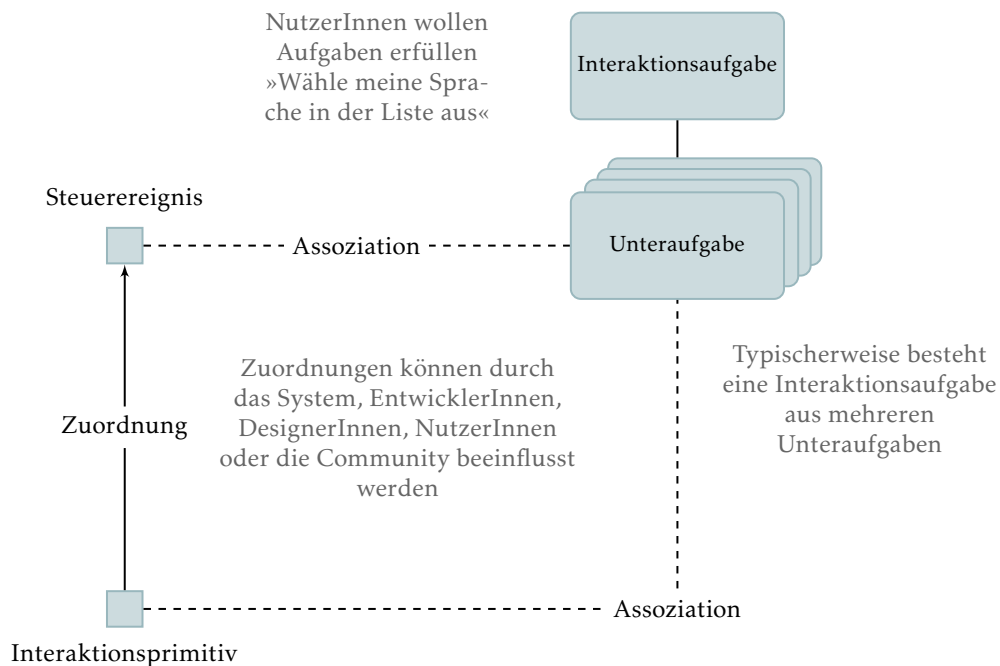


ABBILDUNG 6.2 – Assoziationen zwischen Interaktionsprimitiven, Steuerereignissen und Interaktionsaufgaben

Beschreibungssprache abbilden lassen. Prinzipiell lassen sich Ambient Anwendungen jedoch auf einer logischen Ebene als (*virtuelle*) *Ausgabegeräte* betrachten, die darüber hinaus auch als (*virtuelle*) *Eingabegeräte* für die Steuerung weiterer Komponenten dienen können. Hierbei handelt es sich allerdings in der Regel um reine Softwarekomponenten, die (anders als Smarte Objekte) nicht an eine konkrete vorgegebene Hardware gebunden sind. In dieser Betrachtungsweise lassen sich Ambient Anwendungen mit einigen Anpassungen an der SODL über diese als virtuelle Smarte Objekte modellieren. Daher werden im Folgenden Änderungen an der SODL beschrieben, die vorgenommen wurden, um auch Ambient Anwendungen beschreiben zu können, sodass SODL eine Grundlage für die im Rahmen dieser Arbeit angestrebte Plattform darstellen kann. Darüber hinaus werden auch einige Ergänzungen vorgestellt, die nicht in direktem Zusammenhang mit der Realisierung Ambient Anwendungen stehen, sondern grundsätzlich weiterführende Aspekte einbringen.

6.3.1 ALLGEMEINER TEIL

Der in der ursprünglichen Version der SODL genutzte Abschnitt zur Gerätebeschreibung dient dazu, allgemeine Informationen über das Gerät auf der Grundlage der Produktinformationen bereitzustellen. Da der Schwerpunkt hierbei auf physischen Geräten liegt, werden virtuelle Geräte oder Anwendungen nicht explizit beschrieben. Im Zuge dieser Arbeit wurde die SODL daher so erweitert, dass auch virtuelle Geräte und somit Ambient Anwendungen berück-

sichtigt werden. Das betrifft insbesondere die Angabe der räumlichen Nutzung. In der Folge wird aus dem Abschnitt der Gerätebeschreibung ein allgemeinerer Teil, der eine Beschreibung des Geräts oder der Anwendung umfasst.

6.3.2 KOMPONENTEN- UND ZUSTANDBESCHREIBUNGEN

Wie bereits beschrieben werden Geräte mittels SODL mitsamt ihrer Komponenten und deren jeweiligen Zuständen modelliert. Komponenten, Zustände und Ausgabefähigkeiten gelten auch für Ambiente Anwendungen, wobei Komponenten logische Bestandteile einer Anwendung beschreiben. So lässt sich beispielsweise eine Steuerkomponente zur Verarbeitung der Eingaben beschreiben. Zustände können verwendet werden, um interne Zustände grobgranular zu modellieren. Beispielsweise können die Navigationszustände einer Menüsteuerung abgebildet werden. Grundsätzlich sind darüber hinaus auch detailliertere Modellierungen möglich, die jedoch mit einer zusätzlichen Komplexität verbunden sind.

Bezüglich den Ausgabefähigkeiten ist zudem zu beachten, dass Ambiente Anwendungen potenziell reichhaltigere Darstellungsmöglichkeiten bieten, was insbesondere dann gilt, wenn sie über eine grafische Bedienoberfläche verfügen. Konsequenterweise werden Anleitungen und Tutorials mit höherer Wahrscheinlichkeit mittels einer Ambienten Anwendung dargestellt. Dabei eröffnet sich die Möglichkeit, Anleitungen oder Tutorials in die Anwendung selbst zu integrieren und nicht ausschließlich als separates Dokument bzw. als separaten Dialog darzustellen. So lassen sich beispielsweise Visualisierungen oder Hinweistexte in die Menüführung der Anwendung integrieren. Hierzu bietet sich ein explizit für diesen Anwendungszweck vorgesehenes Format an (vgl. Abschnitt 7.4).

Darüber hinaus wurde die SODL im Rahmen dieser Arbeit so erweitert, dass Komponenten mit einer Beschreibung notwendiger vorbereitender Maßnahmen versehen werden können. Auf diese Weise kann in der SODL beispielsweise hinterlegt werden, wie ein Gerät in der Hand zu halten ist oder wo ein Körperteil für der Interaktion positioniert werden muss (beispielsweise muss sich eine BenutzerIn bei einem kamerabasierten Gestensteuerungssystem in den Erfassungsbereich der Kamera stellen). Hierbei können auch grafische Repräsentationen hinterlegt werden, die diese Schritte illustrieren.

6.3.3 INTERAKTIONSMODELLIERUNG

Zur detaillierteren Dokumentation der Interaktion auf unterschiedlichen Ebenen, ist in der ursprünglichen Version der SODL eine Beschreibung auf sieben Ebenen basierend auf dem von Jacob Nielsen vorgestellten Virtual Protocol Model (VPM) vorgesehen. Diese Ebenen werden basierend auf dem Werkzeug der hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA) strukturiert, sodass sich für Elemente auf den Ebenen des VPM eine zeitliche Abfolge der Ausführung ergibt.

Im Zuge der Interaktionsmodellierung mittels SODL wird zunächst die Zielebene festgelegt, die eine textuelle Beschreibung des Ziels enthält (bei einer Smarten Beleuchtung lässt sich beispielsweise das Ziel »*Beleuchte den Raum*«

formulieren). Die nachfolgenden Ebenen sind anhand der zeitlichen Reihenfolge der Ausführung ihrer Elemente strukturiert (z. B. »*Schalte die Lampe an und reguliere anschließend die Helligkeit*«). Die Ausführungsordnung kann dabei sequentiell oder parallel ablaufen. Darüber hinaus ist aber auch eine Auswahl zwischen mehreren Optionen auf der jeweiligen Ebene möglich. Durch diese Angaben zur Reihenfolge bzw. Auswahl wird zudem implizit die Syntax der Interaktion beschrieben (nach Nielsen, 1986, befasst sich die syntaktische Ebene mit der Abfolge der Ein- und Ausgaben). Daher ist in der SODL keine explizite Angabe zur syntaktischen Ebene vorgesehen. Auf der semantischen Ebene werden in der SODL die involvierten Ausgabekomponenten sowie die jeweilige Systemreaktion (also der Zustandsübergang) beschrieben (bei einer Smarten Beleuchtung beispielsweise »*Schalte die Lampe an*«). Die hierbei beteiligte Zustandsgruppe wird hingegen auf der lexikalischen Ebene angeführt (beispielsweise der *Schaltzustand*). Die alphabetische Ebene der Interaktionsmodellierung beinhaltet Informationen über die entsprechende Eingabekomponente sowie die jeweilige Zustandsgruppe und beschreibt das Interaktionsprimitiv, welches durch primitive informationstragende Einheiten (Lexeme) repräsentiert wird, die einen Zustandsübergang in der Zustandsgruppe herbeiführen (beispielsweise bei einem Gesteninteraktionsgerät das Ausführen der »*Wischgeste nach links*«). Auf der physikalischen Ebene werden schließlich physische Aktionen beschrieben, die zur Ausführung der Eingabe (also einer Geste, eines Sprachbefehls etc.) erforderlich sind (z. B. »*Bewegen Sie Ihre Hand in einer gleichmäßigen Bewegung horizontal nach links*«).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Ambiente Anwendungen nicht zwangsläufig direkt mit der physischen Welt verbunden sind (beispielsweise, wenn sie keinen direkten Zugriff auf Aktoren in der Umgebung haben). Daher bleibt der Anwendung das konkrete Ziel, welches ein realweltliches Konzept beschreibt, das mit der Welt außerhalb des Computers verknüpft ist, mitunter verborgen. Konsequenterweise wurde die SODL im Kontext dieser Arbeit so angepasst, dass die Beschreibung eines realen Ziels offen gelassen werden kann. Anstelle des Ziels wird in diesem Fall nur die Aufgabenebene beschrieben. Ein Beispiel hierfür ist die Auswahl eines Elements aus einem Menü.

Des Weiteren kann eine Ambiente Anwendung, die von einem anderen Gerät gesteuert wird, selbst zur Steuerung eines weiteren Ausgabegeräts oder einer anderen Ambienten Anwendung genutzt werden. Dabei werden die von der Anwendung bereitgestellten Interaktionsprimitive offensichtlich virtuell erzeugt und es gibt somit keine Beschreibung der physischen Aktionen für die Anwendung. Stattdessen werden die nötigen physischen Aktionen durch Interaktion mit dem Eingabegerät, das zur Steuerung der Anwendung verwendet wird, ausgeführt und in der entsprechenden Selbstbeschreibung festgehalten. Folglich kann die physikalische Ebene in diesem Fall weggelassen werden.

Neben Gesten-, Sprach- und Berührungseingaben ist zudem ein weiterer Typ erforderlich, um diese virtuellen Eingaben zu beschreiben. Auf der Grundlage einer Analyse typischer Anwendungen und ihrer Bedienelemente wurde die SODL im Zuge dieser Arbeit um einen neuen Eingabetyp für virtuelle Eingaben erweitert. Dieser dient der Beschreibung von Interaktionsprimitiven auf der

virtuellen Ebene und umfasst beispielsweise die Auswahl eines Menüeintrags, das Drücken einer Buttons oder das Manipulieren eines Schiebereglers. Die virtuelle Eingabe kann zudem über eine ID mit einem bestimmten Bedienelement in der Anwendung verknüpft werden. Für den Fall, dass keines der vorgegebenen Elemente geeignet erscheint, besteht die Möglichkeit, durch eine textuelle Beschreibung einen neuen Eingabetyp zu erfassen.

Zusätzlich wurde im Zuge dieser Arbeit die Option hinzugefügt, grafische Darstellungen zur Untermalung der Eingabemodalität sowie der Systemreaktion mit der alphabetischen bzw. der semantischen Ebene zu verknüpfen. Sie erlauben somit umfassendere Beschreibungen, die auch Bilder, Animationen oder Videos enthalten.

Darüber hinaus erlaubt eine weitere Anpassung im Rahmen dieser Dissertation eine Markierung zur Hervorhebung eines Elements der physikalischen Ebene, sodass wichtige Details bei der Ausführung in einer Anleitung hervorgehoben werden können. So lassen sich beispielsweise Details bei einer Gestenausführung hervorheben, die von BenutzerInnen oft vergessen oder übersehen werden.

Wie bereits beschrieben, lässt sich der Ebenenstapel und damit die Interaktionsmodellierung auftrennen, wobei Burmeister vorschlägt, diese Teilung zwischen der alphabetischen und lexikalischen Ebene zu realisieren. Diese Trennung, sowie der Umstand, dass sowohl die Ziel- als auch die physikalische Ebene bei Ambienten Anwendungen mitunter ausgelassen werden, sind in Abbildung 6.3 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass der vollständige Ebenenstapel letztlich erst durch die Verknüpfung von Ein- und Ausgabekomponenten (ggf. mit zwischengelagerten Komponenten) entsteht und eine Selbsterklärung somit erst möglich ist, sobald die beteiligten Komponenten und deren konkrete Vernetzung feststehen.

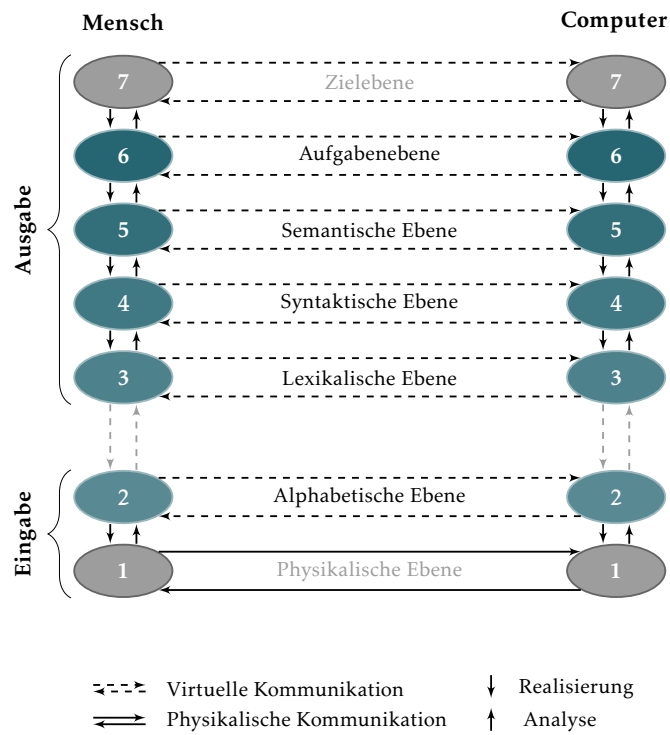


ABBILDUNG 6.3 – Trennung zwischen Eingabe- und Ausgabekomponenten im Ebenenstapel beim Virtual Protocol Model (vgl. Burmeister, 2018)

DAS FRAMEWORK

Auf Grundlage des abstrakten Systemmodells und der angepassten Version der SODL (s. Kapitel 6) wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Softwareframework für eine Middleware entwickelt, welche als Referenzimplementierung der vorangegangenen beschriebenen Ideen und Konzepte dient. Das Framework baut dabei auf der Referenzimplementierung des Ambient-Reflection-Frameworks von Burmeister (2018) auf (vgl. Abschnitt 4.5), erweitert es allerdings um einige Aspekte, um den Anforderungen (s. Abschnitt 5.6) gerecht zu werden.

Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kordts et al. (2021a), Kordts et al. (2021b) und Kordts et al. (2022) publiziert.

Das nachfolgend in seinen systemischen Bestandteilen vorgestellte Referenzframework für ambientreflexive Umgebungen mit Fokus auf den Intensivkontext besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, wobei die ersten beiden Komponenten aufbauend auf den Komponenten von Burmeister realisiert wurden. Die Kernkomponente stellt der *Description Mediator* (kurz Mediator) dar, welcher eine Koordination Ambient-Ensembles und eine Verarbeitung der jeweiligen Geräteinformationen und Selbstbeschreibungen (basierend auf der SODL) ermöglicht. Zur Befähigung von Ambient-Anwendungen und Smarten Objekten zur Selbsterklärung bietet das Referenzframework zudem die Softwarebibliothek *Smart Object Library*. Die dritte Komponente stellt eine weitere Möglichkeit neben der Bibliothek dar, Komponenten in das Kernframework zu integrieren, die jedoch an anderer Stelle oder in abgeschotteten Bereichen betrieben werden oder nicht in der Lage sind, von der Bibliothek Gebrauch zu machen. Hierzu wird eine Brücke zwischen Kernframework und weiteren Komponenten bereitgestellt, welche über ein virtuelles Stellvertretergerät (einen Daemon) in das Framework integriert werden. Das virtuelle Stellvertretergerät wird in der Referenzimplementierung durch den sogenannten *Virtual Device Daemon* realisiert.

Die Grundbestandteile des Frameworks sind mittels der Programmiersprache Java realisiert, wobei für die Schnittstellen der Brücke zwischen Kernframework und weiteren Komponenten unterschiedliche weitere Programmiersprachen, wie JavaScript, Python und C# zum Einsatz kommen.

Abbildung 7.1 illustriert das Zusammenspiel der einzelnen Bestandteile des Frameworks. Typischerweise werden Ein- und Ausgabegeräte mittels der Smart Object Library eingebunden, während eine Ambient-Anwendung voraussichtlich mittels eines Stellvertretergeräts über den Virtual Device Daemon und eine zugehörige Schnittstelle integriert wird. Da Ambient-Anwendungen typischerweise reichhaltigere Darstellungsmöglichkeiten bieten, ist zu erwarten, dass die generierten Anleitungen auch durch diese dargestellt werden. Eine Darstellung kann aber auch an anderen Stellen erfolgen. Insbesondere muss es sich bei der darstellenden Komponente nicht zwangsläufig um einen Bestandteil eines Ensembles handeln, sodass Anleitungen auch räumlich getrennt von einem Ensemble präsentiert werden können. Neben Aufrufen der Gerätefunktionalität können zwischen den Bestandteilen des Ensembles auch nicht-interaktionsbezogene Nachrichten (*Miscellaneous Events*) ausgetauscht werden (s. Abschnitt 7.2).

7.1 DER DESCRIPTION MEDIATOR

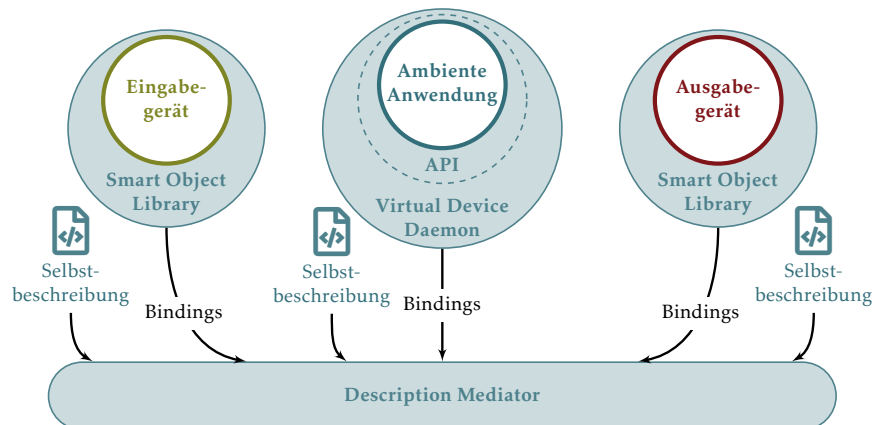
Der Description Mediator dient der Lokalisation Smarter Objekte und Ambient-er Anwendungen im Netzwerksegment, der dynamischen Verbindung der Komponenten sowie der Zusammenführung der (auf der SODL basierenden) Selbstbeschreibungen der hierbei genutzten Komponenten, sodass Ensembles erstellt und erklärt werden können.

Die sichtbarste im Zuge dieser Arbeit vorgenommene Neuerung am Ambient-Reflection-Framework ist die Realisierung der Ambienten Anwendungen, mittels derer sich vielseitige Anwendungsszenarien realisieren und somit Prozesse besser unterstützen lassen. Dies umfasst eine Integration der angepassten SODL in den Description Mediator. Zudem erforderte die Integration Anpassungen an den bestehenden Rendering Engines.

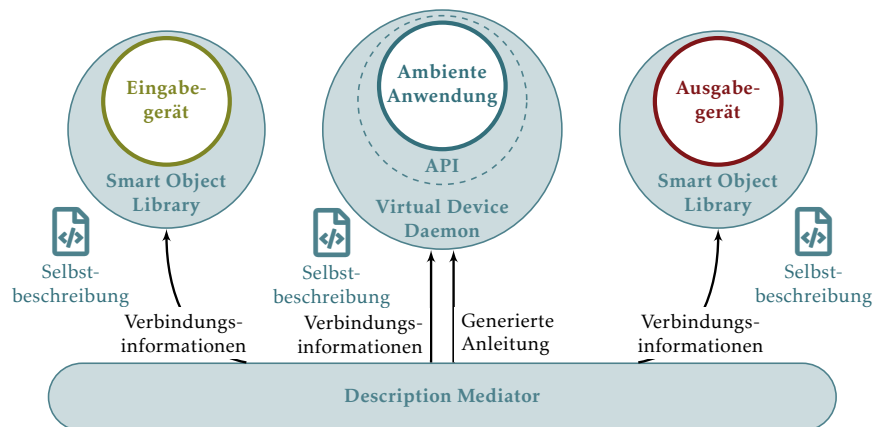
Der von Burmeister und Gerlach (vgl. Unterabschnitt 4.5.1) entwickelte probabilistische Algorithmus zur Vermittlung von Smarten Objekten wurde im Rahmen dieser Arbeit angepasst, sodass dieser auch Ambient-er Anwendungen berücksichtigen kann. Die Anpassungen betreffen insbesondere die Stellen, wo unterschiedliche Informationen der angepassten SODL verarbeitet werden. Der im Mediator genutzte Algorithmus adressiert somit das allgemeine Ensemble-Vermittlungsproblem (vgl. Abschnitt 3.3) unter der Annahme variierender Bedingungen und Kriterien mittels eines Best-Effort-Ansatzes basierend auf einem probabilistischen Brute-Force-Algorithmus.

Darüber hinaus wurden zwei neue Kriterien eingeführt, welche aufgrund der Berücksichtigung Ambient-er Anwendungen bei der Vermittlung relevant werden. Insbesondere greifen sie Aspekte der in Abschnitt 6.2 diskutierten Assoziationen zwischen Interaktionsprimitiv und Interaktionsunteraufgaben auf.

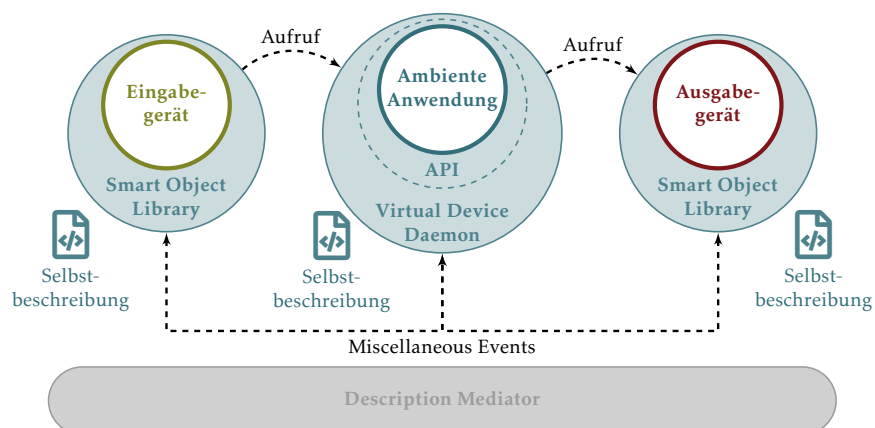
Räumliche Ausrichtung Sofern die Systemreaktion einen Richtungsbezug hat, sollte dieser die Richtung der Bedienhandlung widerspiegeln. Die Vermittlung von Bedienhandlungen zu Systemreaktionen, die gut zueinander passende Richtungen aufweisen, können die Interaktion fördern (beispielsweise eine nach



(a) Netzwerk mit Description Mediator, Eingabegerät, Ausgabegerät und einer Ambienten Anwendung. Nach einer Lokalisation sammelt der Mediator die Selbstbeschreibungen der unterschiedlichen Elemente ein.



(b) Der Mediator sucht nach einer Lösung des Vermittlungsproblems, generiert anschließend Anleitungen und informiert die jeweiligen Elemente über ihre Rolle im Ensemble. Anleitungen werden an Elemente geschickt, die diese darstellen können (hier die Ambiente Anwendung).



(c) Kommunikation zwischen den Bestandteilen des gebildeten Ensembles.

ABBILDUNG 7.1 – Übersicht über das Zusammenspiel der Systembestandteile bei und nach der Vermittlung eines Beispielensembles.

links gerichtete Wischgeste für eine Navigation nach links). Dieses Kriterium wird durch die Zuweisung der Ähnlichkeit zweier Richtungsangaben realisiert (dieselbe Richtung mit maximaler Ähnlichkeit, links bzw. rechts zu Drehungen gegen den bzw. im Uhrzeigersinn mit einer Abstufung usw.).

Namensähnlichkeiten Insbesondere bei Ambienten Anwendungen sollten Dialogelemente zu sinngemäß passenden Systemreaktionen zugeordnet werden. Die Bezeichner der beteiligten Zustandsgruppen der Ein- und der Ausgabe-komponente sollten tendenziell ähnlich sein. Dieses Kriterium wird durch die Ermittlung der Editierdistanz (konkret der Levenshtein-Distanz, vgl. Levenshtein et al., 1966) zwischen den beteiligten Zustandsgruppen realisiert.

Wie bereits beschrieben, erlaubt das Framework grundsätzlich die Integration weiterer, frei realisierbarer Kriterien und Bedingungen. So sind insbesondere im Kontext von Ambienten Anwendungen für bestimmte Szenarien weitere, konkrete Kriterien und Bedingungen vorstellbar. Beispielsweise bietet sich bei einer App, die über ein Menü zur Beleuchtungssteuerung verfügt, eine entsprechende Vermittlung zwischen Menüaktionen und Gerätefunktionalität an. Dabei kann die Namensähnlichkeit ein wichtiges Kriterium sein. Weitere Aspekte, wie der Ort der jeweiligen zu steuernden Beleuchtungskomponente, können allerdings auch eine Rolle spielen.

Während die Lösung des Ensemble-Vermittlungsproblems einerseits automatisch vom Mediator durchgeführt werden kann, ist es andererseits aber auch möglich eine Vermittlung basierend auf einer Konfiguration eines gesamten Ensembles, oder auch nur von Teilen eines Ensembles zu erstellen. Zudem lässt sich spezifizieren, dass nur bestimmte Geräte in einem Durchgang vermittelt werden dürfen. In Erweiterung zur bereits im von Burmeister entwickelten Framework vorgesehenen Möglichkeit, diese Konfiguration in den Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen selbst anzugeben, wurde im Rahmen dieser Arbeit die Option der Konfiguration über den Mediator realisiert. Hierzu wurde die vom Mediator bereitgestellte REST-Schnittstelle erweitert, sodass die beschriebenen vorkonfigurierten Ensembles abgefragt oder manipuliert werden können. Insbesondere befähigt dieser Ansatz den Mediator zur kontrollierten Selbstorganisation. Dies erlaubt es anderen Stakeholdern – insbesondere BenutzerInnen – grundsätzlich die Vernetzung zu beeinflussen. Vormals war dies den EntwicklerInnen vorbehalten, die mittels semantischer Markierungen (statische Annotationen, die an Methoden angehängt werden, sodass diese mittels Java Reflection zur Laufzeit identifiziert werden können) eingeschränkt Einfluss auf die Vernetzung nehmen konnten, ohne jedoch dynamisch auf in der konkreten Situation verfügbare Geräte oder andere Rahmenbedingungen reagieren zu können.

Mittels der Schnittstelle lassen sich insbesondere folgende Einstellungen bezüglich der Vermittlung vornehmen:

Vorausgewählte Kanten Eine konkrete Verbindung, die genutzt werden soll, sofern sich die angegebenen Komponenten im Netz befinden und lokalisiert werden konnten. Sie umfasst die UUIDs der beiden Smarten Objekte bzw. Ambienten Anwendungen sowie den Bezeichner der alphabetischen sowie der lexikalischen Ebene, die jeweils verbunden werden sollen. Mittels der bool-

schen *keep*-Variable lässt sich angeben, ob die Kante immer wieder oder nur im nächsten Durchlauf derartig vermittelt werden soll, also ob die vorausgewählte Kante persistiert oder flüchtig ist. Ein Beispielaufruf der Schnittstelle für vorausgewählte Kanten ist in Abbildung 7.2 dargestellt.

Vorausgewählte Ensembles Eine Menge von UUIDs von Smarten Objekten bzw. Ambienten Anwendungen, die gemeinsam ein Ensemble bilden dürfen. Das letztlich vermittelte Ensemble darf auch aus weniger Komponenten bestehen, als im vorausgewählten Ensemble vermerkt. Die UUIDs der vermittelten Komponenten dürfen also eine echte Teilmenge der konfigurierten Menge bilden. Abbildung 7.3 stellt einen exemplarischen Aufruf für ein vorausgewähltes Ensemble mittels der Schnittstelle dar.

Eine detailliertere Beschreibung der REST-Schnittstelle bezüglich vorausgewählter Kanten und Ensembles findet sich in Anhang B.

Zur Unterstützung der Stabilität und der Fehlertoleranz des Mediators ist eine längerfristige Speicherung dieser Konfigurationen notwendig. Daher wurde im Zuge der Erweiterung der REST-Schnittstelle zudem eine Persistenz der so eingestellten Konfigurationen realisiert, indem auf die *Jakarta Persistence API*¹ (kurz JPA, vormals Java Persistence API) mittels *Spring Data JPA*² zurückgegriffen wurde. Realisiert wird die Persistenz durch eine PostGres-Datenbank, welche gemeinsam mit dem Mediator ausgeführt werden und somit im Hintergrund laufen muss. Für Unit-Tests wird dabei mittels *Zonky Embedded Database Spring Test*³ auf die in die Bibliothek integrierte In-Memory-Datenbank *H2*⁴ zurückgegriffen (*Database-as-a-Library*), sodass kein separates Ausführen eines Datenbanksystems nötig ist.

Eine Konfiguration ist mittels der Schnittstelle auch durch andere Dienste oder Anwendungen möglich. So basiert die kontrollierte Selbstorganisation im Kontext des ACTIVATE-Systems, wie bereits angedeutet, auf dem Scannen der Geräte mittels einer Smartphoneanwendung, welche sich die Schnittstelle zum Mediator zunutze macht (vgl. Kapitel 8), sodass BenutzerInnen ohne technische Kenntnisse und Wissen über die Schnittstelle Konfigurationen vornehmen können.

Neben den bereits angesprochenen Konfigurationen, lässt sich mittels der REST-Schnittstelle eine konkrete Vermittlung, aber auch der Vermittlungsprozess manipulieren. So lassen sich einzelne Verbindungen oder alle Verbindungen eines Geräts lösen, aber auch einzelne Vermittlungsdurchläufe (auch für konkrete vorausgewählte Kanten oder Ensembles) anstoßen. Zudem lässt sich beeinflussen, ob lokalisierte Geräte automatisch bei der Vermittlung berücksichtigt werden sollen oder ausschließlich auf vorausgewählte Verbindungen zurückgegriffen werden soll.

Das im Anschluss an die Vermittlung folgende Verfahren zur Erstellung einer Gesamtbeschreibung basierend auf der SODL wurde dahingehend angepasst,

¹ <https://jakarta.ee/specifications/persistence/3.0/> (Abrufdatum 21.12.2022)

² <https://spring.io/projects/spring-data-jpa> (Abrufdatum 21.12.2022)

³ <https://github.com/zonkyio/embedded-database-spring-test> (Abrufd.: 21.12.2022)

⁴ <https://h2database.com> (Abrufdatum 21.12.2022)

POST	/preselectededges <i>Erstellt einen neuen Eintrag</i>
Body	application/json
<pre> 1 [{ 2 "inputDevice": 3 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 4 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft", 5 "outputDevice": 6 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 7 "lexicalLevelId": 8 "App:MoveFocusLeft:MoveFocus:Start:lexical", 9 "keep": true 10 }, { 11 "inputDevice": 12 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 13 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveRight", 14 "outputDevice": 15 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 16 "lexicalLevelId": 17 "App:MoveFocusRight:MoveFocus:Start:lexical", 18 "keep": true 19 }] </pre>	
Response	application/json
<p>200 ok</p> <pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselectededges": [4 { 5 "inputDevice": 6 ... 7 "lexicalLevelId": "App:MoveFocusLeft:MoveFocus:Start:lexical", 8 "keep": true, 9 "outputDevice": "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 10 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft", 11 "inputDevice": "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5" 12 }, 13 { 14 "inputDevice": "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 15 "lexicalLevelId": "App:MoveFocusRight:MoveFocus:Start:lexical", 16 "keep": true, 17 "outputDevice": "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 18 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveRight", 19 "inputDevice": "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5" 20 } 21], 22 "_links": { ... } 23 }, 24 "_links": { ... } 25 } </pre> <p>400 bad request</p> <pre> 1 { 2 ... 3 "message": "Requested preselected edges are 4 already present in the database.", 5 ... 6 } </pre>	

ABBILDUNG 7.2 – Beispielaufruf der REST-Schnittstelle für vorausgewählte Kanten per HTTP-POST, welche als Liste von Zuordnungen zwischen alphabetischer Ebene und lexikalischer Ebene zweier Komponenten angegeben werden. Der Mediator bestätigt die Kanten entweder oder gibt an, dass die Kanten bereits hinterlegt sind.

POST /preselecteddevices	
<i>Erstellt einen neuen Eintrag</i>	
Body	application/json
<pre> 1 { 2 "devices": [3 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 4 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea"] 5 } </pre>	
Response	application/json
200 ok	
<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselecteddevices": [4 { 5 "devices": [6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 8], 9 "devicesUids": [10 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 11 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 12] 13 } 14] 15 }, "_links": { 16 "self": { "href": 17 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 18 }, 19 "selectedDevices": { "href": 20 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 21 } 22 }} </pre>	
400 bad request	
<pre> 1 { ... 4 "Requested preselected devices are already present in the database.", 7 ... } </pre>	

ABBILDUNG 7.3 – Beispielaufruf der REST-Schnittstelle für vorausgewählte Ensembles per HTTP-POST, basierend auf einer Auflistung der zugehörigen UUIDs. Der Mediator bestätigt die Ensembles entweder oder gibt an, dass die Ensembles bereits hinterlegt sind.

dass bei Ambienten Anwendungen die Zielebene sowie die physikalische Ebene übergangen werden können (vgl. Abschnitt 6.3). Die Interaktionsmodellierung in Form der Aufgabenanalyse besteht somit im Falle eines vermittelten Interaktionsprimitivs zu einer Gerätefunktion bei einer Ambienten Anwendung mitunter nicht aus dem vollständigen Ebenenstapel, da die Zielebene oder die physikalische Ebene ausgelassen werden können.

Im Zuge dieser Arbeit wurden zudem die von Burmeister beschriebenen Anleitungsformen ergänzt. Die Generatoren dienen dabei als Beispiel und Vorlage für mögliche Anleitungsformen und sollen dabei insbesondere die Möglichkeiten zur Generierung unterschiedlicher Varianten unterstreichen. Daher wurde bei der Gestaltung der Anleitungen kein Fokus auf die Gebrauchstauglichkeit gelegt und insbesondere auch kein vollständiger menschenzentrierter Gestaltungsprozess zugrundegelegt. Allerdings sind sowohl die Gestaltung als auch die Darstellung der Interaktion auf unterschiedliche Weise anpassbar, sodass die hier vorgestellten Komponenten als Grundlage für eine weitere Entwicklung dienen können.

Im Zuge der Ergänzungen der Anleitungsformen wurde die Möglichkeit geschaffen, eine rein bildliche Anleitung zu den Interaktionsmöglichkeiten und den Systemantworten zu generieren. Hierzu werden die in der SODL neu hinzugefügten grafischen Repräsentationen (sofern es sich um Abbildungen handelt) zusammengefügt, sodass sich eine Gegenüberstellung von erwarteten Bedienhandlungen und zugeordneten Systemreaktionen ergibt. Diese können beispielsweise aus Piktogrammen, aus einfachen Abbildungen oder Fotos bestehen.

Für eine umfassendere Darstellungsform der Anleitungen wurde darüber hinaus die von Burmeister (2018) entwickelte Rendering Engine für HTML erweitert, sodass multimediale Anleitungen generiert werden können, welche beispielsweise in einem Browser darstellbar sind. Diese beinhaltet neben textuellen Beschreibungen auch die in der SODL neu hinzugefügten grafischen Repräsentationen der Interaktionsprimitive sowie der Gerätefunktionen, sodass sich die erwartete Bedienhandlung sowie die zugehörige Systemantwort zum vereinfachten Verständnis auch grafisch untermalen lassen.

Umfasst die Anleitung mehr als ein Ziel bzw. eine Aufgabe, so werden alle zunächst in einer Übersicht gezeigt, über die dann die Seiten mit den Erläuterungen zu den einzelnen Zielen bzw. Aufgaben abgerufen werden können (s. Abbildung 7.4). Zudem werden in diesem Fall Navigationselemente in die Kopf- und die Fußzeile jeder Seite integriert, sodass einfach zwischen den Seiten bzw. zurück zur Übersicht gewechselt werden kann.

Erklärungen erfolgen grundsätzlich auf mehreren Ebenen in unterschiedlicher Detaillierung (s. Abbildung 7.5), sodass die grafischen Darstellungen und die grobgranularen Beschreibungen der Interaktionsprimitive und der Systemreaktion einen schnellen Anhaltspunkt bieten. Bei Bedarf können die Nutzenden darüber hinaus auf die feingranularen Erläuterungen zurückgreifen. Dabei können einzelne Elemente der textuellen Beschreibung der auszuführenden Schritte auf der physikalischen Ebene mit Hervorhebungen versehen werden.

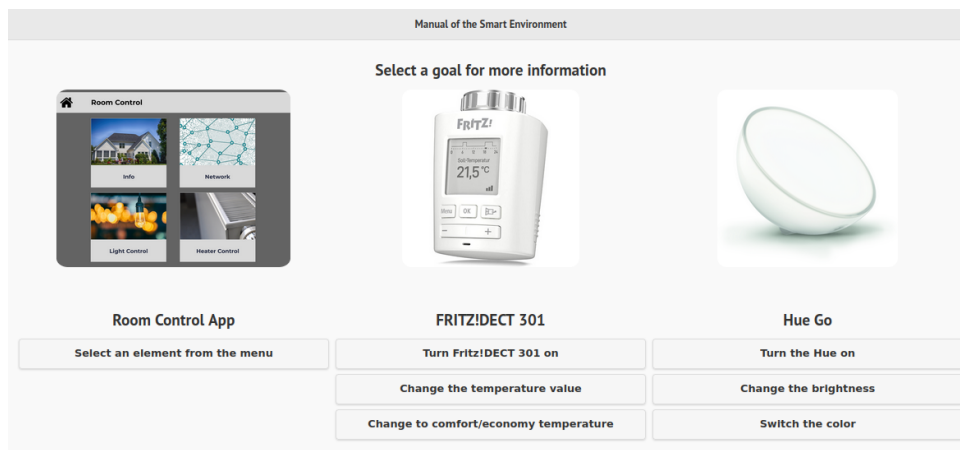


ABBILDUNG 7.4 – Bildschirmaufnahme der Übersichtsseite einer HTML-Anleitung, welche aus den einzelnen Selbstbeschreibungen generiert wurde.

Sind dabei sowohl die Eingabemodalität als auch die Systemreaktion mit einer grafischen Darstellung versehen, so werden diese nebeneinander dargestellt, um den Zusammenhang zu verdeutlichen. Sofern es sich bei mindestens einer der beiden grafischen Repräsentationen um eine Animation handelt, werden die Animationen wechselseitig dargestellt. Dabei können für jede Eingabemodalität bzw. Systemreaktion eine Abfolge unterschiedlicher Animationen hinterlegt werden, sodass diese jeweils nacheinander wiedergegeben werden. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise eine fortlaufende Navigation in einem Menü darstellen. Handelt es sich nur bei einer der beiden grafischen Darstellungen um eine Animation, so wird die andere Abbildung mit einem animierten Rahmen versehen, der das Element hervorhebt.

Handelt es sich bei der Eingabemodalität um eine virtuelle Eingabe einer Ambienten Anwendung, so wird neben der Beschreibung der virtuellen Eingabe zudem ein Verweis auf die Steuerung der Ambienten Anwendung hinterlegt, sodass eine BenutzerIn sich bei Bedarf zunächst mit der Steuerung der Anwendung vertraut machen kann, bevor sie sich mit der Steuerung der Zielkomponente auseinandersetzt.

Darüber hinaus werden Schritte zu vorbereitenden Maßnahmen in der generierten Anleitung angeführt. Handelt es sich dabei um einen einzelnen Schritt, wird dieser direkt in die Beschreibung der auszuführenden physischen Aktionen integriert. Handelt es sich um mehrere nötige Schritte oder ist eine grafische Repräsentation der notwendigen Vorbereitung hinterlegt, so ist diese über ein Pop-up abrufbar (s. Abbildung 7.6).

Eine weitere Neuerung des Mediators stellt der *Is Alive Cache* dar, in welchem sämtliche lokalisierte Smarte Objekte bzw. Ambiente Anwendungen hinterlegt und mit einer Ablaufzeit versehen werden. Elemente werden nach Ablauf der Zeit aus dem Cache gelöscht, sofern in der Zwischenzeit keine Nachricht über die Erreichbarkeit des Smarten Objekts bzw. der Ambienten Anwendungen

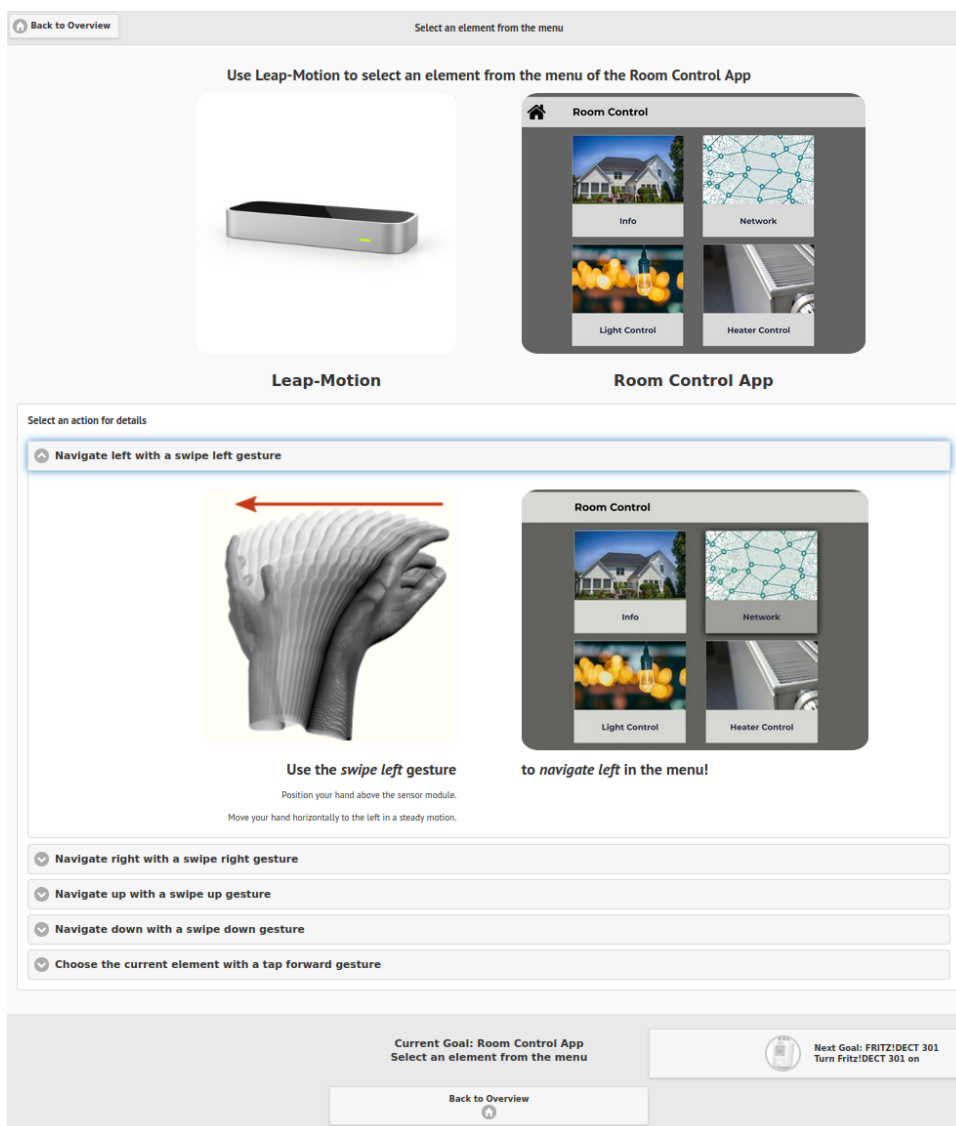


ABBILDUNG 7.5 – Bildschirmaufnahme der Beschreibung der Bedienung einer Ambienten Anwendung mittels eines Gestensteuerungssystems in einer HTML-Anleitung.

eingegangen ist (vgl. Abschnitt 7.2). Beim Löschen aus dem Cache werden die lokalisierten Komponenten verworfen und können anschließend neu entdeckt werden. Dieses Vorgehen erlaubt eine zuverlässigere Fehlerbehandlung bzw. eine Stabilisierung eines unbrauchbar gewordenen Ensembles durch alternative Komponenten.



ABBILDUNG 7.6 – Bildschirmaufnahme der Beschreibung vorbereitender Maßnahmen in einem Ausschnitt einer HTML-Anleitung.

7.2 DIE SMART OBJECT LIBRARY

Smarte Objekte und Ambiente Anwendungen können mittels der Java-basierten Smart Object Library zur Integration in das Framework und somit zur Selbsterklärung befähigt werden. Hierzu stehen die jeweils aktuellen Versionen der Softwarebibliothek über ein Maven-Repository zur Verfügung⁵. Die Bibliothek wurde dabei so erweitert, dass sie neben interaktionsbezogenen (*Invocations*) auch nicht-interaktionsbezogene (*Miscellaneous Event*) Nachrichten zwischen Smarten Objekten bzw. Ambienten Anwendung verarbeiten und weiterleiten kann.

Neuerungen an der Smart Object Library umfassen eine Anpassung der Datenstruktur basierend auf den Erweiterungen an der SODL sowie die Integration Ambienter Anwendungen. Dies umfasst insbesondere auch Anpassungen an der Verarbeitung der interaktionsbezogenen Nachrichten und der Transformation zwischen unterschiedlichen Wertebereichen.

Eine weitere im Zuge der Integration Ambienter Anwendungen relevant gewordene Neuerung ist die Bereitstellung eines zusätzlichen Nachrichtenkanals für den Austausch nicht-interaktionsbezogener Nachrichten, wie beispielsweise das Bereitstellen von Informationen über den Ladestand, Kalibrierungszustand oder Sperrzustände bei einer Anwendung. Relevant ist diese Neuerung insbesondere deshalb, weil Anwendungen eine vielfältigere Informationsdarstellung erlauben und somit beispielsweise den Batteriestand eines aktuell verwendeten und verknüpften Eingabegeräts in einer Oberfläche darstellen können. Nicht-

⁵ <https://maven.itm.uni-luebeck.de/service/rest/repository/browse/reflection/de/uniluebeck/itm/ambient-reflection-devicelibrary/> (letztes Abrufdatum 21.12.2022)

```

1 | CommunicationInterface
2 |     .getInstance()
3 |     .post(new MiscellaneousEvent("{\"timestamp\": 1652281650000,
   |         \"percentage\": 87.5}"),
   |         SmartObjectInfo.getInstance().getDeviceUUID());

```

QUELLTEXT 7.1 – *Exemplarisches Versenden eines Miscellaneous Events, welches Informationen über den Batteriestand beinhaltet, mittels der Smart Object Library.*

interaktionsbezogene Nachrichten werden dabei mittels des neu etablierten *Miscellaneous Event Service* an alle Komponenten eines Ensembles weitergeleitet, sodass jede Komponente entscheiden kann, ob sie die empfangene Nachricht verarbeitet oder nicht. Smarte Objekte oder Ambiente Anwendungen registrieren sich hierzu auf diesen Service und leiten Nachrichten von Komponenten des Ensembles an die Bibliothek weiter. Das Versenden einer nicht-interaktionsbezogenen Beispielnachricht bezüglich des Ladestands in Form einer serialisierten JSON-Zeichenkette ist in Quelltext 7.1 dargestellt.

EntwicklerInnen können dabei Schemata für ihre Nachrichten bereitstellen, die zur Validierung eingehender Nachrichten in Bezug auf ein Schema genutzt werden können, sodass gegebenenfalls anschließend eine Verarbeitung des Inhalts durchgeführt werden kann. So ist beispielsweise ein Schema für Batteriestatusmeldungen auf viele batteriebetriebene Smarte Objekte anwendbar, die ihren Ladestand weitergeben sollen. Eine Anwendung kann diese Nachrichten parsen und den Batteriestand in einer Oberfläche darstellen.

Zudem wurden der periodische Versand von Nachrichten über die Erreichbarkeit (*Alive Message*) des Smarten Objects bzw. der Ambienten Anwendung realisiert, die den Mediator über die bestehende Verfügbarkeit informieren und so ein schnelleres Reagieren auf eine Trennung vom Netz und somit eine Stabilisierung zu ermöglichen.

Zur Realisierung des nachfolgend beschriebenen Virtual Device Daemons sowie für dynamische Anwendungsfälle ist eine flexible Registrierung von Methoden für die Behandlung von Gerätefunktionsaufrufen notwendig. Da diese vormals nur über sogenannte semantische Markierungen (statische Annotationen, die an Methoden angehängt werden, sodass diese mittels Java Reflection zur Laufzeit identifiziert werden können), wäre eine (automatische) Codegenerierung und erneute Übersetzung für eine dynamische Registrierung notwendig. Stattdessen wurde im Zuge dieser Arbeit auf die Einführung von Ereignisbehandlungsroutinen (*Listener*) für die Aufrufe von Gerätefunktionen zurückgegriffen, sodass Listener-Methoden beispielsweise dynamisch für alle in einer Selbstbeschreibung hinterlegten Gerätefunktionen registriert werden können. Ereignisbehandlungsroutinen wurden darüber hinaus auch für Änderungen bezüglich der durch den Vermittlungsprozess ermittelten Verbindungen eingeführt, sodass Änderungen bezüglich der das Gerät bzw. die Anwendung betreffenden Verbindungen verfolgt werden können. Diese Komponenten bilden somit die Grundlage für den nachfolgend beschriebenen Virtual Device Daemon.

Da viele unterschiedliche Smarte Objekte und Ambiente Anwendungen auf denselben oder ähnlichen Konfigurationen beruhen, die typischerweise denselben Regeln folgen sollen, wurde mit der *Smart Object Config* eine Konfigurationsmöglichkeit geschaffen, die eine Parametrisierung des Builders erlaubt und somit die Erstellung vereinfacht. Sie umfasst insbesondere auch Standardkonfigurationen für die Einstellungen, wo dies möglich ist. Falls benötigte Konfigurationen fehlen, die nicht durch Standardwerte festgelegt sind, bricht die Ausführung mit einer Fehlermeldung ab. Ansonsten wird entweder auf bereitgestellte Konfigurationen oder auf Standardwerte zurückgegriffen. Die Regeln sehen vor, dass die Konfigurationen auf unterschiedlichen Ebenen überschrieben werden. Per Umgebungsvariablen definierte Konfigurationen überschreiben Konfigurationen, die über eine Konfigurationsdatei bereitgestellt werden und diese wiederum überschreiben etwaige Standardwerte.

Die Konfigurationsparameter umfassen dabei:

UUID Der für das Smarte Objekt oder die Ambiente Anwendung zu verwendender Bezeichner. Fall nicht angegeben, wird ein UUID generiert.

Position Der anhand des Positionierungsschemas bestimmte Ort der Komponente. Falls nicht angegeben, wird auf einen Stellvertreterwert zurückgegriffen.

Protokoll Das zu verwendende Kommunikationsprotokoll (UPnP oder DPWS). Falls nicht anders angegeben, wird UPnP verwendet.

Timeouts Mittels zwei Timeout-Parametern können Timeouts seitens der UPnP-Kommunikation und über einen zusätzlichen Kanal (realisiert als Service) eingestellt werden. Bei einem Timeout wird die Komponente aus der Liste lokalisierter Komponenten entfernt und kann, falls noch angebunden, erneut lokalisiert werden. Falls nicht abweichend angegeben, werden für UPnP 15 Sekunden und für den zusätzlichen Kanal 10 Sekunden verwendet. Diese Werte wurden experimentell ermittelt und haben sich als geeigneter Kompromiss zwischen Stabilität (geringere Werte resultieren mitunter in periodischen Verbindungsabbrüchen und -aufbauten) und Verzögerung bei einem Verbindungsabbruch herausgestellt.

Medienserver Angaben zu Port, Adresse und internem Pfad zu den per Server abrufbaren Dokumenten (beispielsweise in der SODL verknüpfte Medieninhalte, wie Abbildungen, Animationen etc., die vom Smarten Objekt bzw. von der Ambienten Anwendung selbst gehostet werden). Falls nicht abweichend angegeben, wird die lokale Adresse automatisch ermittelt und der Port auf 1234 gesetzt. Ohne explizite Angabe eines Pfads sind nur Medieninhalte abrufbar, die über die Systemressourcen (*resources*) verfügbar sind (sich also im Suchpfad für Klassen befinden).

Smarte Objekte oder Ambiente Anwendungen, die über diese Parameter hinaus weitere Konfigurationsoptionen benötigen, können die *Smart Object Config* mittels Vererbung erweitern. Hierzu wurde für die Initialisierung auf das Entwurfsmusters der abstrakten Fabrik (vgl. Gamma et al., 1995) zurückgegriffen, sodass sowohl die bereits vorgesehenen Parameter als auch neue über den Regelsatz bereitgestellt werden können.


```

1 public class Application {
2     public static final String DESCRIPTION_FILE_NAME =
3         "description.xml";
4     public static void main(String[] args) throws Exception {
5
6         SmartObjectConfig config =
7             SmartObjectConfig.fromFileIfPresent(args.length > 0 ?
8                 args[0] : SmartObjectConfig.DEFAULT_CONFIG_PATH);
9
10        RunnableSmartObject device = config.setupBuilder()
11            .withDeviceDescription(ClassLoader
12                .getResourceAsStream(DESCRIPTION_FILE_NAME))
13            .build();
14    }

```

QUELLTEXT 7.2 – Exemplarische Initialisierung eines Smarten Objekts mittels der Smart Object Config und dem Smart Object Builder.

Die Erstellung eines Smarten Objekts ist – wie in Quelltext 7.2 dargestellt – mittels der Smart Object Config mit einer Standardkonfiguration mit wenigen Codezeilen möglich. Hierbei wird insbesondere die Komplexität der Netzwerk-konfiguration, der Komponenten zur Selbstreflexion und Schnittstellen zur Selbsterklärung abstrahiert und das Objekt mit sinnvollen Werten initialisiert. Falls per Übergabeparameter bereitgestellt, wird die Konfiguration vom übergebenen Pfad eingelesen. Alternativ wird auf einen Standardpfad ausgewichen. Falls sich an dem angegebenen Pfad keine Konfigurationsdatei befindet, werden zunächst Standardwerte angenommen. Sofern Konfigurationsoptionen über Umgebungsvariablen gesetzt sind, werden diese gegenüber den Konfigurationen in der Datei bevorzugt. Anschließend wird aus dem Konfigurationsobjekt ein Smart Object Builder erzeugt, welcher das entsprechend konfigurierte Smarte Objekt initialisiert. Abschließend wird mit der Ausführung begonnen.

Der systemische Aufbau der Smart Object Library ist in Abbildung 7.7 dargestellt. Unterschiedliche zur Verfügung gestellte Services befähigen die jeweilige Komponente zur Teilnahme an Geräteverbänden und zur Selbsterklärung. Neben den in Unterabschnitt 4.5.2 beschriebenen Services, dient der *Miscellaneous Event Service* dem Austausch von nicht-interaktionsbezogenen Nachrichten. Ein Gerät oder eine Anwendung kann die Bibliothek über den Event Bus nutzen. Zur Koordination der Darstellung unterschiedlicher Anleitungen dient die *Display Strategy Registry*, wodurch Geräte- bzw. AnwendungsentwicklerInnen ein konkretes Verfahren zur Verarbeitung hinterlegen können. Auch die Realisierung der Geräte- bzw. Anwendungslogik sowie die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle obliegt den EntwicklerInnen.

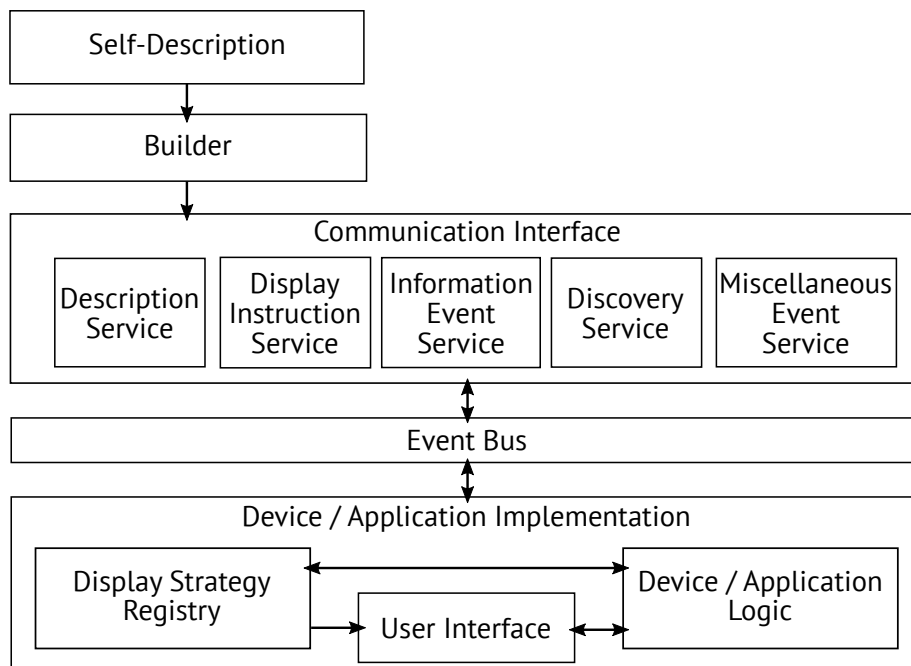


ABBILDUNG 7.7 – Aufbau der Referenzimplementierung der Smart Object Library (vgl. auch Burmeister, 2018). Ein Event Bus dient dem Nachrichtenaustausch zwischen der Kommunikationsschnittstelle und der geräte- bzw. anwendungsspezifischen Implementierung. Das Smarte Objekt bzw. die Ambiente Anwendung wird durch einen Builder basierend auf einer Selbstbeschreibung erstellt und initialisiert. Über eine Kommunikationsschnittstelle werden unterschiedliche Dienste für die Selbstbeschreibungen, Konfigurationen, Interaktionen und nicht-interaktionsbezogene Nachrichten bereitgestellt.

7.3 DER VIRTUAL DEVICE DAEMON UND API

Wie bereits beschrieben, lassen sich auch Ambiente Anwendungen mittels der Smart Object Library realisieren. Allerdings werden moderne Anwendungen typischerweise mit anderen Programmiersprachen realisiert und nur selten kommt tatsächlich die Programmiersprache Java zum Einsatz. In der jüngeren Vergangenheit wurden hingegen vermehrt Webtechnologien zur Anwendungsentwicklung – auch zur Realisierung nativer Anwendungen – eingesetzt. Basierend auf Electron⁶ und anderen Technologien werden JavaScript-Anwendungen mittlerweile auch außerhalb des Webbrowsers eingesetzt.

Folglich bietet eine Schnittstelle große Vorteile, wenn sie aus diversen Programmiersprachen ansprechbar und insbesondere auch vom Webbrowser aus genutzt werden kann. Im Kontext dieser Arbeit wurde daher eine derartige Schnittstelle realisiert. Sie basiert auf dem sogenannten Virtual Device Daemon, ein im Hintergrund laufender Prozess, der stellvertretend für ein Smartes

⁶ <https://www.electronjs.org/> (Abrufdatum 21.12.2022)

Objekt oder eine Ambiente Anwendung ausgeführt wird und eine Verbindung zu den restlichen Systemteilen des Frameworks herstellt. Der Daemon kann mittels Konfigurationsdateien und Konfigurationen über Umgebungsvariablen bedarfsweise konfiguriert werden und verarbeitet zunächst die mitgegebene Selbstbeschreibung. Anschließend registriert der Daemon für jeden Eintrag auf der semantischen Ebene eine Ereignisbehandlungsroutine, sodass diese über Ausgabefunktionsaufrufe informiert wird. Zudem werden Routinen für die bereits beschriebenen Miscellaneous Events und für Verbindungsinformationen sowie für generierte Anleitungen registriert, sodass auch diese Informationen über den Daemon bereitgestellt werden können.

Der Virtual Device Daemon stellt eine WebSocket-basierte Schnittstelle bereit, über die weitere Anwendungen mit diesem kommunizieren können. Der Daemon bildet somit also eine Brücke zwischen dem Framework und weiteren per WebSocket-Verbindungen angeschlossenen Komponenten. In der Konsequenz lässt sich eine Ambiente Anwendung oder ein Smartes Objekt durch den gemeinsamen Einsatz und die Verbindung von Daemon und weiteren Softwarekomponenten realisieren. Sämtliche relevanten Informationen werden per WebSocket-Verbindung an die Gegenstelle weitergeleitet, aber auch Aufrufe initiiert durch die verbundene Gegenstelle lassen sich realisieren, sodass auch Eingaben durch das Smarte Objekt bzw. die Ambiente Anwendung realisiert werden können. Der systemische Aufbau des Virtual Device Daemons ist in Abbildung 7.8 dargestellt.

Neben den bereits beschriebenen Konfigurationsoptionen der Smart Object Library gibt es für den Daemon folgende weitere Einstellmöglichkeiten:

WebSocket-Port Die Portnummer des WebSocket-Servers. Falls nicht anders angegeben, wird der Port 8080 verwendet.

SODL Der Pfad zur Selbstbeschreibung oder der Inhalt der Selbstbeschreibung können angegeben werden. Falls nicht vorhanden, bricht der Daemon mit einer Fehlermeldung ab.

Zusatzkonfigurationen Über dieses Feld lassen sich weitere Konfigurationen im XML-Format an die mit dem Daemon verbundene Gegenstelle weiterleiten. Es kann beispielsweise für die Mitteilung von Zugangsdaten für eine Datenbank oder einen Message Broker genutzt werden, die von der Gegenstelle weiterverwendet werden.

Smarte Objekte und Ambiente Anwendungen können mittels der *Virtual Device API*, eine Sammlung unterschiedlicher Bibliotheken, die die WebSocket-Verbindung abstrahieren, mit dem Daemon verbunden und somit zur Selbsterklärung befähigt werden. Das betrifft insbesondere auch Anwendungen, die in der Sandbox eines Browsers ausgeführt werden und über den Virtual Device Daemon sowie im Zuge des Frameworks Teil unterschiedlicher Ensembles werden können.

Bisher sind Bibliotheken für die Programmiersprachen JavaScript, Python und C# realisiert worden. Die Bibliotheken für Python und C# wurden bisher in erster Linie für verschiedene Eingabegeräte verwendet, während die JavaScript-Schnittstelle bisher hauptsächlich zur Integration von Ambienten Anwendungen

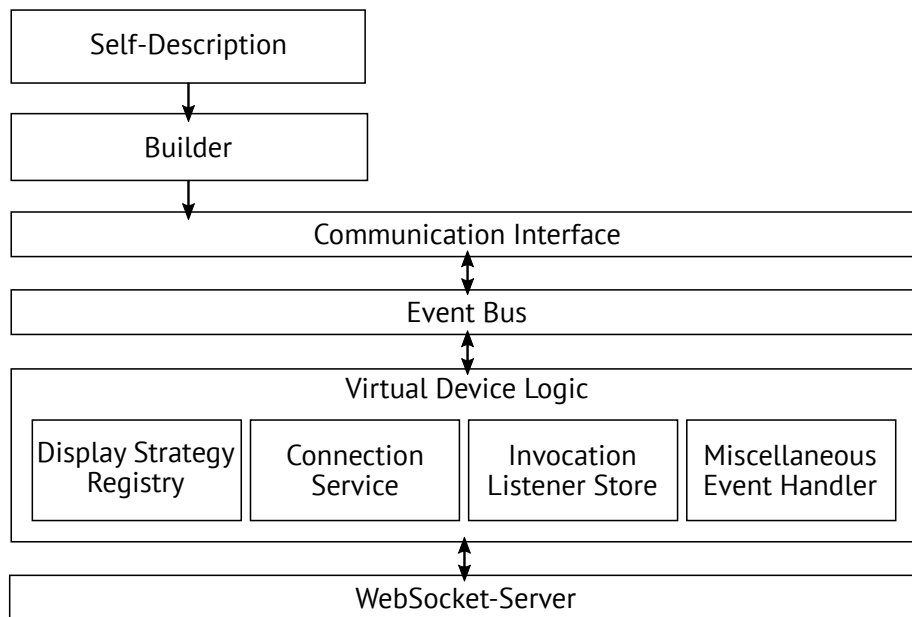


ABBILDUNG 7.8 – Aufbau der Referenzimplementierung des Virtual Device Daemons. Grundlage stellt die Smart Object Library dar. Das virtuelle Smarte Objekt wird durch einen Builder basierend auf einer Selbstbeschreibung erstellt und initialisiert. Zudem werden Ereignisbehandlungsroutinen für unterschiedliche Nachrichten registriert. Vom Daemon ausgehende Nachrichten (Geräteeingaben bzw. Eingaben mittels einer Ambienten Anwendung) werden mittels Event Bus weitergeleitet. Eine Kommunikation mit der Gegenstelle findet per WebSocket-Verbindung statt.

genutzt wurde. Da das Framework auf fest definierten Nachrichten basiert und diese Nachrichten auch auf (mittels JSON-Schema⁷) festgelegte Weise im JSON-Format⁸ weitergeleitet werden, ist die API leicht um weitere Bibliotheken erweiterbar.

Die Bibliotheken stellen jeweils einen WebSocket-Client zur Verfügung, der eine Verbindung zum Server aufbaut. Hierzu wird die IP-Adresse und der Port des Servers benötigt. Typischerweise wird der Daemon auf demselben Gerät ausgeführt, wie die konkrete Anwendung, sodass bei der Adresse der *localhost* verwendet werden kann. Der Server stellt dabei sicher, dass es sich um eine 1:1-Verbindung (der Server und ein verbundener Client) handelt. Neben der Möglichkeit, Ereignisbehandlungsroutinen für die eingehenden Nachrichtentypen (Verbindungsinformationen, Konfiguration inklusive der Zusatzkonfigurationen, Invocations und Miscellaneous Events) zu registrieren, stellen die Bibliotheken Methoden für das Weiterreichen von Invocations und Miscellaneous Events bereit, die von der Client-Seite ausgehend in das Framework geschickt werden.

⁷ <https://json-schema.org/> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁸ <https://www.json.org/> (Abrufdatum 21.12.2022)

```

1 | const vdws = new
   |     vdapi.VirtualDeviceWebSocket("ws://localhost:8080");
2 |
3 | vdws.onMiscMessage(function(message) {
4 |     // Verarbeite Miscellaneous Event
5 | });
6 |
7 | vdws.on("Semantic:TurnOn", "Comp:LightBulb:PowerState",
   |     function(invobj) {
8 |     // Verarbeite Gerätefunktionsaufruf
9 | });

```

QUELLTEXT 7.3 – Beispiel der Initialisierung einer WebSocket-Verbindung zu einem Daemon und der Registrierung von Callbacks für Miscellaneous Events und Gerätefunktionsaufrufe mittels der JavaScript-Bibliothek der Virtual Device API.

```

1 | vdws.sendMessage("Button", "Click");

```

QUELLTEXT 7.4 – Exemplarisches Versenden eines Interaktionsprimitivs mittels der JavaScript-Bibliothek der Virtual Device API.

```

1 | vdws.sendMiscMessage("{\"timestamp\": 1652281650000,
   |     \"percentage\": 87.5}");

```

QUELLTEXT 7.5 – Exemplarisches Versenden eines Miscellaneous Events mittels der JavaScript-Bibliothek der Virtual Device API, welches Informationen über den Batteriestand beinhaltet.

Eine Initialisierung der Verbindung zum Virtual Device Daemon und eine Registrierung von Callbacks für interaktionsbezogene und nicht-interaktionsbezogene Nachrichten im Ensemble ist mittels der Virtual Device API mit wenigen Codezeilen möglich. Quelltext 7.3 zeigt dabei exemplarisch den Einsatz der JavaScript-Bibliothek der API. Das Versenden eines exemplarischen Interaktionsprimitivs sowie einer nicht-interaktionsbezogenen Beispielnachricht sind Quelltext 7.4 respektive Quelltext 7.5 dargestellt.

Die aktuellen Versionen der Programmierschnittstelle stehen dabei über ein NPM-Repository⁹ (node.js, JavaScript), ein PyPI-Repository¹⁰ (Python) sowie ein NuGet-Repository¹¹ (C#) zur Verfügung.

⁹ <https://maven.itm.uni-luebeck.de/service/rest/repository/browse/npm/virtual-devicejsapi/> (letztes Abrufdatum 21.12.2022)

¹⁰ <https://maven.itm.uni-luebeck.de/service/rest/repository/browse/pypi/virtual-devicepythonapi/> (letztes Abrufdatum 21.12.2022)

¹¹ <https://maven.itm.uni-luebeck.de/service/rest/repository/browse/nuget-group/VirtualDeviceCsWebSocketLibrary/> (letztes Abrufdatum 21.12.2022)

7.4 GRUNDLAGEN EINES TUTORIALSYSTEMS

Das Framework bietet Grundlagen für Tutorielsysteme, welche die Einbindung Ambienter Anwendungen unterstützen. Hiermit sind interaktive Tutorials gemeint, welche die BenutzerInnen in geführten Prozessen anleiten können, indem durch das jeweilige System sukzessive Aufgaben zur Bedienung unterschiedlicher adressierter Ensembles gestellt und der Erfolg der Bedienung automatisch ermittelt werden. So lassen sich prinzipiell Generatoren in die Vermittlungskomponente integrieren, die direkt interaktive Tutorials erzeugen, beispielsweise basierend auf HTML und JavaScript (vgl. Burmeister und Schrader, 2018). Zudem lassen sich die aktuellen Zustände der einzelnen Komponenten abfragen, sodass eine Fortschrittsermittlung im Tutorial realisierbar ist.

Der im Rahmen dieser Arbeit verfolgte Ansatz basiert hingegen auf der Erkenntnis, dass Ambiente Anwendungen typischerweise bereits reichhaltige Verarbeitungs- und Darstellungskapazitäten für Tutorielsysteme mitbringen und eine Integration eines Tutorials in die Anwendungen daher gewinnbringend eingesetzt werden kann. Dabei kann das Tutorielsystem in eine an einem Ensemble teilnehmende Ambiente Anwendung integriert werden. Es ist aber auch denkbar, dass eine separate Anwendung zur Darstellung des Tutorielsystems genutzt wird.

Das Framework liefert hierzu eine Vorverarbeitung der darzustellenden Informationen basierend auf im JSON-Format bereitgestellten vorformulierten, natürlichsprachigen (Teil-)Anweisungen sowie eine Möglichkeit ausgeführte Aktionen auf Ausgabegeräten abzurufen, um über die Fortschritte im Tutorial informiert zu sein. Auf dieses Format registrierte Komponenten werden nach der Zusammenstellung der Anleitungsdaten benachrichtigt, sodass die vorverarbeiteten Informationen und grafischen Repräsentationen in der Komponente dargestellt und aufbauend hierauf sowie auf der Fortschrittsermittlung ein Tutorial realisiert werden kann. Vorformulierte Bausteine sehen dabei ähnlich aus, wie die Texte in den in Abschnitt 7.1 vorgestellten HTML-Anleitungen. Auch die grafischen Repräsentationen lassen sich vergleichbar umsetzen.

Je nach Realisierung der für die Darstellung des Tutorials zuständigen Komponente ergeben sich unterschiedliche Situationen für das Tutorielsystem. Bei einer Integration in ein Smartes Objekt oder eine Ambiente Anwendung, die Teil des zu erklärenden Ensembles ist, ist folglich auch das Tutorielsystem Teil desselben Ensembles. Alternativ kann die darstellende Komponente ensembleübergreifend funktionieren und Teil eines anderen Ensembles sein. Falls das Tutorielsystem eine direkte Steuerung benötigt, müssen mitunter zusätzliche Interaktionsgeräte in das jeweilige Ensemble integriert werden. Die Darstellung der Tutorials kann darüber hinaus auch auf einer separaten Komponente und zunächst ohne Bezug zu einem Ensemble erfolgen. Wird in diesem Fall eine direkte Steuerung des Tutorielsystems benötigt, so kann wiederum ein neues Ensemble gebildet werden, welches explizit für die Durchführung der Tutorials zusammengestellt wird.

7.4.1 JSON RENDERING ENGINE

Ein Prototyp der in diesem Abschnitt beschriebenen Rendering Engine wurde von Malgorzata Mlostek in enger Betreuung im Rahmen ihrer Bachelorarbeit (Mlostek, 2021) umgesetzt.

Wesentliche im Kontext dieser Arbeit entworfene Grundlage für Tutorialsysteme stellt die in den Description Mediator und somit in das Framework integrierte Rendering Engine für Anleitungen im JSON-Format dar, welche somit zwar kein direkt darstellbares aber ein softwareseitig leicht weiterverarbeitbares Format repräsentiert. Es handelt sich insbesondere um ein menschen- und maschinenlesbares Format, welches aufbereitete Informationen aus den Selbstbeschreibungen beinhaltet, die direkt für eine Anleitung verwendet werden können. Ein Ausgabegerät muss sich also im Wesentlichen um das Layout der Anleitung kümmern. So könnte eine Ambiente Anwendung die Anleitung oder Teile der Anleitung, wie beispielsweise grafische Repräsentanten (also Abbildungen, Animationen, Icons oder Videos), direkt in die Benutzungsschnittstelle integrieren.

Die JSON-Engine wird im *Rendering Engine Coordinator* auf den MIME-Type »application/json; charset=utf-8« (`MediaType.JSON_UTF_8`) registriert, sodass sie an Geräte bzw. Ambiente Anwendungen ausgeliefert wird, die in ihrer Selbstbeschreibung eine entsprechende Ausgabefähigkeit vermerkt haben. Die Zeichenkodierung UTF-8 ist dabei die üblicherweise verwendete Kodierung, die zum Zweck der Sichtbarkeit explizit angegeben wird.

Die Engine basiert auf der Basisklasse `RenderingEngineDFS` (DFS steht hier für *depth-first search*, also eine Tiefensuche), sodass die Selbstbeschreibungen des Ensembles mittels der Traversierungsstrategie der Tiefensuche durchgearbeitet und somit die Baumstruktur der Selbstbeschreibung zuerst in der Tiefe verarbeitet wird. Das bedeutet, dass beginnend mit der Zielebene für jede mittels der Interaktionsmodellierung abgebildete Ebene des Virtual Protocol Model in der Selbstbeschreibung zunächst das erste Element der darunter liegenden Ebene abgearbeitet wird, bevor mit Nachbarn auf derselben Ebene fortgefahren wird (s. Burmeister, 2018).

Bei der Verarbeitung der unterschiedlichen Interaktionsebenen werden für eine Weiterverarbeitung relevante Informationen zusammengetragen und schrittweise in ein aufbereitetes Objekt aggregiert, wobei in diesem bereits synthetisierte, natürlichsprachliche Teilanweisung beinhaltet sind. EntwicklerInnen haben somit die Möglichkeit, Grundbestandteile der Selbstbeschreibungen eigenhändig anderweitig zusammenzufügen oder für Anleitungen auf vorgefertigte Formulierungen zurückzugreifen.

Zur Überführung des auf diese Art zusammengeführten Objekts in eine mittels JSON formatierte, serialisierte Zeichenkette, wurde auf die Gson-Bibliothek¹² zurückgegriffen.

EntwicklerInnen müssen bei Empfang der JSON-formatierten Anleitung also zunächst die Nachricht parsen bzw. das Nachrichten-Objekt deserialisieren. Anschließend können sie frei auf die Bausteine zugreifen und sich hierbei primär um die Gestaltung des Tutorials kümmern.

¹² <https://github.com/google/gson> (Abrufdatum 21.12.2022)

7.4.2 FORTSCHRITTSERMITTLUNG

Eine Fortschrittsermittlung kann auf Grundlage der (mittels Smart Object Library bzw. Virtual Device Daemon bereitgestellten) Serviceschnittstellen erfolgen. Hierzu kann mittels SOAP auf den Interaction Information Service zurückgegriffen werden, sodass Zustandsänderungen infolge einer Interaktion erfasst und somit Fortschritte bei einer Aufgabe verfolgt werden können. Eine Anwendung, die ein Tutorial realisiert, kann somit nach dem Stellen einer Aufgabe überprüfen, ob die zu steuernde Komponente tatsächlich erfolgreich angesteuert und somit die Aufgabe erfüllt wurde. Eine EntwicklerIn kann zur Formulierung einer Aufgabe auf die Textbausteine in der per JSON formatierten (Teil-)Anleitung zurückgreifen und anschließend SOAP-Anfragen an die Komponenten stellen, um das Durchlaufen eines Tutorials zu realisieren.

Zur Realisierung einer zuverlässigeren Fortschrittsermittlung wurde der Interaction Information Service der Smart Object Library um eine Methode erweitert, sodass sich nicht nur der aktuelle Zustand einer Zustandsgruppe erfragen lässt, sondern zusätzlich der Zeitstempel der letzten Zustandsänderung abgerufen werden kann. Somit lassen sich genauere Schlüsse über wiederholte Funktionsaufrufe ziehen, insbesondere für den Fall, wo sich durch den Funktionsaufruf (zumindest in der Blackbox-Betrachtung, vgl. Abschnitt 6.1) von außen betrachtet keine Zustandsänderungen ergeben. Dies ist immer dann der Fall, wenn bei einer Zustandsgruppe keine Zustände durchgeschaltet werden, wie beispielsweise bei wiederholter Auswahl derselben Lampenfarbe bei einer Smarten Beleuchtung oder bei Navigationselementen einer Ambienten Anwendung.

Da der realisierte Service per SOAP angesteuert wird, lässt sich beispielsweise auch in einer Webanwendung eine entsprechende SOAP-Anfrage stellen und der Zustand einer Zustandsgruppe eines Smarten Objekts bzw. einer Ambienten Anwendung erfragen. Eine exemplarische Anfrage, die als Vorlage für entsprechende in einer Anwendung zu nutzende Anfragen dienen kann, ist in Abbildung 7.9 dargestellt.

7.5 SELBSTORGANISATION UND -ERKLÄRUNGSFÄHIGKEIT DES FRAMEWORKS

Das Framework bietet Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen mittels der separaten Selbstbeschreibung sowie der Fähigkeit das Handeln und dessen Auswirkung zur Laufzeit zu beobachten und Dritten mitzuteilen die Fähigkeit zur Selbstreflexion. Besondere Bedeutung kommt dabei dynamisch zusammengestellten Verbänden von Geräten und Anwendungen zu, die per se nicht selbsterklärend sind und Selbsterklärungen daher erst durch den Einsatz des Frameworks ermöglicht werden. Dabei spielt insbesondere das Zusammenspiel der zusammengestellten Ensembles und deren komponentenübergreifende Fähigkeit zur Reflexion innerhalb einer Smarten Umgebung eine wichtige Rolle, sodass das Framework gesamte Smarte Umgebungen zur Ambienten Reflexion befähigt.

POST	/upnp/dev/{uuid}/svc/de-uniluebeck-itm-smart/InteractionInfo/action <i>Fragt den Zustand der Zustandsgruppe »Navigation« ab.</i>
Header	SOAPAction: "urn:de-uniluebeck-itm-smart:service:↵InteractionInfo:1#GetStategroupDetails"
Body	text/xml; charset=utf-8
	<pre> 1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" 2 standalone="yes"?> 3 <s:Envelope s:encodingStyle= 4 "http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" 5 xmlns:s="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"> 6 <s:Body> 7 <u:GetStategroupDetails xmlns:u="urn:de- 8 ↵uniluebeck-itm-smart:service:InteractionInfo:1"> 9 <StateGroup>Comp:Control:Navigation</StateGroup> 10 </u:GetStategroupDetails> 11 </s:Body> 12 </s:Envelope></pre>
Response	text/xml
200 ok	<pre> 1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" 2 standalone="yes"?> 3 <s:Envelope s:encodingStyle= 4 "http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" 5 xmlns:s="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"> 6 <s:Body> 7 <u:GetStategroupDetailsResponse xmlns:u="urn:de- 8 ↵uniluebeck-itm-smart:service:InteractionInfo:1"> 9 <StateGroupDetails> 10 ↵&lt;?xml version="1.0" encoding="UTF-8" 11 ↵standalone="yes"?&gt; 12 &lt;StateDetails&gt; 13 &lt;State&gt; 14 ↵Comp:Control:Navigation:NavigateLeft&lt;/State&gt; 15 &lt;Timestamp&gt;1653053487075&lt;/Timestamp&gt; 16 &lt;/StateDetails&gt; 17 </StateGroupDetails> 18 </u:GetStategroupDetailsResponse> 19 </s:Body> 20 </s:Envelope></pre>

ABBILDUNG 7.9 – Beispielaufwurf des Interaction Information Service mittels einer SOAP-Anfrage für die Details einer Zustandsgruppe.

Typischerweise erklären sich dabei nicht einzelne Geräte und Anwendungen gegenüber den BenutzerInnen selbst, sondern es findet eine komponentenübergreifende Erklärung von Systemverbänden statt. Die Selbsterklärungen können also, sofern die Komponenten das zulassen, pro Ensemble stattfinden. Erklärungen können aber auch ensembleübergreifend bereitgestellt werden, beispielsweise kann es eine umfangreiche Erklärung pro Smarter Umgebung geben oder Erklärungen pro räumlicher oder logischer Einheit in einer Smarten Umgebung stattfinden.

Bezüglich der Selbstorganisation stellt Burmeister (2018) bereits heraus, dass die Selbststabilisierung des Frameworks in Anlehnung an das Selbst-X-Prinzip eine Möglichkeit zur Selbstorganisation darstellt und unterscheidet hierzu drei Ausprägungen für den Einsatz der Vermittlungskomponente:

Zentralisiert In der Ausprägung als zentralisierter Systembestandteil wird eine Instanz des Mediators durchgehend auf einer Komponente im Netzwerk ausgeführt. Vorstellbar ist eine Ausführung auf einem Residential Gateway bzw. einem Router.

Ad-Hoc Einige oder alle Smarten Objekten bzw. Ambienten Anwendungen werden dazu befähigt, selbst die Rolle des Mediators zu übernehmen (beispielsweise indem sie bei Bedarf und, sofern sie dazu in der Lage sind, selbst eine Instanz des Mediators ausführen). Eine Koordinatorwahl kann dabei eingesetzt werden, um diesen Prozess zu koordinieren und widersprüchliche Konfigurationen durch den Einsatz mehrerer Mediatoren zu vermeiden.

Nutzerpräferiert Eine BenutzerIn wählt einen bevorzugten Mediator aus. Ein etwaiger, bereits laufender Mediator beendet seinen Dienst und überlässt die Koordination der von der NutzerIn ausgewählten Komponente. Der Mediator könnte in dieser Situation auf einem von einer NutzerIn mitgebrachten Gerät (beispielsweise einem Smartphone) ausgeführt werden.

Bezugnehmend auf die Definition 4.5 ergeben sich für die Ausprägungen unterschiedliche Grade der Selbstorganisation. Im Falle eines zentralisierten Ansatzes existiert eine Vermittlungskomponente, also ein Kontrollmechanismus für eine variierende Anzahl an gesteuerten Komponenten (also Smarte Objekte und Ambiente Anwendungen), sodass sich hier eine schwache Selbstorganisation ergibt.

Bei einer ad-hoc Bereitstellung kommen k mögliche Vermittlungskomponenten für m gesteuerte Komponenten zum Einsatz, wobei $1 < k \leq m$ (sofern es sich um eine Smarte Umgebung handelt, also zumindest ein paar Smarte Objekte in der Umgebung verfügbar sind), sodass es sich hier um einfache bzw. im Fall von $k = m$ um starke Selbstorganisation handelt.

Je nach konkreter Ausgestaltung der dritten Ausprägung handelt es sich um eine schwache (es ist stets nur die von der BenutzerIn ausgewählte Vermittlungskomponente verfügbar), einfache oder starke Selbstorganisation (in einem Raum eingesetzte Vermittlungskomponenten werden bei Bedarf durch die von der BenutzerIn ausgewählte Komponente verdrängt).

7.6 EVALUATION

Zur Bewertung der Befähigung Smarter Objekte zur Selbstorganisation sowie zur Selbstreflexion mittels des hier vorgestellten Frameworks wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Untersuchungen durchgeführt.

Dabei wurde einerseits der Vermittlungsprozess des Frameworks analysiert, um Aussagen bezüglich der in Abschnitt 3.3 beschriebenen Anforderungen an eine »annehmbaren Zeitspanne« sowie »akzeptable Lösung«, also letztlich die Güte sowie den Zeitaufwand der probabilistischen Vermittlung, treffen zu können.

Darüber hinaus wurde eine quasi-experimentelle Mixed-Design-Studie zur Bewertung der durch das Framework generierten Anleitungen für unterschiedliche Verbünde von Ambienten Anwendungen und Smarten Objekten und somit eine Untersuchung der durch das Framework realisierbaren Selbstreflexion durchgeführt.

7.6.1 EVALUATION DES VERMITTLUNGSVERFAHRENS

Zur Evaluation des Vermittlungsverfahrens des Frameworks wurde auf die von Burmeister et al. (2018) beschriebenen Kriterien und Bedingungen zurückgegriffen, wobei anzunehmen ist, dass diese relativ allgemeingültig und daher in vielen Szenarien anwendbar sind. Diese umfassen eine Eindeutigkeit zwischen Interaktionsprimitiv und Gerätefunktionalität, Gruppierungen zu Interaktionsaufgaben, Konformität zwischen Ein- und Ausgabemengen, Distanz zwischen zwei Komponenten, Abdeckung der steuerbaren Gerätefunktionalität und Konsistenz bei vermittelten Verbindungen (s. Unterabschnitt 4.5.1). Dabei sollte berücksichtigt werden, dass es sich nicht um eine erschlagende Liste handelt und dass für bestimmte Szenarien andere Kriterien und Bedingungen herangezogen werden sollten.

Zur Evaluation des probabilistischen Brute-Force-Algorithmus wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei separate JUnit-Tests entworfen, um einerseits die erzielte Güte der gefundenen Lösungen und andererseits die Laufzeit zu messen. Die beschriebenen Kriterien wurden hierzu gleichgewichtet und multiplikativ zu einer Gesamtgüte verrechnet (Wert zwischen 0 und 1). Dies sorgt auch dafür, dass Lösungen herausgefiltert werden, bei denen eines der Kriterien eine Güte von 0 zurückgibt.

Für jeden Durchgang und jede Wiederholung wurden mehrere Smart Objekte und Ambiente Anwendungen simuliert, die auf der Grundlage vorher festgelegter Parameter zufällig generiert wurden. Dieses Vorgehen spiegelt dabei die in Smarten Umgebungen zu erwartende Heterogenität der Geräte und Anwendungen wider. Die Evaluation wurde auf einem Linux-System mit Ubuntu 18.04, einem Vier-Kern Intel Core i7-7700HQ bei 2,8 GHz und 16 GB DDR4 SDRAM bei 2400 MHz durchgeführt. Bei jedem Durchlauf werden die Ergebnisse für die weitere Analyse protokolliert. Jeder Test wurde mit der gleichen Anzahl von Eingabegeräten, Ausgabegeräten und Umgebungsanwendungen durchgeführt. Eingabe- und Ausgabegeräte bestanden jeweils aus bis zu drei Komponenten. Ambiente Anwendungen bestanden aus bis zu zwei Eingabe- und bis zu zwei

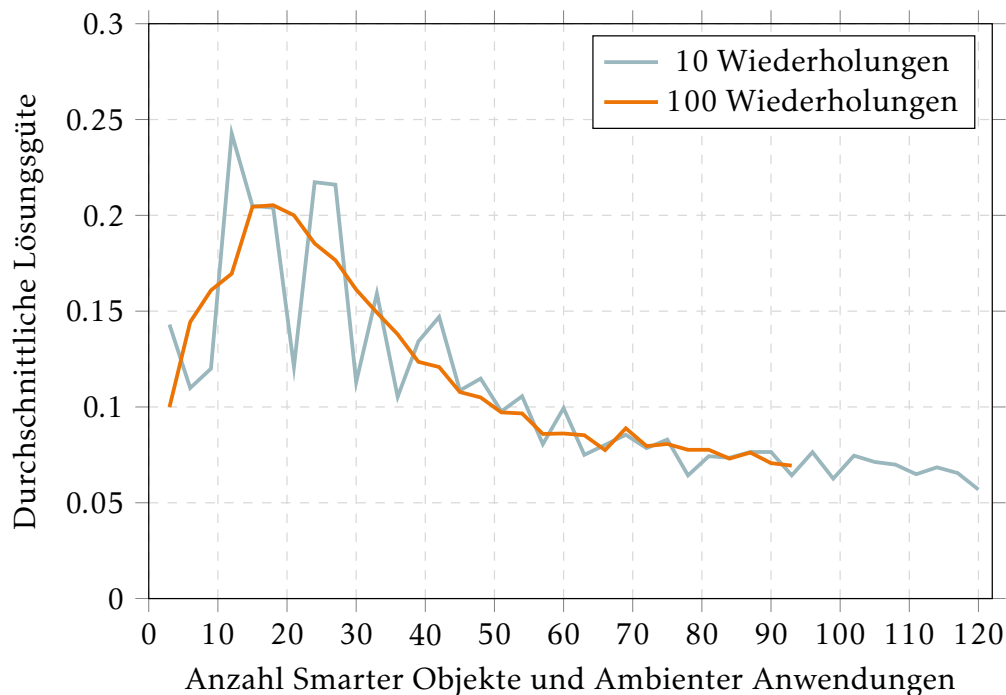


ABBILDUNG 7.10 – Auf dem Testsystem beobachteter Zusammenhang zwischen der Anzahl von Smarten Objekten sowie Ambienten Anwendungen und der Güte der mittels probabilistischem Brute-Force durchschnittlich gefundenen Lösungen.

Ausgabekomponenten. Jedes Gerät und jede Anwendung wurde mit einer zufälligen Anzahl von Zustandsgruppen (bis zu fünf) pro Komponente erzeugt, die entweder aus einer zufälligen Anzahl von Zuständen (ebenfalls bis zu fünf) für diskrete Zustände oder einem zufälligen Wertebereich zwischen 0 und 100 bestehen. Außerdem wurde jedem generierten Gerät oder jeder Anwendung eine zufällige Position in einem festen Positionierungsschema zugewiesen. Details zum Positionierungsschema finden sich in der Dissertation von Burmeister (2018).

Zur Analyse des Abschneidens des probabilistischen Brute-Force-Algorithmus wurde im Zuge dieser Arbeit untersucht, inwiefern die Anzahl der zu vermittelnden Smarten Objekte und Ambienten Anwendungen Einfluss auf die Güte der durchschnittlich besten gefundenen Lösung hat (s. Abbildung 7.10). Hierzu wurde die Anzahl bei jedem Durchlauf schrittweise erhöht. Dabei ist zu beachten, dass bei einer kleinen Anzahl von Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen aufgrund inkompatibler Zustandsgruppen in der Regel keine Lösung gefunden werden kann. Zudem lässt sich beobachten, dass der Algorithmus bei einer kleinen Anzahl noch den gesamten Suchraum durchläuft und somit in diesen Fällen die optimale Lösung findet. Bei steigender Zahl weichen die gefundenen Lösungen zunehmend vom Optimum ab, wobei der Algorithmus auch für große Zahlen noch Lösungen findet, die bei der untersuchten Anzahl an Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen im Durchschnitt eine Güte

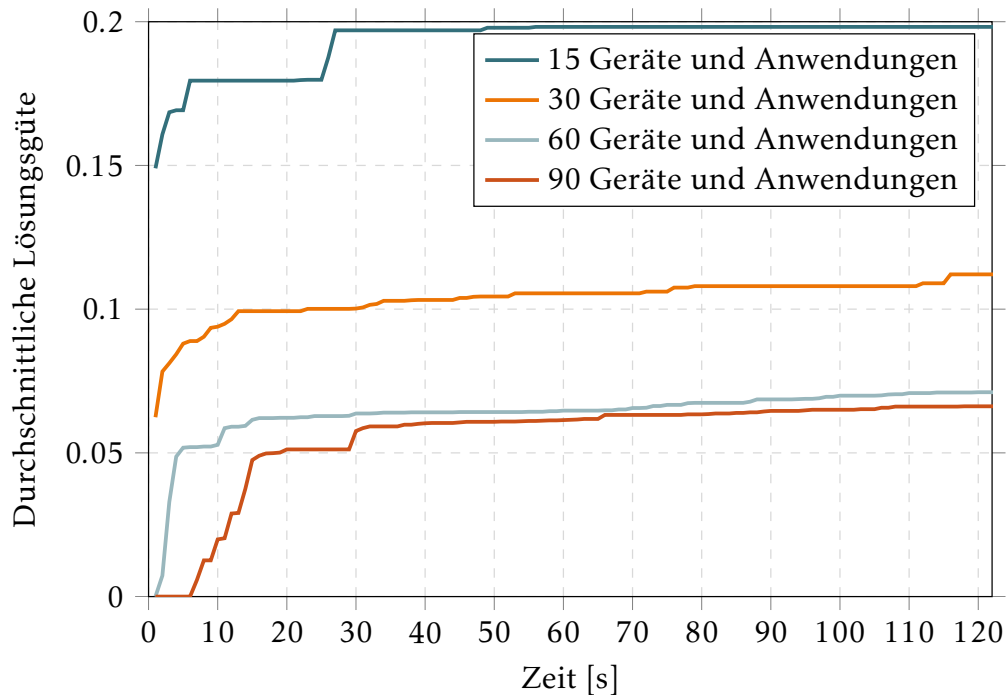


ABBILDUNG 7.11 – Auf dem Testsystem beobachtete durchschnittliche Güte der besten bis zum jeweiligen Zeitpunkt gefundenen Lösungen für eine feste Anzahl an Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen im Zeitverlauf bei zehn Wiederholungen.

von 0,05 überschreitet. Die besten Lösungen werden für etwa 10 bis etwa 30 Smarte Objekte und Ambiente Anwendungen gefunden.

Aufgrund des exponentiellen Zusammenhangs zwischen der Anzahl möglicher Verbindungen und der Größe des Suchraums, kann ein Brute-Force-Ansatz beinahe beliebig viel Zeit mit der Suche nach Lösungen verbringen. Um zu untersuchen, wann der probabilistische Brute-Force-Algorithmus befriedigende oder sogar gute Lösungen findet, wurde im Zuge dieser Arbeit die durchschnittliche Güte der bis zu einem Zeitpunkt gefundenen besten Lösungen bei zehn Wiederholungen erfasst (s. Abbildung 7.11). Das Zeitverhalten des Algorithmus wurde zudem für unterschiedliche, jeweils fest gewählte Anzahlen an Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen analysiert. Die durchschnittliche Güte der besten Lösung, die der Algorithmus bis zum jeweiligen Zeitpunkt gefunden hat, steigt innerhalb der ersten 15 bis 30 Sekunden schnell an. Anschließend werden im Durchschnitt nur noch selten bessere Lösungen gefunden, sodass die durchschnittliche Güte nur moderat zunimmt. Dabei ist hervorzuheben, dass der Algorithmus in der Untersuchung nach etwa 15 Sekunden befriedigende Lösungen (mindestens 70% der nach drei Minuten durchschnittlich gefundenen besten Lösung) und nach etwa 30 Sekunden gute Lösungen (mindestens 85% der nach drei Minuten durchschnittlich gefundenen besten Lösung) gefunden hat. Diese Beobachtung lässt den Schluss zu, dass längere Laufzeiten für den

Algorithmus in den meisten Anwendungsfällen nicht genügend Vorteile bieten, um ihre Kosten zu rechtfertigen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass der Vermittlungsalgorithmus die zeitliche Anforderung erfüllt, dass eine Lösung maximal innerhalb weniger Minuten gefunden werden sollte. Zwar nimmt die durchschnittliche Güte der jeweils besten gefundenen Lösung mit zunehmender Anzahl von Geräten und Anwendungen ab, dennoch ist der Algorithmus in der Lage, Lösungen für das Ensemble-Vermittlungsproblem zu finden, deren Güte sich im Durchschnitt asymptotisch einer positiven unteren Schranke anzunähern scheint. Dieses beobachtete Verhalten lässt den Schluss zu, dass der Algorithmus die Anforderung erfüllt, eine »akzeptable Lösung« innerhalb einer »annehmbaren Zeitspanne« selbst dann zu finden, wenn es sich um ein Szenario mit einer großen Anzahl möglicher Ensembles handelt.

Zur Würdigung der Heterogenität der in einer Smarten Umgebung potentiell einsetzbaren Smarten Objekte und Ambienten Anwendungen wurden im Zuge dieser Evaluation in vielen Durchgängen diverse unterschiedliche und zufällig generierte Komponenten vermittelt. Da hierbei versucht wurde, einen möglichst allgemeinen Fall abzubilden, stellen die vorgestellten Ergebnisse grundsätzlich zu erwartende Tendenzen dar. Allerdings ist bei der Einordnung der Ergebnisse zu berücksichtigen, dass konkrete reale Szenarien voraussichtlich von den generierten Situationen abweichen werden, sodass das tatsächliche Verhalten in einem konkret vorliegenden Fall abweichen kann. Insbesondere spielen dabei die jeweils eingesetzten Kriterien und Bedingungen sowie die zu erwartenden Smarten Objekte und Ambienten Anwendungen eine Rolle.

7.6.2 EVALUATION DER SELBSTERKLÄRUNGSFÄHIGKEIT

Zur summarischen Evaluation der durch das Framework realisierten Selbsterklärungsfähigkeit von dynamisch zusammengestellten Ensembles, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine quasi-experimentelle Mixed-Design-Studie durchgeführt, die zwei Fragebögen, eine teilnehmende Beobachtung und ein semi-strukturiertes Interview umfasste.

Dabei sollte in erster Linie bewertet werden, ob und in welchem Maße es mit den durch das Framework bereitgestellten Komponenten möglich ist, eine nachvollziehbare Anleitung für unterschiedliche Ensembles zu generieren, die neben Smarten Objekten auch Ambiente Anwendungen umfassen. Nicht im Fokus stand dabei die Gebrauchstauglichkeit der Ensembles oder der generierten Anleitungen. Zweiteres liegt darin begründet, dass der Fokus dieser Arbeit darauf gerichtet ist, eine Grundlage für die Bereitstellung derartiger oder vergleichbarer Anleitungen bzw. Tutorials zu schaffen. Die konkrete Ausgestaltung der HTML-Rendering-Engine stand hingegen nicht im Mittelpunkt, wobei jedoch die Varianten der textuellen, der bebilderten und der animierten Anleitungen gegenübergestellt werden sollten.

Im Zentrum der Evaluation der Selbsterklärungsfähigkeit stand insbesondere die Forschungsfrage, ob sich aus den Selbstbeschreibungen der Bestandteile



ABBILDUNG 7.12 – Laboraufbau bei der Evaluation der Selbsterklärungsfähigkeit

eines typischen Ensembles Anleitungen generieren lassen, um Nutzenden die Steuerung sowie die Systemreaktion der Ensembles effektiv zu vermitteln.

Die TeilnehmerInnen wurden zunächst begrüßt und in den Ablauf und das Thema eingeführt. Darüber hinaus wurden mittels eines eingehenden Fragebogens soziodemografische Daten und Vorerfahrungen der ProbandInnen erfasst. Anschließend erfolgte die teilnehmende Beobachtung sowie das semi-strukturierte Interview. Am Ende eines jeden Durchlaufs wurden die ProbandInnen aufgefordert einen abschließenden Fragebogen zur Bewertung der Anleitungen auszufüllen. Der Laboraufbau für die Studie ist in Abbildung 7.12 dargestellt. Die Ablaufbeschreibung (inklusive Interviewleitfaden), Einverständniserklärung und die Fragebögen sind in Anhang C hinterlegt.

Die teilnehmende Beobachtung gliederte sich in drei Teile, wobei jeweils eine Steuerung eines Ensembles erlernt und erprobt werden sollte. Die Ensembles unterschieden sich dabei in ihrer Komplexität, wobei zunächst ein Ensemble bestehend aus dem ballförmigen Eingabegerät BIRDY und einer Kommunikationsanwendung, anschließend ein Ensemble bestehend aus einer Raumsteuerungsanwendung, einer smarten Lampe, einem smarten Thermostat und der Leap Motion und abschließend ein Ensemble bestehend aus dem Litho-Controller, dem Flic-Button und einer Schmerz-Dokumentationsanwendung zum Einsatz kamen. Insgesamt sollten die ProbandInnen fünf Aufgaben mit den Ensembles ausführen und hierzu zunächst die generierten Anleitungen nachvollziehen. Für die meisten Komponenten waren die notwendigen Eingabeaktionen in den Anleitungen durch Animationen dargestellt. Ausnahmen hiervon stellen die Leap Motion und der Flic-Button dar, wo lediglich Abbildungen zur Illustration genutzt wurden. In allen Fällen gab es überdies eine textuelle Beschreibung der Eingabeaktionen. Danach sollten die ProbandInnen die benötigten Geräte aus einer auf einem Tisch liegenden Auswahl von Geräten und um den Tisch

herum positionierten Anwendungen identifizieren. Anschließend wurden die ProbandInnen aufgefordert, die nötigen Interaktionen mit den identifizierten Geräten auszuführen, um die Aufgabe zu erfüllen. Dabei erfolgte die tatsächliche Steuerung der Ensembles nach dem Wizard-of-Oz-Prinzip nicht durch die genutzten Geräte, sondern mittels einer Fernsteuerung durch den Versuchsleiter. Bei fehlerhaften Eingaben wurden die ProbandInnen darauf hingewiesen, dass die von Ihnen getätigte Eingabe keinen Effekt hat. Zudem wurden die ProbandInnen aufgefordert, die von Ihnen intendierten Aktionen verbal zum Ausdruck zu bringen, um das Vorgehen nachvollziehbar zu gestalten.

Der Interviewleitfaden umfasste je Ensemble drei Fragen, wobei einerseits mögliche Probleme identifiziert, die potentielle Verortung der Anleitungen diskutiert und weitere Bemerkungen angeführt werden sollten. Die Interviewfragen wurden jeweils nach der Benutzung der Ensembles gestellt. Während der Durchführung gab es jederzeit die Möglichkeit für Zwischenfragen und spontane Anmerkungen.

Für die Studie wurden Studierende der Universität zu Lübeck herangezogen, die einerseits durch einen Aufruf über den E-Mailverteiler und durch persönliche Ansprache akquiriert wurden. Aus der Studie ausgeschlossen wurden Personen, die die deutsche oder die englische Sprache nicht gut genug beherrschen, um die im Fragebogen verankerten Fragen angemessen zu beantworten oder die generierten englischsprachigen Anleitungen zu verstehen. Außerdem wurde eine selbstständige Anreise zum Ort der Durchführung (Laborräume des Instituts für Telematik an der Universität zu Lübeck) vorausgesetzt, sodass entsprechende eingeschränkte Personen nicht teilnehmen konnten.

Insgesamt nahmen zwölf ProbandInnen an der Studie teil, wobei sich fünf Personen dem weiblichen und sieben dem männlichen Geschlecht zuordneten. Der Altersdurchschnitt lag bei 25 Jahren (Standardabweichung 3,6 Jahre). Sieben der Teilnehmenden studierten zum Zeitpunkt der Durchführung einen der Informatikstudiengänge, zwei Humanmedizin und drei Gesundheits- und Versorgungswissenschaften. Die ProbandInnen wiesen durchschnittlich eine hohe interaktionsbezogene Technikaffinität (ATI) von 4,57 auf (Standardabweichung 1,25 und cronbachsches Alpha 0,96), welche mittels des von Franke et al. (2019) entwickelten Fragebogens erhoben wurde. Die überwiegende Mehrheit der ProbandInnen hatte keine Vorerfahrungen mit den im Rahmen der Studie eingesetzten Interaktionsgeräten, kannte jedoch Smarte Objekte mit Ausgabe-funktionalität, wie smarte Thermostate oder smarte Beleuchtungssysteme.

Die gestellten Aufgaben konnten von allen ProbandInnen erfolgreich absolviert werden, wobei insbesondere bei der zweiten und der fünften Aufgabe Interpretationsfehler bezüglich der Gestenausführung auftraten (s. Abbildung 7.13). Dabei konnte beobachtet werden, dass sich die TeilnehmerInnen insbesondere mit den Abbildungen der Gestendarstellung mit der Leap Motion und dem Flic-Button schwer taten. Zudem wurde die Gestenausführung mit dem Litho-Controller, wo bei einer Wischgeste zusätzlich auch der Daumen an das Gerät geführt werden muss, zunächst oftmals falsch ausgeführt. Während viele ProbandInnen diesen Interpretationsfehler nach erneuter, intensiverer Betrachtung der Anleitungen und Lesen der textuellen Beschreibung auflösen konnten, gingen andere

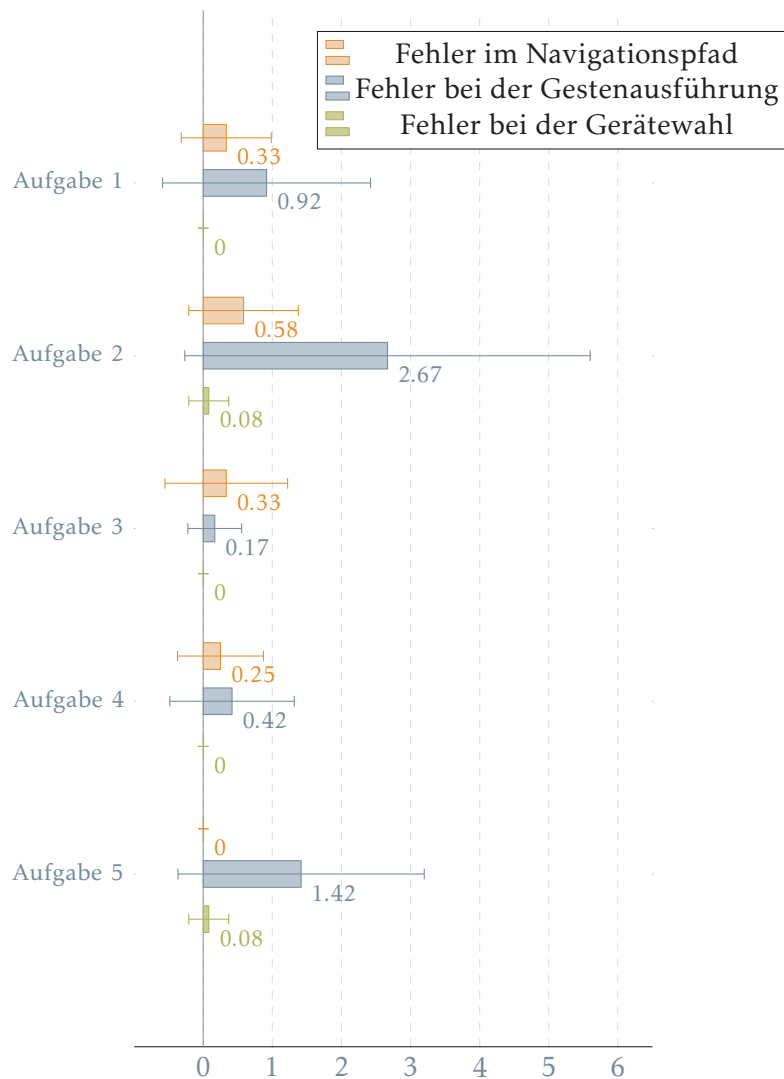


ABBILDUNG 7.13 – Beobachtete Fehler bei der Durchführung der Aufgaben. Die Balken stellen die durchschnittliche Fehlerzahl dar (so wurden bei Aufgabe 1 über alle 12 ProbandInnen hinweg insgesamt 4 Navigationsfehler beobachtet). Die zusätzlichen Markierungen illustrieren die Standardabweichungen.

eher nach dem Prinzip Versuch und Irrtum vor, um zur Lösung zu gelangen. Einige TeilnehmerInnen merkten dabei auch Ungenauigkeiten in der textuellen Beschreibung als Ursache ihres Missverständnisses an.

Mit Ausnahme einer Person, konnten alle ProbandInnen die zu nutzenden Geräte und Anwendungen auf Anhieb identifizieren. Auch der zu absolvierende Navigationspfad war den TeilnehmerInnen meist grundlegend klar und Fehler wurden in einigen Fällen aufgrund des Ausprobierens der Gesten gemacht. Eine kleinere Unsicherheit wurde von einigen ProbandInnen bei der vierten Aufgabe angemerkt, wo zunächst der Weg zurück aus einem Untermenü ins Hauptmenü zu finden war.

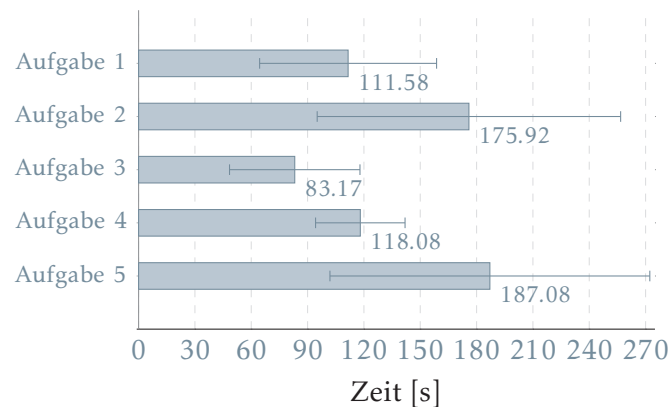


ABBILDUNG 7.14 – Die Balken stellen die durchschnittliche Bearbeitungsdauer der Aufgaben in Sekunden dar. Die zusätzlichen Markierungen illustrieren die Standardabweichungen.

Die beobachtete, erfolgreiche Menünavigation ist insofern bemerkenswert, als dass durch die Blackbox-Betrachtung der Anwendungen im Rahmen der SODL keine Information über den auszuführenden Navigationspfad in den Anleitungen hinterlegt ist, sondern lediglich das zu erreichende Untermenü angegeben wird. Einerseits könnte diese Beobachtung darin begründet liegen, dass die eingesetzten Anwendungen keine komplexen Menüstrukturen aufwiesen. Andererseits ist zu erwarten, dass insbesondere eine entsprechende Gestaltung der Anwendungen hierbei unterstützend wirken kann.

Die benötigte Bearbeitungsdauer der einzelnen Aufgaben korreliert mit den Fehlern bei der Gestenausführung und lässt sich auch auf die Konsequenz zurückführen, sich die Anleitung erneut und genauer anzuschauen. Die gemessenen Bearbeitungszeiten sind in Abbildung 7.14 dargestellt.

Von den ProbandInnen wurde die Selbsterklärungsfähigkeit der Smarten Umgebung(en) als inhaltlich sehr gut verständlich beschrieben, wobei insbesondere die Unterstützung des Lernprozesses der Bedienung der Ensembles sehr positiv bewertet wurde. Auch die Erläuterung der Systemreaktion wurde als gut verständlich angesehen. Bezüglich der Fragen, inwiefern die Animationen, Abbildungen und textuellen Beschreibungen dabei helfen, die Eingabeaktionen zu verstehen, gab es größere Abweichungen im Abstimmungsverhalten. Grundsätzlich wurde den Animationen und Abbildungen eine größere Hilfe beim Verständnis attestiert als den textuellen Beschreibungen, wobei alle drei Darstellungsformen als gute Unterstützung betrachtet wurden.

Die größere Varianz im Antwortverhalten bezüglich der Frage, inwiefern Animationen, Abbildungen und textuelle Beschreibungen dabei helfen, die Eingabeaktionen zu verstehen, könnte auf unterschiedliche Lerntypen der TeilnehmerInnen zurückzuführen sein. Zudem könnte die Formulierung der Texte sowie die Wahl der Abbildungen und Animationen bei der Verständlichkeit eine Rolle gespielt haben und somit die Abweichungen im Antwortverhalten erklären.

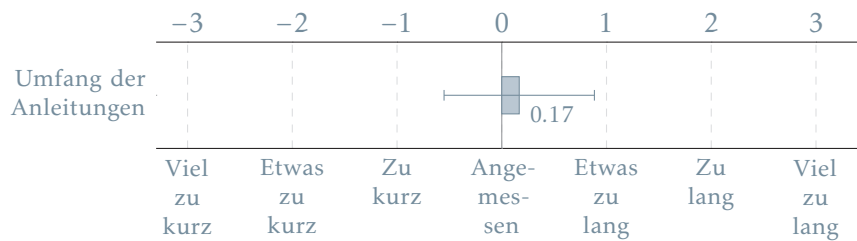


ABBILDUNG 7.15 – Auswertung der Fragebögen zur Bewertung des Umfangs der generierten Anleitungen für die im Zuge der Studie eingesetzten Ensembles. Der Balken stellt die Durchschnittswerte der Antworten dar und die zusätzliche Markierung spiegelt die Standardabweichung wider.

Die sprachliche Verständlichkeit wurde etwas geringer bewertet als die inhaltliche Verständlichkeit. Zudem wurde von den TeilnehmerInnen angegeben, dass die wiederholte Beschreibung ähnlicher Ziele die Übersichtlichkeit der Anleitungen tendenziell negativ beeinflusst. Der Umfang der Anleitungen wurde hingegen insgesamt als angemessen eingeschätzt.

Die Ergebnisse der mittels Fragebögen durchgeführten Befragung zur Bewertung der für die unterschiedlichen Ensembles generierten Anleitungen und somit der durch das Framework realisierten Selbsterklärungsfähigkeit der Smarten Umgebung(en) sind in Abbildung 7.15 und in Abbildung 7.16 dargestellt.

In den Interviews gaben fünf der ProbandInnen explizit an, dass sie die Anleitungen bzw. deren Struktur sehr gut nachvollziehbar fänden. Speziell die Bilder und Animationen wurden dabei von zwei der TeilnehmerInnen positiv hervorgehoben. Allerdings befand auch eine ProbandIn, dass die Animationen nicht bei jeder Abbildung nötig seien.

Unklarheiten bezüglich der Gestaltung der Anleitungen traten laut zwei TeilnehmerInnen insbesondere bei den ausklappbaren Menüs auf, wobei diesen zunächst nicht klar gewesen sei, dass die Dialogelemente anklickbar sind. Darüber hinaus merkten vier ProbandInnen an, dass einige Formulierungen in den Anleitungen ungenau bzw. irreführend seien. Insbesondere bei der Bedienung des Flic-Buttons gab es Unklarheiten bezüglich der Formulierung, dass der Finger zum Gerät hinbewegt werden muss. Tatsächlich muss der Knopf jedoch gedrückt werden.

Zwei der TeilnehmerInnen gaben an, dass ihre Verständnisprobleme bei der Bedienung der Leap Motion unter anderem auf die gewählten Abbildungen der Gesten zurückzuführen seien.

Als Verbesserungsvorschläge bezüglich der Unklarheiten bei den Formulierungen und der Bedienung einiger der Geräte, wurden von drei ProbandInnen detailliertere und explizite Schritt-für-Schritt-Anleitungen genannt.

Abgesehen davon gaben vier ProbandInnen an, dass einige ihrer Verständnisprobleme darauf zurückzuführen seien, dass sie sich die Anleitung nicht genau

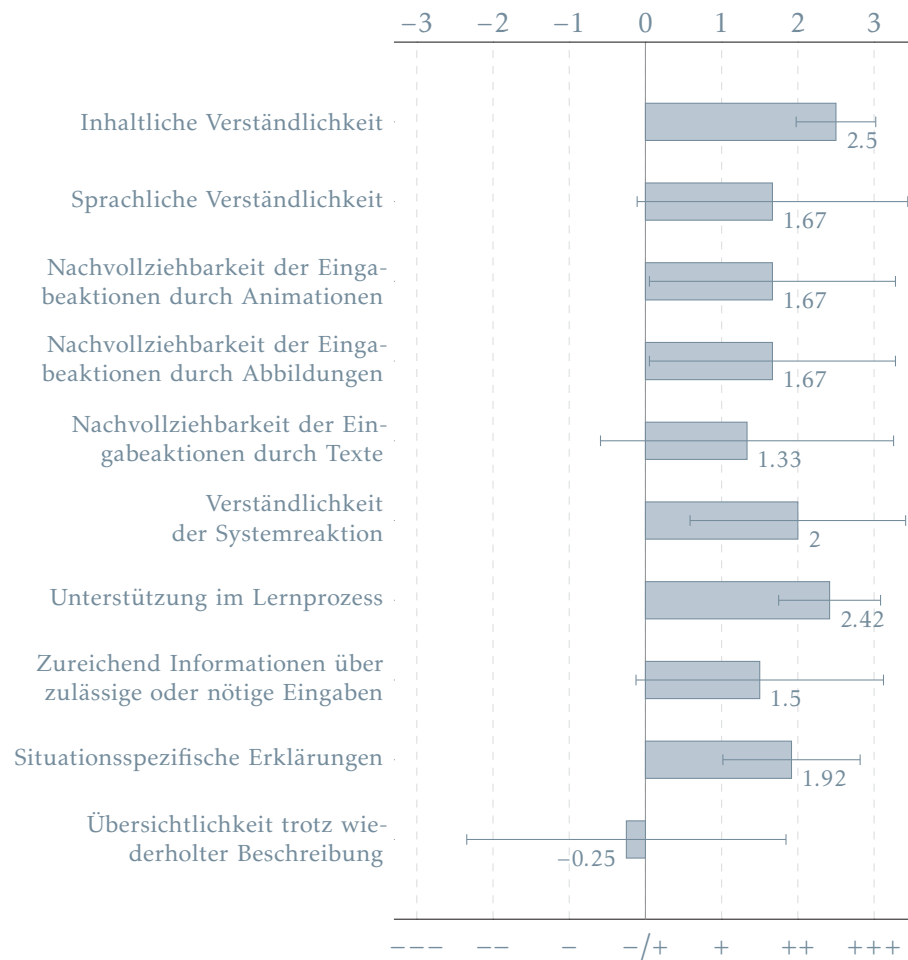


ABBILDUNG 7.16 – Auswertung der Fragebögen zur Bewertung der generierten Anleitungen für die im Zuge der Studie eingesetzten Ensembles. Die Balken spiegeln die Durchschnittswerte der Antworten wider, während die zusätzlichen Markierungen die Standardabweichungen abbilden.

genug angeschaut und zunächst nur Teile der Anleitung (zumeist nur die Abbildungen oder Überschriften) betrachtet hätten.

Die Redundanz in den Anleitungen – beispielsweise bei der Bedienung der Lampenfarbe, wo für jede Farbe eine Erläuterung in der Anleitung auftaucht – wurde von drei ProbandInnen negativ erwähnt.

Zwei der TeilnehmerInnen hätten sich mehr Informationen zur Menüstruktur der zu bedienenden Anwendungen gewünscht, welche aufgrund der Blackbox-Betrachtung aktuell nur ansatzweise adressiert wird.

Auf die Frage, wo im Raum bzw. auf welchem Gerät die ProbandInnen eine Darstellung der Anleitung erwarten oder wünschen würden, konnten sich – abhängig vom Kontext und der Art der beschriebenen Anwendung – elf der TeilnehmerInnen (auch) eine Darstellung auf einem separaten Gerät vorstellen,

wohingegen zehn der TeilnehmerInnen (auch) eine Integration der Anleitung in die Anwendung für sinnvoll hielten. Dabei ging die Tendenz bei Anwendungen für den klinischen Kontext eher zu separaten Anleitungen, wobei eine Integration in die Anwendung selbst eher bei Anwendungen für das Smarte Zuhause als sinnvoll erachtet wurde.

Bei einer Integration der Anleitungen in die Anwendung wurden nötige Wechsel zwischen Anleitung und Anwendung tendenziell als hinderlich angesehen, wobei eine Integration der Anleitungen in Form eines Hilfemenüs oder vor die Nutzung vorgeschaltet genannt wurden. Bei einer Darstellung auf einem separaten Gerät wurde hervorgehoben, dass die Anleitung in der Nähe der Anwendung oder zumindest im Blickfeld der BenutzerInnen dargestellt werden sollte.

Eine ProbandIn gab zudem zu bedenken, dass bei Anwendungen im klinischen Kontext auch das Personal wissen müsse, wie die Anwendung zu bedienen ist und eine separate Anleitung für das Personal sinnvoll sei.

In der Studie wurden ausschließlich Studierende befragt, die der Gruppe der jungen Erwachsenen zuzuordnen sind, die in der digitalen Welt aufgewachsen sind. Verzerrung bezüglich der Ansichten sowie der Beurteilung der Anleitungen sind aufgrund der Altersverteilung, der Technikaffinität und des Bildungshintergrunds nicht auszuschließen. Während die Studienpopulation eine relevante Gruppe unter den potenziellen BenutzerInnen eines Smarten Zuhauses ausmachen, gibt es hinsichtlich der zu erwartenden Zielgruppe im Intensivkontext wenig Überschneidungen. Konsequenterweise sind die Ergebnisse der Studie in dieser Hinsicht kritisch zu betrachten. Insbesondere ist zu erwarten, dass Anleitungen an den Nutzungskontext der Intensivstation bzw. die zu erwartenden eingeschränkten Fähigkeiten (speziell kognitive Einschränkungen) angepasst werden müssen.

Limitationen ergeben sich zudem aus der Stichprobengröße, der Art der Rekrutierung (engl. *selection bias*) und der methodischen Durchführung mittels Interviews, wobei die soziale Erwünschtheit zu Verzerrungen geführt haben kann. Bei den semi-strukturierten Interviews kann es zudem grundsätzlich zu ungleichmäßigen Nachfragen und somit zur Ergebnisverzerrung durch den Interviewer (engl. *interviewer bias*) gekommen sein. Um diesen Effekt zu vermeiden, wurden die Fragen offen formuliert und Suggestivfragen vermieden.

INTEGRATIONSBEISPIEL EINES ENSEMBLES (PROJEKT ACTIVATE)

Während die Aspekte der Selbstorganisation und der Selbstreflexion des in Kapitel 7 vorgestellten Referenzframeworks für ambientreflexive Umgebungen mit Fokus auf den Intensivkontext im Rahmen des vorangegangenen Kapitels untersucht und eingeordnet wurden, blieb bisher die Frage offen, inwiefern das Framework tatsächlich eine Grundlage für derartige Smarte Umgebungen sein kann.

Teile dieses Kapitels wurden bereits in Kopetz et al. (2018b), Kordts et al. (2019), Kopetz et al. (2019) und Kordts et al. (2021b) publiziert.

Zur Beantwortung dieser Frage und zur Unterstreichung der Einsatzmöglichkeiten des Referenzframeworks, wird daher im Folgenden anhand eines Integrationsbeispiels erläutert, inwiefern das Framework genutzt werden kann, um eine Smarte Umgebung zur Unterstützung der PatientInnen und des Pflegepersonals zu realisieren. Das Integrationsbeispiel greift die Ziele der Unterstützung der Kommunikation und Reorientierung sowie der Förderung der Autonomie der PatientInnen auf und stützt sich dabei auf die im Zuge des ACTIVATE-Forschungsprojekts entwickelten Systemkomponenten. Dabei wird auch erläutert, wie diese miteinander verknüpft werden können und wie eine Austauschbarkeit der unterschiedlichen Komponenten gewährleistet wird.

Aufgrund der individuellen Krankheitsbilder, Vorlieben und Fähigkeiten der IntensivpatientInnen werden zukünftig idealerweise sehr individuell Interaktionsgeräte für unterschiedliche Anwendungssituationen bereitgestellt.

Während bereits einige für andere Anwendungszwecke entwickelte Systeme zum Zweck der Unterstützten Kommunikation in der Intensivstation erprobt wurden, gibt es in der Literatur allerdings keinen Konsens bezüglich der am wirksamsten Instrumente (s. Abschnitt 8.1). Darüber hinaus gibt es in der Literatur keine tiefgehenden Untersuchungen zu spezialisierten Interaktionsgeräten

für den Intensivkontext und insbesondere auch keine Erkenntnisse zu Interaktionsgeräten, welche sich speziell an die Weaningphase richten.

Daher wird im Zuge des Integrationsbeispiels zunächst die Realisierung des speziell für WeaningpatientInnen gestalteten Interaktionsgeräts BIRDY vorgestellt, welches seinen Ursprung im Forschungsprojekt ACTIVATE hat. Im Rahmen dieser Arbeit wurde es mit einer Gestensteuerung versehen und mittels des Frameworks in das Gesamtsystem integriert.

Zur Unterstreichung der Vision individuell bereitgestellter Interaktionsgeräte wurden im Rahmen dieser Arbeit darüber hinaus weitere vielversprechende Interaktionsgeräte identifiziert und exemplarisch in das System integriert, wobei diese zwar jeweils aufgrund unterschiedlicher Aspekte ungeeignet für den Anwendungskontext sind, sich jedoch mit einigen Anpassungen zukünftig in unterschiedlichen Phasen einsetzen ließen.

8.1 UNTERSTÜTZTE KOMMUNIKATION IM INTENSIVKONTEXT

Das Ziel des im Zuge des Integrationsbeispiels vorgestellten Systems umfasst insbesondere die Unterstützung der Kommunikation. Daher werden im Folgenden nebst Ansätzen zur Unterstützten Kommunikation auch Forschungsansätze zu Interaktionsgeräten für den Einsatz im Intensivkontext vorgestellt, um einen Überblick über den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand zu geben.

Aufgrund der Relevanz der Problematik wurde der Einsatz unterschiedlicher Systeme aus dem Bereich der Unterstützten Kommunikation im Intensivkontext zur Unterstützung stimmloser PatientInnen erprobt. So fassen Carruthers et al. (2017) und später auch Zaga et al. (2019) Ansätze für Strategien zur Unterstützung der Patientenkommunikation in ihren Publikationen zusammen. In der Unterstützten Kommunikation kann zwischen High-Tech- und Low-Tech-Lösungen unterschieden werden.

So werden Arbeiten beschrieben, die sich auf Ansätze konzentrieren, die keine Informations- und Kommunikationstechnologie erfordern, wie zum Beispiel Kommunikation mit Stift und Papier (El-Soussi et al., 2015) oder mittels illustriertem Kommunikationsmaterial (Otuzoğlu und Karahan, 2014). Ein anderer Ansatz stützt sich auf die Schulung von Pflegekräften mit Low-Tech-Systemen und elektronischen Hilfsmitteln zur Unterstützten Kommunikation (Happ et al., 2014).

Einige AutorInnen berichten über softwaregestützte Kommunikationshilfen auf Standard-PCs mit Eyetrackern (Garry et al., 2016), mit Eyetrackern und Touchscreens (Maringelli et al., 2013), die Verwendung von Computern, die durch Blinzeln sowie Hand- oder Fingerbewegungen gesteuert werden (Miglietta et al., 2004), die Verwendung von Tablets mit auf Unterstützte Kommunikation spezialisierten Inhalten und Sprachsynthese (Happ et al., 2005, 2004; Rodriguez und Rowe, 2010) sowie die Bedienung von Tablet-Computern mit programmierbarer Sprachausgabe (Kozalinski et al., 2015; Rodriguez et al., 2012, 2016). Vielversprechende Ansätze konzentrieren sich auf Tablets oder tabletähnliche Geräte,

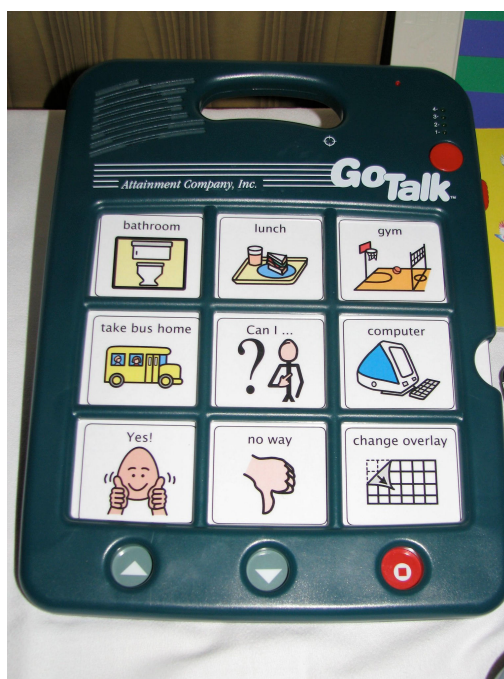


ABBILDUNG 8.1 – Beispiel einer elektronischen Kommunikationshilfe (»Talker«) der Marke GoTalk (Fotografie: Beth Knittle¹, CC BY-SA 2.0)

die von den in der Unterstützten Kommunikation bekannten einfachen (elektronischen) Kommunikationstafeln (»Talker«, s. Abbildung 8.1) inspiriert sind und deren Basisfunktionalität durch moderne Benutzungsschnittstellen wie Augensteuerung oder Interaktive Oberflächen erweitern. In diesen Publikationen werden jedoch keine Geräte vorgestellt, die speziell für den Intensivpflegekontext entwickelt wurden.

Bemerkenswert ist die von Zaga et al. (2019) berichtete Beobachtung, dass es in der Forschung keine Einigkeit bezüglich eines systematischen Ansatzes für die Bewertung und Ergebnismessung von Maßnahmen zur Unterstützung der Kommunikation bei beatmeten PatientInnen und auch nicht bezüglich einer Standardversorgung gibt.

Pina et al. (2020) stellen in einer aktuelleren Publikation weitere Ergebnisse einer Literaturrecherche hinsichtlich unterschiedlicher Ansätze zur Unterstützten Kommunikation für beatmete IntensivpatientInnen vor. Sie identifizieren dreizehn unterschiedliche Konzepte bzw. Werkzeuge, wobei unterschiedliche Varianten von Kommunikationstafeln in den untersuchten Publikationen am häufigsten und Stift und Papier bzw. Schreibtafeln als zweithäufigstes erwähnt werden. In der untersuchten Literatur werden High-Tech-Ansätze mittels Tablets, Sprachsynthesegeräten, Augensteuerung und personalisierte elektronische Kommunikationsgeräte beschrieben. Diktierbilder, Gestik, Mimik, Lippenlesen

¹ Veröffentlicht auf Flickr: <https://www.flickr.com/photos/bknittle/3314226234> (Abrufdatum 21.12.2022)

und nonverbale Kommunikation wurden nur in einem Artikel erwähnt. Laut den AutorInnen nimmt der Einsatz von Technologie zur Verbesserung der Kommunikation zu, ist jedoch auch mit einem hohen Kosten-Nutzen-Verhältnis verbunden. Zusammenfassend stellen die AutorInnen den Nutzen und die Relevanz der Unterstützten Kommunikation für PatientInnen, Familienmitglieder, Pflegepersonal und andere Mitglieder des multidisziplinären Teams auf der Intensivstation heraus. Sie stellen jedoch auch fest, dass in der Fachliteratur keine Einigkeit darüber herrscht, welche Art von Instrumenten am wirksamsten zur Unterstützung der Kommunikation von IntensivpatientInnen ist. Das umfasst sowohl Low-Tech- als auch High-Tech-Ansätze oder sogar eine Kombination aus beiden.

Brain-Computer-Interfaces konnten in der Vergangenheit erfolgreich im klinischen Kontext erprobt werden, sind aber auf der Intensivstation nur bedingt einsetzbar. In einer aktuellen Studie zeigte sich, dass nur gut ein Drittel der teilnehmenden ansprechbaren IntensivpatientInnen in der Lage waren, erfolgreich mit einem an den Intensivkontext angepassten Brain-Computer-Interface zu arbeiten (Eliseyev et al., 2021). Zudem war keine der nicht ansprechbaren PatientInnen in der Lage, die gestellte Aufgabe zu lösen. Den IntensivpatientInnen standen fünf gesunde TeilnehmerInnen gegenüber, die die gestellte Aufgabe allesamt erfolgreich absolvieren konnten. Diese Erkenntnisse unterstreichen den Umstand, dass sich BCI-Systeme nur sehr eingeschränkt als Kommunikationswerkzeug für Weaning-PatientInnen eignen.

Den umfassenden Untersuchungen und der Entwicklung interaktiver Systeme zur Unterstützten Kommunikation im Intensivkontext, wobei in der Regel Interaktionsgeräte aus anderen Domänen im Intensivkontext eingesetzt werden, steht die stark limitierte Entwicklung neuartiger Interaktionsgeräte für den Intensivkontext gegenüber. Insbesondere für die Weaningphase, also die Phase der Beatmungsentwöhnung, stehen keine speziell angepassten Geräte zur Verfügung.

In der Literatur wurden mehrere Anforderungen an Systeme zur Unterstützung der Kommunikation von IntensivpatientInnen vorgestellt (Goldberg et al., 2017a). Goldberg et al. (2017b) entwickelten basierend auf den Ergebnissen ein entsprechendes Eingabegerät sowie ein durch dieses Gerät gesteuertes Kommunikationssystem. Die Gestaltung des Eingabegeräts ist auf den Intensivkontext zugeschnitten, berücksichtigt Hygieneanforderungen und bietet ein einfaches Design, welches auf motorischen Bewegungen ausgerichtet ist, die von IntensivpatientInnen leicht ausgeführt werden können. Darüber hinaus ist das Gerät an die körperlichen Defizite und Beeinträchtigungen der PatientInnen anpassbar und bietet die Möglichkeit mittels eines Vibrationsmotors Rückmeldungen zu geben. Auch die Anwendung ist an die Domäne angepasst und bietet geeignete Inhalte. Das als *Manually Operated Communication System* (MOCS) bezeichnete Kommunikationswerkzeug wurde von den AutorInnen in einer Pilotstudie erprobt, wobei dem System eine hohe Gebrauchstauglichkeit attestiert wurde, sodass es einen vielversprechenden Kandidaten für die Unterstützte Kommunikation von beatmeten IntensivpatientInnen darstellt (Goldberg et al.,

2022; Goldberg, 2020). Bei dem System handelt es sich um einen Forschungsprototypen, wobei umfassendere Untersuchungen noch ausstehen.

An der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) wurde ein als CARNA bezeichneter Patientenkommunikationsmonitor für IntensivpatientInnen zum Mitteilen von Bedürfnissen entwickelt (Fegbeutel et al., 2021). Das System umfasst Kommunikationsbausteine auf einem Computersystem, welches in einer ersten Version über ein Handbalg und in einer zweiten Version über zwei Druckknöpfe steuerbar ist. Eine Übersetzungsfunktion erlaubt die Kommunikation in mehreren Sprachen. Im Fokus steht bisher ausschließlich die Unterstützung der Kommunikation. Auch bei dieser Arbeit handelt es sich um Forschung in einem frühen Stadium, wobei nur wenige Details veröffentlicht wurden.

Low-Tech-Geräte werden als ungeeignet angesehen, da sie die ganzheitlichen Auswirkungen der Beeinträchtigungen von PatientInnen auf Intensivstationen nicht berücksichtigen (vgl. Rodriguez et al., 2012 und Rodriguez und Rowe, 2010). High-Tech-Ansätze können hingegen eine komplexe und potenziell kostenintensive Lösung darstellen, die jedoch auf sehr spezifische Bedürfnisse zuschneidbar ist. Ohne Schulungskonzepte und die Berücksichtigung der Prozesse des Personals kann der Einsatz dieser Lösungen eine Hürde für den Betrieb bedeuten, sowohl für das Personal des Gesundheitsdienstleisters als auch für die PatientInnen.

Während einige positive Ergebnisse mit Augensteuerungssystemen und Tablets erzielt werden konnten, gibt es keine tiefergehenden Untersuchungen zu speziell entwickelten Interaktionsgeräten für IntensivpatientInnen. Insbesondere werden in der Literatur keine Geräte vorgestellt, die sich speziell an die Weaningphase richten, wobei sich gerade hier besondere Anforderungen und Herausforderungen ergeben. Als Konsequenz ergibt sich der Bedarf an einem spezialisierten Interaktionsgerät, welches auf einen Einsatz im Intensivbett angepasst ist und sich auch für Weaning-PatientInnen eignet. Bei der Entwicklung von Interaktionsgeräten speziell für die Weaningphase und beim Einsatz bestehender, konfigurierbarer Interaktionsgeräte im Intensivkontext sollten dabei insbesondere auch typische Interaktionsmuster der Zielgruppen berücksichtigt werden, um dieser gerecht zu werden.

Dabei ist jedoch aufgrund der heterogenen Nutzergruppe der IntensivpatientInnen mit ihren spezifischen Beeinträchtigungen sowie individuellen Fähigkeiten, Krankheitsbildern und Vorlieben nicht zu erwarten, dass ein Gerät für alle BenutzerInnen geeignet ist (s. Kapitel 5). Dieser Umstand spiegelt sich auch in der von Zaga et al. (2019) und von Pina et al. (2020) beobachteten Uneinigkeit in der Literatur wider, welche Art von Instrumenten am wirksamsten zur Unterstützung der Kommunikation von IntensivpatientInnen ist. Daher ist auch von einem spezialisierten Interaktionsgerät nicht zu erwarten, dass es für alle PatientInnen in allen Situationen geeignet ist. Die Entkopplung und dynamische Zusammenstellung der Ein- und Ausgabe von Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen im Sinne des Plug-and-Play-Paradigmas eröffnet hingegen die Möglichkeit einer bedarfsgerechten Bereitstellung von Interaktionstechniken, die auf die jeweiligen PatientInnen zugeschnitten sind.

Daher bietet sich eine Gestaltung des Interaktionsgeräts als Smartes Objekt an, sodass die Vorteile Smarter Umgebungen direkt genutzt werden können und eine dynamische Kopplung zwischen dem Gerät und weiteren Komponenten einfach realisierbar ist. Dabei erhöht eine Ensemblebildung die Wahrscheinlichkeit, dass Bedarfe besser erfüllt werden können.

8.2 PATIENTINNENANWENDUNG

Das Herzstück des ACTIVATE-Systems bildet die von Jan Kopetz entworfene PatientInnenanwendung, welche als zentrale Anwendung den wesentlichen Teil der Mensch-Technik-Schnittstelle darstellt.

Über sie ist die Informationsbereitstellung zur Unterstützung der Reorientierung realisiert, und sie bietet in der Bedienoberfläche Menüs, sodass sie bei der Kommunikation mit dem Pflegepersonal und den Angehörigen unterstützend herangezogen werden kann. Zudem ermöglicht die Anwendung die Steuerung Smarter Objekte im Zimmer der PatientIn und eröffnet dieser somit mehr Selbstbestimmung hinsichtlich des Ambiente.

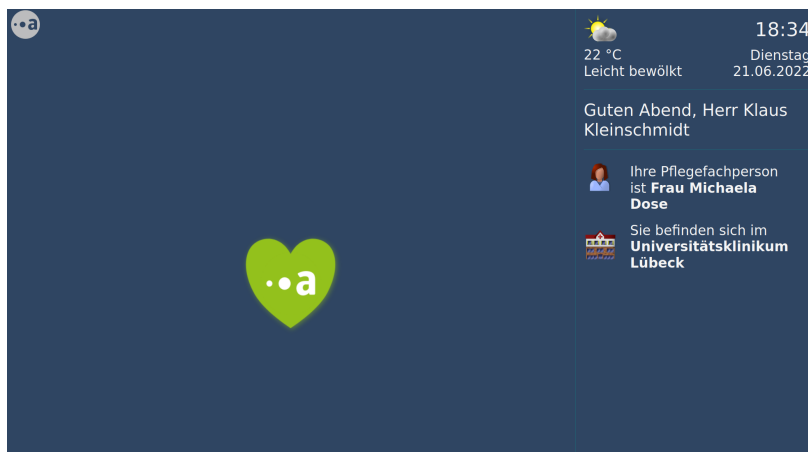
Die Anwendung besteht aus acht Teilanwendungen, welche situativ angeboten werden können. Dies gewährleistet eine Adaptierbarkeit an die Phase der Wachheit und Ansprechbarkeit im Aufwachprozess der PatientInnen anhand des im Rahmen des Projekts und in Anlehnung an das Modell von Costello et al. (2010) entwickelte und validierte Dreiphasenmodell. Das Stufenmodell sieht eine Nutzung des ACTIVATE-Systems in drei aufeinander folgende Phasen der Wachheit und Ansprechbarkeit vor, bei denen die zu erwartenden Bedürfnisse und Fähigkeiten der PatientIn in der vorliegenden Phase im Aufwachprozess berücksichtigt werden.

In der ersten, frühen Phase soll die Anwendung in der Aufwachphase primär mittels Sprachansagen Orientierung bieten. Darüber hinaus sollen hier erste Aktivitäten der PatientIn erfasst werden, um daraus auf die Wachheit zu schließen. Sobald die PatientIn auf Anreden reagiert und Augenkontakt aufnehmen kann (beispielsweise bei einem RASS von etwa -1, s. Unterabschnitt 5.2.1), kann in die zweite Phase gewechselt werden. Hier steht das Erlernen der Steuerung der Anwendung in einer Vorstufe und die Unterstützte Kommunikation der Grundbedürfnisse in einem einfach gehaltenen Menü ohne Hierarchien im Vordergrund. Sobald die PatientIn mit der Bedienung des Systems vertraut sowie aufmerksam und ruhig (beispielsweise bei einem RASS von 0) ist, kann der volle Funktionsumfang bereitgestellt werden. Der Übergang zwischen den Phasen wird dabei nach Ermessen vom Personal gesteuert und beruht auf dessen Einschätzungen, wobei die regelmäßig vorgesehene Ermittlung der Sedierungstiefe (in vielen Fällen anhand der RASS) herangezogen werden kann.

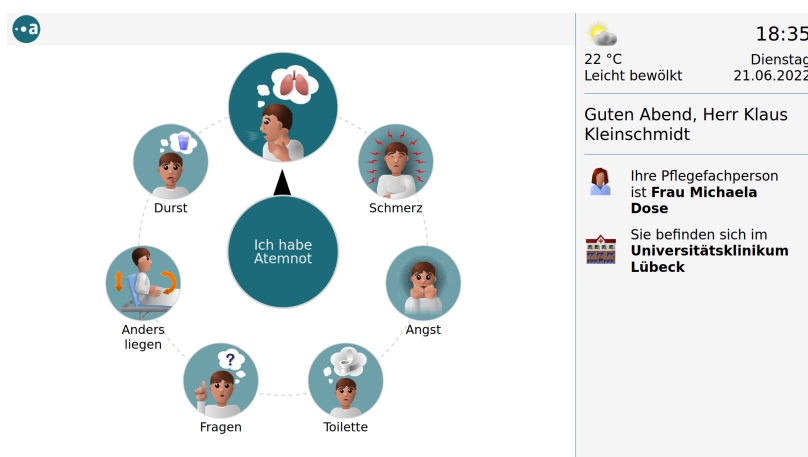
Einzelne Masken der grafischen Oberfläche der PatientInnenanwendung für die jeweiligen Phasen sind in Abbildung 8.2 dargestellt.

Eine Sprachschnittstelle ist mittels des Text-to-Speech-Moduls der Firma Readspeaker² realisiert, sodass eine Sprachausgabe mit deutscher Stimme möglich ist.

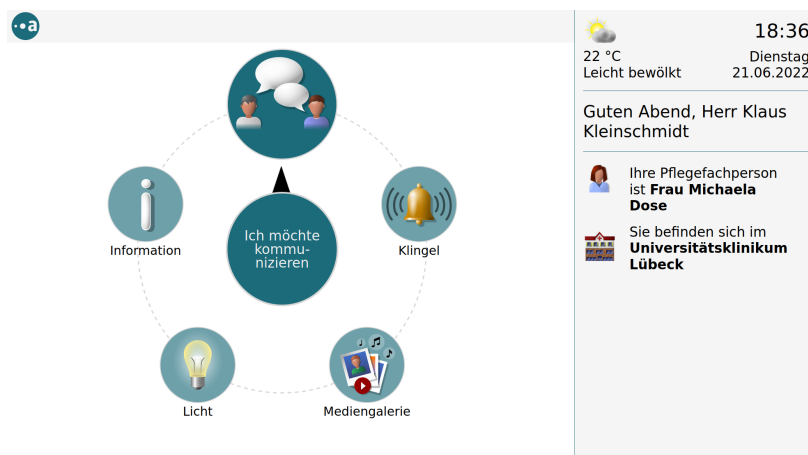
² <https://www.readspeaker.com/> (Abrufdatum 21.12.2022)



(a) Informationsgabe und Aufwacherkennung in Phase 1.



(b) Unterstützte Kommunikation der Grundbedürfnisse in Phase 2.



(c) Voller Systemumfang in Phase 3.

ABBILDUNG 8.2 – Bildschirmfotos der grafischen Oberfläche der PatientInnenanwendung in den unterschiedlichen Phasen.

Diese dient insbesondere der Informationsbereitstellung, wird allerdings auch im Zuge der Unterstützten Kommunikation eingesetzt.

Im ACTIVATE-Forschungsprojekt wurde ein *hp ELITEONE 800 Healthcare Edition AIO-PC*³ zur Darstellung der Anwendung eingesetzt. Allerdings ist prinzipiell jedes zur Präsentation einer grafischen Benutzungsschnittstelle befähigte Rechensystem mit genügend Rechenleistung und ausreichend großem Display geeignet, sofern es die jeweils geltenden Hygienerichtlinien erfüllt. Der im Projekt genutzte All-In-One-PC verfügt über eine Bildschirmdiagonale von 23,8 Zoll. Aufgrund der Gestaltung der PatientInnenanwendung lassen sich die Inhalte auf dem Gerät bei Entfernungen von etwa 130 cm bis 150 cm noch gut erkennen. Der All-In-One-PC wurde im Rahmen des Projekts zudem mittels einer VESA-Halterung⁴ an einen *TeleLock* Rollständer⁵ (vormals *Monty-22*) befestigt, sodass dieser relativ frei bewegt und flexibel in Höhe und Betrachtungswinkel an die jeweilige Anwendungssituation angepasst werden kann.

Die PatientInnenanwendung ist als Vue.js-Webapp⁶ realisiert und wird im Browser aufgerufen, sodass diese durch die Sandbox abgeschottet ist. Eine Integration in das Reflection-Framework ist daher nicht direkt möglich.

Zur Realisierung der PatientInnenanwendung als Ambiente Anwendung wurde daher im Zuge dieser Arbeit auf den Virtual Device Daemon und die dazugehörige JavaScript-API (s. Abschnitt 7.3) zurückgegriffen, welche eine einfache Integration in das Vue.js-Framework vorsieht. Mittels dieser Brücke zwischen der Webanwendung im Browser und dem auf den Protokollen UPnP oder DPWS basierendem Reflection-Framework wird die semi-automatische und dynamische Vernetzung der PatientInnenanwendung mit den weiteren Komponenten (Interaktions- und Ausgabegeräte) ermöglicht.

Der Daemon lässt sich beim Hochfahren des genutzten Rechensystems automatisch starten und läuft dann im Hintergrund, während die PatientIn mit der Anwendung interagiert. Der Daemon erstellt hierzu bei der Ausführung mittels Smart Object Config und dem Smart Object Builder eine Instanz eines virtuellen Smarten Objekts. Zudem lässt sich der Daemon nutzen, um der PatientInnenanwendung benötigte Zugangsdaten für den mittels *Feathers*⁷ realisierten im Rahmen des ACTIVATE-Systems genutzten Kommunikationsserver mitzuteilen. Hierzu wird die Zusatzkonfiguration des Daemons genutzt.

Darüber hinaus wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Selbstbeschreibung der Anwendung mittels der SODL verfasst. Die PatientInnenanwendung stellt eine Ambiente Anwendung dar und ist daher als ein virtuelles Smartes Objekt beschrieben, das in die Kategorie »App« fällt. Sie verfügt über eine Eingabe- und eine Ausgabekomponente. Die Aktionen der Menükomponente umfassen zum einen die Navigation nach links und rechts sowie eine Auswahl des aktuellen Elements. Diese drei Aktionen sind in einer Zustandsgruppe mit entsprechen-

³ <https://support.hp.com/in-en/document/c06070615#AbTO> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁴ <https://vesa.org/resources/mounting-standard/> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁵ <https://www.rehavista.de/shop/artikel/monty-22-rollständer> (Abrufd. 21.12.2022)

⁶ <https://vuejs.org/> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁷ <https://feathersjs.com/> (Abrufdatum 21.12.2022)

den Zuständen zusammengefasst. Die Zustände werden dabei über das jeweils verknüpfte Interaktionsgerät (beispielsweise BIRDY) beeinflusst. Zudem kann die PatientInnenanwendung grundsätzlich unterschiedliche Menüs zur Steuerung von Smarten Objekten in der Umgebung bereitstellen. Zunächst ist hierzu prototypisch die Steuerung Smarter Beleuchtungssysteme realisiert und daher in der Selbstbeschreibung wiedergegeben. Die Menüeinträge zur Steuerung der Smarten Beleuchtung sind als virtuelle Eingaben in der Selbstbeschreibung hinterlegt. Dazu enthält die Selbstbeschreibung zudem Zustandsgruppen für jede virtuelle Eingabe.

8.3 SMARTPHONEANWENDUNG FÜR DAS PFLEGEPERSONAL

Seitens der PatientInnen mittels PatientInnenanwendung kommunizierte Bedürfnisse erreichen das Personal über eine ebenfalls von Jan Kopetz entwickelte Smartphoneanwendung, welche als *Progressive Web App* (PWA) realisiert wurde. Sie bietet neben Push-Benachrichtigungen für die mitgeteilten Anliegen der PatientInnen die Möglichkeit, auf diese zu reagieren (s. Abbildung 8.3(a)) und Konfigurationen am System vorzunehmen (Weiterschalten für die Phasen der Wachheit, Sprachansagen etc.).

Insbesondere können über die Smartphoneanwendung Ensembles mittels einer semi-automatischen Konfiguration zusammengestellt werden, indem an den Komponenten angebrachte oder auf den Displays dargestellte QR-Codes mittels der eingebauten Kamera gescannt werden können (s. Abbildung 8.3(b)). Zudem kann die PatientIn über die Anwendung ausgewählt werden, sodass die Komponenten dieser zugeordnet sind.

Die Anwendung erfasst dabei allerdings nur die UUIDs der Smarten Objekte bzw. Ambienten Anwendung, sodass sie keine konkrete Zuordnung zwischen Interaktionsprimitiven und Gerätefunktionalität vorgibt. Darüber hinaus ist die Anwendung auch nicht in der Lage, direkt mit den Geräten zu kommunizieren und somit eine Konfiguration direkt festzulegen. Stattdessen wird das vorausgewählte Ensemble (also die UUIDs) an die Vermittlungskomponente des Frameworks weitergegeben, die sich anschließend nach dem Prinzip der semi-automatischen Vermittlung um die konkrete Verbindung der Komponenten kümmert.

Damit die Vermittlungskomponente über die mittels Smartphoneanwendung konfigurierten Ensembles informiert wird, wurde im Zuge dieser Arbeit eine auf Node.js⁸ aufsetzende Schnittstelle zwischen dem Kommunikationsserver (Feathers) und dem Description Mediator entwickelt. Sie dient gemeinsam mit der Smartphoneanwendung und dem Mediator der Realisierung der kontrollierten Selbstorganisation der Ensembles. Die Schnittstellenanwendung registriert sich auf einen speziell für die Ensembles angelegten Nachrichtenkanal, der von der Smartphoneanwendung zum Austausch der Ensemble-Konfigurationen genutzt wird und leitet die Konfigurationen per REST an den Mediator weiter.

⁸ <https://nodejs.org> (Abrufdatum 21.12.2022)



(a) Bedürfnisse der PatientInnen

(b) Scan-Funktion zur Ensemblebildung

ABBILDUNG 8.3 – Bildschirmfotos der grafischen Oberfläche der Smartphoneanwendung für das Pflegepersonal

Dabei können konkrete Zuordnungen zwischen Interaktionsprimitiven und Gerätefunktionalität vorgegeben oder der Vermittlungskomponente überlassen werden.

8.4 GERÄTE ZUR RAUMSTEUERUNG

Zur Förderung der Autonomie der PatientInnen, insbesondere hinsichtlich der Selbstbestimmung des Ambiente, können prinzipiell unterschiedliche marktverfügbare Smarte Objekte, die insbesondere aus dem Bereich des Smarten Zuhause bekannt sind, eingesetzt werden. Während hier viele unterschiedliche Geräte vorstellbar sind, wurde für das Integrationsbeispiel stellvertretend auf den Einsatz eines smarten Beleuchtungssystems zurückgegriffen.

Hierbei wurde auf die von Burmeister (2018) entwickelte Komponente zur Ansteuerung des smarten Beleuchtungssystems *Philips Hue* aufgesetzt, die um einige, für das Anwendungsszenario relevante Aspekte erweitert wurde. So wurde eine Konfigurationsmöglichkeit mittels *Hue Config* eingeführt, die von der Smart Object Config erbt (vgl. Abschnitt 7.2). Zudem wurden zusätzliche fest ansteuerbare Farben definiert und in der Selbstbeschreibung verankert, die beispielsweise mittels PatientInnenanwendung ausgewählt werden können. Darüber hinaus registriert sich die Anwendung nun auf den Kanal für nicht-interaktionsbezogene Nachrichten und reagiert auf im Zuge dieser Arbeit definierte Benachrichtigungen (welche Alarmierungen und Bestätigungen abbilden können), indem die Leuchtmittel kurz aufleuchten. Darüber hinaus wurden einige kleinere Anpassungen vorgenommen, wie beispielsweise ein Ausschalten

der Beleuchtung, sobald das Smarte Objekt nicht mehr Teil eines Ensembles ist und das Anschalten der Lampen, sofern die Helligkeit verändert wird, die Beleuchtung jedoch noch ausgeschaltet ist.

Prinzipiell sind darüber hinaus viele weitere Geräte, wie smarte Jalousien, smarte Thermostate oder smarte Zwischenstecker zur Ansteuerung einfacher elektrischer Alltagsgegenstände denkbar (vgl. Abschnitt 2.1 und Burmeister, 2018). Zudem ließen sich auch gegebenenfalls vorhandene (smarte) Fernsehgeräte fernsteuern. Somit könnten weitere Smarte Objekte eine umfangreichere Raumsteuerung ermöglichen, die, so die Erwartungshaltung, den Aufenthalt angenehmer machen und – bedingt durch die gesteigerte Selbstbestimmung – gegebenenfalls auch einen positiven Einfluss auf den Heilungsprozess haben könnten.

8.5 DAS INTERAKTIONSGERÄT BIRDY

Dem ermittelten Bedarf nach einem für die Weaningphase angepassten Interaktionsgerät zu Unterstützung der Kommunikation sowie der Erfassung von Aktivitäten folgend, wurde im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts die Entwicklung von BIRDY angestrebt. Dabei handelt es sich um ein neuartiges und für den Intensivkontext spezialisiertes Interaktionsgerät, welches auf einen Einsatz im Intensivbett angepasst ist und sich auch für Weaning-PatientInnen eignet. Es ist zudem das zentrale Eingabegerät des ACTIVATE-Systems, wobei die Erkenntnis aus Abschnitt 8.1 zu berücksichtigen ist, dass grundsätzlich nicht zu erwarten ist, dass ein Gerät für alle PatientInnen in allen Situationen geeignet ist. Das Gerät ist daher nicht als alleinige Lösung für alle Defizite der IntensivpatientInnen zu betrachten, sondern stellt insbesondere im Kontext des ACTIVATE-Systems einen ersten Demonstrator für Unterstützungsmöglichkeiten dar.

Im Folgenden werden die im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts in gemeinsamer Zusammenarbeit aufgestellten Anforderungen an das Interaktionsgerät, die hard- und softwareseitige Realisierung eines Demonstrators durch die Firma CogniMed GmbH sowie die darauf aufsetzenden und im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Softwarebestandteile beschrieben. Dabei stehen die Realisierung einer Gestensteuerung sowie die Integration in das Framework im Vordergrund.

8.5.1 VORSTUDIEN UND WORKSHOPS

Zur Bestimmung der Merkmalsausprägungen von BIRDY wurde im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts durch Mitarbeitende des Instituts für multimediale und interaktive Systeme eine Nutzerpräferenzstudie durchgeführt, wobei die äußeren Eigenschaften Durchmesser, Gewicht, Härtegrad, Flexibilität und Oberflächenstruktur im Vordergrund standen (Kopetz et al., 2018a). In der Studie wurden 40 Teilnehmende in zwei Alterskohorten (Altersgruppen 18-40 und 58-84) befragt, wobei die Einflussfaktoren der Intensivsituation simuliert wurden. Hierzu wurden ausgehend von zunächst 30 Studienobjekten acht Objekte ausgewählt, die in der Nutzerpräferenzstudie untersucht wurden.

Zur Auswertung der Studiendaten und Ermittlung des hinsichtlich unterschiedlicher Merkmale von den ProbandInnen jeweils bevorzugten Studienobjekts sowie der noch unklaren Merkmale wurden unterschiedliche Rankings herangezogen.

Die Ergebnisse wurden in diversen Workshops mit den ProjektteilnehmerInnen (insgesamt über 20 ExpertInnen aus den Bereichen Pflegepraxis und -forschung, Hard- und Softwareentwicklung, Mensch-Computer-Interaktion und Psychologie) diskutiert, um die konkreten Anforderungen an das Aussehen und Steuerungsvarianten sowie die Sensoren und Aktoren von BIRDY festzulegen. Dabei wurden Ergebnisse der vorangegangenen Arbeit ausgetauscht, offene Punkte geklärt und Designentscheidungen diskutiert.

Darüber hinaus wurde aufbauend auf den in der Präferenzstudie beobachteten spontanen Interaktionsmustern eine Recherche zu möglichen Gesten für das Interaktionsgerät BIRDY durchgeführt, welche einerseits mit dem Gerät und andererseits von IntensivpatientInnen ausführbar sind (s. Abbildung 8.4). Bei der Untersuchung wurden auch technische Aspekte berücksichtigt, wobei eine Teilmenge der identifizierten Gestenvarianten im Rahmen des Projekts an fünf nicht beatmeten IntensivpatientInnen erprobt wurde. Dabei standen insbesondere Einschränkungen durch medizinische Zugänge und die Mobilität der PatientInnen, die Positionierung des Geräts und eine beidhändige Ausführbarkeit im Vordergrund. Die ProbandInnen gaben dabei an, dass die Zugänge in der Hand oder im Arm die Ausführung der erprobten Gesten nicht beeinträchtigt haben. Bemerkenswert ist, dass das eingesetzte Testobjekt nicht nur neben dem Körper auf der Matratze, sondern teilweise auch auf dem Bauch und dem Oberkörper der ProbandInnen genutzt wurde.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zur Realisierung einer Gestensteuerungsvariante zunächst untersucht, welche Geste welche Sensorik zur Erfassung benötigt. Während das Drehen mit einem Accelerometer zur Ermittlung der Richtung der Schwerkraft und einem Gyroskop zur Bestimmung des Drehwinkels realisiert werden kann, ist für das Neigen eine Ausrichtung des Geräts in Bezug auf die Hand der BenutzerIn erforderlich, was eine gewisse Herausforderung darstellt. Eine möglicher Ansatz ist die Verwendung einer inertialen Messeinheit mit einem Magnetometer zur Bestimmung des Referenzsystems der Erde (Norden, Schwerkraftvektor und deren Kreuzprodukt) und die Betrachtung einer statischen Referenzachse, wie sie durch das Intensivbett gegeben sein kann (unter der Annahme, dass es selten bewegt wird, was jeweils eine Neukalibrierung erforderlich machen würde). Die Kalibrierung kann mittels Leuchtdioden am Gerät erfolgen, die die ursprüngliche Ausrichtung anzeigen und damit die Position des Bettes erfassen. Dieser Lösungsansatz wird im Unterabschnitt 8.5.7 weiter ausgeführt.

Das Gedrückthalten kann mit Hilfe eines Drucksensors und Berühren mittels eines Beschleunigungssensors erfasst werden. Das Rollen auf einer Oberfläche ist komplexer als das Drehen, kann aber mit Hilfe der Daten eines Accelerometers und eines Gyroskops realisiert werden. Eine Erkennung des Schiebens und von Bewegungen in der Luft sind am schwierigsten zu erkennen, wenn nur Sensoren im Gerät verwendet werden, und erfordern auch Kenntnisse über die Position

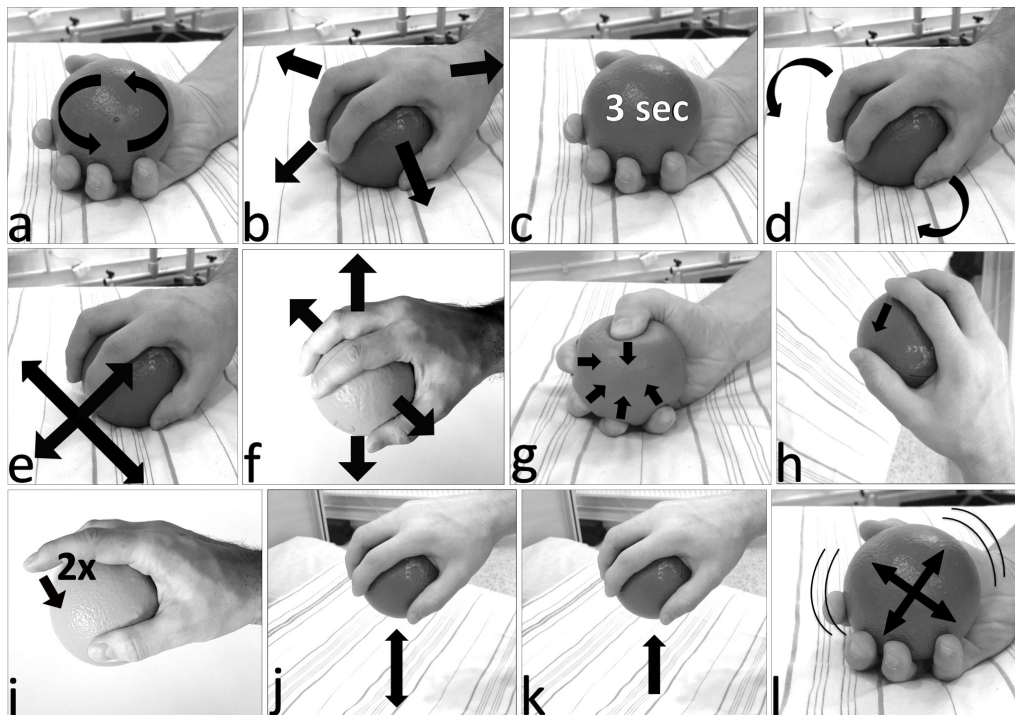


ABBILDUNG 8.4 – Identifizierte, mögliche Gestenausführungen mit BIRDY, die sich in die zwei Gruppen der Navigations- (a-f) und der Auswahlgesten (g-l) unterteilen lassen. Die Gesten umfassen das Drehen (a), das Neigen (b), das Gedrückthalten (c), das Rollen auf einer Oberfläche (d), das Schieben (e), das Bewegen in der Luft (f), das Drücken (g), das Tippen (h), das Doppeltippen (i), das Klopfen auf eine Oberfläche (j), das Heben (k) und das Schütteln (l). Quelle: Jan Kopetz, Institut für multimediale und interaktive Systeme, Universität zu Lübeck (mit Genehmigung des Instituts).

des Geräts im Verhältnis zur BenutzerIn. Sie können basierend auf demselben Ansatz, wie bei den Neigegesten, und der Verwendung des Accelerometers zur Bestimmung der Bewegungen erkannt werden. Für eine höhere Präzision ist bei diesen beiden Gesten die Bestimmung der genaueren Position relativ zur BenutzerIn erforderlich. Die Auswahlgesten sind hingegen einfacher zu erkennen und können mit einem Drucksensor für das Drücken und einem Accelerometer für alle anderen Auswahlgesten (unter Verwendung orientierungsinvarianter Merkmale) realisiert werden.

8.5.2 ANFORDERUNGEN

Im Folgenden werden die wichtigsten Anforderungen an das Interaktionsgerät BIRDY beschrieben. Hierbei handelt es sich um eine verkürzte Darstellung des im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts in gemeinsamer Zusammenarbeit aufgestellten Anforderungskatalogs, welcher sich insbesondere auf die vom Institut für multimediale und interaktive Systeme durchgeführten Studien

stützt. Der Katalog wird an dieser Stelle um drei Anforderungen erweitert, die aus der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analyse abgeleitet wurden.

Die äußere Form wurde während der Workshops im Projekt kontrovers diskutiert, wobei insbesondere auch eine eiförmige Gestaltung erörtert wurde. Ein entscheidender Faktor für die Kugelform war schließlich, dass angenommen wurde, dass diese Form zur spielerischen Interaktion mit dem Gerät anregt, während davon ausgegangen wurde, dass ein eiförmiges Gerät eher als zerbrechlich empfunden werden würde. Darüber hinaus bevorzugten auch die StudienteilnehmerInnen eine Kugelform.

ANFORDERUNG B 1 – *Das Gerät soll kugelförmig sein.*

Insbesondere der Durchmesser und das Gewicht wurden basierend auf den Ergebnissen der Nutzerpräferenzstudie festgelegt.

ANFORDERUNG B 2 – *Das Gerät soll einen Durchmesser von 64 mm bis 90 mm haben.*

ANFORDERUNG B 3 – *Das Gerät soll 40 g bis 150 g wiegen.*

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich aus dem Gewicht der Bauteile ein Mindestgewicht ergibt.

Die Mehrheit der ProbandInnen bevorzugte Objekte mit rauen Oberflächen. Außerdem können die Medikamente der IntensivpatientInnen geschwollene Hände verursachen und zu einer verminderten taktilen Wahrnehmung führen. Daher sollte BIRDY ein tastbares taktiler Feedback bieten, auch um zur Interaktion anzuregen.

ANFORDERUNG B 4 – *Die Oberfläche des Geräts sollte eine raue Textur aufweisen, damit sie durch Berührung ertastet werden kann.*

Dabei ist anzumerken, dass tiefe, detaillierte Strukturen in der Oberfläche das Gerät schwer desinfizierbar machen würden und einer hygienischen Eignung entgegen stehen würden. Eine geringe Anzahl kleiner Noppen könnte jedoch eine pragmatische Lösung sein.

Aufgrund der geringeren Greifkraft geschwächter PatientInnen sowie dem Einsatz auf einer Matratze, muss das Gerät eine hohe Elastizität aufweisen, um auf der Matratze zusammendrückbar zu bleiben.

ANFORDERUNG B 5 – *Das Gerät soll eine ausreichend hohe Elastizität aufweisen.*

ANFORDERUNG B 6 – *Das Gerät sollte eine durchscheinende und weiße Hülle haben, um das Licht der Aktorik im Inneren nicht zu verfälschen und gleichzeitig die inneren Bestandteile verbergen.*

In der Studie und den Workshops bezüglich der Interaktion wurde festgestellt, dass das Drehen, Neigen und Rollen der Objekte am häufigsten für die der Interaktionsaufgabe der Auswahl zugeordnete Unteraufgabe der Navigation verwendet wurde. Konsequenterweise bietet sich die Realisierung einer Steuerungsvariante für BIRDY basierend auf dem Drehen, Neigen oder Rollen auf der meist planen Liegefläche oder, wie bei den ProbandInnen beobachtet, auf dem Bauch oder Oberkörper der BenutzerIn an. Darüber hinaus wurde beobachtet, dass das Drücken, Klopfen, Schütteln und Anheben des Objekts überwiegend dazu verwendet wurde, die Unteraufgabe des Ausführens einer diskreten Aktion auszuführen, also beispielsweise eine Wahl zu bestätigen. Um all diese Interaktionen zu ermöglichen, sind Druck- und Lagesensoren erforderlich.

ANFORDERUNG B 7 – *Das Gerät soll über Drucksensorik verfügen, um das Zusammendrücken zu erkennen.*

ANFORDERUNG B 8 – *Das Gerät soll über eine inertielle Messeinheit sowie ein Magnetometer verfügen, um die eigene Orientierung und Orientierungsänderungen bestimmen zu können.*

Neben dem bereits angesprochenen passiven Feedback durch die Haptik des Geräts, bietet sich darüber hinaus taktilen und visuelles Feedback an, um die Interaktion zu fördern. Darüber hinaus bietet sich akustisches Feedback für mögliche Fehler an.

ANFORDERUNG B 9 – *Das Gerät soll über einen Vibrationsmotor verfügen, um taktilen Feedback zu geben.*

ANFORDERUNG B 10 – *Das Gerät soll über mehrere LEDs verfügen, um visuelles Feedback zu geben.*

ANFORDERUNG B 11 – *Das Gerät soll über einen Summer verfügen, um auf Fehler aufmerksam machen zu können.*

Um den Hygienerichtlinien zu entsprechen und weil es passieren kann, dass BIRDY mit einer Tauchdesinfektion behandelt werden kann, muss das Gerät entsprechend dicht sein. Daher bietet sich eine versiegelte Oberfläche und ein Laden per Induktion an.

ANFORDERUNG B 12 – *Das Gerät soll eine versiegelte Oberfläche haben und sollte daher per Induktion geladen werden.*

Basierend auf der beschriebenen Sensorik soll eine Steuerungsvariante mit BIRDY realisiert werden, die eine Steuerung des Menüs der PatientInnenanwendung erlaubt. Hierzu sind einerseits die Möglichkeit der Navigation in mindestens zwei Richtungen sowie der Auswahl des aktuellen Elements erforderlich.

ANFORDERUNG B 13 – *Das Gerät soll mindestens eine Variante einer Gestensteuerung bieten, die mindestens eine Navigation in zwei Richtungen und eine Elementauswahl umfasst.*

Da BIRDY erste Aktionen beim Aufwachen erfassen soll, sodass das Pflegepersonal informiert werden kann, wird eine Aktivitätserkennung benötigt.

ANFORDERUNG B 14 – *Das Gerät soll bewusste, ungezielte Interaktionen erkennen (Aktivitätserkennung).*

Die folgenden drei Anforderungen basierend auf der im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Analyse. Sie stellen somit eine Erweiterung des im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts aufgestellten Anforderungskatalogs dar.

Da das Gerät voraussichtlich nicht alle Situationen im Intensivkontext unterstützen kann, sollte es dynamisch in Ensembles bereitgestellt werden können.

ANFORDERUNG B 15 – *Das Gerät sollte im Sinne eines Smarten Objekts dynamisch einsetzbar sein.*

Zur Befähigung der dynamischen Bereitstellung in Ensembles, bietet sich eine Realisierung als Smartes Objekt mittels des Ambient-Reflection-Frameworks an.

Aufgrund des dynamischen Einsatzes sollte das Gerät darüber hinaus in der Lage sein, das eigene Handeln sowie deren Auswirkungen zur Laufzeit zu beobachten und dies Dritten mitzuteilen.

ANFORDERUNG B 16 – *Das Gerät sollte über die Fähigkeit der Selbstreflexion verfügen.*

Um das in Abschnitt 8.2 beschriebene Dreiphasenmodell unterstützen zu können, muss BIRDY einerseits als Interaktionsgerät für explizite Interaktion, aber auch für implizite Interaktion einsetzbar sein. Darüber hinaus muss das Gerät nicht interaktionsbezogene Informationen, wie Batteriestand, Kalibrierzustand etc. bereitstellen.

ANFORDERUNG B 17 – *Das Gerät soll neben erkannten Interaktionen auch nicht-interaktionsbezogene Informationen über sich selbst bereitstellen.*

Bei einer Integration in das Reflection-Framework lassen sich hierzu neben den Invocation-Nachrichten für explizite Interaktionen auch Miscellaneous-Event-Nachrichten für implizite Interaktionen (Aktivitäten während der Aufwachphase) und für zusätzliche Nachrichten (Kalibrierzustand, Batteriestand etc.) nutzen.

8.5.3 VERWANDTE GERÄTE

Im Folgenden werden unterschiedliche Forschungsansätze zu neuartigen gestenbasierten Interaktionsgeräten vorgestellt, die einige – jedoch nicht alle – aufgestellten Anforderungen erfüllen können, wobei insbesondere die äußere Erscheinung (speziell eine mehr oder weniger runde Form) als Vergleichskriterium herangezogen wurde. Aufgrund der Form ist ein Einsatz dieser Geräte in einem Bett vorstellbar, auch wenn viele der im Folgenden vorgestellten Systeme für die Steuerung eines herkömmlichen Desktop-Computers vorgesehen sind.

Die *Roly-Poly Mouse (RPM)* wurde von einem Stehaufmännchen (engl. *roly-poly toy*) inspiriert, das trotz seiner runden Unterseite stets in eine aufrechte Position zurückkehrt (Perelman et al., 2015). RPM kombiniert die Vorteile einer Standardmaus und 3D-Interaktionsgeräten, indem es eine Translation, ein Rollen und Rotation ermöglicht. Allerdings bietet RPM keine Aktorik, sodass es den BenutzerInnen kein aktives Feedback geben kann.

Ein weiteres vergleichbares Gerät ist *PALLA*, ein kugelförmiges Eingabegerät, das einfaches Feedback bietet (Varesano und Venero, 2012). Es wurde für Spiele und Freizeitaktivitäten entwickelt und ist mit einer Reihe von Sensoren und Aktoren ausgestattet. *PALLA* erlaubt Eingaben durch die BenutzerIn und über die Umgebung (beispielsweise Bewegungen des Geräts, mechanische Reize oder Veränderungen der äußeren Bedingungen) und bietet mittels eingebauter Leuchtdioden und eines Vibrationsmotors Feedbackmöglichkeiten. Aufgrund seiner Robustheit können BenutzerInnen sorglos mit ihm interagieren. Dabei ist anzumerken, dass sich weder RPM noch *PALLA* zusammendrücken lassen (eine Interaktion, die in der Nutzerpräferenzstudie mehrfach beobachtet wurde, vgl. Unterabschnitt 8.5.1).

Ein weiterer interessanter Ansatz ist das im Raum frei bewegliche Zeigegerät *SOAP* (Baudisch et al., 2006), das wie ein Stück Seife geformt ist. Es besteht aus der Sensorplatte einer drahtlosen optischen Computermaus, die sich frei in einer Hülle aus einem elastischem Material bewegt. Wird Druck auf die Hülle ausgeübt, weicht die Platine dem Druck aus und beginnt sich zu drehen. Die Bewegung zwischen der Hülle und der Platine wird von dem optischen Sensor erfasst. Die Autoren stellen zudem drei Interaktionsmuster mit dem Gerät vor: eine Joystick-Interaktion, eine »Gürtel-Interaktion« (engl. *belt interaction*), bei der die Oberfläche auf der Oberseite und auf der Unterseite in zwei unterschiedliche Richtungen gezogen wird, sodass sich die äußere Hülle um den Kern bewegt, und eine »Seifen-Interaktion« (engl. *soap interaction*), bei dem die Hülle in Position gehalten und der Kern rotiert wird. Das Gerät wurde erfolgreich in verschiedenen Szenarien erprobt, beispielsweise zur Desktop-Interaktion, bei Videospielen und als Presenter für Vorträge. Es lässt sich zusammendrücken und Mausklicks können ausgeführt werden. *SOAP* verfügt jedoch über keine integrierten Aktoren für aktives Feedback.

Bei *Qoom* handelt es sich um ein Gerät, das über eine interaktive omnidirektionale Oberfläche verfügt, die in einem Schaumgummiball integriert ist (Miyafuji et al., 2017). Es besteht aus einem Sensormodul, Elektroden zur Berührungserkennung und einem Display. Da es etwa die Größe eines Handballs hat, ist es

zu groß für die einhändige Interaktion in einem Bett. Zudem bietet es neben dem Display keine weiteren Aktoren für Feedback.

Einige andere ähnliche, jeweils nur teilweise kugelförmige Interaktionsgeräte sind *TDome* (Saidi et al., 2017), das eine Halbkugelform mit einer interaktiven Oberfläche kombiniert, *Mouse 2.0* (Villar et al., 2009), eine mit Multi-Touch-Sensorik ausgestattete Maus auf einer halbkugelförmigen Oberfläche, *Globefish* (Froehlich et al., 2006), ein eingebetteter Trackball mit drei Freiheitsgraden in einem elastischen Rahmen, und *Mark II*⁹, ein Trackball, der auf einem Ständer eingesetzt wird und dessen Sensorik im Inneren des Balls verbaut ist, sodass er verschlossen ist und induktiv geladen werden muss.

Ein weiteres vergleichbares Interaktionsgerät ist *ichó*¹⁰, welches entwickelt wurde, um einen Zugang zu Menschen mit Demenz oder Beeinträchtigungen zu fördern. Der *ichó*-Ball hat einige Ähnlichkeiten mit BIRDY, was die integrierten Sensoren und Aktoren betrifft. Im Gegensatz zu BIRDY liegt der Fokus von *ichó* auf dem Zugang zur Zielgruppe und einer Unterstützung der Förderung dieser, wobei insbesondere auch auf eine Aktivierung abgezielt wird. Das Gerät ist somit nicht direkt als Interaktionsgerät zur Steuerung eines weiteren Systems vorgesehen.

Da keiner der oben genannten Ansätze alle speziellen Anforderungen des gegebenen Nutzungskontextes erfüllt, war es das Ziel des ACTIVATE-Forschungsprojekts, ein speziell auf den Intensivkontext zugeschnittenes Gerät zu entwickeln, welches alle Anforderungen erfüllt.

8.5.4 DEMONSTRATOR

Basierend auf den beschriebenen Anforderungen wurde durch die Firma CogniMed GmbH ein Demonstrator entworfen, welcher einen ersten Entwurf eines möglichen Interaktionsgeräts für WeaningpatientInnen darstellt.

Neben den in den Anforderungen bereits beschriebenen Eigenschaften, Aktoren und Sensoren, verfügt BIRDY über einen Mikrocontroller und eine Bluetooth-Schnittstelle, sodass BIRDY als Bluetooth-Gerät gekoppelt werden kann. BIRDY ist mit zwei Akkumulatoren ausgestattet und verfügt über eine Ladespule, sodass das Gerät über diese induktiv geladen werden kann. Somit kann BIRDY die strikten Hygienerichtlinien erfüllen. Das Oberflächenmaterial ist dabei unempfindlich gegenüber den typischerweise im Klinikum eingesetzten Desinfektionsmitteln. Die Hardwareaufbau des Handgeräts ist in Abbildung 8.5 dargestellt.

Ein verbauter Mikrocontroller dient der Ausführung der Programm- und Steuerungslogik. So werden beispielsweise die Lichteffekte gesteuert sowie die Sensordaten gesammelt und ausgewertet, um sie per Bluetooth weiterleiten zu können. BIRDY nutzt dabei ein eigens von der CogniMed GmbH entworfenes Protokoll, um die Sensordaten, Steuerbefehle und Zusatzinformationen mit einer gekoppelten Gegenstelle auszutauschen.

⁹ Blog von Jacek Jedoryński. URL: <https://blog.jfedor.org/2021/01/bluetooth-trackball-mark-ii.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹⁰ <https://icho-systems.de/> (Abrufdatum 21.12.2022)

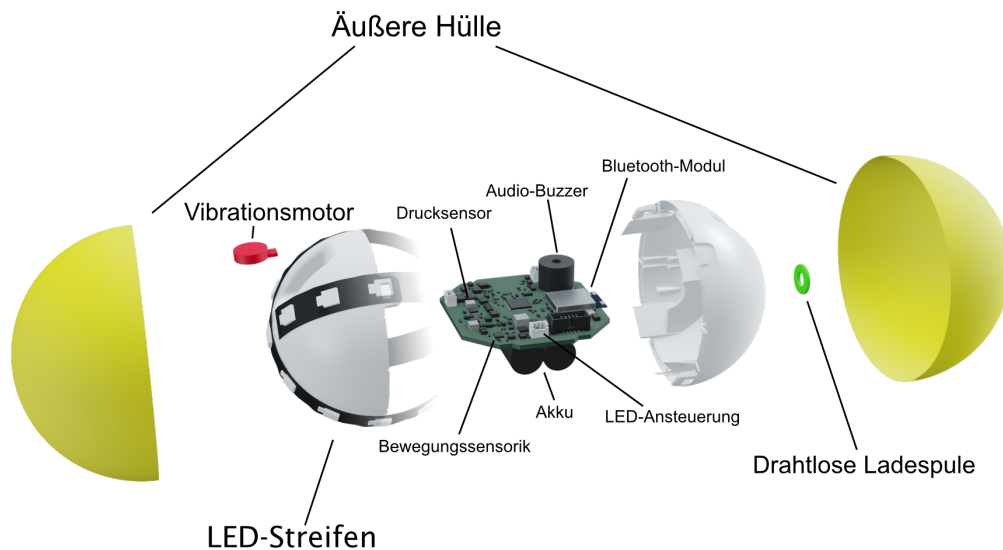


ABBILDUNG 8.5 – Explosionsgrafik der Komponenten von BIRDY. Quelle: Rafael Wortmann, Institut für multimediale und Interaktive Systeme, Universität zu Lübeck (mit Genehmigung des Instituts).

Für eine ganztägige Verfügbarkeit sind pro Bettenplatz eine Ladestation sowie zwei BIRDYs vorgesehen, sodass eine Benutzung immer im Wechsel erfolgen kann, während das nicht genutzte Gerät geladen wird. Hierzu verfügt die Ladestation über zwei Ladeplätze, die gleichzeitig betrieben werden können (Abbildung 8.6). Darüber hinaus dient die Ladestation als Aufbewahrungsort für in der Situation nicht genutzte Geräte. So kann BIRDY beispielsweise bei pflegerischen oder therapeutischen Maßnahmen neben das Ersatzgerät in die Station gelegt und später wieder entnommen werden.

Zudem beinhaltet die Ladestation einen Einplatinencomputer, welcher als Brücke zwischen der Bluetooth-basierten Kommunikation des Handgeräts und den IP-basierten Protokollen des Ambient-Reflection-Frameworks genutzt werden kann. Der aktiv gekoppelte BIRDY wird durch eine intelligente Erkennung des aufgelegten BIRDY ausgewählt, sodass eine Kopplung nach Drücken der Kopplungstaste mit dem zuletzt entnommenen Gerät erfolgt. Hierzu wird die Geräteerkennung per Ladespule übermittelt.

Die Ladestation verfügt zudem über einen Suchtaster, welcher mit zusätzlicher Funktionalität belegt werden kann und für eine Ansteuerung der Aktorik von BIRDY vorgesehen ist, sodass sich dieser bei Knopfdruck bemerkbar machen und bei Verlust einfacher wiedergefunden werden kann.

Darüber hinaus wurde von der CogniMed GmbH die Softwarebibliothek *libbirdy* bereitgestellt, welche als Schnittstelle auf ARM-Linux-Systemen genutzt werden kann. Die in der Programmiersprache C verfasste Bibliothek stellt Funktionen zur Ansteuerung der Aktorik (Vibrationsmotor, LED-Effekte und Summer bereit) und bietet Rückruffunktion, welche beim Empfangen der unterschiedlichen



ABBILDUNG 8.6 – Zwei BIRDY-Demonstratoren in der zugehörigen Ladestation. Die Ladestation verfügt über eine Ladestandsanzeige der Handgeräte (gekennzeichnet durch die Batteriesymbole) und über zwei Taster zur Bluetooth-Kopplung (markiert durch die zwei sich überschneidenden Ringe) sowie zur Suche nach dem aktuell aktiven Gerät (versehen mit einem Lupen-Symbol).

Sensordaten (Inertialdaten, Magnetometerdaten und Innendruck) sowie der Ladestandsinformationen aber auch bei Funktionen, die einen Rückruf erwarten (Ping- und Identifikationsnachrichten), aufgerufen werden.

In Abbildung 8.7 sind einerseits die Kommunikationswege zwischen Handgerät, Brücke sowie IP-basiertem Netzwerk und andererseits die Bestandteile der von der CogniMed GmbH bereitgestellten Programmierschnittstelle dargestellt. Beim BIRDY-Daemon handelt es sich um einen Hintergrundprozess, welcher die Kopplung zwischen Brücke und Handgerät verwaltet.

Der von der Firma CogniMed GmbH umgesetzte Demonstrator erfüllt dabei die Anforderungen B 1 bis B 3 und B 5 bis B 12. Die Anforderung B 4 ließe sich beispielsweise durch eine zusätzliche Hülle oder einen netzartigen Überzug für das Gerät realisieren, wird aber zunächst nicht weiter berücksichtigt.

8.5.5 REALISIERUNG ALS SMARTES OBJEKT

Das Interaktionsgerät BIRDY soll als Smartes Objekt realisiert werden (Anforderung B 15). In den folgenden Unterabschnitten wird die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Realisierung dieser Anforderung sowie der weiterführenden Anforderungen (B 16 und B 17) näher erläutert. Insbesondere wird auch die Umsetzung der erforderlichen Gesten- (Anforderung B 13) und Aktivitätserkennung (Anforderung B 14) beschrieben.

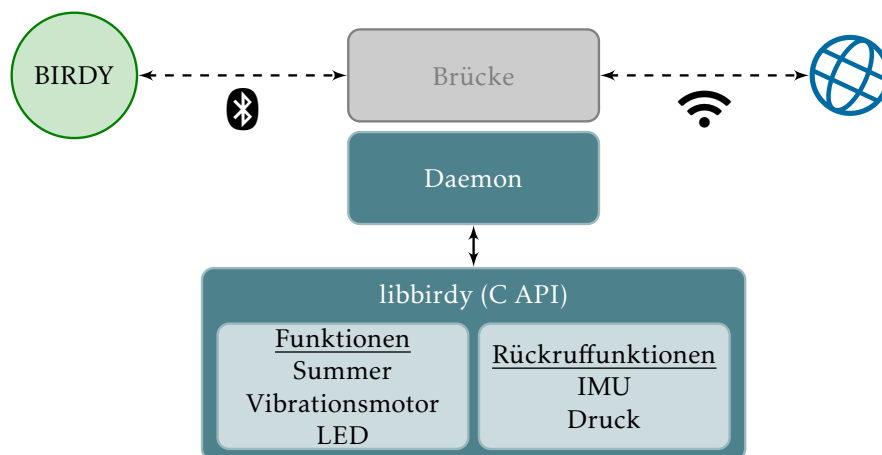


ABBILDUNG 8.7 – Kommunikationswege zwischen BIRDY, Brücke sowie IP-basierten Netzen und der Softwarebibliothek libbirdy.

Um an IP-basierten Netzen teilnehmen zu können, ist der Einsatz einer entsprechenden Brücke erforderlich, da das Handgerät selbst ausschließlich über eine Bluetooth-Schnittstelle verfügt. Allerdings ist durch die Ladestation bereits eine Brücke gegeben, die sowohl über eine Bluetooth-Schnittstelle, als auch über eine WLAN-Schnittstelle verfügt, sodass diese genutzt werden kann, um BIRDY als Smartes Objekt in die Smarte Intensivstation zu integrieren. Zur Befähigung des Geräts zur Selbsterklärung bietet sich der Einsatz des in Kapitel 7 beschriebenen Frameworks an.

Während die Softwarebibliothek libbirdy der CogniMed GmbH in der Programmiersprache C verfasst ist, wurde beim Ambient-Reflection-Framework auf die Programmiersprache Java gesetzt. Prinzipiell ließe sich BIRDY per Virtual Device Daemon sowie eine in diesem Fall noch zu entwickelnde C/C++-API integrieren. Eine andere Realisierungsmöglichkeit stellt die Nutzung einer nativen Schnittstelle zu plattformspezifischen Softwarebibliotheken dar, wie sie beispielsweise durch *Java Native Interface (JNI)*¹¹ gegeben ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf die Möglichkeit der nativen Schnittstelle zurückgegriffen, wobei JNI nicht direkt genutzt, sondern stattdessen der *Simplified Wrapper and Interface Generator (SWIG)*¹² eingesetzt wurde. Dieser vereinfacht das Erstellen der Schnittstelle zwischen C/C++-Bibliotheken und einer Java-Software, indem ein Großteil des benötigten Quellcodes anhand von Konfigurationsdateien automatisch generiert wird. Der Einsatz von JNI macht es grundsätzlich erforderlich, zusätzlichen und speziell angepassten Quelltext zu verfassen, der sowohl Java-seitig als auch seitens des nativen Codes gegeben sein muss. Zur Abbildung von mittels C++ entwickelten Klassen in Java sind somit neben JNI selbst noch zwei zusätzliche Schichten nötig. SWIG ermöglicht

¹¹ <https://docs.oracle.com/en/java/javase/18/docs/specs/jni/index.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹² <https://www.swig.org/> (Abrufdatum 21.12.2022)

jedoch das Generieren des Quelltexts dieser beiden Schichten basierend auf den angesprochenen Konfigurationsdateien, wobei nur in bestimmten Fällen zusätzlicher Quelltext integriert werden muss. Zudem kann SWIG vom Erstellungsprogramm (beispielsweise mittels CMake) aufgerufen und somit in den Übersetzungsprozess integriert werden, sodass der benötigte Schnittstellenquellcode automatisch generiert wird. Bei einer derartig verwalteten Schnittstellenkonfiguration und -generierung fällt der Aufwand der Entwicklung und Wartung der Schnittstelle verhältnismäßig gering aus.

Die Entscheidung für eine native Schnittstelle liegt insbesondere darin begründet, dass das Framework mittels Java realisiert ist, sodass es sich anbietet, auch BIRDY mittels Java zu integrieren. Zudem lässt sich das System so flexibler und direkter einsetzen, da einerseits keine zusätzliche Hintergrundkomponente ausgeführt werden muss und die Integration nicht über eine zusätzliche WebSocket-Schnittstelle erfolgt.

Allerdings lässt sich die *libbirdy* durch diesen Lösungsansatz nicht direkt in der Anwendungssoftware für BIRDY nutzen, da unterschiedliche Programmiersprachen zum Einsatz kommen, die zunächst inkompatibel zueinander sind. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit die in der Programmiersprache C++ verfasste Wrapper-Komponente *libbirdywrapper* entwickelt, welche selbst wiederum eine Softwarebibliothek darstellt, die von unterschiedlichen Anwendungen genutzt werden kann. Die Wrapper-Komponente greift dabei einerseits auf die Softwarebibliothek *libbirdy* zurück und stellt andererseits mittels SWIG und JNI eine Schnittstelle für die Programmiersprache Java zur Verfügung. Aus Gründen der Effizienz und der logischen Trennung erfolgen in der Wrapper-Komponente zudem einige Verarbeitungsschritte der Sensordaten und der Aktorsteuerung. Darüber hinaus werden Schnittstellen für Ereignisbehandlungsroutinen bereitgestellt, die dem Empfang der rohen sowie der verarbeiteten Sensordaten, aber auch der Verarbeitung höherwertiger Ereignisse dienen.

Das Erstellungsprogramm und das Übersetzungsprogramm erzeugen nach der Ausführung zwei native Softwarebibliotheken (einerseits der eigentlichen *libbirdywrapper* sowie eine Bibliothek, die den C++-seitigen JNI-Code enthält) und eine Java-Bibliothek, in der die C++-Klassen abgebildet sind. Die Java-Bibliothek lässt sich, wie andere Java-Softwarebibliotheken auch, in gewöhnlichen Java-Quellcode integrieren und in vielen Fällen lassen sich mittels der Klassen erzeugte Objekte auch wie normale Java-Objekte nutzen. Eine Ausnahme hiervon stellen Klassen dar, die die Schnittstellen zu den Ereignisbehandlungsroutinen realisieren. Hier muss darauf geachtet werden, die Referenzen zu den erstellten Objekten mitzuführen und nicht ausschließlich der C++-Seite zu überlassen, da die Java-seitige automatische Speicherbereinigung (*Garbage Collection*) die Objekte aufgrund der fehlenden Referenz sonst löschen und somit Fehler produzieren würde. Zur Ausführung wird zudem die native Bibliothek benötigt, die über den C++-seitigen JNI-Code verfügt.

BIRDY ist für eine gestische Interaktion vorgesehen, wobei die Sensorik eine Erkennung unterschiedlicher Gesten, wie das Neigen in bestimmte Richtungen sowie das Zusammendrücken des Geräts, erlaubt. Durch eine Bereitstellung dieser Eingabeereignisse lässt sich eine Steuerung der PatientInnenanwendung

realisieren. Allerdings ist eine direkte Verwendung der rohen Sensordaten nicht möglich, da diese gestört und verrauscht sind. Daher muss zunächst eine Kalibrierung und Justierung erfolgen. Zudem bietet sich eine Sensordatenfusion an, die die Geräteorientierung bestimmt und aufgrund des Zurückgreifens und Zusammenführens mehrerer Sensordaten bessere Ergebnisse erzielt. Erst die aufbereitete Daten eignen sich letztlich, um eine Weiterverarbeitung durchzuführen und eine Aktivitäts- und Gestenerkennung zu realisieren.

Die Integration von BIRDY in das ACTIVATE-System erfolgt letztlich mittels einer Java-Anwendung, die einerseits auf die Java-Bibliothek der Wrapper-Komponente und andererseits auf die Smart Object Library zurückgreift (s. Abbildung 8.8). Sie greift dabei auf die bereitgestellten vorverarbeiteten Sensordaten, höherwertige Ereignisse und die Nachrichtenkanäle zum Reflection-Framework zurück. Neben interaktionsbezogenen Nachrichten werden auch nicht-interaktionsbezogene Nachrichten bereitgestellt, die jeweils mittels Framework-Komponenten an die entsprechenden Gegenstellen weitergeleitet werden. Die mittels Description Mediator vermittelte Gegenstelle kann diese Nachrichten anschließend weiterverarbeiten, wobei dies im Fall des Integrationsbeispiels die PatientInnenanwendung ist.

8.5.6 VERARBEITUNG DER SENSORDATEN

Zur Erfassung der Orientierung im Raum, der Drehraten, Beschleunigungen und der Ausrichtung im Erdmagnetfeld wurde bei BIRDY eine dreiachsigere inertielle Messeinheit (engl. *inertial measurement unit*, kurz IMU) bestehend aus Inertialsensoren und einem Magnetometer verbaut. Dabei handelt es sich um ein Mikrosystem (engl. *micro-electro-mechanical system*, kurz MEMS), welchen die Sensoren in räumlicher Kombination realisiert und eine Quantisierung in 16 Bit vorsieht. Die Messbereiche des verwendeten Bauteils können dabei grundsätzlich konfiguriert werden, wobei für BIRDY eine Konfiguration vorgegeben ist.

Das Gyroskop der inertialen Messeinheit dient der Erfassung der Rotationsgeschwindigkeit und wurde so konfiguriert, dass es je Achse Drehraten in Schritten von $\frac{1}{1000} \text{ }^\circ\text{s}^{-1}$ misst. Das Accelerometer dient hingegen der Messung der Beschleunigung. Es ist auf $\pm 2\text{g}$ »full-scale« konfiguriert, sodass die 16-Bit Zweierkomplement-Ganzzahl bei -32768 etwa einer Beschleunigung von -2g und bei 32767 etwa einer Beschleunigung von 2g entspricht. Dabei entspricht ein Wert von 0 der Abwesenheit einer Beschleunigung, also 0g . Zur Messung der Flussdichte wird das Magnetometer herangezogen. Es ist bei BIRDY auf $\pm 4912\ \mu\text{T}$ »full-scale« konfiguriert, sodass der Wert der genutzten 16-Bit Zweierkomplement-Ganzzahl -32760 einer Flussdichte von ca. $-4912\ \mu\text{T}$ und bei $+32760$ einer Flussdichte von etwa $4912\ \mu\text{T}$ entspricht. Bei der Nutzung als Kompass lassen sich die drei Messwerte des Magnetometers als einheitslosen dreidimensionalen Vektor betrachten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Sensor zwar auf das Erdmagnetfeld reagiert, jedoch in der Praxis auch durch andere Magnetfelder gestört werden kann.

Aufgrund der Störungen der Sensoren sowie des auftretenden Rauschens, können die rohen Sensordaten nicht direkt verwendet werden. Stattdessen werden für genauere, weniger verrauschte Daten zunächst eine Kalibrierung und Justie-

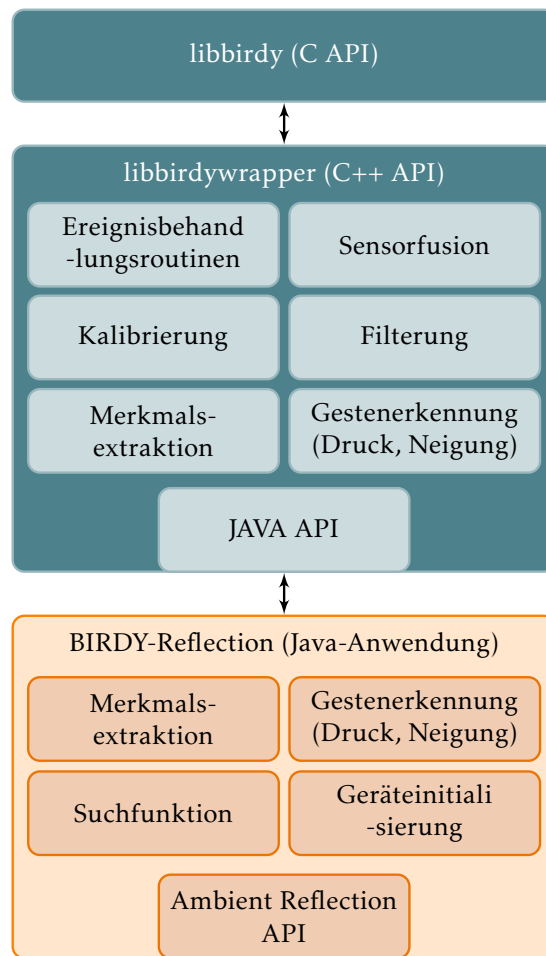


ABBILDUNG 8.8 – Softwarekomponenten von BIRDY zur Integration in das ACTIVATE-System mittels des vorgestellten Frameworks.

ung nötig. Anschließend kann eine Sensordatenfusion herangezogen werden, um bessere Ergebnisse basierend auf dem Zusammenführen der Daten mehrerer Sensoren zu einem konsistenten Sensordatum zu bekommen.

KALIBRIERUNG UND JUSTIERUNG

Konstant einwirkende Störungen lassen sich prinzipiell durch eine Kalibrierung messen und durch eine anschließende Justierung ausgleichen. Auf diese Weise können für die Weiterverarbeitung geeignete Sensordaten gewonnen werden.

Am stärksten ist dabei das Magnetometer betroffen. Dessen Daten lassen sich (insbesondere zur Orientierungsbestimmung) überhaupt erst nach einer entsprechenden Justierung nutzen. Grundsätzlich werden zwei Arten der Störung unterschieden: sogenannte Soft-Iron- und Hard-Iron-Effekte (Ozyagcilar, 2011, 2012). Bei Hard-Iron-Effekten handelt es sich um ein konstant additives Feld relativ zum Sensor, welches sich in einer Verschiebung der Sensordaten in

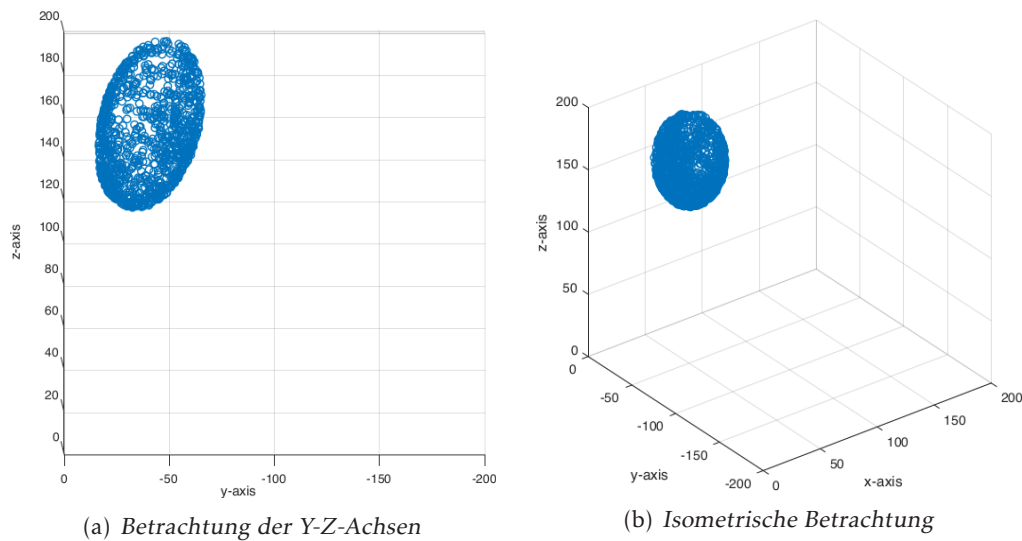


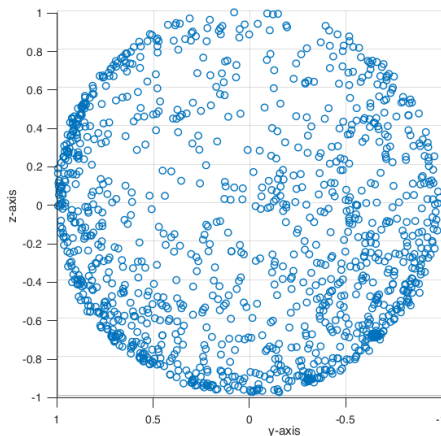
ABBILDUNG 8.9 – Störung der Magnetometerdaten durch Hard-Iron und Soft-Iron Effekte.

eine bestimmte Richtung äußert. Soft-Iron-Effekte entstehen hingegen durch nicht-additive Störungen relativ zum Sensor, wobei es zu einer Verzerrung der Sensordaten kommt.

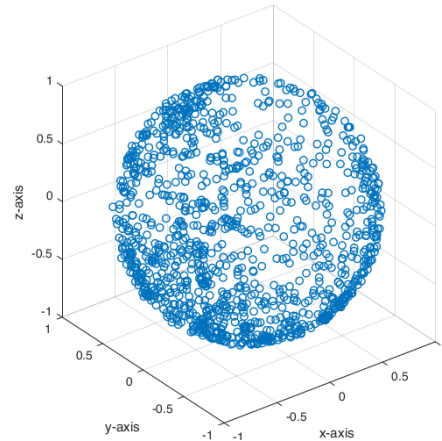
Sichtbar wird der Einfluss dieser Effekte, wenn der Sensordaten über längere Zeit aufgezeichnet werden und der Sensor dabei in unterschiedliche Richtungen gedreht wird, sodass der magnetische Norden in unterschiedliche Richtungen des Magnetometers zeigt. Da somit viele Richtungen abgedeckt sind, ist zu erwarten, dass sich die gemessenen Sensordaten auf einer Kugelhülle befinden, dessen Mittelpunkt im Koordinatenursprung verortet ist. Bei einer Betrachtung der Sensordaten als Einheitsvektor zur Indikation der Orientierung ist zudem zu erwarten, dass der Radius stets eins beträgt.

Die beiden beschriebenen Effekte sorgen jedoch dafür, dass sich die Sensordaten ohne entsprechende Justierung eher zu einem Ellipsoid formen (Soft-Iron-Effekte), dessen Mittelpunkt in eine Richtung verschoben wurde (Hard-Iron-Effekte). Abbildung 8.9 verdeutlicht diese Effekte an einer Beispielaufzeichnung mittels eines der Interaktionsgeräte.

Mittels Kalibrierung lässt sich die Messwertabweichung bestimmen, sodass mittels einer anschließenden Justierung eine Korrektur vorgenommen werden kann. Hierzu werden zunächst Magnetometerdaten aufgezeichnet, während das Gerät über einen Zeitraum hinweg gedreht wird, sodass unterschiedliche Raumrichtungen abgedeckt sind. Basierend auf diesen Daten lassen sich die auftretende Verschiebung und Verzerrung bestimmen. Hierzu kann mittels Ellipsoid-Fitting ein Vektor zur Verschiebung und eine Matrix zur Entzerrung der Ellipsoid-Form bestimmt werden, welche genutzt werden kann, um die Daten wieder in eine Kugelform zu bringen (Kok et al., 2012; Li und Griffiths, 2004). Auf diese Weise



(a) Betrachtung der Y-Z-Achsen



(b) Isometrische Darstellung

ABBILDUNG 8.10 – Ungestörte bzw. entstörte Magnetometerdaten befinden sich auf einer Kugel um den Koordinatenursprung. Der Radius der Kugel beträgt bei einem Einheitsvektor stets die Länge 1.

ließen sich beispielsweise auch die in Abbildung 8.9 dargestellten, gemessenen rohen Sensordaten zu den in Abbildung 8.10 entstörten Daten korrigieren.

SENSORDATENFUSION

Dem Rauschen auf den Daten und der Messwertabweichung einzelner Sensoren kann durch eine Sensordatenfusion entgegengewirkt werden. Dabei werden die Daten nicht mehr direkt und isoliert betrachtet, sondern mittels eines Fusionsverfahrens zu einem konsistenten Sensordatum zusammengeführt, sodass qualitativ hochwertigere Daten gewonnen werden können. Bei den Daten einer inertialen Messeinheit werden typischerweise Verfahren eingesetzt, die die Orientierung des Sensors hinsichtlich eines Koordinatensystems bestehend aus dem Erdmagnetfeld und der Erdanziehungskraft (engl. *earth frame*) bestimmen. In der Regel wird hierzu ein Quaternion genutzt, ein mathematisches Konstrukt, welches eine kompakte Darstellung von Rotationen im dreidimensionalen Raum erlaubt. Diesem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich jede Rotation bzw. jede Abfolge von Rotationen eines Objekts im dreidimensionalen Raum durch eine einzelne Rotation um eine bestimmte Drehachse ausdrücken lässt. Das Quaternion wird dabei genutzt, um mittels reeller Komponente den Drehwinkel und mittels der drei imaginären Komponenten die Drehachse als Vektor darzustellen. Zudem erlaubt die Quaterniondarstellung weitere Berechnungen mit unterschiedlichen Rotationen anhand der durch sie bestimmten vierdimensionalen Divisionsalgebra.

Die Quaterniondarstellung ist kompakter und Berechnungen mit ihr sind effizienter als beim Einsatz von Rotationsmatrizen. Darüber hinaus kann bei der Eulerschen Geometrie das Gimbal-Lock-Problem auftreten, wenn zwei Drehachsen parallel zueinander liegen, sodass in dieser Situation ein Freiheitsgrad verlorengeht. Bei Quaternionen kann es hingegen nicht dazu kommen.

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Verfahren entwickelt, um eine Sensordatenfusion zu realisieren. Dabei werden Erdmagnetfeld (magnetischer Norden) und Erdbeschleunigung als Referenzen herangezogen und abhängig vom Verfahren weitere Schritte vorgenommen, um ein genaueres Ergebnis zu erzielen.

Viele Verfahren setzen auf ein Komplementärfilter zur Sensordatenfusion (vgl. hierzu die nachfolgend vorgestellten Verfahren). Diese bestehen grundsätzlich aus einem Tiefpassfilter für die Accelerometer- und die Magnetometerdaten, mittels der sich die Erdausrichtung bestimmen lässt, sowie einem Hochpassfilter für das Gyroskop, um schnelle Änderungen, die vom Accelerometer und vom Magnetometer nur ungenau erfasst werden können, zu berücksichtigen. Auf diese Weise lässt sich das Rauschen und der Kreiseldrift des Gyroskops, also das Auswandern der Drehachse, durch das Referenzsystem der Erdausrichtung korrigieren (vgl. Bachmann et al., 2001).

Ein auf einem Komplementärfilter aufsetzendes Verfahren ist das Mahony-Filter, bei dem eine nichtlineare Näherung des Fehlers zur Korrektur der aus den Gyroskopdaten ermittelten Orientierung genutzt wird (Mahony et al., 2008). Eine Korrektur des ermittelten Drehratenvektors erfolgt dabei basierend auf dem Abgleich einer vorangegangenen Schätzung der Orientierung mit den vorliegenden Daten des Accelerometers und des Magnetometers.

Ein häufig eingesetztes Verfahren der Sensordatenfusion stellt das Madgwick-Filter (eine Variante eines Komplementärfilters) dar, welches das resultierende Quaternion mittels Gradientenabstiegsverfahren optimiert (Madgwick et al., 2011). Dabei findet eine Gewichtung des Quaternions und eine anschließende Verrechnung mit den Messdaten des Gyroskops sowie der vorangegangenen Orientierung statt.

Eine weitere, von Valenti et al. (2015) vorgestellte Variante des Komplementärfilters basiert auf einer Fusion der Orientierungsabschätzung basierend auf den Gyroskopdaten, wobei die Accelerometerdaten nur für Roll- und Nick-Winkel der Orientierung herangezogen werden. Magnetometerdaten werden in einem nachgelagerten Schritt herangezogen um den durch die Gyroskopdaten ermittelte Gier-Winkel zu korrigieren. Das Verfahren basiert somit auf einer Trennung des Quaternions für die Neigung und des Quaternions für die Drehung entlang der verbleibenden Achse, sodass Magnetfeldstörungen einen geringeren Einfluss haben.

In der Wrapper-Komponente wurde eine Austauschbarkeit der Verfahren zur Sensordatenfusion vorgesehen und eine entsprechende Schnittstelle implementiert. Dabei wurden das Mahony-Filter, das Madgwick-Filter und das von Valenti et al. (2015) beschriebene Komplementärfilter realisiert, sodass der Einsatz und der Vergleich unterschiedlicher Verfahren möglich ist.

8.5.7 REALISIERUNG DER GESTENSTEUERUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Gestensteuerungsvariante für BIRDY realisiert. Hierzu wurde auf die Erkenntnisse der Vorstudie zurückgegriffen, bei

welcher potentielle Gesten identifiziert wurden. Basierend auf der Umsetzbarkeit mit dem Gerät wurden zunächst Neigegesten für richtungsbezogene und Druckgesten für richtungslose Eingaben ausgewählt.

Während sich mit dem nachfolgend vorgestellten Verfahren prinzipiell vier Neigegesten (Neigen nach links, rechts, vorne und hinten) unterscheiden lassen, werden für die ACTIVATE-Systemanwendung nur Neigegesten nach links und nach rechts unterschieden. Dies liegt einerseits darin begründet, dass bei der Zielgruppe eine reduzierte Gestaltung notwendig ist, wobei mehr Eingabeoptionen das System komplexer werden lassen. Andererseits ist eine Ausführung der Neigegesten nach vorne und nach hinten bei einem Einsatz im Bett deutlich anstrengender als Neigegesten zur Seite. Darüber hinaus bietet eine Diskriminierung von nur zwei Neigegesten das Potenzial, diese mit einer höheren Toleranz zu erkennen und somit die Erkennungsrate zu steigern.

Während sich richtungslose Eingaben mittels orientierungsinvarianter Merkmale umsetzen lassen, erfordern richtungsbezogene Eingaben eine Auswertung der konkreten Richtung, wobei sich aus der Tatsache heraus, dass BIRDY in beliebiger Orientierung genutzt werden soll, eine Problemstellung ergibt.

ORIENTIERUNGSVARIANTE GESTEN

Während sich Neigegesten relativ einfach realisieren lassen, wenn das Interaktionsgerät in einer festen Orientierung in der Hand liegt, sodass die Abweichungen von der Ausgangsposition ermittelt werden können, folgt aus der freien Orientierung des ballförmigen Interaktionsgeräts BIRDY eine Herausforderung die intendierte Richtung der Eingabe zu ermitteln. Meist steht die Eingabe dabei in Relation zur BenutzerIn, wobei eine Schwierigkeit insbesondere dadurch entsteht, dass eine Orientierungserfassung ausschließlich im Gerät erfolgt. Aus den Sensordaten alleine lassen sich somit zunächst keine Schlüsse darauf ziehen, in welche Richtung die Eingabe mit BIRDY aus der Sicht der BenutzerIn erfolgte. Dennoch sollten die unterschiedlichen Neigerichtungen unterschieden werden, um eine richtungsbezogene Interaktion (beispielsweise mit dem Menü der PatientInnenanwendung) zu realisieren.

Dieser Sachverhalt betrifft neben den Neigegesten auch andere orientierungsvariante Gesten, wie beispielsweise Schiebengesten oder Bewegungsgesten in bestimmte Richtungen.

Ein im Rahmen dieser Arbeit ermittelter und letztlich mit BIRDY realisierter Lösungsansatz stellt die Festlegung einer statischen Referenzachse dar, anhand derer die unterschiedlichen Richtungen unterschieden werden können. Durch das Nachführen einer dynamischen Referenz mittels Tiefpassfilterung, lässt sich das Delta zwischen schneller ausgeführter Neigegeste und der dynamischen Referenz bestimmen. Dieses Delta kann anschließend hinsichtlich der statischen Referenzachse betrachtet werden, sodass sich bestimmen lässt, in welche Richtung die Neigegeste hinsichtlich der statischen Referenzachse ausgeführt wurde. Dadurch wird die konkrete Orientierung des Sensors und somit auch des Balls kompensiert, sodass das Interaktionsgerät in beliebiger Orientierung genutzt werden kann, sobald die Referenzachse festgelegt wurde.

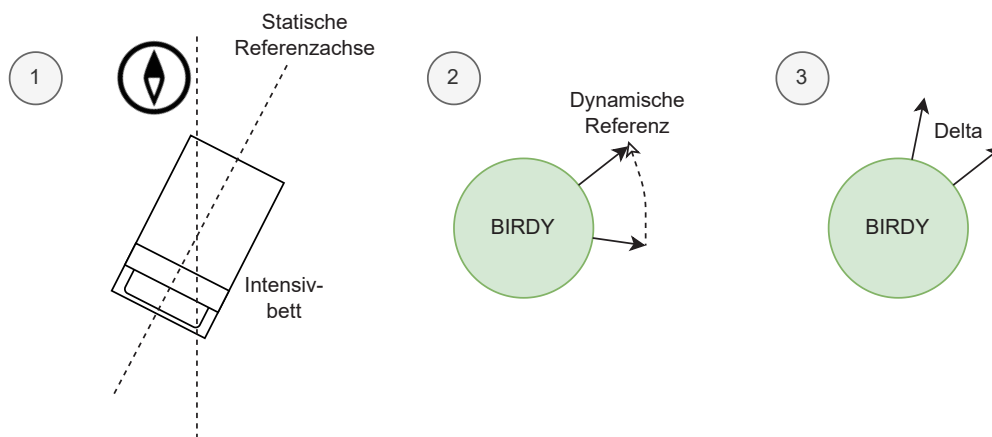


ABBILDUNG 8.11 – Realisierung der orientierungsvarianten Gestensteuerung mit BIRDY. Das Intensivbett kann als statische Referenz dienen (1). Mittels des Nachführens einer dynamischen Referenz (2) lassen sich kurzzeitige Orientierungsänderungen ermitteln (3). Bei einer Betrachtung hinsichtlich der Referenzrichtung bietet sich so die Möglichkeit, die Orientierung der Gesten zu identifizieren.

Dieser Ansatz eignet sich somit nur in Situationen, in denen die BenutzerIn relativ statisch im (Erd-)Magnetfeld orientiert ist. Im Intensivkontext ergibt sich aus der über längere Zeiträume unveränderten Position des Betts eine solche Referenzachse, die prinzipiell genutzt werden kann. IntensivpatientInnen sind dabei typischerweise im Bett positioniert, welches die meiste Zeit eine feste Position im Zimmer und somit im (Erd-)Magnetfeld einnimmt. Bei einer Verschiebung des Betts ergibt sich typischerweise eine Situation, in der das Interaktionsgerät zunächst aus dem Bett genommen und in die Ladestation zurückgelegt wird, sodass die Referenzachse später erneut festgelegt werden kann.

Somit lässt sich die Festlegung der Referenzachse des Intensivbetts in den Prozess der Bereitstellung integrieren. Nach der Entnahme eines Interaktionsgeräts aus der Ladestation wird zunächst mittels der Leuchtdioden ein Leuchtmuster auf dem Ball dargestellt, welches eine Orientierung vorgibt, in der BIRDY in das Bett gelegt werden soll. Das Fußende des Intensivbetts stellt dabei den Orientierungspunkt dar, zu dem das Leuchtmuster entlang der Längsachse des Betts ausgerichtet wird. Durch ein anschließendes Drücken des Balls wird die Referenzachse festgelegt. In der Folge lässt sich erkennen, wenn BIRDY hinsichtlich der Ausrichtung des Betts nach links, rechts, vorne oder hinten geneigt wird. Abbildung 8.11 verdeutlicht dieses Verfahren.

Das Vorgehen birgt allerdings auch einige Nachteile, die berücksichtigt werden sollten. Einerseits entspricht die vorgegebene Referenzachse nicht zwangsläufig der (gewollten) Orientierung der BenutzerIn, sodass es zu Diskrepanzen zwischen der Vorgabe und individuell angenommener Ausrichtung kommen kann. Dies ist insbesondere bei einer Nutzung auf dem Bauch oder dem Oberkörper zu erwarten, wo die Hand typischerweise in etwa rechtwinklig zur Referenzachse

des Betts steht. Andererseits erzeugt die Tiefpassfilterung zur Nachführung der dynamischen Referenz inhärent eine Verzögerung. Bei einer Umorientierung (beispielsweise, weil das Gerät weggerollt ist) dauert es einige Sekunden, bis die dynamische Referenz nachgeführt ist. Eine einwandfreie Interaktion ist in diesen Situationen somit nicht sofort, sondern erst wieder mit etwas Verzögerung möglich.

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine Neigegestensteuerung für BIRDY umgesetzt, welche auf Winkelvergleichen, einer Hysterese und Zeitintervallen aufbaut. Sie basiert auf der Bestimmung der Referenzachse, der Tiefpassfilterung zur Nachführung, dem Delta und dessen Betrachtung hinsichtlich der Referenzachse.

Prinzipiell können für die Winkelvergleiche Eulerwinkel (Lagewinkel) herangezogen werden. Bei dem Delta hinsichtlich des Referenzsystems beschreiben die Eulerwinkel die Winkel dreier nacheinander ausgeführter Rotationen um die drei Achsen, die zur aktuellen Orientierung geführt haben. Für Neigegesten werden dabei Rotationen um die Längsachse (wird auch als »Rollen« bezeichnet) und um die Querachse (wird auch als »Nicken« bezeichnet) betrachtet. Das Rollen entspricht dabei einem Neigen nach links oder rechts und das Nicken einem Neigen nach vorne oder hinten. Allerdings gibt es eine Abhängigkeit zwischen den Eulerwinkeln, da der Winkel der zuerst aufgeführten Rotation mitunter den Winkel der nachfolgend ausgeführten Rotationen beeinflusst. Somit lassen sich das Rollen und Nicken nicht unabhängig voneinander betrachten.

Daher bietet sich statt der Eulerwinkel eine Winkelbestimmung basierend auf einer Projektion an. Hierzu wird jeweils ein Vektor gewählt, der in die Richtung einer der beiden Achsen zeigt, die auf der jeweils betrachteten Ebene liegen. Anschließend wird dieser Vektor entsprechend der Orientierung des Deltas hinsichtlich der Referenzachse rotiert und wieder auf die betrachtete Ebene projiziert. Danach lässt sich der Winkel zwischen dem so projizierten Vektor und dem Ausgangsvektor (also der gewählten Achse) bestimmen. Somit können die aktuellen Neigewinkel für das Rollen und das Nicken unabhängig voneinander bestimmt werden. Ein Beispiel für eine Aufzeichnung der Winkelverläufe bei der Ausführung zweier Neigegesten ist in Abbildung 8.12 dargestellt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Winkel eine geringe Aussagekraft haben, wenn der rotierte Vektor annähernd orthogonal zur betrachteten Ebene steht und im Falle einer Orthogonalität eine Singularität auftritt, die behandelt werden muss. Dass der Vektor weit aus der Ebene herausgedreht wird, passiert insbesondere dann, wenn eine der komplementären Rotationsgesten (also Neige- oder Drehgesten) ausgeführt wird. Daher lässt sich die Abweichung zwischen einem mittels Delta-Quaternion rotiertem Vektor, der in Richtung der jeweils erwarteten Drehachse zeigt, sowie der unveränderten Drehachse ermitteln. Bei einer Rotation annähernd um die Drehachse, fällt die Abweichung gering aus, während eine Rotation um eine der anderen Achsen zu einer hohen Abweichung führt. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 8.13 dargestellt, wo eine Drehgeste ausgeführt wurde (Drehung gegen den Uhrzeigersinn und anschließende Drehung zurück in die Ausgangsposition). Während hierbei die Abweichung zwischen rotiertem Z-Achsen-Vektor und der Z-Achse (erwartete Drehachse

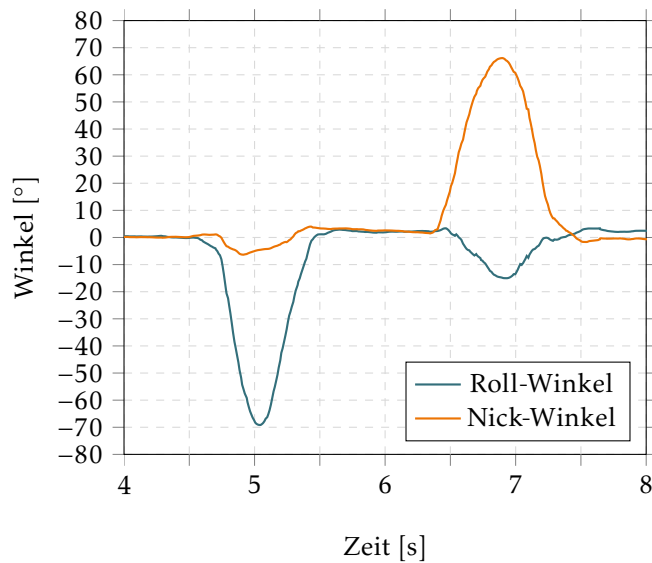


ABBILDUNG 8.12 – Aufzeichnung des Roll- und des Nick-Winkels bei der Ausführung einer Neigegeste nach links und einer anschließenden Neigegeste nach vorne

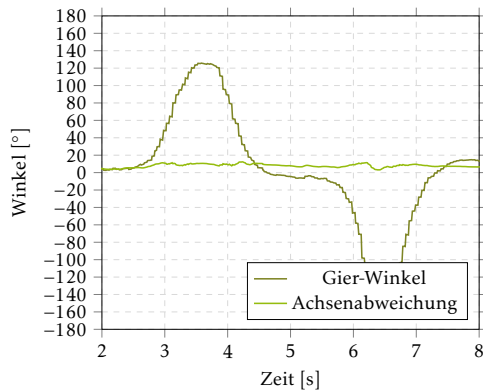
bei einer Änderung des Gier-Winkels) gering bleibt, weichen die rotierten X- (Rollen) und Y-Achsen-Vektoren (Nicken) stark von der jeweiligen Achse ab.

Anschließend werden Winkelvergleiche mittels einer Hysterese durchgeführt: Sofern ein konfigurierbarer Winkelbetrag überschritten (standardmäßig 25°) und anschließend ein kleinerer Winkelbetrag (standardmäßig 18°) innerhalb eines gültigen Zeitintervalls (standardmäßig 100 ms bis 3000 ms) unterschritten wurde (die Zeit zwischen diesen beiden Ereignissen also nicht zu kurz oder nicht zu lang ist), wurde eine Geste erkannt. Die Richtung bestimmt sich dabei aus dem betrachteten Winkel (Rollen oder Nicken) und dem Vorzeichen des Werts (positiv oder negativ). Die Beschränkung auf eine Mindestausführungsdauer dient der Filterung von Rauschen. Die maximale Dauer ist hingegen durch die Tiefpassfilterung zur Nachführung der dynamischen Referenz beeinflusst. Eine sehr langsame Ausführung wäre dabei nicht mehr von einer Umpositionierung des Geräts unterscheidbar und wird daher nicht zugelassen. Abbildung 8.14 illustriert den Ablauf der Neigegestenerkennung.

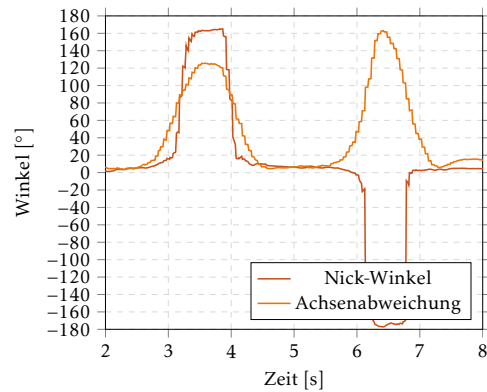
Somit lassen sich entsprechende Gestenereignisse bereitstellen, die für Invocations mittels Smart Object Library genutzt werden können. Für eine höhere Erkennungsrate können weniger Achsen (beispielsweise nur das Rollen) unterschieden werden, sodass keine Diskriminierung zwischen den Achsen erfolgen muss und das Kriterium der Achsenabweichung entschärft werden kann.

ORIENTIERUNGSINVARIANTE GESTEN

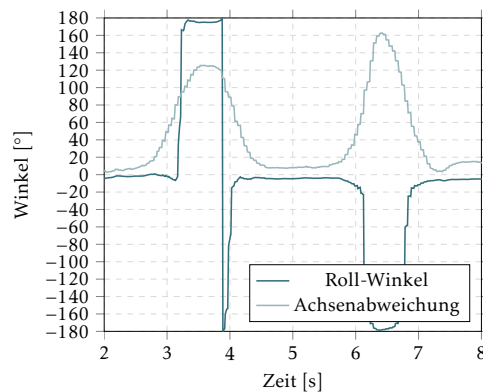
Anders als bei den bisher beschriebenen orientierungsvarianten Gesten, weisen die orientierungsinvarianten Gesten keinen Bezug zu einer konkreten Richtung



(a) Aufzeichnung des Gier-Winkels und der Achsenabweichung



(b) Aufzeichnung des Nick-Winkels und der Achsenabweichung



(c) Aufzeichnung des Roll-Winkels und der Achsenabweichung

ABBILDUNG 8.13 – Winkelverläufe bei der Ausführung einer Drehgeste. Durch die weite Drehung werden bei projizierten Winkeln nicht nur Ausschläge des Gier-Winkels, sondern auch der Roll- und Nick-Winkel beobachtet. Beim Rollen und Nicken sind dabei allerdings starke Drehachsenabweichungen (Winkel zwischen der Achse mit und ohne Rotation) zu beobachten.

auf. Das bedeutet allerdings nicht in jedem Fall, sodass die zugehörigen Sensordaten zur Erkennung einer Gesten zwangsläufig orientierungsinvariant sind. Da die Gesten hier jedoch bei einer Ausführung von unterschiedlichen Raumrichtungen denselben Effekt haben sollen, bietet sich bezüglich der Sensordaten der inertialen Messeinheit ein Einsatz orientierungsinvarianter Merkmale an, um die Ausführungsrichtung bei den richtungsbezogenen Daten zu kompensieren. Die erfassten Drucksensordaten hingegen sind aufgrund der Erfassung des Luftdrucks im Inneren des Geräts per se richtungslos.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Druckgestenerkennung basierend auf einer Auswertung der Sensordatenschwankungen des Drucksensors realisiert. Eine Druckgeste wird dabei durch einen durch das Zusammendrücken des Geräts

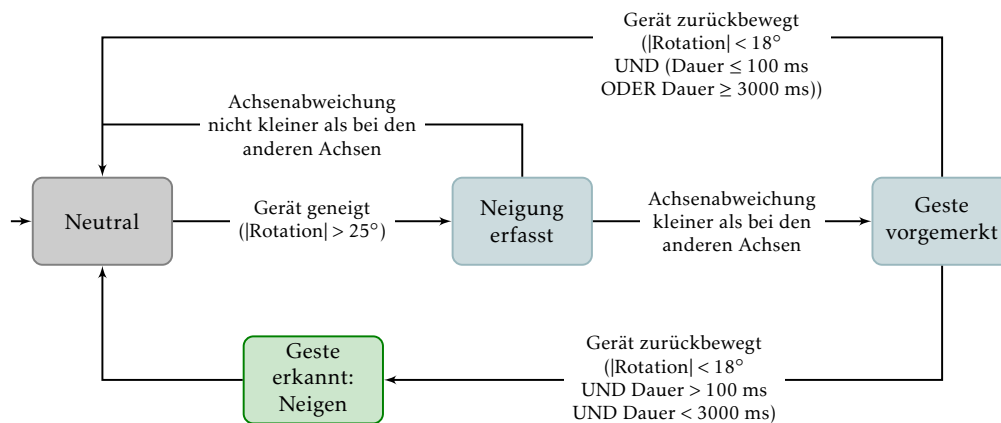


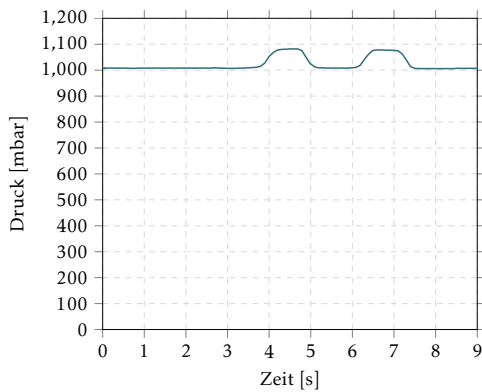
ABBILDUNG 8.14 – Ablauf der Neigegestenerkennung

ausgelösten Anstieg des Innendrucks eingeleitet und über einen unterschiedlich langen Zeitraum gehalten. Das Ende des Druckgeste ist wiederum durch einen durch das Loslassen ausgelösten Abfall des Innendrucks gekennzeichnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der atmosphärische Druck durchgehend auf den Sensor wirkt, welcher orts- und situationsabhängig unterschiedliche Werte aufweisen kann. Zwei Beispielmessreihen für die Ausführung jeweils zweier voneinander abgesetzter Druckgesten sind in Abbildung 8.15(a) und (b) dargestellt.

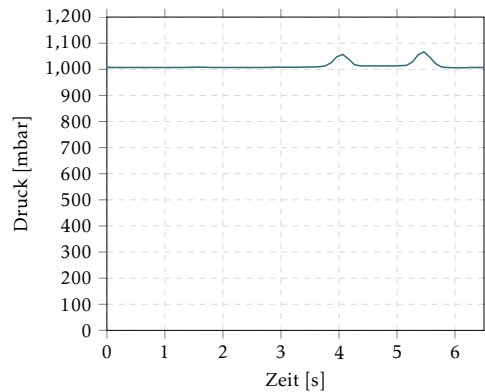
Aufgrund der Anfangs- und Endcharakteristika des Druckanstiegs und -abfalls, bietet sich anstelle der absoluten Sensordaten eine Betrachtung der Differenz zum jeweils vorangegangenen Sensordatum an (Differenzenbildung). Somit wird der Einfluss des atmosphärischen Drucks kompensiert. Zudem lassen sich so Zeitpunkte eines Druckanstiegs und eines Druckabfalls mittels Schwellwerten festlegen und somit Druckgesten erkennen. Die den zwei Beispielmessreihen zugehörigen, mittels Differenzenbildung aufgestellten Zeitreihen sind in Abbildung 8.15(c) und (d) dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass nur geringes Rauschen auf den Drucksensordaten liegt und dass sich die Druckereignisse der Gesten deutlich abzeichnen.

Auch gehaltene Druckgesten lassen sich auf diese Weise realisieren, da sie sich im Wesentlichen durch den größeren Zeitabstand zwischen einleitendem und abschließendem Druckereignis unterscheiden. Eine Beispielaufzeichnung einer gehaltenen Druckgeste sowie die zugehörige Differenzenzeitreihe sind in Abbildung 8.16 dargestellt. Dabei wird auch deutlich, dass nur ein geringer Druckabfall über die Zeit zu beobachten ist.

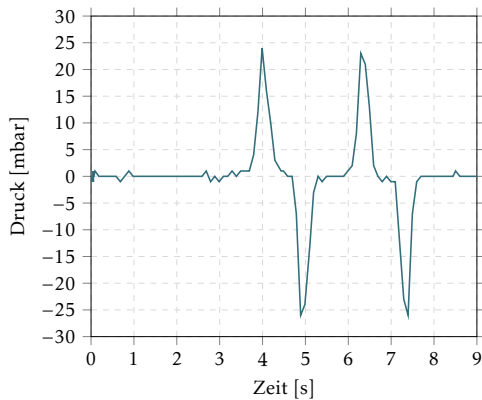
Die im Rahmen dieser Arbeit umgesetzte Druckgestenerkennung lässt sich folgendermaßen beschreiben: Sobald eine Druckzunahme über einen konfigurierbaren Grenzwert (standardmäßig 5 mbar) registriert wird, wird eine Erkennung vorgemerkt. Wird anschließend innerhalb einer Zeitspanne zwischen einer Mindestzeit (standardmäßig 100 ms) und einer Maximalzeit (standardmäßig



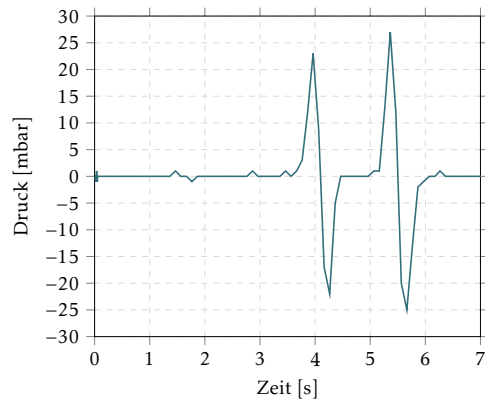
(a) Stärkere Ausführung zweier Druckgesten



(b) Kürzere Ausführung zweier Druckgesten



(c) Betrachtung der Differenzen obiger, stärker ausgeführter Druckgesten



(d) Betrachtung der Differenzen obiger, kürzer ausgeführter Druckgesten

ABBILDUNG 8.15 – Zwei Aufzeichnungen des Druckverlaufs bei der Ausführung jeweils zweier voneinander abgesetzter Druckgesten sowie die mittels Differenzbildung ermittelten zugehörigen Zeitreihen. Trotz unterschiedlicher Ausführungen sind die Extrema bei den Druckänderungen vergleichbar. Bei den absoluten Druckverläufen ist der atmosphärische Druck von ca. 1013 mbar gut erkennbar.

2000 ms) ein Druckabfall über denselben Grenzwert beobachtet, so wurde eine Druckgeste erkannt und es wird ein entsprechendes Ereignis ausgelöst. Bei einer kürzeren Zeitspanne wird die vorgemerkte Geste wieder verworfen. Bei einer längeren Zeitspanne wird eine Haltegeste erkannt und ein entsprechendes Ereignis ausgelöst, welches in einem festen Intervall wiederholt ausgelöst wird (standardmäßig alle 1000 ms). Wird in der Folge ein Druckabfall (unter den Initialdruck bei der Druckzunahme) registriert, so wird der Ausgangszustand wieder angenommen. Zwar kann dies prinzipiell auch durch einen schleichenen Druckabfall beim Gedrückthalten passieren, allerdings ist dieser Fall in der Praxis aufgrund des geringen Druckverlusts nur selten zu erwarten (vgl. Abbildung 8.16). Abbildung 8.17 illustriert das Konzept der Druckgestenerkennung.

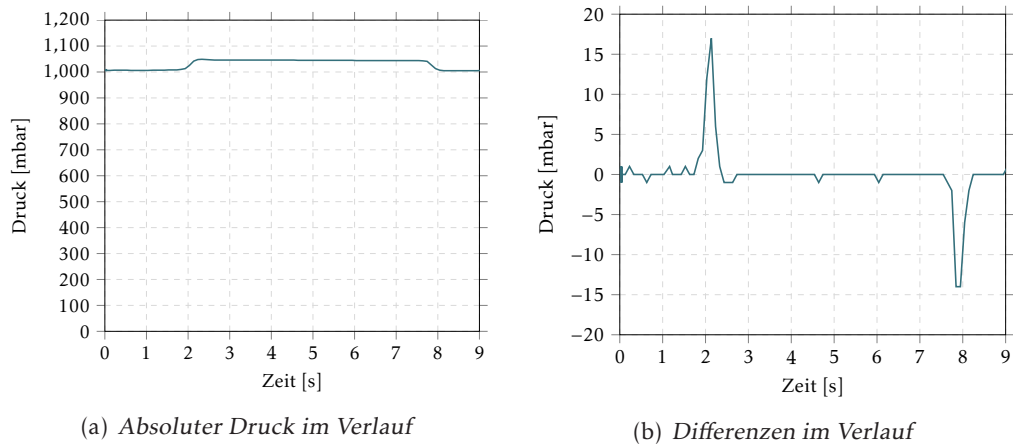


ABBILDUNG 8.16 – Aufzeichnung des Druckverlaufs bei der Ausführung einer gehaltenen Druckgeste sowie der Differenzenzeitreihe.

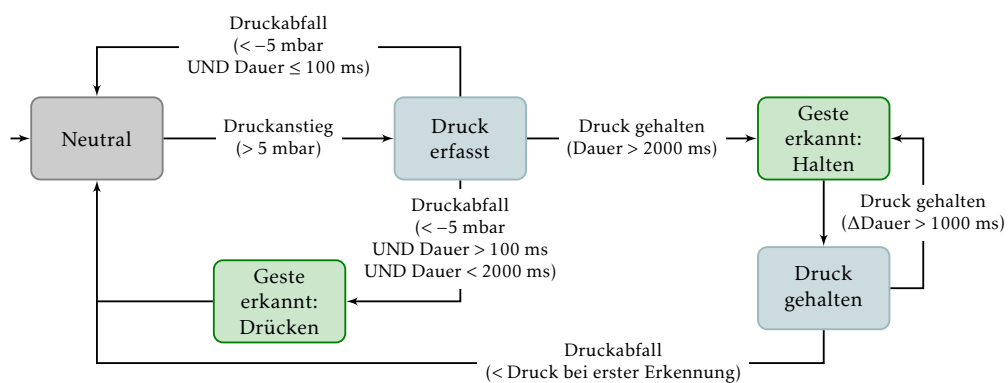


ABBILDUNG 8.17 – Ablauf der Druckgestenerkennung

Für Gesten, die auf richtungsabhängigen Sensordaten beruhen, wie beispielsweise Accelerometerdaten, muss auf orientierungsinvariante Merkmale zurückgegriffen werden. Hierbei muss also eine Merkmalsextraktion erfolgen, um im Anschluss eine Gestenerkennung durchführen zu können. Dabei lässt sich beispielsweise das Verfahren von Yurtman und Barshan (2017) nutzen, um Merkmale zu extrahieren. Für zukünftige Einsatzzwecke wurde das Verfahren bereits in die Wrapper-Komponente integriert. Zusammen mit maschinellen Lernverfahren könnten das Verfahren eine Grundlage darstellen, um weitere Gesten, wie das Tippen auf dem Gerät oder ein Schütteln zu erkennen.

8.5.8 AKTIVITÄTSERKENNUNG

Ein Ziel des ACTIVATE-Forschungsprojekts ist die Erkennung von Phasen des Aufwachens bzw. der Ansprechbarkeit der PatientInnen. Eine im Rahmen des

Projekts getroffene Annahme ist, dass PatientInnen in diesen Phasen spüren, dass sich BIRDY in ihrer Hand befindet und spontan ungezielt mit diesem interagieren. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit eine Aktivitätserkennung mit BIRDY realisiert werden, welche mehr oder weniger bewusste Interaktionen mit BIRDY erkennen soll, sodass ab einer gewissen Schwelle das Personal informiert werden kann.

In der Erwartung, dass IntensivpatientInnen ähnliche Muster der spontanen Interaktion wie die ProbandInnen in der Nutzerpräferenzstudie hervorbringen, kommt für erste Aktivitäten beim Aufwachen das gesamte Spektrum der festgestellten Interaktionsmuster in Frage. Je nachdem ob das Gerät eher gedrückt oder eher bewegt wird, erfolgt ein Ausschlag eher auf den Daten des Drucksensors oder der Sensorelemente der inertialen Messeinheit.

Zur Realisierung der Aktivitätserkennung im Zuge dieser Arbeit wurde bei den Drucksensordaten, wie bei der Druckgestenerkennung, die Differenz zum jeweils vorangegangenen Sensorwert genutzt. Anschließend wurden die Sensordaten des Gyroskops, des Accelerometers und des Drucksensors mit Gewichten versehen und zu einem Vektor zusammengeführt, wobei der Gewichtungsfaktor der jeweiligen Elemente konfigurierbar ist. Dies ermöglicht eine spätere Anpassung der Gewichte nach Bedarf. So erlaubt die Gewichtung beispielsweise, dass Beschleunigungen für bestimmte Anwendungszwecke ein höherer Stellenwert zugewiesen wird. Eine Anwendung kann den Aktivitätsvektor mittels Ereignisbehandlungsroutinen empfangen und weiterverarbeiten.

Eine Beispielaufzeichnung der gewichteten Einzelkomponenten des Aktivitätsvektors und dessen Länge ist in Abbildung 8.18 dargestellt. Das Gerät wurde während der Aufzeichnung zunächst nach links (zwischen Sekunde 1 und 2) sowie nach vorne geneigt (Sekunde 3–5), anschließend gedrückt (Sekunde 5–6) und abschließend angehoben (Sekunde 6–9).

Darüber hinaus wurde in der Wrapper-Komponente exemplarisch eine Aktivitätserkennung mittels des Aktivitätsvektors, einer Hysterese und eines Timers realisiert. Dabei wird geprüft, ob die Länge des Vektors einen konfigurierbaren Schwellwert überschreitet und zu einem späteren Zeitpunkt einen zweiten, geringeren Schwellwert wieder unterschreitet. Hierbei dient ein maximales Zeitintervall als zusätzliches Abgrenzungskriterium zwischen zwei Aktivitäten, wobei dieses Kriterium fortlaufend herangezogen wird. Werden also über einen längeren Zeitraum Sensordatenausschläge erfasst, so werden diese als zwei oder mehr Aktivitäten gewertet. Anwendungen können diese diskretisierten Aktivitäten mittels Ereignisbehandlungsroutinen empfangen und weiterverarbeiten.

Im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts wurde auf diese Aktivitätserkennung zurückgegriffen, wobei erfasste Aktivitäten mittels des Kanals für Miscellaneous-Event-Nachrichten an die Gegenstelle (typischerweise die PatientInnenanwendung) weitergeleitet werden. Diese sendet Nachrichten an das Personal, sofern die diskretisierten Aktivitäten pro Zeiteinheit (standardmäßig pro Minute) einen in der Anwendung hinterlegten, individuellen Grenzwert überschreiten.

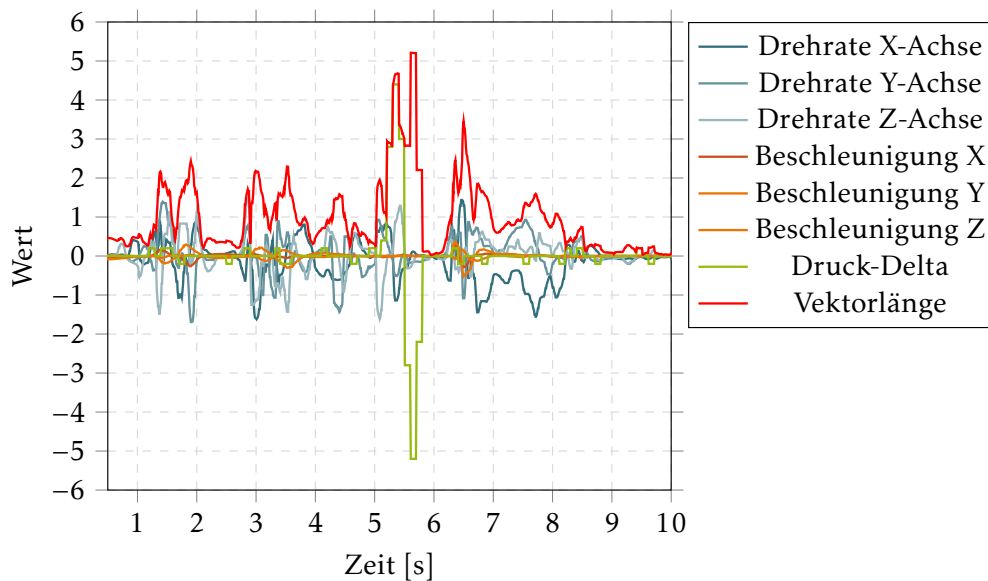


ABBILDUNG 8.18 – Aufzeichnung des Aktivitätsvektors (bestehend aus Drehraten, hochpassgefilterten Accelerometerdaten und Drucksensordaten in der Differenzbetrachtung) sowie der Länge des Vektors.

8.5.9 INTEGRATION IN DAS FRAMEWORK

Zur Integration von BIRDY in mögliche Ensembles und somit in das ACTIVATE-System wurde im Rahmen dieser Arbeit (wie bereits beschrieben) eine auf der Smart Object Library basierende Java-Anwendung realisiert, die auf die beschriebene Wrapper-Komponente zurückgreift, um sich für die entsprechenden Ereignisse zu registrieren und vorverarbeitete Sensordaten zu erhalten, mittels der die Gestensteuerung und Aktivitätserkennung letztlich umgesetzt ist. Dabei wurden für BIRDY relevante Konfigurationsoptionen eingeführt, sodass Einstellungen für die Justierung (basierend auf einer vorangegangenen Kalibrierung) und die Gestenerkennung (Grenzwerte für die Erfassung, Zeitintervalle zur Verhinderung einer wiederholten Erkennung derselben Geste und zur Vermeidung der Erkennung von Überschwingern bei der Gestenausführung sowie Optionen für die Filterung anhand der Achsenabweichung) hinterlegt werden können.

Mittels des Nachrichtenbus werden basierend auf den mittels Wrapper-Komponente bereitgestellten Ereignissen sowohl Invocation-Nachrichten, als auch nicht-interaktionsbezogene Nachrichten verschickt. Darüber hinaus stellt die Software nicht-interaktionsbezogene Nachrichten hinsichtlich des Ladestands, des Kopplungs- (Verbindungsstatus zum Handgerät) und des Kalibrierzustands, Konfigurationen sowie eines Sperrzustands bzw. eines Entsperrens zur Verfügung. Auch die Aktivitätsnachrichten werden über diesen Kanal verschickt, da sie keine explizite und gezielte Interaktion zur Steuerung der Gegenstelle darstellen. Hierfür wurden JSON-Schemata definiert, die auch für die Identifikation der Nachrichtentypen genutzt werden können.

Zudem wurde integriert, dass BIRDY auf durch den Mediator bereitgestellte Vernetzungsinformationen reagiert, sodass das Gerät kurz grün leuchtet, wenn es erfolgreich vermittelt wurde. Bei einer Zurücksetzung der Vernetzung leuchtet das Gerät hingegen kurz rot.

Bei einer Initialisierung einer (neuen) Verbindung zu einem BIRDY, wird zunächst das Gerät kontaktiert, um die Identifikationsnummer zu erfragen. Sobald das Gerät auf die Anfrage geantwortet hat, wird die Nummer genutzt, um die in der Konfigurationsdatei hinterlegten Daten zur Justierung der inertialen Messeinheit zu ermitteln und die Anpassung der Sensordaten entsprechend vorzunehmen. Anschließend wird das Filter zur Sensordatenfusion instrumentiert und die Leuchtdioden des Geräts so angesteuert, dass ein Leuchtmuster angezeigt wird, anhand dessen BIRDY zur weiteren Verwendung ausgerichtet werden kann (Identifikation der statischen Referenzrichtung, beispielsweise des Betts). Das Abschließen der Ausrichtung erfolgt durch ein Drücken des Geräts, wobei die zu diesem Zeitpunkt ermittelte Orientierung als Referenzrichtung für die Interaktion genutzt wird.

Für einen Einsatz der Software in der Ladestation wurde zudem die Suchfunktion bei Tastendruck an der Ladestation realisiert, wobei in diesem Fall der Summer und die LEDs angesprochen werden, sodass auf das Gerät aufmerksam gemacht wird.

Des Weiteren wurde BIRDY mittels der SODL selbstbeschrieben. BIRDY ist über diese als ein tragbares Eingabegerät beschrieben, das (derzeit) drei Gesten bietet. Weitere Gesten können zukünftig einfach integriert werden, sobald eine entsprechende Erkennung realisiert ist. Die Selbstbeschreibung enthält hierzu Zustandsgruppen für die Gesten, den Namen der Geste und die physischen Aktionen, die für die Ausführung der Gesten erforderlich sind (beispielsweise muss das Gerät um 60 Grad nach links geneigt und anschließend wieder in die Ausgangsposition zurückgedreht werden, um die Geste »Nach links neigen« auszuführen).

8.6 ALTERNATIVE INTERAKTIONSGERÄTE

Die Grundlagen der Marktanalyse und die Prototypen zur Integration der Geräte in das Framework wurde von Marina Ziewe in enger Betreuung im Rahmen einer Projektarbeit (Ziewe et al., 2021) aufgestellt und umgesetzt.

Wie bereits beschrieben, legen die vielseitigen Rahmenbedingungen und Einsatzsituationen sowie Fähigkeiten und Vorlieben der PatientInnen eine individuelle Auswahl der Ensembles und insbesondere der Interaktionsgeräte nahe. Insbesondere ist nicht zu erwarten, dass sich BIRDY für alle IntensivpatientInnen eignet (vgl. Abschnitt 8.1).

Obwohl keine speziell für die Nutzung im Intensivbett angepassten Interaktionsgeräte marktverfügbar sind, lassen sich unter Vernachlässigung einiger Anforderungen vielversprechende Kandidaten für Geräte identifizieren, die mit einigen Anpassungen oder als Wegwerfgerät durchaus für den Intensivkontext geeignet wären.

Um die Entscheidungsfindung systematisch anzugehen und transparent zu gestalten, wird bei der Marktanalyse auf den Ansatz der Nutzwertanalyse zurückgegriffen. Im Folgenden werden anhand dieser Methodik unterschiedli-

che marktverfügbare Interaktionsgeräte vorgestellt, die einige der aufgestellten Anforderungen erfüllen können und somit als vielversprechende Kandidaten erscheinen.

8.6.1 MARKTANALYSE

Ausgangspunkt der Recherche zu marktverfügbaren Interaktionsgeräten bilden die etablierten gestenbasierten Geräte Myo-Armband¹³ und Leap Motion¹⁴. Dabei liegt der Fokus primär auf Gesten- und Augensteuerungssystemen. Basierend auf den Eigenschaften dieser Geräte wurden ähnliche bzw. vergleichbare Geräte recherchiert, welche wiederum als Ausgangspunkt für die weitere Suche dienen. Insgesamt wurde somit eine Reihe unterschiedlicher Geräte identifiziert, die im Rahmen der Analyse bewertet werden.

Bei der durchgeführten Nutzwertanalyse werden zunächst Zielkriterien formuliert, die zur Beurteilung der marktverfügbaren Geräte herangezogen werden. Diese Kriterien werden anschließend anhand ihrer Relevanz gewichtet, sodass sich aus der Summe der gewichteten Einzelwerte eine Zielfunktion für die Analyse ergibt. Folgende auf Kapitel 5 und Unterabschnitt 8.5.2 bezugnehmende Kriterien werden bei der Analyse berücksichtigt:

Feedback Feedbackmechanismen sind für die in ihren Fähigkeiten stark eingeschränkte Gruppe der IntensivpatientInnen besonders relevant, um eine Nachvollziehbarkeit trotz eingeschränkter kognitiver Fähigkeiten zu unterstützen. Dabei spielt insbesondere haptisches Feedback eine wesentliche Rolle. Eine Bewertung des Kriteriums richtet sich nach folgenden Abstufungen:

- Kein Feedback,
- visuelles oder akustisches Feedback,
- o entweder haptisches Feedback oder sowohl visuelles als auch akustisches Feedback,
- + haptisches und entweder visuelles oder akustisches Feedback,
- ++ haptisches, visuelles und akustisches Feedback.

Reichweite Die Reichweite der Funkverbindung kabelloser Geräte muss groß genug sein, um einen Betrieb im Intensivzimmer zu gewährleisten. Ein Abstand unter 50 cm wird aufgrund der Nutzung im Intensivbett in aller Regel nicht ausreichen, um einen Einsatz zu ermöglichen. Bei einer Reichweite von 4 m ist zu erwarten, dass sich das Gerät in den meisten Räumen frei positionieren lässt.

Batterielaufzeit Bei batteriebetriebenen Geräten muss die Laufzeit ausreichend sein, um einen Großteil der Schicht der Pflegenden abzudecken.

¹³ <https://www.myo.com/>, erreichbar per Internet Archive Wayback Machine <https://web.archive.org/web/20180224111056/https://www.myo.com/> (Abrufdatum 24.02.2018)

¹⁴ <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/> (Abrufd. 21.12.2022)

Hygiene Die in Abschnitt 5.3 beschriebenen Hygienerichtlinien schreiben bei direktem Hautkontakt eine umfassende Desinfizierbarkeit vor. Auch Geräte, die keinen direkten Körperkontakt haben, müssen wischdesinfizierbar sein. Das Kriterium wird anhand folgender Abstufungen bewertet:

- Schwer zu reinigen,
- einfach zu reinigen, aber offene Bedienstellen (beispielsweise Knöpfe),
- o einfach zu reinigen, aber offene Anschlüsse,
- + wasserfest oder kein direkter Kontakt zum Gerät nötig, aber offene Anschlüsse,
- ++ sowohl wasserfest als auch gut zu reinigen oder aber sowohl kein direkter Kontakt zum Gerät nötig als auch problemlos wischdesinfizierbar.

Gestaltung Aufgrund der zu erwartenden eingeschränkten motorischen Fähigkeiten der PatientInnen sowie der vielfach auftretenden Schwellungen an den Händen, sollte das Interaktionsgerät greifbar sein und ohne den Einsatz filigraner Bedienelemente (wie kleine Knöpfe oder Schalter) auskommen. Folgende Abstufungen werden zur Bewertung herangezogen:

- Sehr komplexe Bedienung (viele Knöpfe) oder komplexe Augensteuerung,
- sowohl komplexe Gesten als auch nicht greifbar oder anspruchsvollere Augensteuerung,
- o komplexe Bedienung (viele Knöpfe oder komplexe Gesten) oder einfache Gesten, aber nicht greifbar, oder einfache Augensteuerung,
- + greifbar und anspruchsvollere Bedienung (mehrere Knöpfe oder anspruchsvollere Gesten)
- ++ greifbar und einfache Bedienung (wenige Knöpfe oder einfache Gesten).

Instrumentierung Geräte, die in bestimmter Weise (am Körper) getragen oder positioniert werden müssen oder eine Kalibrierung erfordern, lassen sich nur bedingt im Intensivkontext einsetzen. Dies gilt insbesondere für Phasen eingeschränkter Ansprechbarkeit der PatientInnen, wie es beispielsweise bei den frühen Weaningphasen typischerweise der Fall ist. Eine Bewertung des Kriteriums orientiert sich an folgenden Stufen:

- Aufwändig zu fixieren oder Kalibrierung mit Interaktion durch BenutzerIn erforderlich,
- Gerät in der Hand oder Gerät durch BenutzerIn zu halten oder Positionierung unterhalb der Hand,
- o fixiert am Körper (einfach zu fixieren),
- + Ausrichten zur BenutzerIn,
- ++ keine Instrumentierung oder kurze Kalibrierung vor Einsatz ohne spezielles Tragen am Körper.

Marktverfügbarkeit Die Marktanalyse umfasst ausschließlich Geräte, die im Handel erwerblich sind. Das umfasst allerdings auch vorbestellbare bzw. aktuell

nicht verfügbare Geräte, Restbestände oder Gebrauchtgeräte. Konsequenterweise wird das Kriterium in drei Abstufungen bewertet:

- Gebrauchtgeräte,
- o Restbestände,
- ++ verfügbar.

Datenschutz und Sicherheit Aufgrund des kritischen Bereichs, welcher über sensible Informationen verfügt und bei dem zudem eine zuverlässige Steuerung ohne Manipulationsmöglichkeiten von Außen nötig ist, muss eine entsprechende Sicherheit gewährleistet werden. Insbesondere muss unterschieden werden, ob eine Einbindung in eine Cloud erforderlich ist und ob es sich um eine invasive Sensorik handelt (Einsatz von Kameras oder Mikrofonen). Das Kriterium wird entsprechend folgender Unterscheidung bewertet:

- Sowohl Cloudverbindung benötigt als auch Einsatz einer invasiven Sensorik (Kameras),
- o entweder eine Cloudverbindung benötigt oder Einsatz einer invasiven Sensorik (Kameras),
- ++ Gerät unbedenklich.

Preis Der Preis sollte angemessen sein. Bei einer Verwendung als Wegwerfgerät spielt der Preis eine besonders zentrale Rolle.

Schnittstellen Zur Integration in das Reflection-Framework müssen die Interaktionsgeräte über Schnittstellen verfügen. Idealerweise lassen sich hierzu Programmierschnittstellen nutzen. Eine Bewertung des Kriteriums wird anhand folgenden Abstufungen vorgenommen:

- Keine Schnittstelle nutzbar,
- HID-Gerät oder MIDI-Controller,
- o Programmierschnittstelle, aber nicht für C#, Python, JavaScript oder Java,
- + Programmierschnittstelle für C#, Python, JavaScript,
- ++ Programmierschnittstelle für Java.

Die Wertung der Erfüllung der nicht-numerischen Kriterien erfolgt in fünf Stufen (jeweils in Schritten von 0,25), wobei die niedrigste Wertung jedes Kriteriums 0 und die höchste Wertung 1 entspricht. Ausnahmen hiervon stellen das Kriterium Datenschutz und Sicherheit sowie die drei kontinuierlichen Kriterien Preis, Reichweite und Batterielaufzeit dar. Bei Datenschutz und Sicherheit werden lediglich drei Stufen unterschieden. Die kontinuierlichen Kriterien hingegen werden auf das gesamte Intervall zwischen 0 und 1 abgebildet. Ein Preis von €500 und mehr wird mit 0 bewertet. Geringere Preise werden linear im Intervall zwischen 0 und 1 einsortiert. Reichweiten von 50 cm oder weniger werden mit 0 und Reichweiten von 4 m oder mehr mit 1 bewertet. Werte dazwischen werden linear auf dem Intervall zwischen 0 und 1 eingeordnet. Bei der Batterielaufzeit werden Laufzeiten von 8 Stunden oder mehr mit 1 bewertet. Kürzere Laufzeiten werden linear im Intervall zwischen 0 und 1 verortet.

Eine Auflistung der im Rahmen der Analyse identifizierten Geräte und eine Beschreibung, inwiefern diese Geräte die jeweiligen Kriterien erfüllen, findet sich in Anhang D.

Darüber hinaus werden die Kriterien gewichtet, wobei die drei relevantesten Kriterien (Feedback, Reichweite und Batterielaufzeit) mit 0,15 und die drei weniger relevanten Kriterien (Datenschutz und Sicherheit, Preis und Schnittstelle) mit 0,05 gewichtet werden. Alle übrigen Kriterien bekommen die Gewichtung 0,1. Die Gesamtwertung ergibt sich somit aus der gewichteten Summe der einzelnen Kriterien.

Tabelle 8.1 zeigt eine Übersicht der vielversprechenden Kandidaten, wobei die Einträge mittels Zielkriterien und Gewichtung bewertet und entsprechend sortiert sind.

Die Analyse marktverfügbarer Geräte offenbart vielversprechende Kandidaten für den Einsatz im Intensivkontext, die allerdings in ihrer aktuellen Gestaltung nicht für einen Einsatz auf der Intensivstation geeignet sind, sodass kein Interaktionsgerät sämtliche Kriterien erfüllen kann. Bei Relaxation einiger Kriterien (beispielsweise bei der Nutzung als Wegwerfgerät oder mit kleineren Anpassungen am Gerät), ist ein Einsatz einiger Geräte aber durchaus vorstellbar.

Die im Zuge der Nutzwertanalyse ermittelten, vielversprechendsten Interaktionsgeräte für den Intensivkontext sind (neben BIRDY) der Litho-Controller und KAI. Beide Geräte werden an der Hand fixiert, sodass PatientInnen sie in der Hand spüren. Sie sind darüber hinaus in der Lage haptisches Feedback zu geben und eignen sich aufgrund der Funkstreckenreichweite, der Laufzeit und der relativ einfachen Instrumentierung für einen flexiblen Einsatz, ohne das Personal zu sehr zu belasten. Zudem bieten beide Geräte eine einfache Form der Gestensteuerung.

Die Analyse unterstreicht den bereits herausgestellten Bedarf nach speziell angepassten Interaktionsgeräten für den Intensivkontext. Sie liefert darüber hinaus auch mögliche Gestaltungsrichtungen und einen Ausgangspunkt für die Entwicklung unterschiedlicher für den Einsatz im Intensivkontext geeigneter Interaktionsgeräte, die insbesondere im Kontext dynamisch gekoppelter Verbünde Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen die Grundlage einer breiten Palette an potenziell nutzbaren Geräten bilden können.

8.6.2 INTEGRATION IN DAS FRAMEWORK

Zur weiteren Untersuchung (insbesondere zur Gegenüberstellung) der identifizierten vielversprechendsten Kandidaten (KAI und der Litho-Controller) als alternative Interaktionsgeräte für den Intensivkontext wurden diese in das Reflection Framework integriert, sodass auch ein Einsatz im Zuge des ACTIVATE-Systems möglich ist.

Darüber hinaus wurde die Leap Motion, die als Ausgangspunkt der Recherche diente, als Vergleichskandidat integriert.

Kriterium	Gewichtung	BIRDY	Litho Controller	Vicara KAI	Kinemic Band	Nintendo Wii-Remote	Genki Wave Ring	Tap Systems Tap Strap 2	Samsung Gear VR Controller	Apple Magic Mouse 2	Logbar Ring Zero	Microsoft Azure Kinect	DThing	Gest	Ultraleap Leap Motion Controller	Tobi! I-Series	MyCore eyecontrol	Tobi! Dynavox PCEye	Nod Backspin Innovator Edition	SeeTech Pro
Reichweite	0,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	1,00	0,00
Batterie	0,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	1,00
Hygiene	0,10	1,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,25	0,00	0,50	0,50	0,50	0,75	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Gestaltung	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,25
Instrum.	0,10	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,25	0,25	0,25	0,50	0,75	0,50	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00
Marktverf.	0,10	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Datensch.	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preis	0,05	0,00	0,60	0,70	0,00	0,95	0,48	0,88	0,86	0,69	0,18	0,84	0,84	0,59	0,78	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00
Schnittst.	0,05	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	0,75	0,00	0,25	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,00
Gesamt	1,00	0,85	0,79	0,79	0,75	0,72	0,71	0,69	0,66	0,63	0,62	0,61	0,55	0,53	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50

TABELLE 8.1 – Ergebnisse der Nutzwertanalyse unterschiedlicher alternativer Interaktionsgeräte für den Intensivkontext. Quellenangaben und Details sind Anhang D zu entnehmen.

LEAP MOTION

Die Leap Motion wurde als Java-Anwendung realisiert und daher mittels der Smart Object Library in das Framework integriert. Hierzu wurde auf die Java-Schnittstelle der Leap Motion zurückgegriffen, welche eine Auswertung der vom Gerät erkannten Gesten erlaubt.

Mittels des Nachrichtenbus werden die durch die Geräteschnittstelle bereitgestellten Gestenereignisse als Invocation-Nachrichten verschickt.

Zudem wurde die Leap Motion mittels der SODL selbstbeschrieben. Das Gerät ist als portables Eingabegerät beschrieben, das vier Wischgesten (links, rechts, oben und unten), zwei Kreiselgesten (Fingerbewegung im oder gegen den Uhrzeigersinn) und zwei Tippgesten (Bildschirmtippen und Tastaturtippen) unterscheiden kann.

KAI

Vicaras KAI verfügt über keine Java-Schnittstelle, bietet jedoch die Möglichkeit der Integration über eine Python-Bibliothek. Das Gerät wurde daher mittels des Virtual Device Daemon und der Python API in das Framework integriert.

Mittels der WebSocket-Verbindungen werden die vom Gerät identifizierten Gestenereignisse an den Daemon weitergeleitet.

KAI wurde mittels SODL als tragbares Eingabegerät beschrieben, welches zwei Arten von Wischgesten (Hand flach oder seitwärts gehalten) in jeweils vier Richtungen (links, rechts, oben und unten) sowie zwei Arten von Kneifgesten (*Pinch* mit zwei und mit drei Fingern) unterscheiden kann.

LITHO-CONTROLLER

Da der Litho-Controller primär über Unity in Softwareprojekte eingebunden wird, verfügt dieser ebenfalls nicht über eine Java-Schnittstelle. Der Einsatz von Unity ermöglicht allerdings eine Integration des Geräts in das Reflection-Framework per C#. Hierzu wird wiederum der Virtual Device Daemon genutzt.

Analog zum KAI erfolgt hierbei die Weiterleitung der Gestenereignisse mittels der WebSocket-Verbindung zum Daemon, der diese Ereignisse entsprechend verarbeitet.

Auch der Litho-Controller wurde mittels SODL selbstbeschrieben. Er ist als ein tragbares Eingabegerät beschrieben, welches Wischgesten in zwei Arten (als Freihandgesten und als Berührungsgesten auf der berührungssensitiven Oberfläche) und jeweils in vier unterschiedliche Richtungen (links, rechts, oben und unten) unterscheiden kann. Zudem kann ein Tippen auf die berührungssensitive Oberfläche erkannt werden.

8.7 EVALUATION

Dem menschenzentrierten Gestaltungsprozess folgend wurde das in Kapitel 7 vorgestellte Framework iterativ entwickelt und formativ evaluiert. So wurde

das System im Laboraufbau in unterschiedlichen Situationen eingesetzt und Prototypen unterschiedlicher Reifegrade erprobt, diskutiert und angepasst. In diesem Zuge wurde auch eine formative Evaluation der kontrollierten Selbstorganisation und der Selbstbeschreibungsfähigkeit durchgeführt.

Zur abschließenden Bewertung des im Zuge des ACTIVATE-Forschungsprojekts entwickelten Interaktionsgeräts BIRDY sowie der im Rahmen der Marktanalyse identifizierten Kandidaten für alternative Interaktionsgeräte im Intensivkontext wurde im Zuge einer summativen Evaluation ein Gerätevergleich und eine Untersuchung der Erkennungsraten der realisierten Gestensteuerungsvariante für BIRDY angestellt.

8.7.1 FORMATIVE EVALUATION IM KONTEXT VON ACTIVATE

Im Zuge des ACTIVATE-Forschungsprojekts wurde das hier beschriebene Framework mehrfach in unterschiedlichen Situationen erprobt. Da es die Grundlage des umfangreicheren ACTIVATE-Systems darstellt (s. Kapitel 8), wurden das Framework inklusive der Smart Object Library, des Virtual Device Daemons sowie die dazugehörigen Schnittstellen insbesondere im Kontext des Projekts eingesetzt. Das umfasst auch die Integration und Beschreibung unterschiedlicher Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen. Dabei wurden insbesondere die grundlegenden Designentscheidungen und die Prototypen eingehend und wiederholt im Projektteam, aber auch mit anderen ExpertInnen und ForschungskollegInnen besprochen und das System entsprechend angepasst. In diesem Prozess waren insgesamt über 20 ExpertInnen aus den Bereichen Pflege, Informatik, Hard- und Softwareentwicklung, sowie der Mensch-Computer-Interaktion und Psychologie eingebunden.

Darüber hinaus wurde eine formative Evaluation in der Ausprägung eines semistrukturierten Fokusgruppeninterviews durchgeführt. Dabei wurden die Forschungsfragen adressiert, inwiefern die durch das Framework ermöglichte Selbsterklärungsfähigkeit der Ensembles Unklarheiten bei der Bedienung abmildern oder auflösen kann und inwiefern die semi-automatische Kopplung einen sinnvollen Prozess für das Pflgeteam darstellt. Hierzu wurden vier TeilnehmerInnen rekrutiert, wovon jeweils zwei ExpertInnen aus dem Bereich der intensivplegerischen Praxis stammten und zwei Teilnehmer Experten im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion waren. Alle TeilnehmerInnen hatten bereits im Vorfeld Kenntnis vom Forschungsprojekt ACTIVATE und der darin gesteckten Ziele.

Während des Fokusgruppeninterviews erhielten die TeilnehmerInnen die Aufgabe, den im Rahmen des Projekts entwickelten semi-automatischen Kopplungsprozess durchzuführen, welcher auf der kontrollierten Selbstorganisation des vorgestellten Frameworks aufsetzt (vgl. Abschnitt 8.3). Zudem wurden mittels Framework basierend auf den Selbstbeschreibungen der Komponenten generierte Anleitungen gezeigt und diskutiert. Darüber hinaus wurden mehrere Aspekte der Gestaltung der für den Kopplungsprozess eingesetzten Anwendungen diskutiert, die für diese Arbeit allerdings nicht unmittelbar relevant sind und daher nicht weiter ausgeführt werden. Der für die Evaluation erstellte Interviewleitfaden findet sich in Anhang E.

Im Zuge des Fokusgruppeninterviews stellten die ProbandInnen basierend auf den gestellten Aufgaben erfolgreich Ensembles mittels des semi-automatischen Verbindungsprozesses zusammen und lösten sie anschließend auch wieder auf. Die kurze Latenz und die Gebrauchstauglichkeit der für diesen Prozess herangezogenen Anwendung wurden von den TeilnehmerInnen positiv hervorgehoben. Zudem erklärten sie, dass das komplexe Thema der Ensemblebildung durch das Verfahren angemessen vereinfacht würde. Das Konzept der Selbsterklärungsfähigkeit und der generierten Tutorials wurde zudem grundsätzlich als sinnvoll erachtet. Während die PflegeexpertInnen angaben, dass sie interaktive Tutorials gegenüber statischen Anleitungen bevorzugen würden, wurde die Kombination von Tutorials und mündlichen Anleitungen durch das Personal insgesamt als gewinnbringendste Option eingeschätzt. Die TeilnehmerInnen merkten darüber hinaus an, dass die Anleitungen so gestaltet sein sollten, dass der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben vorsichtig und graduell erhöht wird. Außerdem wurden mehrere kleinere Verbesserungen bezüglich der Gestaltung (u. a. hinsichtlich der Wortwahl, des Icon-Designs und der Farbwahl) vorgeschlagen.

8.7.2 GERÄTEVERGLEICHsstudie

Zur Bewertung von BIRDY inklusive der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Gestensteuerungsvariante sowie der im Zuge der Nutzwertanalyse (s. Abschnitt 8.6) identifizierten, vielversprechendsten Kandidaten (Litho-Controller und KAI), wurde eine Pilotstudie durchgeführt. Neben BIRDY und den beiden identifizierten vielversprechendsten Kandidaten wurde die Leap Motion hinzugezogen, die einen der Ausgangspunkte der Marktanalyse darstellte. Die quasi-experimentelle Laborstudie umfasste zwei Fragebögen und eine Aufzeichnung der Gestenausführungen bei BIRDY.

Im Zuge der Studie sollte bewertet werden, ob und inwiefern sich die ausgewählten Interaktionsgeräte zur Nutzung im Bett und zur Steuerung der PatientInnenanwendung eignen und wie die Bedienung der Geräte im Vergleich einzuschätzen ist. Insbesondere sollte dabei auch das im Zuge des ACTIVATE-Forschungsprojekts und im Rahmen dieser Dissertation entwickelte Interaktionsgerät BIRDY mit den marktverfügbaren Interaktionsgeräten verglichen werden, um zu beurteilen, wie das Gerät und die im Zuge dieser Arbeit realisierte Steuerungsvariante (Neige- und Druckgeste) einzuordnen ist. Dabei sollte auch die Frage geklärt werden, ob sich die im Zuge dieser Arbeit realisierte Neigegestensteuerung von BIRDY zur Steuerung der PatientInnenanwendung eignet. Zudem sollte die Güte der realisierten Gestensteuerungsvariante für BIRDY anhand der Erkennungsraten und der Falsch-Positiv-Raten beurteilt werden.

Nach einer Begrüßung und einer Einführung in den Ablauf und die Motivation hinter dem Thema, wurden mittels eines eingehenden Fragebogens soziodemografische Daten und Vorerfahrungen der ProbandInnen mit den Interaktionsgeräten sowie der PatientInnenanwendung erfasst. Im Anschluss wurden die ProbandInnen gebeten, nacheinander zwei der Interaktionsgeräte im Bett liegend zu erproben. Dabei wurde zunächst die jeweilige Steuerungsvariante anhand animierter Anleitungen sowie einer Vorführung an den Geräten erklärt.



ABBILDUNG 8.19 – Laboraufbau bei der Gerätevergleichsstudie

Anschließend wurde den TeilnehmerInnen kurz Zeit gegeben, die Steuerung nachzuvollziehen und auszuprobieren. Sobald sich die ProbandInnen mit dem Gerät und der Steuerung vertraut gemacht hatten, wurden sie gebeten, nacheinander drei Aufgaben mit dem System auszuführen. Nach der Erprobung der zwei Geräte sollten die TeilnehmerInnen einen zweiten Fragebogen zur Beurteilung und zum Vergleich der beiden Geräte beantworten. Abschließend wurden sie gebeten, nach einer kurzen Erklärung der Neige- und Druckgestensteuerungsvariante von BIRDY, Gesten wiederholt auszuführen. Hierbei wurden die Sensordaten der inertialen Messeinheit sowie des Drucksensors aufgezeichnet, um die Erkennungsrate der realisierten Steuerungsvariante zu beurteilen. Dabei wurden bewusst auch Neigegesten nach vorne und hinten erfasst, obwohl diese bereits für eine Steuerung im Zuge des ACTIVATE-Systems ausgeschlossen wurden (vgl. Unterabschnitt 8.5.7). Dies liegt darin begründet, dass die Erkennungsdaten gegenübergestellt werden sollen, um das Erkennungsverfahren trotz erschwelter Ausführbarkeit der Gesten einordnen und bewerten zu können, ob diese Steuerungsvariante für andere Anwendungszwecke Potenzial bietet. Der Laboraufbau für die Studie ist in Abbildung 8.19 dargestellt. Die Ablaufbeschreibung, Einverständniserklärung und die Fragebögen finden sich in Anhang F.

Bei der Leap Motion wurden die Kreiselgesten im und gegen den Uhrzeigersinn für eine Navigation sowie die Tastentipp-Geste (engl. »Key Tap«) für eine Auswahl genutzt. Die Steuerung mit dem Litho-Controller basierte auf den

drei Berührungsgesten Wischen nach links und rechts für die Navigation sowie Tippen auf der berührungssensitiven Oberfläche des Geräts für eine Auswahl. Bei KAI wurden die Wischgesten nach links und rechts für die Navigation sowie die Kneifgeste (engl. »Pinch«) für die Auswahl verwendet.

Die Zielgruppe der Studie waren junge Erwachsene, die in der digitalen Welt aufgewachsen sind. ProbandInnen wurden durch Aufrufe über den Mailverteiler des Bachelorstudiengangs Medieninformatik, in unterschiedlichen Lehrveranstaltungen an der Universität zu Lübeck und durch persönliche Ansprache akquiriert. Aus der Studie ausgeschlossen wurden Personen, die die deutsche Sprache nicht gut genug beherrschen, um die im Fragebogen verankerten Fragen angemessen zu beantworten. Zudem war eine selbstständige Anreise zum Ort der Durchführung (Laborräume des Instituts für Telematik an der Universität zu Lübeck) Voraussetzung, sodass entsprechende eingeschränkte Personen nicht teilnehmen konnten.

An der Studie nahmen insgesamt 24 ProbandInnen teil, von denen sich 13 Personen dem weiblichen und 11 dem männlichen Geschlecht zuordneten. Der Altersdurchschnitt lag bei 25,71 Jahren (Standardabweichung 4,37 Jahre). Etwa die Hälfte der TeilnehmerInnen gab an, dass sie vorher vom ACTIVATE-System und BIRDY gehört hatten. Die übrigen Interaktionsgeräte waren der überwiegenden Mehrheit vorher unbekannt. Abgesehen von einer Person, die Erfahrungen mit der Leap Motion hatte, hat laut der Selbstauskunft keine der ProbandInnen eins der von ihnen in der Studie erprobten Interaktionsgeräte vorher schon einmal benutzt.

Die ProbandInnen attestierten der Bedienung des BIRDY dabei die schnellste Erlernbarkeit, die beste Funktion, die geringste Anstrengung und die höchste Angepasstheit an das Menü. Bei der Reaktionsgeschwindigkeit auf Eingaben rangiert BIRDY auf Platz zwei hinter dem Litho-Controller, bekommt aber immer noch eine schnelle Reaktion bescheinigt. Bei der Beurteilung, inwiefern die Bedienung des Geräts Spaß macht und ob sich die Bedienung nicht ungewohnt anfühlt, wurde BIRDY knapp hinter Litho eingeordnet. Sowohl KAI als auch Leap Motion wurden in all diesen Aspekten schlechter bewertet, wobei insbesondere die schlechtere Funktionalität und die anstrengendere Bedienung negativ auffielen.

Die Ergebnisse der Fragebögen bezüglich der Beurteilung der einzelnen Geräte sind in Abbildung 8.20 dargestellt.

Bei der Gegenüberstellung der zwei jeweils durch die ProbandInnen erprobten Geräte schnitt der Litho-Controller in allen vier Fragen am besten ab, wobei BIRDY hinsichtlich der angenehmsten Bedienung und der Gesamtbeurteilung, welches Gerät am besten gefiel, jeweils nur einmal weniger oft genannt wurde. Auch bezüglich der einfachsten Bedienung schneidet BIRDY deutlich vor den anderen beiden Geräten auf Platz zwei ab. Lediglich hinsichtlich der Reaktions-schnelle auf Eingaben ist BIRDY gleichauf mit KAI und der Leap Motion.

Als Begründung für die Entscheidung bezüglich des Geräts, welches insgesamt am besten gefiel, wurde von zehn ProbandInnen eine fehlerfreiere und von neun TeilnehmerInnen eine intuitivere oder gewohntere Bedienung angegeben.

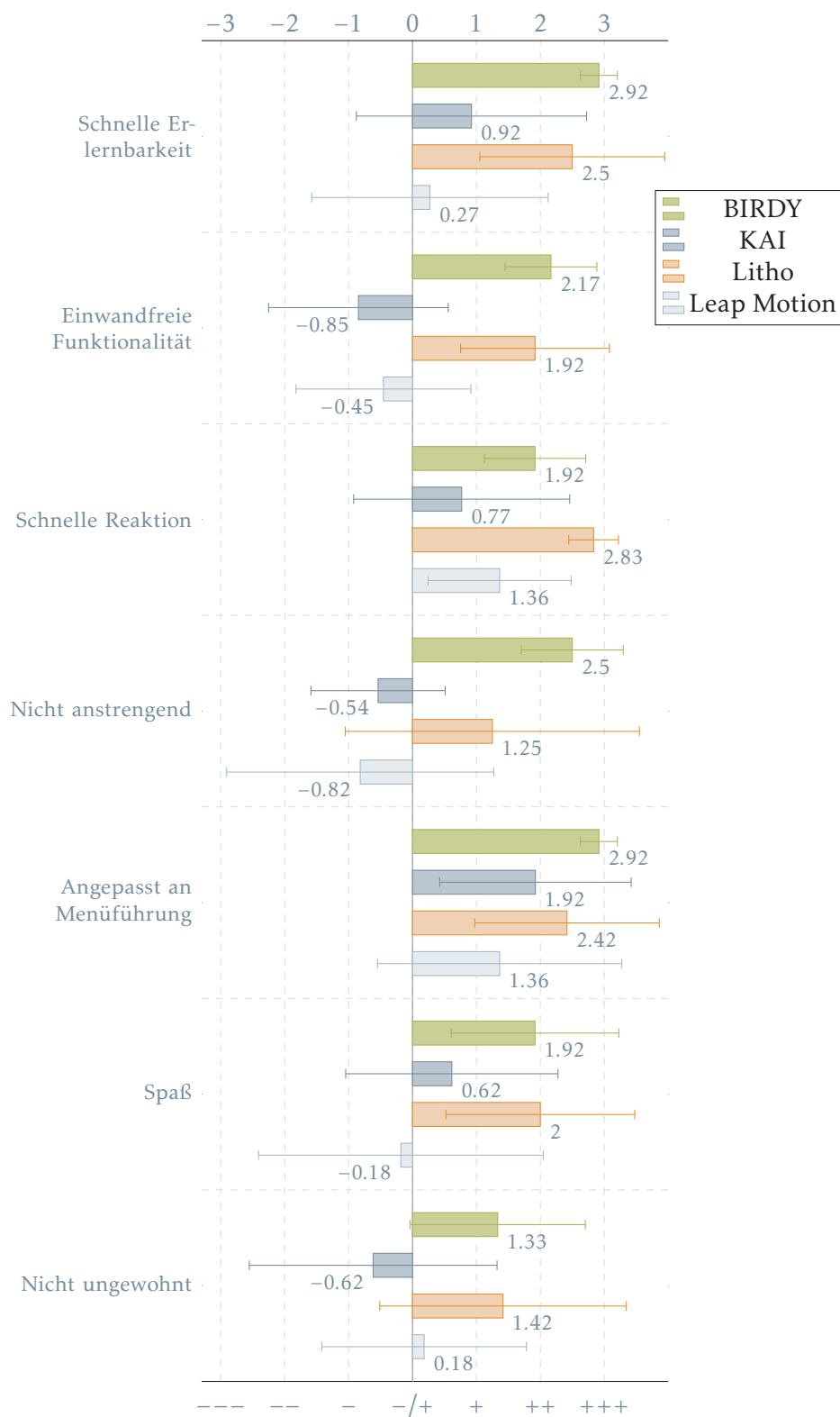


ABBILDUNG 8.20 – Auswertung der Fragebögen zur Bewertung der Interaktionsgeräte. Die Balken spiegeln die Durchschnittswerte der Antworten wider, während die zusätzlichen Markierungen die Standardabweichungen abbilden.

Geste	Erkennungsrate	Falsch-Positiv-Rate
Neigegeste links	0,88	0,108
Neigegeste rechts	0,825	0,175
Neigegeste vorne	0,767	0,208
Neigegeste hinten	0,755	0,207
Druckgeste	0,971	0
Gesamt	0,84	0,14

TABELLE 8.2 – Erkennungs- und Falsch-Positiv-Raten bei der im Zuge dieser Arbeit realisierten Gestensteuerungsvariante. Neigen nach vorne, Neigen nach rechts sowie die Druckgeste wurden insgesamt 241 mal, alle anderen Gesten 240 mal ausgeführt.

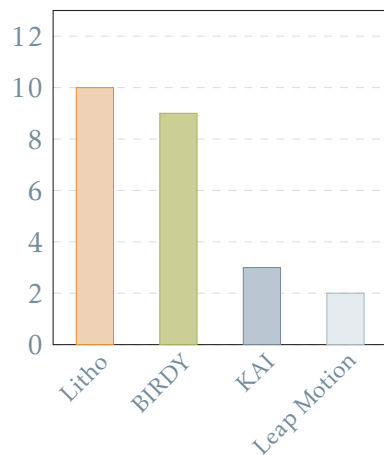
Fünf TeilnehmerInnen führten an, dass die Bedienung einfacher oder weniger anstrengend war oder die Systemreaktion schneller erfolgte. Drei ProbandInnen begründeten ihre Entscheidung (auch) mit einem besseren Feedback oder der Tatsache, dass das Gerät in der Hand liegt. Eine Person bemängelte beim Litho-Controller, dass dieser leichter herunterfallen könne.

Zwei TeilnehmerInnen gaben bezüglich des Litho-Controllers an, dass die Interaktion an die Bedienung eines Smartphones oder Tablets erinnere und daher gewohnt erscheine. Darüber hinaus ordnete eine ProbandIn die Geräte in den klinischen Kontext ein und gab an, dass die Steuerung bei BIRDY von PatientInnen schneller verstanden werden könne.

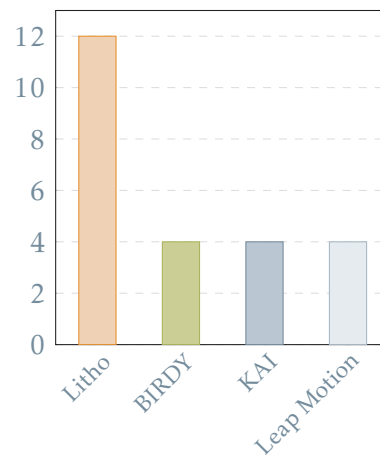
Die Ergebnisse der Fragebögen hinsichtlich des Direktvergleichs der Geräte finden sich in Abbildung 8.21.

Zur Ermittlung der Erkennungs- und Falsch-Positiv-Raten wurden die 24 ProbandInnen gebeten, die vier Neigegesten und die Druckgeste jeweils zehn mal auszuführen, wobei die Sensordaten hierbei aufgezeichnet und ausgewertet wurden. In drei Fällen wurden spontan elf Wiederholungen ausgeführt, sodass bei der Druckgeste sowie bei den Neigegesten nach vorne und nach rechts insgesamt 241 Ausführungen aufgezeichnet und ausgewertet wurden, während bei den verbleibenden Gesten 240 Aufzeichnungen angefertigt wurden. Die Druckgeste wird mit dem realisierten Verfahren besonders zuverlässig erkannt. Die Neigegesten nach links und rechts werden zudem deutlich robuster erkannt als Neigegesten nach vorne und nach hinten. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese Gesten bedingt durch die Haltung des Balls in der Hand schwieriger und anstrengender auszuführen sind. Eine Übersicht über die Erkennungs- und Falsch-Positiv-Raten ist in Tabelle 8.2 gegeben.

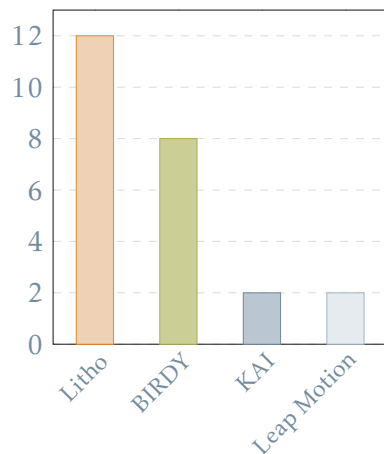
Erwähnenswert ist, dass BIRDY seitens der Versuchspersonen insbesondere hinsichtlich der für den Intensivkontext besonders relevanten Aspekte der schnellen Erlernbarkeit, gut funktionierenden sowie der anstrengungsfreien Bedienung sehr gut bewertet wurde und insbesondere auch besser als die anderen Geräte abschnitt. Darüber hinaus lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass insbesondere der Litho-Controller ein interessanter Kandidat ist, dessen weitere Untersuchung auf eine Eignung für den Intensivkontext lohnenswert erscheint.



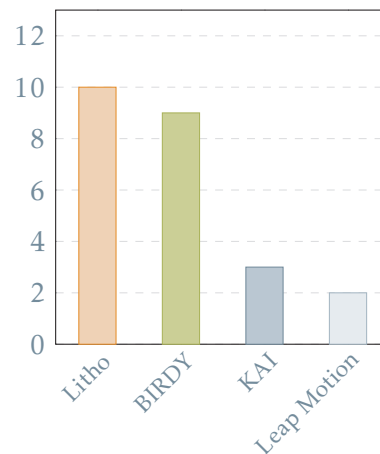
(a) Welches Gerät bietet aus Ihrer Sicht die angenehmste Bedienung?



(b) Welches Gerät reagiert aus Ihrer Sicht am schnellsten auf Eingaben?



(c) Welches Gerät bietet aus Ihrer Sicht die einfachste Bedienung?



(d) Welches Gerät hat Ihnen insgesamt am besten gefallen?

ABBILDUNG 8.21 – Auswertung der Fragebögen zur Gegenüberstellung der Interaktionsgeräte. Die Balken spiegeln die Gesamtsumme der Vergleiche wider, bei denen das jeweilige Gerät bevorzugt wurde.

Bei der Einordnung der Ergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass die Bewertung insbesondere auch auf die jeweils gewählte Gestensteuerungsvariante zurückzuführen ist und dass eine Studie mit einer anderen Variante durchaus zu anderen Ergebnissen führen könnte. Darüber hinaus sind Verzerrung bezüglich der Beurteilung der Interaktionsgeräte sowie des Vergleichs aufgrund der gewählten Gruppe der ProbandInnen sowie der Altersverteilung nicht auszuschließen. Insbesondere spiegelt die Studienpopulation nicht die Gruppe der IntensivpatientInnen wider, sodass die Ergebnisse dahingehend kritisch einzuordnen sind. Limitationen ergeben sich zudem aus der Art der Rekrutierung.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Nachfolgend werden die im Rahmen dieser Dissertation vorgestellten Ergebnisse zusammengefasst und eingeordnet. Das umfasst insbesondere auch eine Adressierung der in Abschnitt 1.4 herausgestellten Forschungsfragen.

Obwohl das vorgestellte Konzept und die prototypische Realisierung des Softwareframeworks für ambientreflexive Umgebungen explizit auf den Intensivkontext abzielt, lässt es sich – mit entsprechenden Anpassungen – auch auf andere Domänen übertragen. Eine Übertragbarkeit wird daher nachfolgend diskutiert.

Abschließend werden offene Punkte und weiterführende Aspekte thematisiert, an die zukünftig angeknüpft werden kann.

9.1 ZUSAMMENFASSUNG

Aufbauend auf dem Konzept der Selbstreflexion und mit besonderem Fokus auf den Einsatz auf einer Intensivstation, wurde in dieser Arbeit ein Framework zur Realisierung und Vernetzung selbstreflexiver Verbünde Smarter Objekte sowie Ambienter Anwendungen vorgestellt. Dabei werden insbesondere dynamisch bereitgestellte Systemverbünde adressiert, deren Bestandteile typischerweise nicht per se selbsterklärend sind. Grundlage der Selbsterklärungsfähigkeit der hierdurch realisierten Systeme stellt die von Burmeister vorgestellte und im Zuge dieser Arbeit erweiterte Smart Object Description Language (SODL) dar. Während sich einfache Smarte Objekte mittels der SODL vollständig beschreiben lassen, wurde bei komplexen Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen im Zuge dieser Dissertation nur die Beschreibung der Steuerung der jeweiligen Komponente sowie mögliche Aktionen zur Steuerung weiterer Komponenten vorgenommen, sodass komplexere Systeme im Wesentlichen als Blackboxen betrachtet werden.

Aufgrund der besonderen Relevanz für diese Arbeit, wurde zunächst der Begriff der Ambienten Anwendung definiert und dessen Bezug zu Smarten Umgebungen eingeordnet. Zudem wurde der Einsatz Smarter Umgebungen im Gesundheitssektor diskutiert und insbesondere der Ansatz der Smarten Intensivstation thematisiert, bei denen neben Smarten Objekten auch Ambienten Anwendungen eine tragende Rolle zukommt.

In diesem Kontext erlauben individuell zusammengestellte Systemverbünde bestehend aus Smarten Objekten und/oder Ambienten Anwendungen, sogenannte Ambient Ensembles, eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Interaktionstechniken und Anwendungen. Hierbei ist also insbesondere die Möglichkeit der dynamischen Zusammenstellung der Komponenten wesentlich. Die Grundlage der in dieser Arbeit vorgestellten dynamischen Austauschbarkeit stellt das Konzept der Interaktionsplugins im Zusammenspiel mit Transformationsfunktionen zur Überführung des Primitivs in ein von einer Gegenstelle nutzbares Ereignis dar. Dabei werden auch die Parameter des Interaktionsprimitivs transformiert. Darüber hinaus wurde im Zuge dieser Arbeit das Zuordnungsproblem Smarter Objekte auf das allgemeinere Ensemble-Vermittlungsproblem ausgeweitet, welches das Fundament für die durch das Framework realisierte Selbstorganisation bildet.

Auf Grundlage einer umfassenden Analyse wurden Anforderungen abgeleitet, die an eine Plattform zur Realisierung Smarter Umgebungen im Intensivkontext zur Unterstützung der PatientInnen – insbesondere während der Beatmungsentwöhnung – gestellt werden. Dabei ist neben der Selbsterklärungsfähigkeit speziell auch der Ansatz der semi-automatischen Verknüpfung der jeweils eingesetzten Komponenten hervorzuheben.

Basierend auf den gesammelten Erkenntnissen wurde im Zuge dieser Dissertation letztlich ein Konzept aufgestellt, welches wiederum eine Grundlage des bereits thematisierten Referenzframeworks zur Realisierung und Vernetzung selbstreflexiver Verbünde Smarter Objekte sowie Ambienter Anwendungen darstellt. Das Framework besteht dabei unter anderem aus einer Vermittlungskomponente zur Realisierung der Zusammenstellung von Ensembles basierend auf dem Vermittlungsproblem sowie der Selbsterklärungsfähigkeit auf Grundlage multimodaler Anleitungen oder Tutorials und einer Softwarebibliothek zur Integration der jeweiligen Komponenten. Darüber hinaus wurde im Zuge dieser Arbeit die Möglichkeit geschaffen, Smarte Objekte oder Ambiente Anwendungen zusätzlich mittels eines virtuellen Stellvertretergeräts über den Virtual Device Daemon einzubinden. Dieser Ansatz wird primär bei Ambienten Anwendungen, aber auch bei Smarten Objekten, relevant, bei denen die Softwarebibliothek nicht direkt eingesetzt werden kann. So lassen sich beispielsweise Webanwendungen, die abgeschottet im Browser ausgeführt werden, in die Smarte Umgebung integrieren.

Hervorzuheben ist zudem, dass im Kontext der Entwicklung des Frameworks auch ein Generator für multimediale Anleitungen auf Basis von HTML entwickelt wurde, bei der neben textuellen Beschreibungen in unterschiedlicher Granularität auch grafische Repräsentationen in Form von Abbildungen oder

Animationen verwendet werden, sodass sich die zu vermittelnden Sachverhalte auch grafisch untermalen lassen.

Zur Beurteilung der Fähigkeit des Frameworks zur Selbstorganisation wurde eine technische Evaluation durchgeführt, bei der das Verhalten des Vermittlungsverfahrens für ein möglichst allgemeines Szenario untersucht wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die mittels probabilistischem Vermittlungsalgorithmus durchschnittlich ermittelte Lösung bei einer steigenden Anzahl Smarter Objekte und Ambienter Anwendungen zunehmend von der optimalen Lösung abweicht, jedoch bei der im Experiment beobachteten verhältnismäßig großen Anzahl dennoch eine Mindestgüte erreicht. Dies lässt den Schluss zu, dass das Verfahren auch bei einer großen Anzahl verwendeter Komponenten in der Lage ist, akzeptable Lösungen zu finden. Zudem konnte im Zuge der Evaluation beobachtet werden, dass der Algorithmus verhältnismäßig schnell (innerhalb der ersten 30 Sekunden) gute Lösungen findet. Insgesamt ist der probabilistische Brute-Force-Algorithmus somit prinzipiell in der Lage innerhalb einer annehmbaren Zeitspanne akzeptable Lösungen zu finden, selbst wenn es sich um eine umfangreiche Smarte Umgebung mit vielen Komponenten handelt.

Darüber hinaus wurde eine Studie zur Untersuchung des durch das vorgestellte Framework realisierten Konzepts der Selbstreflexion durchgeführt. Dabei wurde primär untersucht, inwiefern das Framework prinzipiell in der Lage ist, Ensembles zur Selbsterklärung zu befähigen und inwiefern diese Selbsterklärungen für potenzielle BenutzerInnen Smarter Umgebungen nachvollziehbar sind. Für diese Pilotstudie wurden zwölf junge Erwachsene herangezogen, die in der digitalen Welt aufgewachsen sind, sodass der Fokus nicht auf einer Nutzung durch IntensivpatientInnen lag, für die voraussichtlich eine weitere Aufbereitung der Anleitungen (beispielsweise in Form von Tutorials) erforderlich wird. Im Rahmen der durchgeführten teilnehmenden Beobachtung wurden selbst komplizierte Eingabehandlungen von den ProbandInnen verstanden und erfolgreich ausgeführt. Dabei wurden die mittels Framework generierten Anleitungen zu unterschiedlichen Ensembles von den ProbandInnen als inhaltlich sehr gut nachvollziehbar beschrieben, die Unterstützung des Lernprozesses der Bedienung der Ensembles sehr positiv bewertet und die Erläuterung der Systemreaktion als gut verständlich angesehen. Auch die Bedienung der Anwendungen konnte nachvollzogen werden, obwohl prinzipbedingt keine Erklärung des vollständigen Navigationspfads erfolgen konnte. Kritisiert wurden einige Abbildungen und Formulierungen, die von mehreren ProbandInnen zunächst falsch interpretiert wurden. Während die Abbildungen in der jeweiligen Selbstbeschreibung verankert sind und somit im Verantwortungsbereich der Gerätehersteller bzw. SoftwareentwicklerInnen liegen, basieren die Formulierungen auf der SODL und der zugehörigen Frameworkkomponente zur Generierung der Anleitungen. Hinsichtlich der Formulierungen bietet sich daher zukünftig eine Anpassung am Framework an. Basierend auf den Ergebnissen lässt sich grundsätzlich festhalten, dass das Framework in der Lage ist, nachvollziehbare Anleitungen zu generieren, sofern eine gute Selbstbeschreibung der eingesetzten Komponenten vorliegt. Somit wurde die Forschungsfrage adressiert, wie sich ein dynamisches System, das nicht per se selbstbeschreibend ist, kontinuierlich selbstbeschreiben kann.

Zudem wurde anhand eines Integrationsbeispiels für den Intensivkontext gezeigt, inwiefern das beschriebene Framework eine Grundlage für derartige Smarte Umgebungen sein kann. Dabei wurde insbesondere auf die Information, Unterstützte Kommunikation und Förderung der Autonomie beatmeter IntensivpatientInnen abgezielt. In diesem Zuge wurde – mangels verfügbarer, einsetzbarer Interaktionsgeräte für die Zielgruppe – eine Gestensteuerungsvariante für das an den Intensivkontext angepasste Interaktionsgerät BIRDY realisiert. Darüber hinaus wurden im Rahmen einer Nutzwertanalyse vielversprechende Kandidaten von Interaktionsgeräten für den Intensivkontext identifiziert.

Zur Beurteilung und zum Vergleich wurden in dieser Dissertation drei der Kandidaten sowie BIRDY in einer Pilotstudie untersucht, an der 24 ProbandInnen teilnahmen, die der Gruppe der jungen Erwachsenen zuzuordnen sind, die in der digitalen Welt aufgewachsen sind. Dabei wurden von jeder ProbandIn jeweils zwei der Geräte erprobt, bewertet und gegenübergestellt. Der Litho-Controller wurde als vielversprechendster Kandidat am häufigsten als das Gerät ausgewählt, welches insgesamt am besten gefiel. BIRDY, welches als einziges Gerät alle Anforderungen an ein Interaktionsgerät für den Intensivkontext mit Fokus auf die Weaningphase erfüllen kann, wurde dicht gefolgt auf Platz zwei gewählt. Hinsichtlich der Aspekte der schnellen Erlernbarkeit sowie der gut funktionierenden und der anstrengungsfreien Bedienung wurde BIRDY sehr gut bewertet. Auch in den anderen erhobenen Aspekten schnitt BIRDY gut ab. Mit BIRDY und dem Litho-Controller existieren somit zwei besonders vielversprechende Interaktionsgeräte, deren Einsatzmöglichkeiten im Intensivkontext weiter untersucht werden sollten. Hierdurch wurde ein Beitrag zur Forschungsfrage geleistet, welche Interaktionsgeräte im Kontext einer Smarten Umgebung zur Unterstützung der Information, Kommunikation und Autonomie relevant sind und eingesetzt werden könnten.

Die Erprobung von BIRDY durch die ProbandInnen und die durchgeführte Untersuchung der Erkennungs- und Falsch-Positiv-Raten zeigt zudem, dass mit der Neige- und Druckgestensteuerung ein robustes Verfahren realisiert wurde, das eine zuverlässige Erkennung der Gesten erlaubt.

Die Entwicklung von BIRDY und die Realisierung der Steuerungsvariante betreffen die beiden Forschungsfragen, wie speziell für den Kontext einer Smarten Umgebung zur Unterstützung der Information, Kommunikation und Autonomie ausgelegte Interaktionsgeräte aussehen sowie realisiert werden können, welche Arten der Steuerung mit einem ballförmigen Interaktionsgerät für diesen Kontext relevant sowie realisierbar sind und wie ein Gerät dies geeignet umsetzen könnte.

Darüber hinaus wurde eine Evaluation des Konzepts der kontrollierten Selbstorganisation anhand eines im Zuge des Integrationsbeispiels realisierten semi-automatischen Vernetzungsprozesses basierend auf einem Scannen von QR-Codes durchgeführt. Die ProbandInnen hoben dabei die kurze Latenz und die Gebrauchstauglichkeit der für diesen Prozess herangezogenen Anwendung positiv hervor. Darüber hinaus gaben sie an, dass das komplexe Thema der Ensemblebildung durch den semi-automatischen Prozess angemessen vereinfacht würde. Insgesamt lässt sich daher festhalten, dass der Ansatz der semi-automatischen

Ensemblebildung basierend auf einer Scan-Funktion eine gute Realisierungsmöglichkeit der kontrollierten Selbstorganisation darstellt. Dies beantwortet die Forschungsfrage, wie der Prozess der Bereitstellung eines Ensembles für eine IntensivpatientIn geeignet unterstützt werden kann.

9.2 ÜBERTRAGBARKEIT AUF ANDERE DOMÄNEN

Aufgrund der flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten des in dieser Dissertation vorgestellten Referenzframeworks für ambientreflexive Umgebungen ist es trotz des Fokus auf die Intensivstation und speziell die Weaningphase beatmeter IntensivpatientInnen auch für andere Zielgruppen und in anderen Domänen einsetzbar. So lassen sich andere Rahmenbedingungen bzw. Anforderungen an den Ensemble-Vermittlungsprozess mittels entsprechend zu formulierender Bedingungen und Kriterien abbilden oder die Konfigurationsmöglichkeiten der Vermittlungskomponente nutzen, um beispielsweise eine semi-automatische oder angeleitete Vermittlung zu realisieren. Darüber hinaus können besondere Anforderungen an die Anleitungen oder Tutorials durch einen entsprechend gestalteten Generator umgesetzt werden.

Grundsätzlich lässt sich das Framework vorrangig in solchen Bereichen gewinnbringend einsetzen, wo aus der dynamischen Zusammenstellung von Ensembles ein Vorteil gezogen werden kann. Das gilt primär für Szenarien, in denen Interaktionsgeräte und/oder Ambiente Anwendungen individuell und flexibel eingesetzt werden, sodass die Vorteile den Mehraufwand durch die Bereitstellung des Frameworks überwiegen. Dabei muss insbesondere die Frage geklärt werden, wie die Smarte Umgebung instrumentiert und gewartet wird. Zudem ist dabei eine offene Frage, wer eine entsprechende Auswahl an Geräten und Anwendungen trifft. Hierbei könnten Systeme eingesetzt werden, die den Aufwand der initialen Instrumentierung reduzieren, wie beispielsweise Automatisierungswerkzeuge zur Orchestrierung, Konfiguration und Administration. Das Ensemble-Vermittlungsverfahren könnte hingegen hinzugezogen werden, um bei der Auswahl der einzusetzenden Komponenten zu unterstützen, indem beispielsweise die erreichbare Güte einer Vermittlung in einer simulierten Smarten Umgebung mit und ohne die betrachtete Komponente gegenübergestellt wird.

Auch die im Zuge des Integrationsbeispiels realisierte Smarte Umgebung lässt sich prinzipiell auf andere Stationen bzw. Einsatzzwecke im Klinikum, aber auch andere Bereiche der Pflege, wie stationäre Pflegeeinrichtungen, übertragen. Während PatientInnen mit anderen Fähigkeiten sowie Einschränkungen und in einem anderen Kontext voraussichtlich auf andere Interaktionsgeräte, wie beispielsweise eine angepasste Version des Litho-Controllers oder andere Geräte, die im Zuge der Nutzwertanalyse betrachtet wurden – zurückgreifen würden, gelten viele der Rahmenbedingungen, wie die Hygienerichtlinien oder die Belastungen des Pflegepersonals auch dort. Dabei sind die eingesetzten Anwendungen, also primär die PatientInnenanwendung dem entsprechenden Szenario anzupassen, wobei gegebenenfalls einige Teilanwendungen wiederverwendet werden können. Insbesondere kann in diesen Einsatzszenarien eine

Instrumentierung und Auswahl der Komponenten grundsätzlich durch das Personal erfolgen.

Eine weitere interessante Zielgruppe für die Smarte Umgebung bzw. speziell die hierbei realisierte Teilanwendung zur Unterstützten Kommunikation unter Einsatz von BIRDY könnten generell Menschen mit Beeinträchtigungen sein, die aufgrund ihrer Situation andere Interaktionsgeräte und insbesondere auch interaktive Oberflächen nicht adäquat benutzen können.

9.3 AUSBLICK

Während durch das vorgestellte Referenzframework die grundsätzliche Möglichkeit der Generierung von Anleitungen und auch von Tutorials gegeben ist, bleibt eine konkrete Realisierung einer Selbsterklärungsfähigkeit für IntensivpatientInnen mittels eines entsprechenden Tutorialsystems (speziell auch für das vorgestellte Integrationsbeispiel) bisher offen. Dabei sollten Tutorials bei dem im Rahmen des Integrationsbeispiels vorgestellten System in die PatientInnenanwendung integriert werden, um eine Hilfestellung direkt dort zu bieten, wo sie benötigt wird.

Darüber hinaus sind weitere Studien auf der Intensivstation zur tiefergehenden Untersuchung der Eignung des Frameworks für ambientreflexive Systeme im Intensivkontext, aber auch der im Rahmen des Integrationsbeispiels realisierten Smarten Umgebung, nötig. Zweiteres umfasst insbesondere auch eine Erprobung der realisierten Steuerungsvariante mit BIRDY sowie die weitere Untersuchung der vielversprechenden Kandidaten, wobei primär der Litho-Controller zu berücksichtigen ist.

Während mit BIRDY ein Interaktionsgerät entwickelt wurde, welches sich speziell an den Einsatz im Intensivbett und vorrangig an beatmete PatientInnen in der Weaningphase richtet, fehlen alternative Geräte, die an andere Einsatzszenarien oder spezielle Fähigkeiten der PatientInnen angepasst sind. In Zukunft noch zu entwickelnde Geräte könnten dabei die Grundlage eines Satzes unterschiedlicher Interaktionsgeräte sein, die individuell ausgewählt werden und somit einer Vielzahl an PatientInnen eine Unterstützungsmöglichkeit bieten. Dabei kann die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Nutzwertanalyse alternativer Interaktionsgeräte eine Grundlage für die Entwicklung von weiteren, speziell an den Nutzungskontext der Intensivstation angepassten Interaktionsgeräten liefern.

Zudem könnte zukünftig eine Optimierung des Ensemble-Vermittlungsalgorithmus hinsichtlich der Bedingungen und Kriterien des Intensivkontexts erwogen werden.

Ein weiterführender Aspekt, der sich aus dem Einsatz des Frameworks zur Befähigung Smarter Umgebungen zur Selbstorganisation und -reflexion ergibt, ist die Frage, welche Konzepte sich zur initialen Instrumentierung eines Raumes eignen und welche Unterstützungswerkzeuge für unterschiedliche Anwendungsfälle konkret benötigt werden. Vorstellbar wäre zudem ein Konzept zum Installieren

(weiterer) Ambienten Anwendungen in die Smarte Umgebung – beispielsweise über einen Ambienten App Store.

Während die Trennung zwischen Eingabe- und Ausgabekomponente im vorgestellten Framework basierend auf dem Interaktionsprimitiv und einer Transformation der Wertebereiche erfolgt, wurde das Konzept der Interaktionsplugins und deren dynamische Bereitstellung im Referenzframework nicht realisiert. Prinzipiell ließe sich das Konzept mittels eines Beobachter-Musters (*publish/subscribe*) für Sensordaten und einer Komponente zur Instanziierung von Interaktionsplugins realisieren. Auch hierbei ergibt sich die Frage, auf welcher Grundlage diese Plugins bereitgestellt werden. Zudem muss die Frage geklärt werden, welche Rolle die Möglichkeit der Bereitstellung beim Vermittlungsprozess spielen kann und sollte.

Wie bereits beschrieben werden Ambiente Anwendungen bei der Selbstbeschreibung im Wesentlichen als Blackbox betrachtet, sodass das vollständige Systemverhalten nicht modelliert wird. Die Beschreibung des vollständigen Systemverhaltens auf einer anderen Ebene kann in bestimmten Fällen jedoch eine sinnvolle Ergänzung zur Beschreibung der Steuermöglichkeiten und Ausgaben darstellen und sollte daher gegebenenfalls in Betracht gezogen werden.

Darüber hinaus ergeben sich aus Mehrbenutzerszenarien, bei denen Ensembles oder Teile davon durch mehrere BenutzerInnen gemeinsam genutzt werden, weitere Fragestellungen, die zukünftig adressiert werden können. Das betrifft sowohl die Darstellung der Selbsterklärungen als auch den Vermittlungsprozess, bei dem gegebenenfalls weitere Aspekte berücksichtigt werden müssen. Zudem spielen Aspekte der Privatsphäre und die Frage, wann welche NutzerIn welches Gerät steuern darf und, ob die Steuerung einer anderen Person überschrieben werden darf, eine Rolle. Des Weiteren muss bei mehrfach vorliegenden Geräten desselben Typs für mehrere BenutzerInnen gegebenenfalls zusätzlich erläutert werden, welches der Geräte konkret zu benutzen ist oder ein alternativer Lösungsansatz gewählt werden.

Des Weiteren ergeben sich aus der dynamischen Verbindung bei selbstorganisierenden bzw. strukturadaptiven Systemen gegebenenfalls neue Forschungsfragen bezüglich der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Systems, da sich das System in derselben oder in einer ähnlichen Situation unterschiedlich verhalten und sich die Gebrauchstauglichkeit bei sich verändernden Ensembles ebenfalls dynamisch verändern kann. Folglich ist zu prüfen, welche Aussagen sich über die Gebrauchstauglichkeit bei adaptiven oder sogar selbstorganisierenden Systemen treffen lassen, die sich dynamisch an Bedarfe anpassen und somit in unterschiedlichen Situationen andere Schnittstellen, Hilfestellungen oder Möglichkeiten, das Ziel zu erreichen, bieten.

Eine Erweiterung der SODL um Beschreibungen der physikalischen Ebene mittels einer Beschreibungssprache für Bewegungen, wie beispielsweise der Labanotation (Laban, 1928), könnte eine einheitlichere Beschreibung erlauben und bietet darüber hinaus die Möglichkeit Bewegungen detaillierter festzuhalten, als dies bisher möglich ist. Dabei besteht grundsätzlich die Möglichkeit Bewegungen mittels einer Tiefenkamera aufzuzeichnen und die Labanotation von einem System generieren zu lassen (vgl. Kordts et al., 2015) statt sie selbst händisch zu

notieren, was die Zugänglichkeit tendenziell erhöhen würde. Zudem ließe sich die hierdurch generierte Beschreibung zunächst in einem Editor sichten und mittels eines 3D-Modells manipulieren (vgl. Stahl et al., 2016 und Anderson et al., 2021), bevor ein finales Ergebnis in die jeweilige Geräteselbstbeschreibung integriert wird.

Der Einsatz der Labanotation könnte darüber hinaus die Grundlage einer Realisierung von an die konkreten motorischen Fähigkeiten der BenutzerInnen angepassten Ensembles darstellen. Hierzu könnte beispielsweise eine Zuordnung von Smarten Objekten und Ambienten Anwendungen basierend auf einem Fähigkeitsprofil und der Beschreibung der physischen Bedienung erfolgen, wobei nur solche Interaktionsgeräte oder Interaktionsprimitive vermittelt würden, die von den BenutzerInnen auch verwendet werden können. So ließen sich beispielsweise bestimmte Gesten eines Geräts ausschließen, die eine NutzerIn aufgrund ihres Bewegungsspielraums nicht ausführen kann.

Des Weiteren bietet sich für die Referenzimplementierung eine Untersuchung an, inwiefern Matter¹ zukünftig anstelle oder in Ergänzung zu den Protokollstapeln UPnP und DPWS eingesetzt werden sollte.

Der in Unterabschnitt 8.5.7 beschriebene Ansatz der orientierungsvarianten Gestenerkennung basierend auf der Referenzrichtung des Betts sowie eine Nachführung einer dynamischen Referenz hängt insbesondere vom eingebauten Magnetometer ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Sensordaten aufgrund anderer technischer Geräte insbesondere in der Klinik beeinflusst und somit ungenau sein können. Eine Bewertung der tatsächlichen Verzerrung und der Genauigkeit sollte zukünftig durchgeführt werden, um die verschiedenen Gesten zu vergleichen und schließlich ihre Eignung für die Situation auf der Intensivstation zu beurteilen.

Andere Ansätze zur Erkennung der Ausrichtung des Geräts relativ zur BenutzerIn könnten basierend auf unterschiedlichen Sensoren realisiert werden. Denkbar sind Berührungssensoren, die zur Erkennung der Ausrichtung der Hand der BenutzerInnen eingesetzt werden können. Darüber hinaus ließe sich auch eine Triangulation von bestehenden Funksignalen oder zum Zweck der Ermittlung der Orientierung erzeugte Magnetfelder nutzen. Zudem stellt der Einsatz von Kameras und nachgelagerter Prozessschritte zur Ermittlung der Orientierung des Geräts basierend auf den Kamerabildern einen möglichen Lösungsansatz dar. Dabei ist jeder Ansatz wiederum mit eigenen Implikationen und Limitationen verbunden.

Die Realisierung des Interaktionsgeräts BIRDY eröffnet prinzipiell vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Daher bietet sich eine Untersuchung an, inwiefern BIRDY in anderen Gebieten eingesetzt werden kann und wo sich Potenziale ergeben. So wurde bereits der Einsatz im Zuge der Augmentierten Realität (AR) untersucht (Schmeier et al., 2021).

¹ <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/> (Abrufdatum 21.12.2022)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AC	Autonomic Computing
ACM	Association for Computing Machinery
AMI	Ambient Intelligence
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
BIRDY	Ball-shaped Interaction and Rehabilitation Device
CAM-ICU	Confusion Assessment Method for the ICU (Methode für einen Test auf ein Delirium)
CPS	Cyber-Physical System
CPU	Central Processing Unit
CSS	Cascading Stylesheets
DPWS	Devices Profile for Webservices
ESICM	European Society of Intensive Care Medicine
GUI	Graphical User Interface
HTA	Hierarchical Task Analysis (hierarchische Aufgabenanalyse)
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBM	International Business Machines Corporation
ICU	Intensive Care Unit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMU	Inertial Measurement Unit (intertiale Messeinheit)
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol

ISO	International Organization for Standardization
JAXB	Java Architecture for XML Binding
JNI	Java Native Interface
JPA	Jakarta Persistence API (vormals Java Persistence API)
JSON	JavaScript Object Notation
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System (Mikrosystem)
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension
NUI	Natural User Interfaces
OC	Organic Computing
OWL	Web Ontology Language
PC	Personal Computer
PWA	Progressive Web App
QR-CODE	Quick Response Code
RASS	Richmond Agitation Sedation Scale (Skala zur Beurteilung der Tiefe einer Sedierung)
REST	Representational State Transfer
RPM	Roly-Poly Mouse
SDK	Software Development Kit
SODL	Smart Object Description Language
SSDP	Simple Service Discovery Protocol
SUOC	System under observation and control
SWIG	Simplified Wrapper and Interface Generator
UCS	Universal Coded Character Set
UI	User Interface (Benutzungsschnittstelle)
UPNP	Universal Plug and Play
URL	Uniform Resource Locator
UTF-8	8-Bit UCS Transformation Format
UUID	Universally Unique Identifier
VDD	Virtual Device Daemon
VPM	Virtual Protocol Model

VR	Virtual Reality
W3C	World Wide Web Consortium
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
XSD	XML Schema Definition

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.1	Human-Centered-Design-Prozess	10
2.1	Marktsegmente IoT	18
2.2	Bereiche häuslicher Pflege	25
3.1	Konzept der Interaktionsprimitive	35
3.2	Schnittstellenmodell	38
3.3	Semantische Interaktionsontologie	39
3.4	Semantische Interaktionsontologie für Smarte Umgebungen	41
3.5	Interaktionsplugins und Abbildungsfunktionen	44
4.1	MAPE-K-Schleife	51
4.2	Steuerungsmöglichkeiten	53
4.3	Virtual Protocol Model	63
4.4	Aufbau des Description Mediator	70
5.1	Hierarchie am UKSH	75
5.2	Weaningprozess	90
6.1	Abstraktes Systemmodell	104
6.2	Assoziationen zwischen Interaktionsprimitiven, Steuerereignissen und Interaktionsaufgaben	106
6.3	Trennung der Ebenen beim Virtual Protocol Model	110
7.1	Zusammenspiel der Systembestandteile an einem Beispiel	113
7.2	REST-Beispielaufruf für vorausgewählte Kanten	116
7.3	REST-Beispielaufruf für vorausgewählte Ensembles	117
7.4	Bildschirmaufnahme der Übersichtsseite einer HTML-Anleitung	119
7.5	Bildschirmaufnahme einer HTML-Anleitung für eine Ambiente An- wendung	120
7.6	Bildschirmaufnahme der Beschreibung vorbereitender Maßnahmen in einer HTML-Anleitung	121
7.7	Aufbau der Smart Object Library	125
7.8	Aufbau des Virtual Device Daemons	127
7.9	SOAP-Beispielaufruf für Details einer Zustandsgruppe	132
7.10	Zusammenhang zwischen der Anzahl und Güte	135
7.11	Zusammenhang zwischen Zeit und Güte	136
7.12	Labora Aufbau bei der Evaluation der Selbsterklärungsfähigkeit	138
7.13	Beobachtete Fehler bei der Durchführung der Aufgaben	140

7.14	Bearbeitungsdauer der Aufgaben	141
7.15	Auswertung der Fragebögen zur Bewertung des Umfangs der Anleitungen	142
7.16	Auswertung der Fragebögen zur Bewertung der Anleitungen	143
8.1	Fotografie eines Talkers	147
8.2	Bildschirmfotos der PatientInnenanwendung	151
8.3	Pflegeanwendung	154
8.4	Potentielle Gesten für BIRDY	157
8.5	Komponenten von BIRDY	163
8.6	BIRDY und Ladestation	164
8.7	Kommunikationswege BIRDY und Softwarebibliothek libbirdy	165
8.8	Softwarekomponenten von BIRDY	168
8.9	Gestörte Magnetometerdaten	169
8.10	Ungestörte Magnetometerdaten	170
8.11	Statische und dynamische Referenz bei der Neigegestensteuerung mit BIRDY	173
8.12	Aufzeichnung zweier Neigegesten	175
8.13	Aufzeichnung einer Drehgeste	176
8.14	Neigegestenerkennung	177
8.15	Aufzeichnungen zweier kurzer Druckgesten	178
8.16	Aufzeichnung einer gehaltenen Druckgeste (inklusive Differenzzeitreihe)	179
8.17	Druckgestenerkennung	179
8.18	Aufzeichnung des Aktivitätsvektors	181
8.19	Laboraufbau bei der Gerätevergleichsstudie	191
8.20	Bewertung der Interaktionsgeräte	193
8.21	Gegenüberstellung der Interaktionsgeräte	195

TABELLENVERZEICHNIS

3.1	Mengen und ihre Kardinalität	36
5.1	RASS-Stufen	78
8.1	Nutzwertanalyse alternativer Interaktionsgeräte	187
8.2	Erkennungs- und Falsch-Positiv-Raten bei BIRDY.	194

QUELLTEXTVERZEICHNIS

7.1	Versenden eines Miscellaneous Events per Smart Object Library .	122
7.2	Initialisierung mittels Smart Object Config	124
7.3	Initialisierung mittels Virtual Device API	128
7.4	Versenden eines Interaktionsprimitivs per Virtual Device API . .	128
7.5	Versenden eines Miscellaneous Events per Virtual Device API . .	128

PERSONAS

In diesem Anhang befinden sich die weiteren im Rahmen des ACTIVATE-Forschungsprojekts entwickelten Personas. Die Personas werden hier aus Lizenzgründen ohne Foto gezeigt.

Persona 2.1 (Negative): Herr Hans Dietrich

BENUTZERKLASSE

Internistischer Notfall

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 94 Jahre
 Größe: 180 cm
 Gewicht: 75 kg
 Sonstiges: Schwer dement
 Erkennt seine eigenen Kinder nicht mehr
 Lebt seit einem halben Jahr in Pflegeheim
 Keine PC-Erfahrung

EINLIEFERUNGSGRUND

Obere GI-Blutung (Magenblutung). Aspiration bei der Narkoseeinleitung durch ein erneutes Bluterbrechen, so dass Blut unkontrolliert in die Lunge gekommen ist. Lungenversagen (ARDS) mit Langzeitbeatmung.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Aufgrund der schweren Alzheimer-Demenz ist Herr Dietrich nicht mehr in der Lage die Dinge des täglichen Lebens selbst zu erkennen und umzusetzen. Durch den krankheitsbedingten fortgeschrittenen körperlichen und geistigen Abbau muss er an die Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme erinnert werden und es bedarf der pflegerischen Unterstützung dabei.

Die dementiellen Veränderungen bedingen, dass er weder Situationen, örtliche Gegebenheiten noch ihm vertraute Personen wie z. B. seine eigenen Kinder erkennt. Trotz der hieraus resultierenden großen Belastungssituation für sein Umfeld ist der Familienzusammenhalt stark.

WEANINGSITUATION

Herr Dietrich wacht schnell auf, blickt »ins Leere« und wirkt abwesend.

Aufgrund der bekannten Demenz ist die Kommunikation stark erschwert. Es ist nicht nachvollziehbar, was er versteht und ob er darauf reagiert.

Auch auf Angehöriger reagiert Herr Dietrich nicht, zeigt keine Reaktionen, kann gezielten Aufforderungen keine Folge leisten (z.B. Händedruck) auf Aufforderung.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Herr Dietrich kann BIRDY (Ball) in der Hand halten, gezielte Bewegungen oder die Steuerung des ACTIVATE-Systems ist nicht zu erwarten. Die Reaktion auf auf Bilder, Geräusche, Stimmen, Vibrationen etc. ist ungewiss.

Persona 2.2 (Primary): Herr Hans Dietrich

BENUTZERKLASSE

Internistischer Notfall

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 94 Jahre
Größe: 180 cm
Gewicht: 75 kg
Sonstiges: Mittelschwer dement
Erkennt seine eigenen Kinder nicht mehr
Lebt seit einem halben Jahr in Pflegeheim
Keine PC-Erfahrung

EINLIEFERUNGSGRUND

Obere GI-Blutung (Magenblutung). Aspiration bei der Narkoseeinleitung durch ein erneutes Bluterbrechen, so dass Blut unkontrolliert in die Lunge gekommen ist. Lungenversagen (ARDS) mit Langzeitbeatmung.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Herr Dietrich lebt seit einem halben Jahr in einer stationären Pflegeeinrichtung aufgrund seiner Alzheimer Demenz. Tag für Tag geht er seinen krankheitsbedingt stark ausgeprägtem Bewegungsdrang nach und läuft über die Flure. Begegnet er anderen Menschen, hält er inne und antwortet auf jegliche Frage, die ihm gestellt wird mit »Ja, ja!«.

In seinem Stadium der Demenz erkennt er seine eigenen Kinder nicht mehr. Trotzdem ist die Familie sehr bemüht um ihn und der Zusammenhalt stark.

WEANINGSITUATION

Herr Dietrich wacht schnell auf und hat einen ausgeprägten Bewegungsdrang. Er versucht mit den Händen alles zu greifen, was sich an ihm und in seinem Bewegungsradius befindet, zum Eigenschutz, um Körperzugänge und die medizinische Therapie zu gewährleisten werden seine Handgelenke fixiert. Dazu lautiert er pausenlos und nicht verständlich Silben wie »Hi, hi, hi.«.

Aufgrund der bekannten Demenz ist mit ihm eine zielgerichtete Kommunikation erschwert möglich.

Auch auf Angehörige reagiert Herr Dietrich nicht adäquat, er hält für den Moment inne, blickt die Person ohne Augenkontakt an, folgt jedoch keinen Aufforderung. Entfernen sich die Personen verfällt er schnell in das zuvor beschriebene Verhalten.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Herr Dietrich hat BIRDY in der Hand und »nestelt« daran herum, ohne gezielt zu verstehen, was er damit machen soll.

Bilder und Filme erregen deutlich seine Aufmerksamkeit. Auf vertraute Stimmen (Ehefrau) reagiert er damit, dass er in seinem agitierten Verhalten inne hält.

Eine Anwendung von ACTIVATE ist indirekt (Bilder, Filme, Stimmen) möglich, eine aktive Nutzung ist für Herr Dietrich aufgrund seiner Demenz nicht möglich.

Persona 3 (Primary): Annika Elle-Sonnecken

BENUTZERKLASSE

Chirurgischer Notfall

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 32 Jahre
 Größe: 170 cm
 Gewicht: 56 kg
 Familienstand: Verheiratet
 Kinder: Eine Tochter (4 Jahre)
 Beruf: Produktionsleiterin beim Fernsehen
 Sonstiges: Lebt in einem Vorort einer Großstadt
 Kurzsichtig – trägt Kontaktlinsen
 Kennt sich gut mit Computern aus

EINLIEFERUNGSGRUND

Autounfall. Dadurch instabiler Thorax. Maschinelle Beatmung für mindestens acht Wochen. Tracheotomie (Luftröhrenschnitt) wird angelegt.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Frau Elle-Sonnecken ist ein sehr lebensfroher und energiegeladener Mensch. Familie, Beruf und den Pferdesport unter einen Hut zu bekommen erfordern eine sehr gute Planung, viel Energie und viel Autofahren. Als gelernte Produktionsleiterin beim Fernsehen ist sie es gewohnt zu Organisieren und schnell zu reagieren. Frau Elle Sonnecken besitzt viel Humor und ist ein sehr positiv denkender Mensch. Ihr Motto: »Ich schaff' das!« bzw. »Geht nicht – gibt's nicht!« verkündet sie jedem, der es wissen möchte.

WEANINGSITUATION

Frau Elle-Sonnecken wurde schnell wach, war jedoch zunächst in einem vorübergehenden, hyperaktiven Delirium (starke Unruhe mit Bewegungen des ganzen Körpers, Halluzinationen, Angst, Zittern, Schwitzen). Aufgrund einer möglichen Eigengefährdung wurden die Hände fixiert.

Bis heute in Erinnerung ist Ihr das starke Durstgefühl, dass Sie in der Weaningphase erlebte.

Ihr Mann berichtete Ihr zudem, dass Sie ständig danach gefragt hat, wo sie sich befinden würde und was passiert sei.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Gezielte Steuerung des ACTIVATE Systems durch Delir eingeschränkt Informationen über Ort, Zeit, persönliche Daten, etc können passiv über den Bildschirm und Tonausgaben wiederholend vermittelt werden.

Im Verlauf kann ACTIVATE in vollem Umfang genutzt werden. Es liegen keine Einschränkungen vor. Aufgrund der starken Kurzsichtigkeit ist eine Brille bzw. sind Kontaktlinsen für den Einsatz nötig.

Persona 4 (Primary): Herr Hassan Ycegühl

BENUTZERKLASSE

Chirurgische geplante Aufnahme

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 54 Jahre
Größe: 172 cm
Gewicht: 85 kg
Familienstand: Ledig
Kinder: Keine
Sonstiges: Raucher
Spricht fließend Deutsch und Türkisch
Sehr gute Computerkenntnisse (muss beruflich viele Businessplan-Modellierungen, Marktanalysen und Präsentationen für Kunden erstellen).

EINLIEFERUNGSGRUND

Geplanter Herzchirurgischer Eingriff

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Herr Ycegühl ist, wie er sagt, »in den besten Jahren«. Er ist ein lebensfroher, motivierter Mensch. Er raucht seit seinem 16. Lebensjahr. Herr Ycegühl ist Mitglied in einem Fitnessstudio in seiner Stadt. Er steht zu seinem leichten Übergewicht – er ist ein sehr selbstbewusster Mann.

WEANINGSITUATION

Nach der Operation wacht er schnell auf. Er verspürt einen brennenden Schmerz wie bei einer Verbrennung.

Da keine Person im Raum ist, drückt Herr Ycegühl den Ball, den er in der Hand hält, um so auf sich aufmerksam zu machen. Nach kurzer Zeit kommt eine Person ins Zimmer und erkundigt sich nach seinen Bedürfnissen.

Aufgrund eines Notfalles (in einem anderen Zimmer) bleibt der Beatmungsschlauch länger als geplant.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Bereits vor der OP wurde Herr Ycegühl in ACTIVATE eingewiesen, sodass nun eine Bedienung durch ihn problemlos möglich ist.

Er kann durch das »Schmerzsymbol« auf Schmerzen hinweisen und sich zudem über Datum und Uhrzeit informieren.

Persona 5 (Primary): Elenor Spring

BENUTZERKLASSE

Geplante internistische Aufnahme

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 62 Jahre
 Größe: 164 cm
 Gewicht: 62 kg
 Familienstand: Seit 5 Jahren geschieden, aktuell Single
 Kinder: Zwei Kinder (35 und 31 Jahre)
 Beruf: Frührentnerin
 Sonstiges: Kann gut mit dem Computer umgehen
 Für die Technik hinter Computern interessiert sie sich eher wenig
 Ihr ist nur wichtig, dass sie ihr Smartphone und ihren Laptop einwandfrei nutzen kann

EINLIEFERUNGSGRUND

Erstdiagnose AML (Amyotrophe lateralsklerose) – eine unheilbare, fortschreitende Muskelerkrankung. Nach ausführlichen Gesprächen mit Frau Spring und aufgrund des raschen Fortschreitens der Muskelschwäche mit zunehmender Schluckstörung, stimmen alle einem Luftröhrenschnitt zu.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Frau Spring ist eine lebensfrohe und energetische Person. Wenn es ihr mal nicht so gut geht, lässt sie sich meist nichts anmerken. Sie hat ein gutes Verhältnis zu Ihren Kindern.

WEANINGSITUATION

Nach dem kurzen Eingriff wacht Frau Spring schnell wieder adäquat auf.

Aufgrund einer leichten Sekretverlegung bekommt Frau Spring Luftnot und Angst. Durch ein schnelles Handeln, kann die Luftnot schnell genommen werden. Die Angst nicht gehört (wahrgenommen) zu werden bleibt, da sich die Kommunikation (Ablesen von den Lippen, Antworten auf Ja-Nein-Fragen mit Kopfnicken oder Kopfschütteln) schwieriger als erwartet gestaltet.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Die Bedienung von Birdy fällt ihr aufgrund einer deutlichen Handschwäche schwer. Jede kleine Bewegung ist mühsam.

Gerne nutzt Sie die Möglichkeit Bilder/ Foto und Filme über ACTIVATE zu sehen. Zudem freut Sie sich darüber mit Ihren Kindern über das System in Kontakt zu sein.

Aufgrund der schnell fortschreitenden Muskelschwäche kann ACTIVATE nur vorübergehend genutzt werden. Ein Gerät mit Augensteuerung wird im Verlauf nötig sein.

Persona 6 (Primary): Olga Boschinski

BENUTZERKLASSE

Geplante chirurgische Aufnahme

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 64 Jahre
Größe: 161 cm
Gewicht: 65 kg
Familienstand: Verheiratet mit Victor (Maurer, kann wenig Deutsch)
Kinder: Zwei erwachsene Kinder (43 und 40 Jahre)
Beruf: Küchenhilfe
Sonstiges: Wenig PC-Erfahrung
Spricht fließend polnisch, kann nur wenig Deutsch
Altersweitsichtigkeit – trägt zum Lesen eine Brille

EINLIEFERUNGSGRUND

Hüftschmerzen bei fortschreitender Arthrose. Hüft-OP mit intraoperativen Problemen (starke Blutung), daher Nachbeatmung auf Intensivstation. Re-OP am nächsten Tag.

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Frau Boschinski ist fürsorglich, fleißig und war bei der Arbeit wenig krank.

Kümmert sich viel um die Enkelkinder. Trinkt tägl. »1 Glas« Wodka.

Der katholische Glaube ist ihr wichtig, sie singt in einem polnisch-katholischen Chor.

WEANINGSITUATION

Frau Boschinski wacht nach der Operation schnell auf. Sie ist jedoch sehr unruhig und scheint nicht zu verstehen, dass sie im Krankenhaus ist. Bei dem CAM-ICU-Test macht sie viele Fehler (sie soll immer beim Buchstaben »A« die Hand drücken, drückt diese jedoch ständig), so dass die Diagnose »Delirium« (Unruhe, Zittern, Schwitzen, Angst, Panik in den Augen) geäußert wird.

Aufgrund der Unruhe und der möglichen Selbstgefährdung wird Frau Boschinski an den Händen fixiert.

Nach 2 Tagen kann sie extubiert werden, das Delirium hält noch länger an.

AUSWIRKUNGEN/VORAUSSETZUNGEN FÜR ACTIVATE

Zunächst wirft Frau Boschinski Birdy ständig aus dem Bett. Im Verlauf behält sie BIRDY in den Händen, kann jedoch aufgrund stark zitternder und schwitzender Hände nicht immer passend auslösen. Fraglich bleibt zudem die Orientierung von Frau Boschinski. Die Möglichkeit auf Polnisch das Datum und die Zeit ansagen zu lassen, zeigen eine deutlich positive Reaktion.

Ihr Mann nutzt ACTIVATE um auf Polnisch ihr die Situation zu erklären. Diese Aufzeichnung wird mehrmals täglich abgespielt um eine Reorientierung zu ermöglichen. Wenn der Bildschirm günstig steht, benötigt sie keine Sehhilfe.

Persona 7 (Served/Supplemental): Hildegard Wald

BENUTZERKLASSE

Anwenderin

PERSÖNLICHE DATEN

Tätigkeit:	Examierte Krankenschwester
Alter:	62 Jahre
Familienstand:	Verheiratet
Kinder:	Zwei erwachsene Söhne (38 und 36 Jahre alt)
Enkelkinder:	Vier Enkelkinder, alles Mädchen (14, 12, 8 und 4 Jahre alt)
Sonstiges:	Lebt in einem Einfamilienhaus in der Nähe der Klinik Geht gerne ins Theater und klassische Konzerte

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Frau Wald ist Veränderungen gegenüber sehr zurückhaltend. Handys, Navigationsgeräte, PC's und ähnlich »neumodischen Kram« lehnt sie in ihrem Alltag ab.

COMPUTERERFAHRUNG

Der Umgang mit einzelnen Programmen, die für den Stationsalltag nötig sind, können bedient werden. Ihr Motto »So viel wie nötig, so wenig wie möglich« prägt Ihrem Umgang mit PC's.

KOMMENTAR ZU ACTIVATE⁰

»Wozu so etwas?«, »Bis jetzt konnten wir auch immer alles verstehen, was die Patienten wollten!«

Sieht das Projekt und die Umsetzung kritisch, hat viele Argumente die dagegen sprechen, sieht keinen Vorteil in der Anwendung und betont den zusätzlichen Aufwand, den das Gerät für die Pflege bedeuten könnte.

Fragt nach:

- Mehraufwand für die Pflege?
- Wer kümmert sich um das Gerät?
- Was passiert mit den Daten?
- Was sagt die Hygiene?

Steht dem Projekt jedoch nicht generell abweisend gegenüber. Gibt die Unterstützung, die nötig ist und hat nichts dagegen, wenn sich andere aktiv daran beteiligen.

Persona 9 (Customer): Ursula Müller

BENUTZERKLASSE

Angehörige

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 66 Jahre
Familienstand: 40 Jahre verheiratet
Kinder: Keine
Sonstiges: Einfamilienhaus
Kümmert sich um ihre 89-jährige Mutter

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Fürsorglich. Um die Mutter bemüht. Versucht alles alleine zu schaffen. Nimmt nicht gerne Hilfe an. Ist der häusliche Typ, bleibt im Urlaub zuhause. Liest gerne im Garten Bücher.

COMPUTERERFAHRUNG

Wenig PC-Erfahrung – hat Hemmungen im Umgang, keine Vorstellung über die Funktionsweise. Hat Angst etwas »kaputt« zu machen.

BERÜHRUNGSPUNKT MIT ACTIVATE

Ihre Mutter befindet sich auf der internistischen Intensivstation. Durch eine ausgeprägte Pneumonie wurde eine mehrtägige maschinelle Beatmungstherapie eingeleitet, für die die Patienten in ein künstliches Koma versetzt wurde.

KOMMENTAR ZU ACTIVATE

Eher ungeeignet, da sie Hilfe benötigt z. B. Bilder, Daten etc. auf einem Stick mitzubringen.

Unsicher in der Anwendung. Ängstlich gegenüber der Technik.

Hilfreich wären Erklärvideos und ein einfacher Handhabungsprospekt, die den Umgang und die Möglichkeiten von ACTIVATE Schritt für Schritt und bebildert erklären.

Persona 10 (Customer): Dagmar Hansen

BENUTZERKLASSE

Angehörige

PERSÖNLICHE DATEN

Alter: 56 Jahre
Familienstand: Geschieden, seit 5 Jahren in fester Partnerschaft
Kinder: Ein Sohn (26 Jahre)
Sonstiges: Mietwohnung
Sekretärin in einer Rechtsanwaltskanzlei

CHARAKTERBESCHREIBUNG

Dominant. Kann sich gut durchsetzen. Lernt schnell. »Was nicht passt, wird passend gemacht!«

COMPUTERERFAHRUNG

Office-Anwendungen gehören zu ihrem beruflichen Alltag. Privat nutzt sie ein Tablet. Unterwegs (Bahnfahrten, Urlaub) liest sie auf dem E-Book-Reader.

BERÜHRUNGSPUNKT MIT ACTIVATE

Besucht ihren Lebenspartner Guido (67 Jahre) auf der herzchirurgischen Intensivstation. Dieser muss nach einer geplanten Herzoperation noch über Tage maschinell nachbeatmet werden, weshalb er ein Tracheostoma erhält.

KOMMENTAR ZU ACTIVATE

Offen für die Anwendung. Kann Bilder, Daten etc. auf einen Stick übertragen und mitbringen.

Versteht die Anwendung schnell und kann ihren Partner bei der Anwendung unterstützen.

Der Hinweis, dass auf der Homepage von ACTIVATE hilfreiche FAQ's und Erklärvideos zu finden sind, reicht ihr aus, um selbständig aktiv zu werden und sich über ACTIVATE zu informieren und das System zu nutzen.

ANHANG **B**

REST-SCHNITTSTELLE DES DESCRIPTION MEDIATOR

In diesem Anhang befindet sich die Dokumentation im Kontext dieser Arbeit entwickelten Erweiterung des REST-Schnittstelle der Vermittlungskomponente des Description Mediator.

GET	/preselectededges <i>Gibt alle Einträge für vorausgewählte Kanten zurück.</i>
Response	application/json
200 ok	<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselectededges": [4 { 5 "inputDevice": 6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft", 8 "outputDevice": 9 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 10 "lexicalLevelId": 11 "App:MoveFocusLeft:MoveFocus:Start:lexical", 12 "keep": true, 13 "_links": { 14 "self": { "href": 15 "http://localhost:8000/preselectededges/561" 16 }, 17 "selectedEdge": { "href": 18 "http://localhost:8000/preselectededges/561" 19 } 20 },{ 21 "inputDevice": 22 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 23 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveRight", 24 "outputDevice": 25 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 26 "lexicalLevelId": 27 "App:MoveFocusRight:MoveFocus:Start:lexical", 28 "keep": true, 29 "_links": { ... } 30 }, ... 31] 32 }, "_links": { 33 "self": { "href": 34 "http://localhost:8000/preselectededges" 35 }, 36 "profile": { "href": 37 "http://localhost:8000/profile/preselectededges" 38 }, 39 "search": { "href": 40 "http://localhost:8000/preselectededges/search" 41 } 42 } 43 } 44 } </pre>

GET /preselectededges/search/findEqual?inputDevice={ uuid }&alphabeticalLevelId={ id }&outputDevice={ uuid }&lexicalLevelId={ id }

Gibt die vorausgewählte Kante mit den gegebenen Attributen zurück.

Parameter

inputDevice	UUID des Eingabegeräts/der Eingabeapplication
alphabeticalLevelId	Bezeichner der alphabetischen Ebene
outputDevice	UUID des Ausgabegeräts/der Ausgabeapplication
lexicalLevelId	Bezeichner der lexikalischen Ebene

Response application/json

200 ok

```
1 {
2   "_embedded": {
3     "preselectededges": [
4       {
5         "inputDevice":
6           "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5",
7         "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft",
8         "outputDevice":
9           "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea",
10        "lexicalLevelId":
11          "App:MoveFocusLeft:MoveFocus:Start:lexical",
12        "keep": true,
13        "_links": {
14          "self": { "href":
15            "http://localhost:8000/preselectededges/561"
16          },
17          "selectedEdge": { "href":
18            "http://localhost:8000/preselectededges/561"
19          }
20        }
21      },
22      "_links": {
23        "self": { "href": ... }
24      }
25    }
26  }
27 }
```

POST	/preselectededges <i>Erstellt einen neuen Eintrag</i>
Body	application/json
	<pre> 1 [{ 2 "inputDevice": 3 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 4 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft", 5 "outputDevice": 6 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 7 "lexicalLevelId": 8 "App:MoveFocusLeft:MoveFocus:Start:lexical", 9 "keep": true 10 }, { 11 "inputDevice": 12 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 13 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveRight", 14 "outputDevice": 15 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea", 16 "lexicalLevelId": 17 "App:MoveFocusRight:MoveFocus:Start:lexical", 18 "keep": true 19 }] </pre>
Response	application/json
200 ok	<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselectededges": [4 { 5 "inputDevice": 6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "alphabeticalLevelId": "Kai:MoveLeft", 8 ... 9 }, 10 "_links": { ... } 11],... 12] 13 }, "_links": { ... } 14 } </pre>
400 bad request	<pre> 1 { ... 4 "message": "Requested preselected edges are 5 already present in the database.", 6 ... } </pre>

DELETE	/preselectededges/{id} <i>Entfernt eine vorausgewählte Kante</i>
Parameter	
id	id des Eintrags
Response	application/json
200	ok
1	560
404	not found

GET	/preselecteddevices <i>Findet alle Einträge für vorausgewählte Ensembles.</i>
Response	application/json
200 ok	<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselecteddevices": [4 { 5 "devices": [6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 8], 9 "devicesUids": [10 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 11 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 12], 13 "_links": { 14 "self": { "href": 15 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 16 }, 17 "selectedDevices": { "href": 18 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 19 } 20 } 21 } 22] 23 }, 24 "_links": { 25 "self": { "href": 26 "http://localhost:8000/preselecteddevices" 27 }, 28 "profile": { "href": 29 "http://localhost:8000/profile/preselecteddevices" 30 }, 31 "search": { "href": 32 "http://localhost:8000/preselecteddevices/search" 33 } 34 }} </pre>

GET	/preselecteddevices/search/findEqual?devices={list of uuids}&devicesCount={number of elements}
<i>Findet alle Einträge für vorausgewählte Ensembles. Um gültige Ergebnisse zu erhalten, muss die richtige Anzahl von Elementen für devicesCount verwendet werden.</i>	
Parameter	
list of uuids	Kommaseparierte Liste der UUIDs
number of elements	Anzahl der Elemente in der Liste
Response	
application/json	
200 ok	
<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselecteddevices": [4 { 5 "devices": [6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 8], 9 "devicesUuids": [10 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 11 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 12], 13 "_links": { 14 "self": { "href": 15 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 16 }, 17 "selectedDevices": { "href": 18 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 19 } 20 } 21 } 22] 23 }, 24 "_links": { 25 "self": { "href": 26 "http://localhost:8000/preselecteddevices/search/" 27 "findEqual?devices=" 28 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5" 29 ",fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 30 "&devicesCount=2" 31 } 32 }} </pre>	

POST	/preselecteddevices <i>Erstellt einen neuen Eintrag</i>
Body	application/json
	<pre> 1 { 2 "devices": [3 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 4 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 5] </pre>
Response	application/json
200 ok	<pre> 1 { 2 "_embedded": { 3 "preselecteddevices": [4 { 5 "devices": [6 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 7 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 8], 9 "devicesUuids": [10 "c3c17332-881b-47e0-8e59-c8c6201334f5", 11 "fe445b84-2214-4be8-b9eb-0aa5413d72ea" 12] 13 } 14] 15 }, "_links": { 16 "self": { "href": 17 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 18 }, 19 "selectedDevices": { "href": 20 "http://localhost:8000/preselecteddevices/564" 21 } 22 }} </pre>
400 bad request	<pre> 1 { ... 4 "message": "Requested preselected devices are already present in the database.", 7 ... } </pre>

DELETE	/preselecteddevices/{id} <i>Entfernt ein vorausgewähltes Ensemble</i>
Parameter	
id	id des Eintrags
Response	application/json
200 ok	
1	564
404 not found	

DOKUMENTE DER STUDIE ZUR SELBSTERKLÄRUNGSFÄ- HIGKEIT

In diesem Anhang findet sich die Ablaufbeschreibung der Studie zur Evaluation der durch das in dieser Dissertation vorgestellte Framework realisierten Selbsterklärungsfähigkeit von dynamisch zusammengestellten Ensembles.

Studieninformationen und Einverständniserklärung

Informationen zum Forschungsprojekt

Im Rahmen unserer Forschung am Institut für Telematik führen wir eine Studie zur Bewertung der Selbsterklärungsfähigkeit von Systemverbänden in Smarten Umgebungen durch. Hierzu werden durch eine von uns entwickelte Software Bedienungsanleitungen für dynamisch zusammengestellte Verbände von Eingabegeräten, Anwendungen und Ausgabegeräten generiert, deren Inhalt von Ihnen bewertet werden soll.

Bitte lesen Sie diese Informationen sorgfältig durch.

Wie ist der Ablauf?

Nachdem Sie diese Studieninformation gelesen haben, können Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme geben und mit der Studie beginnen. Zunächst werden Sie mündlich über die Motivation des Projekts informiert. Dann werden Sie gebeten, einen Fragebogen zu soziodemografischen Daten und zu Ihrer Technikaffinität auszufüllen. Danach beginnt die teilnehmende Beobachtungsstudie inklusive Interview, bei der Sie Anleitungen für Systemverbände in Smarten Umgebungen nachvollziehen sollen. Abschließend bitten wir Sie, einen weiteren Fragebogen zur Bewertung der Anleitungen auszufüllen.

Das Gespräch wird aufgezeichnet und für die weitere Verwendung in einen Text übertragen. Neben dem Interview werden auch die Daten aus den Fragebögen ausgewertet. Dabei werden alle Daten anonym behandelt, sodass kein Rückschluss auf Ihre Angaben aus der Umfrage gezogen werden kann.

Was passiert mit den Ergebnissen?

Die Informationen aus den Gesprächen werden zusammengefasst und relevante Aspekte für die Bewertung der durch unser System erzielte Selbsterklärungsfähigkeit für Smarte Umgebungen (bzw. der generierten Bedienungsanleitungen) herausgearbeitet.

Vertraulichkeit

Zu Dokumentations- und Auswertungszwecken wird das Gespräch digital aufgezeichnet und die Ergebnisse der Umfrage gespeichert. Zudem werden händisch Daten zur Beobachtungsstudie festgehalten. Die Daten werden vertraulich behandelt und nur zu den vorgenannten Zwecken verwendet.

Anonymität

Die Ergebnisse der Erhebung (beispielsweise Auszüge aus den Interviews) werden nur in anonymisierter Form veröffentlicht. Bei Fragen zu dem Datenschutz oder der Erhebung, wenden Sie sich bitte per E-Mail an Borge Kordts (kordts@itm.uni-luebeck.de)

Einverständniserklärung

Ich erkläre mich bereit, an der Erhebung, welche aus einer teilnehmenden Beobachtung, einem Interview und Fragebögen besteht, teilzunehmen und stimme der Verwendung meiner Daten zu oben genannten Zwecken zu. Ich hatte ausreichend Zeit, mich für die Teilnahme an der Erhebung zu entscheiden. Mir ist bewusst, dass die Teilnahme freiwillig ist und ich während der Erhebung jederzeit ohne Angabe von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Ich wurde informiert, dass die Daten anonymisiert werden.

Name

Ort, Datum

Unterschrift

Ablaufbeschreibung

Begrüßung und Vorstellung Ablauf

Erläuterung des Ablaufs, Klärung von Fragen

Teilnahme- / Datenschutzerklärung

Fragebogen A

Vorstellung Motivation des Projekts

Anleitungen für dynamisch zusammengestellte Interaktionsverbünde

Beobachtung

Start der Audioaufnahme

Vorbereitungen

- Jeweilige Anleitung wird auf einem Bildschirm dargestellt (jeweils für ein Ensemble)
- Sobald die Aufgabe gestellt ist, wird die Zeit gestoppt

Aufgaben

1. (Ensemble 1: Interaktionsgerät BIRDY und Kommunikationsanwendung) Lesen Sie in der Anleitung nach, wie die Kommunikationsanwendung gesteuert wird. Identifizieren Sie die benötigten Geräte (Auswahl auf einem Tisch) und führen Sie die nötigen Interaktionen aus, um den Eintrag "Schmerz" auszuwählen.
2. (Ensemble 2: Interaktionsgerät Leap, Raumsteuerungsanwendung, Lampe und Heizung) Lesen Sie in der Anleitung nach, wie die Raumsteuerungsanwendung gesteuert wird. Identifizieren Sie die benötigten Geräte (Auswahl auf einem Tisch) und führen Sie die nötigen Interaktionen aus, um ins Lichtsteuerungsmenü zu gelangen.
3. (Ensemble 2) Lesen Sie in der Anleitung nach, wie die Farbe der Lampe verändert wird. Identifizieren Sie die benötigten Geräte (Auswahl auf einem Tisch) und führen Sie die nötigen Interaktionen aus, um die Lampenfarbe auf blau zu stellen.
4. (Ensemble 2) Lesen Sie in der Anleitung nach, wie die Temperatur der Heizung verändert wird. Identifizieren Sie die benötigten Geräte (Auswahl auf einem Tisch) und führen Sie die nötigen Interaktionen aus, um die Temperatur auf einen von Ihnen gewählten Wert zu stellen.
5. (Ensemble 3: 2 Interaktionsgeräte Litho und Flic und Schmerzanwendung) Lesen Sie in der Anleitung nach, wie die Schmerzanwendung gesteuert wird. Identifizieren Sie die benötigten Geräte (Auswahl auf einem Tisch) und führen Sie die nötigen Interaktionen aus, um anzugeben, dass Sie starke Schmerzen (6 von 10) im linken Bein haben.

Hinweis: Die Ausführung beschränkt sich auf das Vorführen der Interaktion und eine Beschreibung, wie die Probanden erwarten, das Ziel zu erreichen. Falls dies falsch ist, werden die Probanden darauf hingewiesen.

Datenerhebung

Beobachtung

- Wie oft wurde auf die Anleitung geschaut
- Wurden die Aufgaben erfolgreich abgeschlossen
- Fehler (falsche Geräte ausgewählt, falsche Gesten ausgeführt, falscher Navigationspfad in der Anwendung) werden gezählt
- Durchführungsdauer der Aufgaben

Interviewfragen

- Gab es Unklarheiten? Wenn ja, an welcher Stelle?
- Bei der Nutzung des Systemverbunds: Wo im Raum/Auf welchem Gerät würden Sie eine Darstellung der Anleitung erwarten?
- Gibt es weitere Anmerkungen?

Fragebogen B

Verabschiedung

TeilnehmerIn wird verabschiedet

Nachbereitung

Dokumentation der Beobachtungen wird finalisiert
Aufzeichnung wird transkribiert

Fragebogen A.1

Zunächst möchten wir in diesem kurzen Fragebogen von Ihnen allgemeine Informationen zu Ihrer Person und einige Informationen zu Ihren bisherigen Erfahrungen mit unterschiedlichen Geräten erfragen.

1. Wie alt sind Sie?

2. Welchem Geschlecht ordnen Sie sich zu?

weiblich männlich divers

3. Welchen Beruf üben Sie aus?

StudentIn Anderer: _____

Falls StudentIn:

Studiengang: _____

Bachelor Master

Fachsemester: _____

4. Selbsteinschätzung der englischen Sprachkenntnisse

	---	--	-	-/+	+	++	+++	
Meine englischen Sprachkenntnisse schätze ich als sehr schwach ein.	○	○	○	○	○	○	○	Meine englischen Sprachkenntnisse schätze ich als sehr gut ein.

Fragebogen A.2

Beantworten Sie bitte, ob Sie bereits Vorerfahrungen mit folgenden Geräten haben. Falls keiner der Punkte zutrifft, lassen Sie die Zeile leer.

	Ich habe schonmal davon gehört	Ich kenne das Konzept	Ich habe das Gerät schonmal benutzt
Interaktionsgerät Leap Motion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Litho Controller	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Kai Controller	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät BIRDY	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Myo-Armband	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Flic Wireless Button	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Microsoft Kinect	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Smartes Thermostat (z. B. Eve Thermo, AVM Fritz!DECT 301)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Smarte Beleuchtung (z. B. Philips Hue, Yeelight)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Smarte Steckdose (z. B. Bosch Zwischenstecker, Amazon Smart Plug)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Smarte Jalousie (z. B. Innovation in Motion, Rademacher)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Ich habe schonmal davon gehört	Ich kenne das Konzept	Ich habe das Gerät schonmal benutzt

Fragebogen zur interaktionsbezogenen Technikaffinität (ATI)

(Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale, Deutsche Version)

Franke, Attig, & Wessel (2019)

Im Folgenden geht es um Ihre Interaktion mit technischen Systemen. Mit ‚technischen Systemen‘ sind sowohl Apps und andere Software-Anwendungen als auch komplette digitale Geräte (z.B. Handy, Computer, Fernseher, Auto-Navigation) gemeint.

Bitte geben Sie den Grad Ihrer Zustimmung zu folgenden Aussagen an.		stimmt gar nicht	stimmt weitgehend nicht	stimmt eher nicht	stimmt eher	stimmt weitgehend	stimmt völlig
01	Ich beschäftige mich gern genauer mit technischen Systemen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02	Ich probiere gern die Funktionen neuer technischer Systeme aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
03	In erster Linie beschäftige ich mich mit technischen Systemen, weil ich muss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
04	Wenn ich ein neues technisches System vor mir habe, probiere ich es intensiv aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
05	Ich verbringe sehr gern Zeit mit dem Kennenlernen eines neuen technischen Systems.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
06	Es genügt mir, dass ein technisches System funktioniert, mir ist es egal, wie oder warum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
07	Ich versuche zu verstehen, wie ein technisches System genau funktioniert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
08	Es genügt mir, die Grundfunktionen eines technischen Systems zu kennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
09	Ich versuche, die Möglichkeiten eines technischen Systems vollständig auszunutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen B

	---	--	-	-/+	+	++	+++	
Die Anleitungen sind inhaltlich unverständlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen sind inhaltlich verständlich.
Die Anleitungen sind sprachlich (Formulierung, Wortwahl, Satzbau) unverständlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen sind sprachlich (Formulierung, Wortwahl, Satzbau) verständlich.
Die Animationen helfen nicht, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Animationen helfen, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.
Die Abbildungen helfen nicht, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Abbildungen helfen, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.
Die textuelle Beschreibung der auszuführenden Aktionen hilft nicht, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die textuelle Beschreibung der auszuführenden Aktionen hilft, die nötigen Eingabeaktionen zu verstehen.
Die Anleitungen helfen nicht, die Systemreaktion zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen helfen, die Systemreaktion zu verstehen.
Die Anleitungen bieten keine Unterstützung im Lernprozess der Bedienung des Systemverbunds.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen bieten Unterstützung im Lernprozess der Bedienung des Systemverbunds.
Die Anleitungen liefern in unzureichendem Maße Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen liefern in zureichendem Maße Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.
	---	--	-	-/+	+	++	+++	

ANHANG C. DOKUMENTE DER STUDIE ZUR SELBSTERKLÄRUNGSFÄHIGKEIT

	---	--	-	+/+	+	++	+++	
Die Anleitungen bieten keine situationsspezifischen Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anleitungen bieten situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.
Die wiederholte Beschreibung ähnlicher Ziele (z. B. mehrere Lampenfarben) machen die Anleitungen unübersichtlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die wiederholte Beschreibung ähnlicher Ziele (z. B. mehrere Lampenfarben) beeinflussen die Übersichtlichkeit der Anleitungen nicht.
	---	--	-	+/+	+	++	+++	

Bewerten Sie außerdem, ob der Umfang der Anleitungen zu kurz, zu lang oder angemessen war:

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Viel zu kurz	Zu kurz	Etwas zu kurz	Angemessen	Etwas zu lang	Zu lang	Viel zu lang

ALTERNATIVE INTERAKTIONSGERÄTE

Im Folgenden werden die im Rahmen der Marktanalyse identifizierten alternativen Interaktionsgeräte für den Intensivkontext jeweils kurz umrissen und beschrieben, inwiefern diese Geräte die in Unterabschnitt 8.6.1 aufgeführten Kriterien erfüllen.

AZURE KINECT

Microsofts Azure Kinect¹ realisiert mittels einer Tiefenkamera eine markerlose, kamerabasierte Gestensteuerung. Das Gerät ist für den Einsatz in der Azure-Cloud konzipiert und erfordert daher eine entsprechende Integration.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,25 -	Kein Kontakt, LED
Reichweite	1 ++	Sensorbereich von 0,4 – 4 Meter
Batterielaufzeit	1 ++	Kabelgebunden
Hygiene	0 --	Kein direkter Kontakt, schwer zu reinigen
Gestaltung	0,5 ◦	Einfache Gesten, aber kein Gerät in der Hand
Instrumentierung	0,75 +	Erfordert ein Ausrichten zur NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	0 --	Cloud, Invasiv (Kamera)
Preis	0,18 -	€410 zzgl. Cloudgebühren
Schnittstellen	0,75 +	C#
Gesamtwertung	0,61	

¹ <https://azure.microsoft.com/de-de/products/kinect-dk/#overview> (Abrufdatum 21.12.2022)

BACKSPIN INNOVATOR EDITION

Nods Backspin Innovator Edition² ein ein kabelloser Controller, der an einem Finger getragen wird und neben Tasteneingaben eine Gestensteuerung bietet.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,25 -	LED
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	0,63 +	5 Stunden
Hygiene	0 --	Schwer zu reinigen
Gestaltung	0,5 o	Komplex: 9 Knöpfe und ein Joystick sowie Gesten
Instrumentierung	0,5 o	Erfordert ein Tragen am Finger
Marktverfügbarkeit	0 --	Gebrauchtgeräte
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,7 +	€149
Schnittstellen	0,75 +	C/C++, Android, Unity (C#)
Gesamtwertung	0,5	

BIRDY

Bei BIRDY handelt es sich um den im Kontext des ACTIVATE-Systems entwickelten Demonstrator eines an den Intensivkontext angepassten Interaktionsgeräts. Das ballförmige gestenbasierte Interaktionsgerät wird mit der Hand gegriffen.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	1 ++	Vibration, LED, Summer
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	8,5 Stunden
Hygiene	1 ++	Tauchdesinfizierbar
Gestaltung	1 ++	Einfache Gesten
Instrumentierung	1 ++	Einfache Kalibrierung vor der Nutzung, Gerät in jeder Orientierung nutzbar
Marktverfügbarkeit	0 --	Forschungsdemonstrator
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0 --	Forschungsdemonstrator
Schnittstellen	1 ++	Java, C/C++
Gesamtwertung	0,85	

² <https://nod.com/> erreichbar per Internet Archive Wayback Machine <https://web.archive.org/web/20161012112655/https://nod.com/> (Abrufdatum 12.10.2016)

CRYSTAL BALL

Bei dem von der Firma Naonext entworfenen Crystal Ball³ handelt es sich um einen MIDI-Controller für die Erstellung und Steuerung von Musik, Video und Licht. Neben einem Tastenfeld mit 24 Tasten verfügt das Gerät über eine Halbkugel, in die fünf Bewegungssensoren integriert sind, um Freihandgesten oberhalb der Halbkugel zu erfassen.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,25 -	LED
Reichweite	0 --	Gesten oberhalb des Geräts erkannt
Batterielaufzeit	1 ++	Kabelgebunden
Hygiene	0 --	Schwer zu reinigen
Gestaltung	0 --	Komplex: 24 Keypad-Tasten und eine Halbkugel mit Gesten
Instrumentierung	0,25 -	Gerät in richtiger Orientierung unterhalb der Hand
Marktverfügbarkeit	0 --	Geräte nur noch auf Anfrage, Gebrauchtgeräte
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0 --	€499
Schnittstellen	0,25 -	MIDI
Gesamtwertung	0,28	

DTING

DTing⁴ handelt es sich um ein Smart Band, welches am Handgelenk getragen wird und eine Erkennung unterschiedlicher Freihandgesten erlaubt.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Unbekannt
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	0,75 +	6 Stunden
Hygiene	0,5 ○	Schwer zu reinigen
Gestaltung	1 ++	Einfache Gesten
Instrumentierung	0,5 ○	Tragen am Handgelenk
Marktverfügbarkeit	0 --	Gebrauchtgeräte
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,84 +	Umgerechnet €82,29
Schnittstellen	0 --	Unbekannt
Gesamtwertung	0,55	

³ <http://crystall-ball.com/UK/index.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁴ <http://www.dthingsmart.com/> erreichbar per Internet Archive Wayback Machine <https://web.archive.org/web/20191230141025/http://www.dthingsmart.com/> (Abrufdatum 30.12.2019)

GEAR VR CONTROLLER

Samsungs Gear VR Controller⁵ dient als Interaktionsgerät für Samsungs Gear VR System. Das Gerät erfasst über wenige Tasten und ein Trackpad Eingaben.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,25 -	LED
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	80 Stunden
Hygiene	0,25 -	Offene Knöpfe und Anschlüsse
Gestaltung	0,75 +	5 Tasten und ein Trackpad
Instrumentierung	0,25 -	Gerät in der Hand der NutzerIn gehalten
Marktverfügbarkeit	1 ++	
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,88 ++	Umgerechnet €61,50
Schnittstellen	0 --	Nur per Samsung Smartphone
Gesamtwertung	0,66	

GEST

Bei Gest⁶ handelt es sich um ein am Handrücken befestigtes Interaktionsgerät, welches mit weiteren Geräteteilen verbunden ist, die mit Ausnahme des Daumens an den mittleren Gliedern der einzelnen Fingern befestigt werden. Das System ist somit in der Lage, mit der instrumentierten Hand ausgeführte Freihandgesten zu erkennen.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Unbekannt
Reichweite	1 ++	45 Meter
Batterielaufzeit	1 ++	8 Stunden
Hygiene	0 --	Keine Anschlüsse, aber viele kleine Teile
Gestaltung	1 ++	Einfache Gesten, Fixierung an Hand
Instrumentierung	0 --	Aufwändig: Fixieren an 4 Fingern
Marktverfügbarkeit	0 --	Gebrauchtgeräte
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,59 o	Umgerechnet €205,76
Schnittstellen	1 ++	Java und Python
Gesamtwertung	0,53	

⁵ <https://www.samsung.com/de/mobile-accessories/gear-vr-r325-sm-r325nzvddb/> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁶ <https://gest.co/> (Abrufdatum 21.12.2022)

I-SERIES

Die von TobiiDynamox entwickelten tabletartigen Mobilgeräte der I-Series⁷ bieten eine integrierte Lösung, die einen Bildschirm umfasst, der per Augensteuerung bedient werden kann. Die Geräte unterscheiden sich im Wesentlichen in der Bildschirmgröße, sodass sie an dieser Stelle zusammengefasst behandelt werden.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Keins
Reichweite	0,14 -	Augenabstand weniger als 1 Meter
Batterielaufzeit	1 +	8-9 Stunden, auch kabelgebunden
Hygiene	1 ++	Kein Kontakt, wischdesinfizierbar
Gestaltung	0,5 o	Einfache Augensteuerung
Instrumentierung	0 --	Aufwändige Kalibrierung
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0 --	Vier- bis fünfstelliger Preis
Schnittstellen	0,75 +	C/C++, C#
Gesamtwertung	0,51	

KAI

Bei Vicaras KAI⁸ handelt es sich um ein um die Hand geschnalltes Gestensteuerungsgerät, welche in der Lage ist, Freihandgesten bei der instrumentierten Hand zu erkennen. Das Gerät wird dabei an der Handfläche getragen und so ausgerichtet, dass das Gerät ein Abspreizen einzelner Finger erfassen kann.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,75 +	Vibration
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	8 Stunden
Hygiene	0 --	Schwer zu reinigende Hülle, nicht wasserdicht
Gestaltung	1 ++	Einfache Gesten
Instrumentierung	0,5 o	Fixierung an der Hand der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,7 +	€149
Schnittstellen	0,75 +	Python
Gesamtwertung	0,79	

⁷ <https://de.tobiidynamox.com/products/i-series-1> (Abrufdatum 21.12.2022)

⁸ <https://kai.vicara.co/home> (Abrufdatum 21.12.2022)

LEAP MOTION CONTROLLER

Ultraleaps Leap Motion Controller⁹ basiert auf einer Tiefenkamera, die im Erfassungsbereich oberhalb der Sensorleiste Hand- und Fingerbewegungen erkennen kann und somit eine Freihandgestensteuerung erlaubt. Dabei besteht kein direkter Kontakt zwischen dem Gerät und den Händen.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Kein Feedback
Reichweite	0 --	Gesten oberhalb des Geräts erkannt
Batterielaufzeit	1 ++	Kabelgebunden
Hygiene	0,5 ◦	Einfach zu reinigen, aber offene Anschlüsse
Gestaltung	0,5 ◦	Einfache Gesten, aber kein Gerät in der Hand
Instrumentierung	0,25 -	Positionierung unterhalb der Hand der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,78 +	€110,50
Schnittstellen	1 ++	Java, C#, Python, JavaScript und mehr
Gesamtwertung	0,51	

LITHO CONTROLLER

Beim Litho Controller¹⁰ handelt es sich um ein zwischen Zeige und Mittelfinger getragenes Interaktionsgerät. Der Controller ist in der Lage, sowohl Freihandgesten bei Bewegungen durch den Raum als auch Berührungsgesten auf der berührungssensitiven Oberfläche an der Richtung Handfläche gelegenen Seite des Geräts zu erkennen. Das Gerät wird in einer leicht überarbeiteten Version unter dem neuen Namen *ARKH AR Controller Pro*¹¹ vertrieben.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,5 ◦	Vibration
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	8 Stunden
Hygiene	0,5 ◦	Einfach zu reinigen, aber offene Anschlüsse
Gestaltung	1 ++	Einfache Freihand- und Berührungsgesten
Instrumentierung	0,5 ◦	Tragen an den Fingern der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,6 ◦	€199,99
Schnittstellen	0,75 +	C/C++, Unity (C#)
Gesamtwertung	0,79	

⁹ <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/> (Abrufd. 21.12.2022)

¹⁰ <https://www.litho.cc/> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹¹ <https://arkh.com/products/arkh-ar-controller-pro> (Abrufdatum 21.12.2022)

MAGIC MOUSE 2

Apples Magic Mouse 2¹² ist eine mit einer berührungssensitiven Oberfläche ausgestattete Computermaus. Die Maus ist in der Lage Multitouch-Gesten auf der Oberseite zu erkennen, erfordert dabei allerdings eine richtige Orientierung in der Hand.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Kein Feedback
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	91 Stunden
Hygiene	0 --	Schwer zu reinigen
Gestaltung	1 ++	Einfache Berührungsgesten
Instrumentierung	0,25 -	Erfordert richtige Orientierung in der Hand der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,86 +	€69,98
Schnittstellen	0,25 -	HID
Gesamtwertung	0,63	

MYCORE EYECONTROL

Das MyCORE eyecontrol¹³ ist ein tabletartiges Mobilgerät, das über einen Bildschirm verfügt, der per Augensteuerung bedient wird.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Kein Feedback
Reichweite	0,14 -	Augenabstand weniger als 1 Meter
Batterielaufzeit	1 ++	Kabelgebunden
Hygiene	1 ++	Kein Kontakt
Gestaltung	0,5 o	Einfache Augensteuerung
Instrumentierung	0 --	Aufwändige Kalibrierung
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0 --	Auf Nachfrage, ein vier- bis fünfstelliger Preis ist zu erwarten
Schnittstellen	0,75 +	C/C++, C#
Gesamtwertung	0,51	

¹² <https://www.apple.com/de/shop/product/MK2E3Z/A/magic-mouse-wei%C3%9Fe-multi-touch-oberfl%C3%A4che> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹³ <https://www.rehamedia-shop.de/mycore-eyecontrol.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

PCEYE

Das von TobiiDynavox vertriebene PCEye¹⁴ ist ein Eyetracker-Modul, welches an ein Windows-System angeschlossen werden kann, um eine Bedienung per Augensteuerung zu ermöglichen.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Kein Feedback
Reichweite	0,14 -	Augenabstand weniger als 1 Meter
Batterielaufzeit	1 ++	Kabelgebunden
Hygiene	1 ++	Kein Kontakt
Gestaltung	0,5 ○	Einfache Augensteuerung
Instrumentierung	0 --	Aufwändige Kalibrierung
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0 --	€1645,00
Schnittstellen	0,75 +	C/C++, C#
Gesamtwertung	0,51	

RING ZERO

Logbars Ring Zero¹⁵ ist ein tragbarer Ring, der eine Gestensteuerung über Finger-
gesten ermöglicht. Das System muss dazu per Bluetooth mit einem Smartphone
verbunden sein, wobei die Gesten nur über die mitgelieferte App weiterverar-
beitet werden können.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,25 -	LED
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	24 Stunden
Hygiene	0,5 ○	Einfach zu reinigen, nicht wasserdicht, offe- ner Knopf
Gestaltung	1 ++	Einfache Gestensteuerung
Instrumentierung	0,5 ○	Tragen am Finger der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	0 --	Gebrauchtgeräte
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,69 +	Umgerechnet €154,28
Schnittstellen	0 --	Nur per App
Gesamtwertung	0,62	

¹⁴ <https://de.tobiidynavox.com/pages/pceye-ap> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹⁵ <http://logbar.jp/ring/en>, erreichbar per Internet Archive Wayback Machine <https://web.archive.org/web/20160818212743/http://logbar.jp/ring/en> (Abrufdatum 18.08.2016)

SEETECH PRO

Beim SeeTech Pro¹⁶ handelt es sich um ein mit einem Augensteuerungssystem versehene tabletartige Kommunikationshilfe, welche jedoch an einem Ständer montiert wird. Im Standardmodus wird eine Bildschirmtastatur per Augensteuerung bedient, welche im Vergleich zu anderen Kommunikationshilfen anspruchsvoll ist.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,5	○ LED, Audio
Reichweite	0	-- Augenabstand ca. 0,5 Meter
Batterielaufzeit	1	++ Kabelgebunden
Hygiene	1	++ Kein Kontakt
Gestaltung	0,25	- Anspruchsvollere Augensteuerung
Instrumentierung	0	-- Aufwändige Kalibrierung
Marktverfügbarkeit	1	++ Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1	++
Preis	0	-- Auf Nachfrage, ein vier- bis fünfstelliger Preis ist zu erwarten
Schnittstellen	0	-- Unbekannt
Gesamtwertung	0,5	

TAP STRAP 2

Das Tap Strap 2¹⁷ der Firma Tap Systems bietet unterschiedliche Modi, die beispielsweise eine Erfassung unterschiedlicher Freihand- oder Tippgesten erlaubt. Das Gerät wird an den untersten Fingergliedern aller Finger einer Hand getragen, wobei die einzelnen Geräteteile miteinander verbunden sind. Auf diese Weise erfasst das Tap Strap die einzelnen Bewegungen der Finger.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0,5	○ Haptisches Feedback
Reichweite	1	++ Bluetooth
Batterielaufzeit	1	++ 10 Stunden
Hygiene	0	-- Keine Anschlüsse, aber viele keine Teile
Gestaltung	1	++ Einfache Gestensteuerung
Instrumentierung	0	-- Aufwändig: Fixieren an den Fingern der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1	++ Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1	++
Preis	0,48	○ Umgerechnet €261,79
Schnittstellen	0,75	+ Unity (C#), Python, C/C++
Gesamtwertung	0,69	

¹⁶ <https://humanelektronik.de/produktkatalog/kommunikation/augensteuerung/23/augensteuerung-seetech-pro-key-15> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹⁷ <https://www.tapwithus.com/product/tap-strap-2/> (Abrufdatum 21.12.2022)

WAVE RING

Bei Genkis Wave Ring¹⁸ handelt es sich um einen MIDI-Controller, der an einem Finger getragen wird und Fingergesten erkennen kann. Das Gerät wird per Klettverschluss am Finger fixiert, der schwer desinfiziert werden kann, jedoch herausnehmbar und austauschbar ist.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	0 --	Kein Feedback
Reichweite	1 ++	Bluetooth
Batterielaufzeit	1 ++	8 Stunden
Hygiene	0,5 ○	Einfach zu reinigen, aber offene Anschlüsse und abnehmbarer Klettverschluss
Gestaltung	1 ++	Einfache Gesten
Instrumentierung	0,5 ○	Tragen am Zeigefinger der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,49 ○	Umgerechnet €257,15
Schnittstellen	0,75 +	Python, JavaScript, C++
Gesamtwertung	0,71	

WII-REMOTE

Nintendos Wii-Remote¹⁹ ist der Controller der Wii-Console und bietet neben einer Vielzahl an Knöpfen auch eine Steuerung per Gesten.

Kriterium	Wertung	Begründung
Feedback	1 ++	Vibration, Audio und LED
Reichweite	1 ++	10 Meter
Batterielaufzeit	1 ++	30 Stunden
Hygiene	0 --	Schwer zu reinigen
Gestaltung	0 --	Kompliziert: Viele Knöpfe und Gesten
Instrumentierung	0,25 -	Erfordert richtige Orientierung in der Hand der NutzerIn
Marktverfügbarkeit	1 ++	Verfügbar
Datenschutz/ Sicherheit	1 ++	
Preis	0,95 ++	€23,80
Schnittstellen	1 ++	Java, C#, C/C++, Python
Gesamtwertung	0,72	

¹⁸ <https://genkiinstruments.com/products/wave-for-work> (Abrufdatum 21.12.2022)

¹⁹ <https://www.nintendo.de/Wii/Zubehor/Zubeh-ouml-r-Wii-Nintendo-Deutschland-626430.html> (Abrufdatum 21.12.2022)

LEITFADEN
FOKUSGRUPPENINTERVIEW
2021

In diesem Anhang findet sich der Leitfaden für das Fokusgruppeninterview, welches zur formativen Evaluation herangezogen wurde.

Fokusgruppen-Leitfaden

Fokusgruppe: ACTIVATE-Prozesse

Nr.	Inhalt	Nachfragen
Begrüßung und Vorstellung		
1.	Begrüßung und Vorstellung der Teilnehmenden	
2.	Inhaltliche Kurzvorstellung ACTIVATE und heute adressierte Prozesse	Fokus auf Prozesse <ul style="list-style-type: none"> • Gerätezusammenstellung • Erlernen der Interaktion
3.	Erläuterung des Ablaufs	<ul style="list-style-type: none"> • Gibt es noch Fragen?
Aktuelle Situation		
	START DER AUFNAHME: „Es ist jetzt <Uhrzeit> und ich starte die Aufnahme.“	
4.	Im Rahmen von ACTIVATE analysiert, dass Kommunikationsdefizite und mangelnde Orientierung technisch adressiert werden können – u.a. durch gezielte Informationsgabe & Kommunikationsbausteine	
5.	Wie würde ACTIVATE die aktuelle Situation beeinflussen?	<ul style="list-style-type: none"> • Angenommen das System tut was es soll - wären die neuen Tätigkeiten wie Geräte aufstellen, Einrichtung, Überprüfung des Patientenzustandes auf dem Smartphone etc. vertretbar?
Vorstellung des Reflection-Konzeptes		
6.	<ul style="list-style-type: none"> • dynamische Kopplung • Im Falle von ACTIVATE semi-automatisch mit jeweiligen Komponenten • Anzeige von Tutorials, um Interaktion zu verstehen 	
Kopplung		
7.	Semiautomatische Kopplung mit der Pflegenden-Anwendung: <ul style="list-style-type: none"> • Jeder Teilnehmer legt einmal einen neuen Patienten an und löst das Ensemble 	
8.	Latenz: Wie wird die Latenz wahrgenommen?	
9.	<ul style="list-style-type: none"> • Sollte es noch weiteres Feedback bei einer erfolgreichen Kopplung geben? 	
10.	<ul style="list-style-type: none"> • Seht ihr Hürden im aktuellen Kopplungsprozess? 	
11.	Wie bewertet ihr das Wording?	<ul style="list-style-type: none"> • Was könnte am Wording verbessert werden?
12.	Sind die bereitgestellten Informationen und Anweisungen im Kopplungsprozess ausreichend?	<ul style="list-style-type: none"> • Sind die bereitgestellten Informationen und Anweisungen im ENTKopplungsprozess ausreichend? • Wo würdet ihr die Funktion Ensemble auflösen erwarten?

13.	Wie schätzt ihr die Praxistauglichkeit des Kopplungsprozesses auf einer ITS ein?	
Tutorials		
9.	Börge zeigt die Selbstbeschreibung	
10.	Können die dargestellten Selbstbeschreibungen im ACTIVATE-Lernprozess helfen?	
	Im Vergleich zu einer Situation ohne Tutorials: würden durch sie der Aufwand für die Pflegekraft (z.B. häufiges Vorzeigen der Gesten) reduziert werden?	
	Wie bewertet ihr die Selbstbeschreibung der Komponenten im Vergleich: bspw. Tutorial vs. mündliche / gedruckte Instruktion	<ul style="list-style-type: none"> • Was spricht für/gegen Tutorials? • Was spricht für/gegen mündliche/analoge Instruktion? • Was spricht für/gegen eine Kombination?
Abschluss und Dank		
11.	Würde die Konfiguration und der Einsatz von ACTIVATE ein Mehraufwand bedeuten, wenn es keine semi-automatische Kopplung und Selbstbeschreibungsmaßnahmen in Form von Tutorials geben würde?	
12.	Zusammenfassung der wahrgenommenen Kernbotschaften, Frage nach Ergänzungen, Danke und Hinweis auf Ergebnisberichterstattung.	

DOKUMENTE DER GERÄTEVERGLEICHSTUDIE

In diesem Anhang findet sich die Ablaufbeschreibung der Studie zur Bewertung von BIRDY sowie einiger im Rahmen der Nutzwertanalyse identifizierter Kandidaten.

Studieninformationen und Einverständniserklärung

Informationen zum Forschungsprojekt

Im Rahmen unserer Forschung am Institut für Telematik führen wir eine Studie zur Bewertung unterschiedlicher Interaktionsgeräte für den Einsatz im Zuge der Unterstützten Kommunikation beatmeter IntensivpatientInnen durch. Insbesondere soll hierbei das Interaktionsgerät BIRDY von Ihnen bewertet werden.

Bitte lesen Sie diese Informationen sorgfältig durch.

Wie ist der Ablauf?

Nachdem Sie diese Studieninformation gelesen haben, können Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme geben und mit der Studie beginnen. Zunächst werden Sie mündlich über die Motivation des Projekts informiert. Dann werden Sie gebeten, einen Fragebogen zu soziodemografischen Daten und Vorerfahrungen auszufüllen. Danach beginnt die Erprobung, bei der Sie unterschiedliche Interaktionsgeräte anhand der Steuerung einer Anwendung zur Unterstützten Kommunikation ausprobieren sollen, um sie anschließend zu bewerten. Abschließend bitten wir Sie, einen weiteren Fragebogen zur Bewertung der Interaktionsgeräte auszufüllen und vordefinierte Gesten mit dem Interaktionsgerät BIRDY auszuführen.

Die Gestenausführungen mit BIRDY zum Abschluss werden zur weiteren Auswertung der Erkennungsrate aufgezeichnet. Darüber hinaus werden auch die Daten aus den Fragebögen ausgewertet. Dabei werden alle Daten anonym behandelt, sodass kein Rückschluss auf Ihre Angaben aus der Umfrage gezogen werden kann.

Was passiert mit den Ergebnissen?

Die Informationen aus den Fragebögen werden zusammengefasst und relevante Aspekte für die Bewertung Interaktionsgeräte für den Anwendungsfall der Unterstützten Kommunikation für beatmete IntensivpatientInnen herausgearbeitet.

Vertraulichkeit

Zu Dokumentations- und Auswertungszwecken werden die Sensordaten der Gestenausführung mit BIRDY und die Ergebnisse der Umfrage gespeichert. Die Daten werden vertraulich behandelt und nur zu den vorgenannten Zwecken verwendet.

Anonymität

Die Ergebnisse der Erhebung (beispielsweise Auszüge aus den Interviews) werden nur in anonymisierter Form veröffentlicht. Bei Fragen zu dem Datenschutz oder der Erhebung, wenden Sie sich bitte per E-Mail an Børge Kordts (kordts@itm.uni-luebeck.de).

Einverständniserklärung

Ich erkläre mich bereit, an der Erhebung, welche aus einer Erprobung zweier Interaktionsgeräte, einer Gestenaufzeichnung und Fragebögen besteht, teilzunehmen und stimme der Verwendung meiner Daten zu oben genannten Zwecken zu. Ich hatte ausreichend Zeit, mich für die Teilnahme an der Erhebung zu entscheiden. Mir ist bewusst, dass die Teilnahme freiwillig ist und ich während der Erhebung jederzeit ohne Angabe von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Ich wurde informiert, dass die Daten anonymisiert werden.

Name

Ort, Datum

Unterschrift

Ablaufbeschreibung

Begrüßung und Vorstellung Ablauf

Erläuterung des Ablaufs, Klärung von Fragen

Fragebogen A

Vorstellung Motivation des Projekts

UK für ITS-PatientInnen

Interaktionsgeräte zur Steuerung einer Bedienoberfläche

Testung

Durchführung eines Paarvergleichs anhand zweier jeweils durchzuführender Aufgaben

Vorbereitungen

- Ensemble wird durch Studienleitung zusammengestellt und Funktion wird geprüft
- TeilnehmerIn legt sich ins Bett (30° Oberkörper-Hochlage)
- TeilnehmerIn bekommt Interaktionsgerät ausgehändigt

Lernphase

- Bedienanleitung wird gezeigt
- Interaktionsaufgabe Auswahl wird kurz erprobt (Unteraufgaben Navigation und Anwahl)

Durchführung

Durchführung der Aufgaben

Aufgabe 1

Auswahl des Menüpunkts "Angst" (2x Navigation nach rechts, 2x Anwahl, weil Bestätigung)

Aufgabe 2

Auswahl des Menüpunkts "Etwas Sagen/Etwas Wissen/Zu Hause/Familie informiert?" (Anwahl, 2x rechts, Anwahl, 1x rechts, Anwahl, 1x rechts, Anwahl)

Aufgabe 3

Auswahl des Menüpunkts "Etwas Sagen/Etwas Wissen/über die Therapie/Nicht sprechen?" (2x links, 3x Anwahl, 3x links, Anwahl)

Wiederholung mit anderem Gerät

- Ensemble wird durch Studienleitung zusammengestellt und Funktion wird geprüft
- TeilnehmerIn bekommt Interaktionsgerät ausgehändigt
- Bedienanleitung wird gezeigt
- Interaktionsaufgabe Auswahl wird kurz erprobt (Unteraufgaben Navigation und Anwahl)
- Durchführung derselben Aufgaben

Fragebogen B

Aufzeichnung Gestendaten BIRDY

Bedienanleitung BIRDY wird gezeigt (auch wenn bereits geschehen, weil 5 Gesten)

Durchführung wiederholter Ausführung der fünf Gesten mit BIRDY

- Datenaufzeichnung in CSV-Dateien

Verabschiedung

TeilnehmerIn wird verabschiedet

Nachbereitung

Dokumentation der Beobachtungen wird finalisiert

Fragebogen A.1

Zunächst möchten wir in diesem kurzen Fragebogen von Ihnen allgemeine Informationen zu Ihrer Person und einige Informationen zu Ihren bisherigen Erfahrungen mit unterschiedlichen Geräten erfragen.

1. Wie alt sind Sie?

2. Welchem Geschlecht ordnen Sie sich zu?

weiblich

männlich

divers

3. Welchen Beruf üben Sie aus?

StudentIn

Anderer: _____

Falls StudentIn:

Studiengang: _____

Bachelor

Master

Fachsemester: _____

Fragebogen A.2

Beantworten Sie bitte, ob sie bereits Vorerfahrungen mit folgenden Komponenten haben. Falls keiner der Punkte zutrifft, lassen Sie die Zeile leer.

	Ich habe schonmal davon gehört	Ich kenne das Konzept	Ich habe das Gerät/die Anwendung schonmal benutzt
Interaktionsgerät Leap Motion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Litho Controller	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät Kai Controller	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interaktionsgerät BIRDY	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ACTIVATE-Anwendung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Ich habe schonmal davon gehört	Ich kenne das Konzept	Ich habe das Gerät/die Anwendung schonmal benutzt

Fragebogen B.1

Bitte beantworten Sie folgende Fragen für das erste Interaktionsgerät.

1. Name des Interaktionsgeräts:

	---	--	-	-/+	+	++	+++	
Die Bedienung des Geräts ist langwierig zu erlernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist schnell zu erlernen.
Die Bedienung des Geräts funktioniert schlecht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts funktioniert einwandfrei.
Die Anwendung reagiert langsam auf die Eingaben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anwendung reagiert schnell auf die Eingaben.
Die Bedienung des Geräts ist anstrengend.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist nicht anstrengend.
Die Bedienung des Geräts ist nicht auf die Menüführung angepasst.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist auf die Menüführung angepasst.
Die Bedienung des Geräts macht keinen Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts macht Spaß.
Die Bedienung des Geräts fühlt sich ungewohnt an.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts fühlt sich gewohnt an.
	---	--	-	-/+	+	++	+++	

Fragebogen B.2

Bitte beantworten Sie folgende Fragen für das **zweite Interaktionsgerät**.

1. Name des Interaktionsgeräts:

	---	--	-	-/+	+	++	+++	
Die Bedienung des Geräts ist langwierig zu erlernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist schnell zu erlernen.
Die Bedienung des Geräts funktioniert schlecht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts funktioniert einwandfrei.
Die Anwendung reagiert langsam auf die Eingaben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Anwendung reagiert schnell auf die Eingaben.
Die Bedienung des Geräts ist anstrengend.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist nicht anstrengend.
Die Bedienung des Geräts ist nicht auf die Menüführung angepasst.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts ist auf die Menüführung angepasst.
Die Bedienung des Geräts macht keinen Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts macht Spaß.
Die Bedienung des Geräts fühlt sich ungewohnt an.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Die Bedienung des Geräts fühlt sich gewohnt an.
	---	--	-	-/+	+	++	+++	

Fragebogen B.3

1. Welches Gerät bietet aus Ihrer Sicht die angenehmste Bedienung?

2. Welches Gerät reagiert aus Ihrer Sicht am schnellsten auf Eingaben?

3. Welches Gerät bietet aus Ihrer Sicht die einfachste Bedienung?

4. Welches Gerät hat Ihnen insgesamt am besten gefallen?

5. Begründen Sie Ihre Entscheidung, welches Gerät Ihnen insgesamt am besten gefallen hat.

PUBLIKATIONSVERZEICHNIS

ARTIKEL AUS FACHZEITSCHRIFTEN

- Kordts, Børge, Bennet Gerlach und Andreas Schrader (2022): „Self-Organizing and Self-Explaining Pervasive Environments by Connecting Smart Objects and Applications“ · *Technologies* Bd. 10, Nr. 1, S. 15 · DOI: 10.3390/technologies10010015 · URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/10/1/15> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Kordts, Børge, Jan Patrick Kopetz, Adrienne Henkel, Andreas Schrader und Nicole Jochems (2019): „Requirements and Interaction Patterns for a Novel Interaction Device for Patients in Intensive Care“ · *i-com* Bd. 18, Nr. 1, S. 67–78 · ISSN: 2196-6826 · DOI: 10.1515/icom-2019-0004

KONFERENZBEITRÄGE

- Anderson, Kathleen, Børge Kordts und Andreas Schrader (2021): „A Novel 3D Editor for Gesture Design Based on Labanotation“ · *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* · hrsg. von Nancy L. Black, W. Patrick Neumann und Ian Noy · Lecture Notes in Networks and Systems · Cham: Springer International Publishing, S. 577–584 · ISBN: 978-3-030-74614-8 · DOI: 10.1007/978-3-030-74614-8_71
- Kopetz, Jan Patrick, Børge Kordts, Adrienne Henkel und Nicole Jochems (2018b): „Requirements for a Novel Interaction Device for Patients in Intensive Care“ · *Mensch Und Computer 2018 - Tagungsband* · hrsg. von Raimund Dachselt und Gerhard Weber · Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. · DOI: 10.18420/muc2018-mci-0201
- Kopetz, Jan Patrick, Børge Kordts, Andreas Schrader und Nicole Jochems (2019): „Rufsystem 4.0 in der Intensivpflege – Brücke zwischen PatientInnen und Pflegenden“ · Poster (European Nursing Informatics 2019, Flensburg, Germany) · URL: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10166.45120>
- Kordts, Børge, Bashar Altakrouri und Andreas Schrader (2015): „Capturing and Analysing Movement Using Depth Sensors and Labanotation“ · *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems* · EICS '15 · New York, NY, USA: ACM, S. 132–141 · ISBN: 978-1-4503-3646-8 · DOI: 10.1145/2774225.2774842
- Kordts, Børge, Bennet Gerlach und Andreas Schrader (2021a): „Towards Self-Explaining Ambient Applications“ · *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA*

- 2021) · Corfu, Greece: ACM · ISBN: 978-1-4503-8792-7 · DOI: 10.1145/3453892.3461325
- Kordts, Børge, Jan Patrick Kopetz, Katrin Balzer und Nicole Jochems (2018): „Requirements for a System Supporting Patient Communication in Intensive Care in Germany“ · English · *Zukunft Der Pflege Tagungsband Der 1. Clusterkonferenz 2018* · Oldenburg, Germany: BIS-Verlag der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg · ISBN: 978-3-8142-2367-4
- Kordts, Børge, Kopetz, Jan Patrick und Schrader, Andreas (2021b): „A Framework for Self-Explaining Systems in the Context of Intensive Care“ · *2021 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS)* · Washington DC, USA: IEEE · ISBN: 978-1-66541-261-2 · DOI: 10.1109/ACSOS52086.2021.00040
- Schmeier, Bastian, Jan Kopetz, Børge Kordts und Nicole Jochems (2021): „Manipulating Virtual Objects in Augmented Reality Using a New Ball-Shaped Input Device“ · *Proceedings of the 12th Augmented Human International Conference (AH2021)* · Geneva, Switzerland: ACM · ISBN: 978-1-4503-9030-9 · DOI: 10.1145/3460881.3460935
- Ziewe, Marina, Børge Kordts und Andreas Schrader (2021): „Market Analysis and User Evaluation of Input Devices for a Communication System in the Intensive Care Unit“ · *Student Conference Proceedings 2021* · Lübeck, Germany: Infinite Science Publishing · ISBN: 978-3-945954-65-2

LITERATURVERZEICHNIS

DISSERTATIONEN UND FACHBÜCHER

- Aarts, Emile H. L. und José Luis Encarnaçao (2006): *True Visions: The Emergence of Ambient Intelligence* · Springer · ISBN: 978-3-540-28974-6
- Altakrouri, Bashar (2014): „Ambient assisted living with dynamic interaction ensembles“ · Dissertation · Universität zu Lübeck, Institut für Telematik
- Boulila, Naoufel (2019): *Cyber-Physical Systems and Industry 4.0: Properties, Structure, Communication, and Behavior* · DOI: 10.13140/RG.2.2.27890.76485
- Burmeister, Daniel (2018): „Selbstreflexive Geräteverbände in Smarten Umgebungen“ · Dissertation · Universität zu Lübeck
- Cook, Diane und Sajal Kumar Das (2004): *Smart Environments: Technology, Protocols, and Applications* · John Wiley & Sons · ISBN: 978-0-471-68658-3
- Destatis (2017): *Gesundheit: Grunddaten der Krankenhäuser 2016* · Fachserie 12 Reihe 6.1.1 2120611167004 · Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2018): *Gesundheit: Grunddaten Der Krankenhäuser 2017* · Fachserie 12 Reihe 6.1.1 2120611177004 · Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2020a): *Gesundheit: Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern (4-Steller) 2019* · 5231401197014 · Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2020b): *Gesundheit: Grunddaten Der Krankenhäuser 2018* · Fachserie 12 Reihe 6.1.1 2120611177004 · Statistisches Bundesamt (Destatis)
- Destatis (2021): *Gesundheit: Grunddaten Der Krankenhäuser 2019* · Fachserie 12 Reihe 6.1.1 2120611177004 · Statistisches Bundesamt (Destatis)
- European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) (2016): *Smart Hospitals : Security and Resilience for Smart Health Service and Infrastructures* · Heraklion, Greece: European Network and Information Security Agency · ISBN: 978-92-9204-181-6
- Foley, James D und Andries Van Dam (1982): *Fundamentals of Interactive Computer Graphics* · Bd. 2 · Addison-Wesley Reading, MA
- Fowler, Martin (2010): *Domain-Specific Languages* · Pearson Education
- Gamma, Erich, Richard Helm, Ralph Johnson, Ralph E Johnson, John Vlissides et al. (1995): *Design patterns: elements of reusable object-oriented software* · Pearson Deutschland GmbH
- Gassner, Beatrix, Gudrun Sylvest Schönherr und Simone Kircher (2014): „Akut- und Frührehabilitation“ · *Die Intensivmedizin* · hrsg. von Gernot Marx, Elke Muhl, Kai Zacharowski und Stefan Zeuzem · Berlin, Heidelberg: Springer,

- S. 147–159 · ISBN: 978-3-642-54953-3 · DOI: 10.1007/978-3-642-54953-3_15
- Gerdes, Ingrid, Frank Klawonn und Rudolf Kruse (2004): *Evolutionäre Algorithmen* · Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag · ISBN: 978-3-528-05570-7 978-3-322-86839-8 · DOI: 10.1007/978-3-322-86839-8 · URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-322-86839-8> (zuletzt abgerufen am 21.12.2022)
- Goldberg, Miriam A. (2020): „Design and Testing of a Novel Communication System for Non-Vocal Critical Care Patients With Limited Manual Dexterity“ · Worcester, MA, USA: UMass Chan · URL: <https://doi.org/10.13028/x0va-7r45> (zuletzt abgerufen am 21.12.2022)
- Hansmann, Uwe, Lothar Merk, Martin S Nicklous und Thomas Stober (2003): *Pervasive Computing: The Mobile World* · Springer Science & Business Media
- Heindl, Patrik (2019): „Intensivstation von heute – Critical Care“ · *Palliative Critical Care: Palliative Pflegemaßnahmen auf der Intensivstation* · hrsg. von Sabine Ruppert und Patrik Heindl · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 31–54 · ISBN: 978-3-662-58115-5
- Herczeg, Michael (2018): *Software-Ergonomie: Theorien, Modelle und Kriterien für gebrauchstaugliche interaktive Computersysteme* · De Gruyter Oldenbourg · ISBN: 978-3-11-044686-9
- Holzinger, Andreas, Carsten Röcker und Martina Ziefle (2015): „From Smart Health to Smart Hospitals“ · *Smart Health: Open Problems and Future Challenges* · hrsg. von Andreas Holzinger, Carsten Röcker und Martina Ziefle · Cham: Springer International Publishing, S. 1–20 · ISBN: 978-3-319-16226-3
- Janssens, Uwe (2015): „Möglichkeiten und Grenzen der Intensivmedizin“ · *Die Intensivmedizin* · hrsg. von Gernot Marx, Elke Muhl, Kai Zacharowski und Stefan Zeuzem · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 3–12 · ISBN: 978-3-642-54953-3 · DOI: 10.1007/978-3-642-54953-3_1
- Johannsen, Gunnar (1993): *Mensch-Maschine-Systeme* · Springer-Lehrbuch · Berlin Heidelberg: Springer-Verlag · ISBN: 978-3-642-46786-8 · URL: <https://www.springer.com/de/book/9783642467868> (zuletzt abgerufen am 21.12.2022)
- Kaltwasser, Arnold, Carsten Hermes, Rolf Dubb und Dietmar Stolecki (2014): „Intensivpflege“ · *Die Intensivmedizin* · hrsg. von Gernot Marx, Elke Muhl, Kai Zacharowski und Stefan Zeuzem · Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 39–45 · ISBN: 978-3-642-54953-3 · DOI: 10.1007/978-3-642-54953-3 · URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54953-3>
- Kopp, Rüdiger und Rolf Rossaint (2014): „Langzeitbeatmung Und Weaning“ · *Intensivmedizin* · hrsg. von Hugo Van Aken, Konrad Reinhart, Tobias Welte und Markus Weigand · 3. vollständig überarbeitete Auflage · New York: Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · ISBN: 978-3-13-114873-5
- Korn, M. (2008): „Aspekte aus der Krankenpflege“ · *Qualitätsmanagement in der operativen Medizin: Leitfaden für Ärzte und Pflegekräfte* · hrsg. von Peter Kleine und Jürgen Ennker · Darmstadt: Steinkopff, S. 70–77 · ISBN: 978-3-7985-1773-8 · DOI: 10.1007/978-3-7985-1773-8_6
- Krueger, Myron W (1983): *Artificial Reality* · Reading, MA, USA: Addison-Wesley

- Kuniavsky, Mike (2010): *Smart Things: Ubiquitous Computing User Experience Design* · Elsevier
- Larsen, Reinhard (2016): *Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege* · Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg · ISBN: 978-3-642-28290-4 978-3-642-28291-1
- Manoel, Edson, Morten Jul Nielson, Abdi Salahshour, Sai Sampath KVL und Sanjeev Sudarshanan (2005): *Problem Determination Using Self-Managing Autonomic Technology* · IBM International Technical Support Organization
- Meßmer, Konrad, Joachim Jähne und Peter Neuhaus (2011): *Was gibt es Neues in der Chirurgie? Jahresband 2011* · Landsberg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm · ISBN: 978-3-609-76987-5
- Mitzenmacher, Michael und Eli Upfal (2017): *Probability and computing: Randomization and probabilistic techniques in algorithms and data analysis* · Cambridge university press
- Mört, Dorothea und Ullrich Lothar (2015): „Körperpflege“ · *Intensivpflege und Anästhesie* · 3., überarbeitete und erweiterte Auflage · Stuttgart: Thieme · ISBN: 978-3-13-130913-6
- Niezen, Gerrit (2012): „Ontologies for Interaction : Enabling Serendipitous Interoperability in Smart Environments“ · Doctoral Thesis · Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven · 266 S. · URL: <https://pure.tue.nl/ws/files/3419324/735539.pdf> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Norman, Donald A (1988): *The psychology of everyday things*. · New York, NY, USA: Basic books · ISBN: 978-0-465-06710-7
- Poslad, Stefan (2009a): „Autonomous Systems and Artificial Life“ · *Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions*, S. 317–341 · ISBN: 978-0-470-03560-3
- Poslad, Stefan (2009b): *Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions* · John Wiley & Sons · ISBN: 978-0-470-03560-3
- Preim, Bernhard und Raimund Dachzelt (2015): *Interaktive Systeme: Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces* · eXamen.press · Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg · ISBN: 978-3-642-45246-8 978-3-642-45247-5
- Teufert, Svenja und Sven Bercker (2014): „Psychosoziale Situation und psychologische Betreuung in der Intensivmedizin“ · *Die Intensivmedizin* · hrsg. von Gernot Marx, Elke Muhl, Kai Zacharowski und Stefan Zeuzem · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 21–29 · ISBN: 978-3-642-54953-3
- Vasseur, Jean-Philippe und Adam Dunkels (2010): *Interconnecting Smart Objects with Ip: The next Internet* · Morgan Kaufmann
- Weiß, Björn, Alawi Lütz und Claudia Spies (2014): „Schmerz, Sedierung Und Delir“ · *Die Intensivmedizin* · Springer, S. 511–520
- Wetterling, Tilman (2015): „Psychische und psychosomatische Störungen bei Intensivpatienten“ · *Die Intensivmedizin* · hrsg. von Gernot Marx, Elke Muhl, Kai Zacharowski und Stefan Zeuzem · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 597–603 · ISBN: 978-3-642-54953-3 · DOI: 10.1007/978-3-642-54953-3_45
- Wigdor, Daniel und Dennis Wixon (2011): *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture* · Elsevier

ARTIKEL AUS FACHZEITSCHRIFTEN

- Abuatiq, Alham (2015): „Patients’ and health care providers’ perception of stressors in the intensive care units“ · *Dimensions of Critical Care Nursing* Bd. 34, Nr. 4, S. 205–214
- Appleyard, Mary E, Susan R Gavaghan, Colleen Gonzalez, Lillian Ananian, R Tyrell, DL Carroll et al. (2000): „Nurse-Coached Intervention for the Families of Patients in Critical Care Units“ · *Critical Care Nurse* Bd. 20, Nr. 3, S. 40–48
- Ashton, Kevin et al. (2009): „That ‘Internet of Things’ Thing“ · *RFID journal* Bd. 22, Nr. 7, S. 97–114
- Augusto, Juan C., Vic Callaghan, Diane Cook, Achilles Kameas und Ichiro Satoh (2013): „Intelligent Environments: A Manifesto“ · *Human-centric Computing and Information Sciences* Bd. 3, Nr. 1, S. 12 · ISSN: 2192-1962 · DOI: 10.1186/2192-1962-3-12
- Bagshaw, Sean M., Steve AR Webb, Anthony Delaney, Carol George, David Pilcher, Graeme K. Hart und Rinaldo Bellomo (2009): „Very Old Patients Admitted to Intensive Care in Australia and New Zealand: A Multi-Centre Cohort Analysis“ · *Critical Care* Bd. 13, Nr. 2, R45 · ISSN: 1364-8535 · DOI: 10.1186/cc7768
- Bartolini, Sara, Bojan Milosevic, Alfredo D’Elia, Elisabetta Farella, Luca Benini und Tullio Salmon Cinotti (2012): „Reconfigurable Natural Interaction in Smart Environments: Approach and Prototype Implementation“ · *Personal and Ubiquitous Computing* Bd. 16, Nr. 7, S. 943–956 · ISSN: 1617-4909 · DOI: 10.1007/s00779-011-0454-5 · URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2387476.2387479> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Beigl, Michael, Hans-W. Gellersen und Albrecht Schmidt (2001): „Mediacups: Experience with Design and Use of Computer-Augmented Everyday Artefacts“ · *Computer Networks · Pervasive Computing* Bd. 35, Nr. 4, S. 401–409 · ISSN: 1389-1286 · DOI: 10.1016/S1389-1286(00)00180-8 · URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128600001808> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Bellavista, Paolo, Antonio Corradi, Luca Foschini und Stefano Monti (2018): „Improved Adaptation and Survivability via Dynamic Service Composition of Ubiquitous Computing Middleware“ · *IEEE Access* Bd. 6, S. 33604–33620 · ISSN: 2169-3536 · DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2842683
- Biermann, A. und A. Geissler (2016): „Beatmungsfälle und Beatmungsdauer in deutschen Krankenhäusern“ · *Der Anaesthesist* Bd. 65, Nr. 9, S. 663–672 · ISSN: 1432-055X · DOI: 10.1007/s00101-016-0208-x
- Bingold, T.M., R. Lefering, K. Zacharowski, C. Waydhas und B. Scheller (2014): „Elf-Jahre-Kerndatensatz in der Intensivmedizin“ · *Der Anaesthesist* Bd. 63, Nr. 12, S. 942–950 · ISSN: 1432-055X · DOI: 10.1007/s00101-014-2389-5
- Bitkom (2021): „4 von 10 Deutschen Nutzen Smart-Home-Anwendungen“ · URL: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/4-von-10-Deutschen-nutzen-Smart-Home-Anwendungen> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Bohannon, Richard W., Anneli Peolsson, Nicola Massy-Westropp, Johanne Desrosiers und Jane Bear-Lehman (2006): „Reference Values for Adult Grip Strength Measured with a Jamar Dynamometer: A Descriptive Meta-Analysis“

- *Physiotherapy* Bd. 92, Nr. 1, S. 11–15 · ISSN: 0031-9406 · DOI: 10.1016/j.physio.2005.05.003
- Bösel, J. und R. Dziewas (2012): „Sedierung, tägliche Aufwachversuche und Weaning“ · *Der Nervenarzt* Bd. 83, Nr. 12, S. 1533–1541 · ISSN: 1433-0407 · DOI: 10.1007/s00115-012-3527-4
- Burmeister, Daniel, Bennet Gerlach und Andreas Schrader (2018): „Formal Definition of the Smart Object Matching Problem“ · *Procedia computer science* Bd. 130, S. 302–309 · DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.043
- Buxton, William (1983): „Lexical and Pragmatic Considerations of Input Structures“ · *SIGGRAPH Comput. Graph.* Bd. 17, Nr. 1, S. 31–37 · ISSN: 0097-8930 · DOI: 10.1145/988584.988586 · URL: <http://doi.acm.org/10.1145/988584.988586> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Carruthers, Helen, Felicity Astin und Wendy Munro (2017): „Which Alternative Communication Methods Are Effective for Voiceless Patients in Intensive Care Units? A Systematic Review“ · *Intensive and Critical Care Nursing* Bd. 42, S. 88–96 · ISSN: 09643397 · DOI: 10.1016/j.iccn.2017.03.003
- Cook, Diane J, Juan C Augusto und Vikramaditya R Jakkula (2009): „Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities“ · *Pervasive and Mobile Computing* Bd. 5, Nr. 4, S. 277–298
- Cook, Diane J. und Sajal K. Das (2007): „How Smart Are Our Environments? An Updated Look at the State of the Art“ · *Pervasive and Mobile Computing · Design and Use of Smart Environments* Bd. 3, Nr. 2, S. 53–73 · ISSN: 1574-1192 · DOI: 10.1016/j.pmcj.2006.12.001
- Costello, John M, Lance Patak und Jennifer Pritchard (2010): „Communication Vulnerable Patients in the Pediatric ICU: Enhancing Care through Augmentative and Alternative Communication“ · *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine* Bd. 3, Nr. 4, S. 289–301
- Davidyuk, Oleg, Iván Sánchez Milara, Ekaterina Gilman und Jukka Riekkilä (2015): „An Overview of Interactive Application Composition Approaches“ · *Open Computer Science* Bd. 5, Nr. 1, S. 79–95 · ISSN: 2299-1093 · DOI: 10.1515/comp-2015-0007
- Eliseyev, Andrey, Ian Jerome Gonzales, Anh Le, Kevin Doyle, Jennifer Egbebike, Angela Velazquez, Sachin Agarwal, David Roh, Soojin Park, E. Sander Connolly und Jan Claassen (2021): „Development of a Brain-Computer Interface for Patients in the Critical Care Setting“ · *PLOS ONE* Bd. 16, Nr. 1, e0245540 · ISSN: 1932-6203 · DOI: 10.1371/journal.pone.0245540
- Ely, E Wesley, Richard Margolin, Joseph Francis, Lisa May, Brenda Truman, Robert Dittus, Theodore Speroff, Shiva Gautam, Gordon R Bernard und Sharon K Inouye (2001): „Evaluation of Delirium in Critically Ill Patients: Validation of the Confusion Assessment Method for the Intensive Care Unit (CAM-ICU)“ · *Critical care medicine* Bd. 29, Nr. 7, S. 1370–1379
- Fähndrich, Johannes, Sebastian Ahrndt und Sahin Albayrak (2013): „Self-Explaining Agents“ · *Jurnal Teknologi (Science & Engineering)* Bd. 63, Nr. 3, S. 53–64
- Foley, James D., Victor L. Wallace und Peggy Chan (1984): „The Human Factors of Computer Graphics Interaction Techniques“ · *IEEE Comput. Graph. Appl.* Bd. 4, Nr. 11, S. 13–48 · ISSN: 0272-1716 · URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2347.2348> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)

- Franke, Thomas, Christiane Attig und Daniel Wessel (2019): „A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale“ · *International Journal of Human-Computer Interaction* Bd. 35, Nr. 6, S. 456–467 · DOI: 10.1080/10447318.2018.1456150 · eprint: <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1456150> · URL: <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1456150>
- Funk, G.-C., S. Anders, M.-K. Breyer, O. C. Burghuber, G. Edelmann, W. Heindl, G. Hinterholzer, R. Kohansal, R. Schuster, A. Schwarzmaier-D’Assie, A. Valentin und S. Hartl (2010): „Incidence and Outcome of Weaning from Mechanical Ventilation According to New Categories“ · *European Respiratory Journal* Bd. 35, Nr. 1, S. 88–94 · ISSN: 0903-1936, 1399-3003 · DOI: 10.1183/09031936.00056909
- Garry, Jonah, Kelly Casey, Therese Kling Cole, Angela Regensburg, Colleen McElroy, Eric Schneider, David Efron und Albert Chi (2016): „A Pilot Study of Eye-Tracking Devices in Intensive Care“ · *Surgery* Bd. 159, Nr. 3, S. 938–944 · ISSN: 0039-6060 · DOI: 10.1016/j.surg.2015.08.012
- Göbl, Linda, Aline Weis, Mariell Hoffmann, Lars Wiezorreck, Michel Wensing, Joachim Szecsenyi und Nicola Litke (2022): „Eine explorative Querschnittsstudie zur Technikaffinität und Smartphone-Nutzung von Praxispersonal und PatientInnen – Entwicklung einer App für multimorbide PatientInnen in der allgemeinmedizinischen Versorgung“ · *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* · ISSN: 1865-9217 · DOI: 10.1016/j.zefq.2021.11.002 · URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1865921721002014> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Goldberg, Miriam, Leigh Hochberg, Dawn Carpenter und Jens Walz (2022): „Development of a Manually Operated Communication System (MOCS) for Patients in Intensive Care Units“ · *Augmentative and Alternative Communication* Bd. 37, S. 1–13 · DOI: 10.1080/07434618.2021.2016958
- Goldberg, Miriam A, Leigh R Hochberg, Dawn Carpenter, Johnny L Isenberger, Stephen O Heard und J Matthias Walz (2017a): „Principles of Augmentative and Alternative Communication System Design in the ICU Setting“
- Goldberg, Miriam A, Leigh R Hochberg, Dawn Carpenter, Johnny L Isenberger, Stephen O Heard und J Matthias Walz (2017b): „Testing a Novel Manual Communication System for Mechanically Ventilated ICU Patients“
- González García, Cristian, Daniel Meana Llorián, Begoña Cristina Pelayo García-Bustelo, Juan Manuel Cueva Lovelle et al. (2017): „A Review about Smart Objects, Sensors, and Actuators“ · *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*
- Goumopoulos, Christos und Irene Mavrommati (2020): „A Framework for Pervasive Computing Applications Based on Smart Objects and End User Development“ · *Journal of Systems and Software* Bd. 162, S. 110496 · ISSN: 0164-1212 · DOI: 10.1016/j.jss.2019.110496
- Guerra, R. S. (2015): „Krankenhausökonomie – Handkraft sagt Behandlungskosten voraus“ · *Gesundheitsökonomie & Qualitätsmanagement* Bd. 20, Nr. 4, S. 148–148 · ISSN: 1432-2625, 1439-4049 · DOI: 10.1055/s-0034-1398120
- Halpern, Neil A. (2014a): „Innovative Designs for the Smart ICU: Part 1: From Initial Thoughts to Occupancy“ · *CHEST* Bd. 145, Nr. 2, S. 399–403 · ISSN: 0012-3692 · DOI: 10.1378/chest.13-0003

- Halpern, Neil A. (2014b): „Innovative Designs for the Smart ICU: Part 2: The ICU“ · *Chest* Bd. 145, Nr. 3, S. 646–658 · ISSN: 0012-3692 · DOI: 10.1378/chest.13-0004
- Halpern, Neil A. (2014c): „Innovative Designs for the Smart ICU: Part 3: Advanced ICU Informatics“ · *Chest* Bd. 145, Nr. 4, S. 903–912 · ISSN: 0012-3692 · DOI: 10.1378/chest.13-0005
- Handberg, Charlotte und Anna Katarina Voss (2018): „Implementing augmentative and alternative communication in critical care settings: Perspectives of healthcare professionals“ · eng · *Journal of Clinical Nursing* Bd. 27, Nr. 1-2, S. 102–114 · ISSN: 1365-2702 · DOI: 10.1111/jocn.13851
- Hannich, H-J und P Lawin (1987): „Medizinische Psychologie in der Intensivbehandlung: Untersuchungen zur psychologischen Situation“ · *Anästhesiologie und Intensivmedizin (Berlin, West)* Bd. 175
- Happ, Mary Beth, Kathryn Garrett, Dana DiVirgilio Thomas, Judith Tate, Elisabeth George, Martin Houze, Jill Radtke und Susan Sereika (2011): „Nurse-patient communication interactions in the intensive care unit“ · eng · *American Journal of Critical Care: An Official Publication, American Association of Critical-Care Nurses* Bd. 20, Nr. 2, e28–40 · ISSN: 1937-710X · DOI: 10.4037/ajcc2011433
- Happ, Mary Beth, Kathryn L. Garrett, Judith A. Tate, Dana DiVirgilio, Martin P. Houze, Jill R. Demirci, Elisabeth George und Susan M. Sereika (2014): „Effect of a Multi-Level Intervention on Nurse–Patient Communication in the Intensive Care Unit: Results of the SPEACS Trial“ · *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care* Bd. 43, Nr. 2, S. 89–98 · ISSN: 0147-9563, 1527-3288 · DOI: 10.1016/j.hrtlng.2013.11.010
- Happ, Mary Beth, Tricia K. Roesch und Sarah H. Kagan (2005): „Patient Communication Following Head and Neck Cancer Surgery: A Pilot Study Using Electronic Speech-Generating Devices“ · *Oncology Nursing Forum* Bd. 32, Nr. 6, S. 1179–1187 · ISSN: 1538-0688 · DOI: 10.1188/05.ONF.1179-1187
- Happ, Mary Beth, Tricia Kenney Roesch und Kathryn Garrett (2004): „Electronic Voice-Output Communication Aids for Temporarily Nonspeaking Patients in a Medical Intensive Care Unit: A Feasibility Study“ · *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care* Bd. 33, Nr. 2, S. 92–101 · ISSN: 0147-9563, 1527-3288 · DOI: 10.1016/j.hrtlng.2003.12.005
- High, Rob (2012): „The Era of Cognitive Systems: An inside Look at IBM Watson and How It Works“ · *IBM Corporation, Redbooks* Bd. 1, S. 16
- Holman, David und Roel Vertegaal (2008): „Organic User Interfaces: Designing Computers in Any Way, Shape, or Form“ · *Communications of the ACM* Bd. 51, Nr. 6, S. 48–55 · ISSN: 0001-0782 · DOI: 10.1145/1349026.1349037
- Isfort, Michael (2017): „Personalsituation in der Intensivpflege - Permanent 'am Limit'“ · *BibliomedPflege*, Nr. 04-2017, S. 22–27
- ISO (2020): „9241-210: 2020. Ergonomics of Human System Interaction-Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems“ · *International Standardization Organization (ISO). Switzerland*
- Janlert, Lars-Erik und Erik Stolterman (2015): „Faceless Interaction—A Conceptual Examination of the Notion of Interface: Past, Present, and Future“ · *Human–Computer Interaction* Bd. 30, Nr. 6, S. 507–539 · ISSN: 0737-0024 · DOI: 10.1080/07370024.2014.944313

- Jeong, Seol Young, Hyeong Gon Jo und Soon Ju Kang (2015): „Self-Organizing Distributed Architecture Supporting Dynamic Space Expanding and Reducing in Indoor LBS Environment“ · *Sensors* Bd. 15, Nr. 6, S. 12156–12179 · ISSN: 1424-8220 · DOI: 10.3390/s150612156
- Johansson, Karl H., George J. Pappas, Paulo Tabuada und Claire J. Tomlin (2014): „Guest Editorial Special Issue on Control of Cyber-Physical Systems“ · *IEEE Transactions on Automatic Control* Bd. 59, Nr. 12, S. 3120–3121 · ISSN: 1558-2523 · DOI: 10.1109/TAC.2014.2363896
- Jorch, Gerhard, Stefan Kluge, Fritjoff König, Andreas Markewitz, Klaus Notz, Volker Parvu, Michael Quintel, Dietmar Schneider, Gerhard W Sybrecht und Christian Waydhas (2010): „Empfehlungen Zur Struktur Und Ausstattung von Intensivstationen“ · *Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin*
- Ju, Xin-Xing, Jie Yang und Xiao-Xin Liu (2021): „A Systematic Review on Voiceless Patients' Willingness to Adopt High-Technology Augmentative and Alternative Communication in Intensive Care Units“ · *Intensive and Critical Care Nursing* Bd. 63, S. 102948 · ISSN: 0964-3397 · DOI: 10.1016/j.iccn.2020.102948
- Kartakis, Sokratis, Vangelis Sakkalis, Panagiotis Tournalakis, Georgios Zachariou-dakis und Constantine Stephanidis (2012): „Enhancing Health Care Delivery through Ambient Intelligence Applications“ · *Sensors (Basel, Switzerland)* Bd. 12, Nr. 9, S. 11435–11450 · ISSN: 1424-8220 · DOI: 10.3390/s120911435
- Kelly, Fiona E, Kevin Fong, Nicholas Hirsch und Jerry P Nolan (2014): „Intensive Care Medicine Is 60 Years Old: The History and Future of the Intensive Care Unit“ · *Clinical Medicine* Bd. 14, Nr. 4, S. 376–379 · ISSN: 1470-2118 · DOI: 10.7861/clinmedicine.14-4-376
- Kephart, J.O. und D.M. Chess (2003): „The Vision of Autonomic Computing“ · *Computer* Bd. 36, Nr. 1, S. 41–50 · ISSN: 1558-0814 · DOI: 10.1109/MC.2003.1160055
- Kim, Chan Mi, Esther Heide, Thomas Van Rompay, Gijsbertus Verkerke und Geke Ludden (2021): „Overview and Strategy Analysis of Technology-Based Nonpharmacological Interventions for In-Hospital Delirium Prevention and Reduction: Systematic Scoping Review“ · *Journal of Medical Internet Research* Bd. 23 · DOI: 10.2196/26079
- Kortuem, Gerd, Fahim Kawsar, Vasughi Sundramoorthy und Daniel Fitton (Jan. 2010): „Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things“ · *IEEE Internet Computing* Bd. 14, Nr. 1, S. 44–51 · ISSN: 1941-0131 · DOI: 10.1109/MIC.2009.143
- Kozalinski, Rebecca S., Ruth M. Tappen und David Viggiano (2015): „Evaluation of Speak for Myself with Patients Who Are Voiceless“ · *Rehabilitation Nursing Journal* Bd. 40, Nr. 4, S. 235–242 · ISSN: 0278-4807 · DOI: 10.1002/rnj.186
- Kranz, M., P. Holleis und A. Schmidt (2010): „Embedded Interaction: Interacting with the Internet of Things“ · *IEEE Internet Computing* Bd. 14, Nr. 2, S. 46–53 · ISSN: 1089-7801
- Kuhlmann, Barbara (2002): „Die Situation von Angehörigen auf einer Intensivstation“ · *intensiv* Bd. 10, Nr. 6, S. 250–255 · ISSN: 0942-6035, 1439-3840 · DOI: 10.1055/s-2002-35444

- Kumpf, Oliver, Jan-Peter Braun, Alexander Brinkmann, Hanswerner Bause, Martin Bellgardt, Frank Bloos, Rolf Dubb, Clemens Greim, Arnold Kaltwasser, Gernot Marx, Reimer Riessen, Claudia Spies, Jörg Weimann, Gabriele Wöbker, Elke Muhl und Christian Waydhas (2017): „Quality Indicators in Intensive Care Medicine for Germany – Third Edition 2017“ · *GMS German Medical Science* Bd. 15, Doc10 · ISSN: 1612-3174 · DOI: 10.3205/000251
- Laban, Rudolf van (1928): „Schrifttanz“ · *Wien: Universal Edition*
- Lee, Edward A. (2015): „The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models“ · *Sensors* Bd. 15, Nr. 3 (3), S. 4837–4869 · DOI: 10.3390/s150304837 · URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/3/4837> (zuletzt abgerufen am 13. 12. 2021)
- López, Tomás Sánchez, Damith Chinthana Ranasinghe, Bela Patkai und Duncan McFarlane (2011): „Taxonomy, Technology and Applications of Smart Objects“ · *Information Systems Frontiers* Bd. 13, Nr. 2, S. 281–300
- Lyytinen, Kalle und Youngjin Yoo (2002): „Ubiquitous Computing“ · *Communications of the ACM* Bd. 45, Nr. 12, S. 63–96
- Mackinlay, Jock, Stuart K. Card und George G. Robertson (1990): „A Semantic Analysis of the Design Space of Input Devices“ · *Hum.-Comput. Interact.* Bd. 5, Nr. 2, S. 145–190 · ISSN: 0737-0024 · DOI: 10.1207/s15327051hci0502&3_2 · URL: http://dx.doi.org/10.1207/s15327051hci0502&3_2 (zuletzt abgerufen am 16. 08. 2017)
- Maes, Pattie (2005): „Attentive Objects: Enriching People’s Natural Interaction with Everyday Objects“ · *interactions* Bd. 12, Nr. 4, S. 45–48
- Mahony, Robert, Tarek Hamel und Jean-Michel Pflimlin (2008): „Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group“ · *IEEE Transactions on Automatic Control* Bd. 53, Nr. 5, S. 1203–1218 · ISSN: 1558-2523 · DOI: 10.1109/TAC.2008.923738
- Malizia, Alessio und Andrea Bellucci (2012): „The Artificiality of Natural User Interfaces“ · *Communications of the ACM* Bd. 55, Nr. 3, S. 36–38 · ISSN: 0001-0782, 1557-7317 · DOI: 10.1145/2093548.2093563
- Maringelli, F., N. Brienza, F. Scorrano, F. Grasso und C. Gregoretti (2013): „Gaze-Controlled, Computer-Assisted Communication in Intensive Care Unit: "Speaking through the Eyes".“ · *Minerva anesthesiologica* Bd. 79, Nr. 2, S. 165–175 · ISSN: 0375-9393
- Mattern, Friedemann (2001): „Pervasive/Ubiquitous Computing“ · *Informatik-Spektrum* Bd. 24, Nr. 3, S. 145–147
- Metzger, Andreas et al. (2015): „Cyber Physical Systems: Opportunities and Challenges for Software, Services, Cloud and Data“ · *NESSI white paper* · URL: http://www.nessi-europe.com/Files/Private/NESSI_CPS_White_Paper_issue_1.pdf
- Mieronkoski, Riitta, Iman Azimi, Amir M. Rahmani, Riku Aantaa, Virpi Terävä, Pasi Liljeberg und Sanna Salanterä (2017): „The Internet of Things for Basic Nursing Care-A Scoping Review“ · *International Journal of Nursing Studies* Bd. 69, S. 78–90 · ISSN: 1873-491X · DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2017.01.009
- Miglietta, Maurizio A., Grant Bochicchio und Thomas M. Scalea (2004): „Computer-Assisted Communication for Critically Ill Patients: A Pilot Study“ · *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* Bd. 57, Nr. 3, S. 488 · ISSN: 2163-0755 · DOI: 10.1097/01.TA.0000141025.67192.D9

- Möller, Dietmar PF (2016): „Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems“ · *Computer Communications and Networks*. Springer, Heidelberg
- Moran, Thomas P. (1981): „The Command Language Grammar: A Representation for the User Interface of Interactive Computer Systems“ · *International Journal of Man-Machine Studies* Bd. 15, Nr. 1, S. 3–50 · ISSN: 0020-7373 · DOI: 10.1016/S0020-7373(81)80022-3 · URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020737381800223> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Müller-Schloer, Christian, Christoph von der Malsburg und Rolf P Würt (2004): „Aktuelles Schlagwort: Organic Computing“ · *Informatik-Spektrum* Bd. 27, Nr. 4, S. 332–336
- Nielsen, Jakob (1986): „A Virtual Protocol Model for Computer-Human Interaction“ · *International Journal of Man-Machine Studies* Bd. 24, Nr. 3, S. 301–312 · ISSN: 0020-7373 · DOI: 10.1016/S0020-7373(86)80028-1 · URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020737386800281> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Niezen, Gerrit (2013): „Ontologies for Interaction: Enabling Serendipitous Interoperability in Smart Environments“ · *J. Ambient Intell. Smart Environ.* Bd. 5, Nr. 1, S. 135–137 · ISSN: 1876-1364 · URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2594670.2594681> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Norman, Donald A. (1999): „Affordance, Conventions, and Design“ · *Interactions* Bd. 6, Nr. 3, S. 38–43 · ISSN: 1072-5520 · DOI: 10.1145/301153.301168
- Norman, Donald A. (2008): „THE WAY I SEE IT: Signifiers, Not Affordances“ · *interactions* Bd. 15, Nr. 6, S. 18–19 · ISSN: 1072-5520 · DOI: 10.1145/1409040.1409044 · (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Norman, Donald A. (2010): „Natural User Interfaces Are Not Natural“ · *interactions* Bd. 17, Nr. 3, S. 6–10 · ISSN: 1072-5520
- Norman, Donald A. und Jakob Nielsen (2010): „Gestural Interfaces: A Step Backward in Usability“ · *interactions* Bd. 17, Nr. 5, S. 46–49 · ISSN: 1072-5520 · DOI: 10.1145/1836216.1836228
- Otuzoğlu, Münevver und Azize Karahan (2014): „Determining the Effectiveness of Illustrated Communication Material for Communication with Intubated Patients at an Intensive Care Unit“ · *International Journal of Nursing Practice* Bd. 20, Nr. 5, S. 490–498 · ISSN: 1440-172X · DOI: 10.1111/ijn.12190
- Perera, Charith, Arkady Zaslavsky, Peter Christen und Dimitrios Georgakopoulos (2014): „Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey“ · *IEEE Communications Surveys Tutorials* Bd. 16, Nr. 1, S. 414–454 · ISSN: 1553-877X · DOI: 10.1109/SURV.2013.042313.00197
- Petersen, Marianne Graves (2005): „Interactive Spaces: Towards a Better Everyday?“ · *interactions* Bd. 12, Nr. 4, S. 44–45
- Pina, Sara, Madalena Canellas, Rita Prazeres, José Lopes, Tânia Marcelino, Duarte Reis und Cândida Ferrito (2020): „Augmentative and Alternative Communication in Ventilated Patients: A Scoping Review“ · *Revista Brasileira de Enfermagem* Bd. 73 · ISSN: 0034-7167, 1984-0446 · DOI: 10.1590/0034-7167-2019-0562
- Porter, Michael E und James E Heppelmann (2014): „How Smart, Connected Products Are Transforming Competition“ · *Harvard business review* Bd. 92, Nr. 11, S. 64–88

- Reeder, J M (1991): „Family Perception: A Key to Intervention“ · *AACN clinical issues in critical care nursing* Bd. 2, Nr. 2, S. 188–194 · ISSN: 1046-7467 · DOI: 10.4037/15597768-1991-2003
- Robert Koch-Institut (2004): „Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen“ · *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* Bd. 47, Nr. 1, S. 51–61 · ISSN: 1437-1588 · DOI: 10.1007/s00103-003-0752-9
- Rodrigues, Laécio, Igor Gonçalves, Iure Fé, Patricia Takako Endo und Francisco Airton Silva (2021): „Performance and Availability Evaluation of an Smart Hospital Architecture“ · *Computing* Bd. 103, Nr. 10, S. 2401–2435 · ISSN: 1436-5057 · DOI: 10.1007/s00607-021-00979-x
- Rodriguez, Carmen und Meredith Rowe (2010): „Use of a Speech-Generating Device for Hospitalized Postoperative Patients With Head and Neck Cancer Experiencing Speechlessness“ · *Oncology Nursing Forum* Bd. 37, Nr. 2, S. 199–205 · DOI: 10.1188/10.ONF.199-205
- Rodriguez, Carmen S., Meredith Rowe, Brent Koeppel, Loris Thomas, Michelle S. Troche und Glenna Paguio (2012): „Development of a Communication Intervention to Assist Hospitalized Suddenly Speechless Patients“ · *Technology and Health Care* Bd. 20, Nr. 6, S. 519–530 · ISSN: 0928-7329 · DOI: 10.3233/THC-2012-0695
- Rodriguez, Carmen S., Meredith Rowe, Loris Thomas, Jonathan Shuster, Brent Koeppel und Paula Cairns (2016): „Enhancing the Communication of Suddenly Speechless Critical Care Patients“ · *American Journal of Critical Care* Bd. 25, Nr. 3, e40–e47 · ISSN: 1062-3264, 1937-710X · DOI: 10.4037/ajcc2016217
- Ronzani, Daniel (2009): „The Battle of Concepts: Ubiquitous Computing, Pervasive Computing and Ambient Intelligence in Mass Media“ · *Ubiquitous Computing and Communication Journal* Bd. 4, Nr. 2, S. 9–19
- Roth, Michael, Julia Schmitt, Rolf Kiefhaber, Florian Kluge und Theo Ungerer (2011): „Organic Computing Middleware for Ubiquitous Environments“ · *en · Organic Computing — A Paradigm Shift for Complex Systems*, S. 339–351 · DOI: 10.1007/978-3-0348-0130-0_22
- Sánchez, Dairazalia, Monica Tentori und Jesús Favela (2008): „Activity Recognition for the Smart Hospital“ · *IEEE Intelligent Systems* Bd. 23, Nr. 2, S. 50–57 · ISSN: 1941-1294 · DOI: 10.1109/MIS.2008.18
- Schindler, A. W., N. Schindler, F. Enz, A. Lueck, T. Olderog und D. A. Vagts (2013): „ICU personnel have inaccurate perceptions of their patients' experiences“ · *eng · Acta Anaesthesiologica Scandinavica* Bd. 57, Nr. 8, S. 1032–1040 · ISSN: 1399-6576 · DOI: 10.1111/aas.12148
- Schmeck, Hartmut, Christian Müller-Schloer, Emre Çakar, Moez Mnif und Urban Richter (2010): „Adaptivity and Self-Organization in Organic Computing Systems“ · *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems* Bd. 5, Nr. 3, 10:1–10:32 · ISSN: 1556-4665 · DOI: 10.1145/1837909.1837911
- Schönhofer, B., J. Geiseler, D. Dellweg, O. Moerer, T. Barchfeld, H. Fuchs, O. Karg, S. Rosseau, H. Sitter, S. Weber-Carstens, M. Westhoff und W. Windisch (2014): „Prolongiertes Weaning“ · *Pneumologie* Bd. 68, Nr. 01, S. 19–75 · ISSN: 0934-8387, 1438-8790 · DOI: 10.1055/s-0033-1359038
- Schubert, Maria, Paola Massarotto, Michael Wehrli, Angelika Lehmann, Rebecca Spirig und Wolfgang Hasemann (2010): „Entwicklung Eines Interprofes-

- sionellen Behandlungskonzepts „Delir“ Für Eine Medizinische Und Eine Chirurgische Intensivstation“ · *intensiv* Bd. 18, Nr. 06, S. 316–323
- Sessler, Curtis N., Mark S. Gosnell, Mary Jo Grap, Gretchen M. Brophy, Pam V. O’Neal, Kimberly A. Keane, Eljim P. Tesoro und R. K. Elswick (2002): „The Richmond Agitation–Sedation Scale“ · *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* Bd. 166, Nr. 10, S. 1338–1344 · ISSN: 1073-449X · DOI: 10.1164/rccm.2107138
- Shiffman, L. M. (1992): „Effects of Aging on Adult Hand Function“ · *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association* Bd. 46, Nr. 9, S. 785–792 · ISSN: 0272-9490 · DOI: 10.5014/ajot.46.9.785
- El-Soussi, Azza H., Mohsen M. Elshafey, Sahara Y. Othman und Fadia A. Abd-Elkader (2015): „Augmented Alternative Communication Methods in Intubated COPD Patients: Does It Make Difference“ · *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis* Bd. 64, Nr. 1, S. 21–28 · ISSN: 0422-7638 · DOI: 10.1016/j.ejcdt.2014.07.006
- Stanton, Neville A. (2006): „Hierarchical Task Analysis: Developments, Applications, and Extensions“ · en · *Applied Ergonomics* · Special Issue: Fundamental Reviews Bd. 37, Nr. 1, S. 55–79 · ISSN: 0003-6870 · DOI: 10.1016/j.apergo.2005.06.003
- Stavropoulos, Thanos, Dimitris Vrakas und I. Vlahavas (2011): „A Survey of Service Composition in Ambient Intelligence Environments“ · *Artificial Intelligence Review* Bd. 40, S. 1–24 · DOI: 10.1007/s10462-011-9283-1
- Streitz, N. A., C. Rocker, T. Prante, D. van Alphen, R. Stenzel und C. Magerkurth (2005): „Designing Smart Artifacts for Smart Environments“ · *Computer* Bd. 38, Nr. 3, S. 41–49 · ISSN: 0018-9162 · DOI: 10.1109/MC.2005.92
- Streitz, Norbert und Paddy Nixon (2005): „The disappearing computer“ · *Communications-ACM* Bd. 48, Nr. 3, S. 32–35
- Suarez-Tangil, Guillermo, Juan E. Tapiador, Pedro Peris-Lopez und Arturo Ribagorda (2014): „Evolution, Detection and Analysis of Malware for Smart Devices“ · *IEEE Communications Surveys Tutorials* Bd. 16, Nr. 2, S. 961–987 · ISSN: 1553-877X · DOI: 10.1109/SURV.2013.101613.00077
- Thompson, C.W. (2005): „Smart Devices and Soft Controllers“ · *IEEE Internet Computing* Bd. 9, Nr. 1, S. 82–85 · ISSN: 1941-0131 · DOI: 10.1109/MIC.2005.22
- Tolksdorf, Kristin, Silke Buda, Ekkehard Schuler, Lothar H Wieler und Walter Haas (2020): „Influenza-Associated Pneumonia as Reference to Assess Seriousness of Coronavirus Disease (COVID-19)“ · *Eurosurveillance* Bd. 25, Nr. 11 · ISSN: 1025-496X · DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.11.2000258
- Tsay, Shwu-Feng, Pei-Fan Mu, Shirling Lin, Kai-Wei Katherine Wang und Yu-Chih Chen (2013): „The Experiences of Adult Ventilator-Dependent Patients: A Meta-Synthesis Review“ · *Nursing & health sciences* Bd. 15, Nr. 4, S. 525–533
- Tschofenig, Hannes und Jari Arkko (2012): „Report from the Smart Object Workshop“ · *Request for comments* Bd. 6574
- Valenti, Roberto G., Ivan Dryanovski und Jizhong Xiao (2015): „Keeping a Good Attitude: A Quaternion-Based Orientation Filter for IMUs and MARGs“ · *Sensors* Bd. 15, Nr. 8, S. 19302–19330 · DOI: 10.3390/s150819302

- Valentin, Andreas, Patrick Ferdinande und ESICM Working Group on Quality Improvement (2011): „Recommendations on Basic Requirements for Intensive Care Units: Structural and Organizational Aspects“ · *Intensive Care Medicine* Bd. 37, Nr. 10, S. 1575 · ISSN: 1432-1238 · DOI: 10.1007/s00134-011-2300-7
- Vertegaal, Roel und Ivan Poupyrev (2008): „Organic User Interfaces: Introduction“ · *Communications of the ACM* Bd. 51, Nr. 6, S. 26–30 · ISSN: 0001-0782 · DOI: 10.1145/1349026.1349033
- Vincent, Jean-Louis, Mervyn Singer, John J. Marini, Rui Moreno, Mitchell Levy, Michael A. Matthay, Michael Pinsky, Andrew Rhodes, Niall D. Ferguson, Timothy Evans, Djillali Annane und Jesse B. Hall (2010): „Thirty Years of Critical Care Medicine“ · *Critical Care* Bd. 14, Nr. 3, S. 311 · ISSN: 1364-8535 · DOI: 10.1186/cc8979
- Wachs, Juan Pablo, Mathias Kölsch, Helman Stern und Yael Edan (2011): „Vision-based Hand-gesture Applications“ · *Commun. ACM* Bd. 54, Nr. 2, S. 60–71 · ISSN: 0001-0782
- Wang, Li, Xiao Li, Zongxia Yang, Xueli Tang, Qiang Yuan, Lijing Deng und Xin Sun (2016): „Semi-Recumbent Position versus Supine Position for the Prevention of Ventilator-Associated Pneumonia in Adults Requiring Mechanical Ventilation“ · *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, Nr. 1, S. CD009946 · ISSN: 1469-493X
- Weiser, Mark (1999): „The Computer for the 21st Century“ · *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review* Bd. 3, Nr. 3, S. 3–11
- Wiesner, B., M. Bachmann, T.-G. Blum, S. Forchheim, J. Geiseler, A. Kassin, E. Kretzschmar, S. Weber-Carstens, M. Westhoff, M. Witzenrath und C. Grohé (2020): „Aufgaben Der Weaning-Zentren Im Pandemiefall COVID-19“ · *Pneumologie (Stuttgart, Germany)* Bd. 74, Nr. 6, S. 358–365 · ISSN: 0934-8387 · DOI: 10.1055/a-1153-9710
- Yurtman, Aras und Billur Barshan (2017): „Activity Recognition Invariant to Sensor Orientation with Wearable Motion Sensors“ · *Sensors (Basel, Switzerland)* Bd. 17, Nr. 8 · ISSN: 1424-8220 · DOI: 10.3390/s17081838
- Zaga, Charissa J., Sue Berney und Adam P. Vogel (2019): „The Feasibility, Utility, and Safety of Communication Interventions With Mechanically Ventilated Intensive Care Unit Patients: A Systematic Review“ · *American Journal of Speech-Language Pathology* Bd. 28, Nr. 3, S. 1335–1355 · DOI: 10.1044/2019_AJSLP-19-0001

KONFERENZBEITRÄGE

- Ahouandjinou, Arnaud S. R. M., Kokou Assogba und Cina Motamed (2016): „Smart and Pervasive ICU Based-IoT for Improving Intensive Health Care“ · *2016 International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART)*, S. 1–4 · DOI: 10.1109/BIOSMART.2016.7835599
- Autexier, Serge und Rolf Drechsler (2018): „Towards Self-Explaining Intelligent Environments“ · *2018 7th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO)*, S. 1–6

- Bachmann, Eric R., Robert B. McGhee, Xiaoping Yun und Michael J. Zyda (2001): „Inertial and Magnetic Posture Tracking for Inserting Humans into Networked Virtual Environments“ · *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* · VRST '01 · New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. 9–16 · ISBN: 978-1-58113-427-8 · DOI: 10.1145/505008.505011
- Baecker, R (1979): „Towards an Effective Characterization of Graphical Interaction“ · In R. A. Guedj, P. Ten Hagen, F. Hop Good, H. Tucker & D. Duce, Eds. · IFIP W. G. 5.2 · Bd. Workshop on the Methodology of Interaction · Seillac, France, S. 127–148
- Baudisch, Patrick, Mike Sinclair und Andrew Wilson (2006): „Soap: A Pointing Device That Works in Mid-Air“ · ACM Press, S. 43 · ISBN: 978-1-59593-313-3 · DOI: 10.1145/1166253.1166261
- Burmeister, D., F. Burmann und A. Schrader (2017): „The Smart Object Description Language: Modeling Interaction Capabilities for Self-Reflection“ · *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, S. 503–508 · DOI: 10.1109/PERCOMW.2017.7917614
- Burmeister, Daniel und Andreas Schrader (2018): „Runtime Generation and Delivery of Guidance for Smart Object Ensembles“ · *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering* · hrsg. von Hasan Ayaz und Lukasz Mazur · Advances in Intelligent Systems and Computing · Cham: Springer International Publishing, S. 287–296 · ISBN: 978-3-319-94866-9 · DOI: 10.1007/978-3-319-94866-9_29
- Delcourt, Kevin, Françoise Adreit, Jean-Paul Arcangeli, Kahina Hacid, Sylvie Trouilhet und Walid Younes (2021): „Automatic and Intelligent Composition of Pervasive Applications - Demonstration“ · *19th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2021)* · Kassel (virtual), Germany
- Dey, Anind K., Gregory D. Abowd und Daniel Salber (2000): „A Context-Based Infrastructure for Smart Environments“ · *Managing Interactions in Smart Environments* · hrsg. von Paddy Nixon, Gerard Lacey und Simon Dobson · London: Springer, S. 114–128 · ISBN: 978-1-4471-0743-9 · DOI: 10.1007/978-1-4471-0743-9_11
- Dey, Anind K., Peter Ljungstrand und Albrecht Schmidt (2001): „Distributed and Disappearing User Interfaces in Ubiquitous Computing“ · *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* · CHI EA '01 · New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. 487–488 · ISBN: 978-1-58113-340-0 · DOI: 10.1145/634067.634346
- Drechsler, R., C. Lüth, G. Fey und T. Güneysu (2018): „Towards Self-Explaining Digital Systems: A Design Methodology for the Next Generation“ · *2018 IEEE 3rd International Verification and Security Workshop (IVSW)*, S. 1–6 · DOI: 10.1109/IVSW.2018.8494900
- Fadiga, Kanvaly, Etienne Houzé, Ada Diaconescu und Jean-Louis Dessalles (2021): „To Do or Not to Do: Finding Causal Relations in Smart Homes“ · *2021 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS)* · Washington DC, USA: IEEE · ISBN: 978-1-66541-261-2 · DOI: 10.1109/ACSOS52086.2021.00030

- Froehlich, Bernd, Jan Hochstrate, Verena Skuk und Anke Huckauf (2006): „The GlobeFish and the GlobeMouse: Two New Six Degree of Freedom Input Devices for Graphics Applications“ · *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* · CHI '06 · New York, NY, USA: ACM, S. 191–199 · ISBN: 978-1-59593-372-0 · DOI: 10.1145/1124772.1124802
- Fujinami, Kaori und Tatsuo Nakajima (2005): „Sentient Artefacts: Acquiring User's Context Through Daily Objects“ · *Embedded and Ubiquitous Computing – EUC 2005 Workshops* · hrsg. von Tomoya Enokido, Lu Yan, Bin Xiao, Daeyoung Kim, Yuanshun Dai und Laurence T. Yang · *Lecture Notes in Computer Science* · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 335–344 · ISBN: 978-3-540-32296-2 · DOI: 10.1007/11596042_35
- Garcia Dominguez, Antonio, Nelly Bencomo, Juan Marcelo Parra Ullauri und Luis Hernan Garcia Paucar (2019): „Towards History-Aware Self-Adaptation with Explanation Capabilities“ · *2019 IEEE 4th International Workshops on Foundations and Applications of Self* Systems (FAS*W)*, S. 18–23 · DOI: 10.1109/FAS-W.2019.00018
- Goldmann, Stefan und Ralf Salomon (2008): „ESO: Evolutionary Self-organization in Smart-Appliances Ensembles“ · *KI 2008: Advances in Artificial Intelligence* · hrsg. von Andreas R. Dengel, Karsten Berns, Thomas M. Breuel, Frank Bomarius und Thomas R. Roth-Berghofer · *Lecture Notes in Computer Science* · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 209–216 · ISBN: 978-3-540-85845-4 · DOI: 10.1007/978-3-540-85845-4_26
- Hellenschmidt, Michael (2005): „Distributed Implementation of a Self-Organizing Appliance Middleware“ · *Proceedings of the 2005 Joint Conference on Smart Objects and Ambient Intelligence: Innovative Context-Aware Services: Usages and Technologies* · sOc-EUSAI '05 · New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. 201–206 · ISBN: 978-1-59593-304-1 · DOI: 10.1145/1107548.1107600
- Henkel, Adrienne, Jan Patrick Kopetz, Nicole Jochems, Katrin Balzer, Susanne Krotsetis und Björn Hussels (2018): „Nutzer- Und Aufgabenanalyse für ein sozio-technisches System zur Unterstützung der Kommunikation und Reorientierung beatmeter Patientinnen und Patienten in Intensivstationen: Ergebnisse und methodische Herausforderungen“ · *Zukunft der Pflege, Clusterkonferenz* · Oldenburg, Germany
- Ishii, Hiroshi (2008): „Tangible Bits: Beyond Pixels“ · *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction* · TEI '08 · New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. xv–xxv · ISBN: 978-1-60558-004-3 · DOI: 10.1145/1347390.1347392
- Kalawa, A., Ocelllo, A. M. Dery-Pinna und M. Riveill (2012): „Reusing User Interface across Devices with Different Design Guidelines“ · *2012 Fourth International Conference on Knowledge and Systems Engineering* · 2012 Fourth International Conference on Knowledge and Systems Engineering, S. 211–216 · DOI: 10.1109/KSE.2012.32
- Kallmann, Marcelo und Daniel Thalmann (1999): „Modeling Objects for Interaction Tasks“ · *Computer Animation and Simulation '98* · hrsg. von Bruno Araldi und Gérard Hégron · *Eurographics* · Vienna: Springer, S. 73–86 · ISBN: 978-3-7091-6375-7 · DOI: 10.1007/978-3-7091-6375-7_6

- Kawsar, Fahim, Kaori Fujinami und Tatsuo Nakajima (2005): „Prottoy: A Middleware for Sentient Environment“ · *Embedded and Ubiquitous Computing – EUC 2005* · hrsg. von Laurence T. Yang, Makoto Amamiya, Zhen Liu, Minyi Guo und Franz J. Rammig · Lecture Notes in Computer Science · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1165–1176 · ISBN: 978-3-540-32295-5 · DOI: 10.1007/11596356_115
- Kleinberger, Thomas, Martin Becker, Eric Ras, Andreas Holzinger und Paul Müller (2007): „Ambient Intelligence in Assisted Living: Enable Elderly People to Handle Future Interfaces“ · *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction* · hrsg. von Constantine Stephanidis · Lecture Notes in Computer Science · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 103–112 · ISBN: 978-3-540-73281-5 · DOI: 10.1007/978-3-540-73281-5_11
- Kok, Manon, Jeroen D. Hol, Thomas B. Schön, Fredrik Gustafsson und Henk Luinge (2012): „Calibration of a Magnetometer in Combination with Inertial Sensors“ · *2012 15th International Conference on Information Fusion*, S. 787–793
- Kopetz, Jan Patrick, Svenja Burgsmüller, Ann-Kathrin Vandereike, Michael Sengpiel, Daniel Wessel und Nicole Jochems (2018a): „Finding User Preferences Designing the Innovative Interaction Device “BIRDY” for Intensive Care Patients“ · *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* · hrsg. von Sebastiano Bagnara, Riccardo Tartaglia, Sara Albolino, Thomas Alexander und Yushi Fujita · Advances in Intelligent Systems and Computing · Springer International Publishing, S. 698–707 · ISBN: 978-3-319-96077-7
- Koussaifi, Maroun, Sylvie Trouilhet, Jean-Paul Arcangeli und Jean-Michel Bruel (2018): „Ambient Intelligence Users in the Loop: Towards a Model-Driven Approach“ · *Software Technologies: Applications and Foundations* · hrsg. von Manuel Mazzara, Iulian Ober und Gwen Salaün · Lecture Notes in Computer Science · Cham: Springer International Publishing, S. 558–572 · ISBN: 978-3-030-04771-9 · DOI: 10.1007/978-3-030-04771-9_42
- Koussaifi, Maroun, Sylvie Trouilhet, Jean-Paul Arcangeli und Jean-Michel Bruel (2019): „Automated User-Oriented Description of Emerging Composite Ambient Applications“ · *31st International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2019)* · Lisbonne, Portugal, S. 473–478
- Levenshtein, Vladimir I et al. (1966): „Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions, and Reversals“ · *Soviet Physics Doklady* · Bd. 10 · Soviet Union, S. 707–710
- Li, Qingde und John G Griffiths (2004): „Least Squares Ellipsoid Specific Fitting“ · *Geometric Modeling and Processing, 2004. Proceedings* · IEEE, S. 335–340
- Madgwick, S. O. H., A. J. L. Harrison und R. Vaidyanathan (2011): „Estimation of IMU and MARG Orientation Using a Gradient Descent Algorithm“ · *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, S. 1–7 · DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975346
- Miyafuji, Shio, Toshiki Sato, Zhengqing Li und Hideki Koike (2017): „Qoom: An Interactive Omnidirectional Ball Display“ · *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* · UIST '17 · New York, NY, USA: ACM, S. 599–609 · ISBN: 978-1-4503-4981-9 · DOI: 10.1145/3126594.3126607

- Mühl, Gero, Matthias Werner, Michael A. Jaeger, Klaus Herrmann und Helge Parzyjegl (2007): „On the Definitions of Self-Managing and Self-Organizing Systems“ · *Communication in Distributed Systems - 15. ITG/GI Symposium*, S. 1–11
- Müller-Schloer, Christian (2004): „Organic Computing - on the Feasibility of Controlled Emergence“ · English · *International Conference on Hardware/Software Codesign and Systems Synthesis* · IEEE Computer Society, S. 2–5 · DOI: 10.1109/CODESS.2004.241152
- Nami, Mohammad Reza und Koen Bertels (2007): „A Survey of Autonomic Computing Systems“ · *Third International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS'07)*, S. 26–26 · DOI: 10.1109/CONIELECOMP.2007.48
- Nigay, Laurence und Joëlle Coutaz (1993): „A Design Space for Multimodal Systems: Concurrent Processing and Data Fusion“ · *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems* · CHI '93 · New York, NY, USA: ACM, S. 172–178 · ISBN: 978-0-89791-575-5 · DOI: 10.1145/169059.169143 · URL: <http://doi.acm.org/10.1145/169059.169143> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Parra-Ullauri, Juan Marcelo, Antonio García-Domínguez, Luis Hernán García-Paucar und Nelly Bencomo (2020): „Temporal Models for History-Aware Explainability“ · *Proceedings of the 12th System Analysis and Modelling Conference* · SAM '20 · New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, S. 155–164 · ISBN: 978-1-4503-8140-6 · DOI: 10.1145/3419804.3420276
- Perelman, Gary, Marcos Serrano, Mathieu Raynal, Celia Picard, Mustapha Derras und Emmanuel Dubois (2015): „The Roly-Poly Mouse: Designing a Rolling Input Device Unifying 2D and 3D Interaction“ · *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* · CHI '15 · New York, NY, USA: ACM, S. 327–336 · ISBN: 978-1-4503-3145-6 · DOI: 10.1145/2702123.2702244
- Ragavan, Sampath Kumar Veera und Madhavan Shanmugavel (2016): „Engineering Cyber-Physical Systems — Mechatronics Wine in New Bottles?“ · *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, S. 1–5 · DOI: 10.1109/ICIC.2016.7919516
- Saidi, Housseem, Marcos Serrano, Pourang Irani und Emmanuel Dubois (2017): „TDome: A Touch-Enabled 6DOF Interactive Device for Multi-Display Environments“ · *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* · CHI '17 · New York, NY, USA: ACM, S. 5892–5904 · ISBN: 978-1-4503-4655-9 · DOI: 10.1145/3025453.3025661
- Scoditti, Adriano, Renaud Blanch und Joëlle Coutaz (2011): „A Novel Taxonomy for Gestural Interaction Techniques Based on Accelerometers“ · *Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent User Interfaces* · IUI '11 · New York, NY, USA: ACM, S. 63–72 · ISBN: 978-1-4503-0419-1 · DOI: 10.1145/1943403.1943414 · URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1943403.1943414> (zuletzt abgerufen am 21. 12. 2022)
- Stahl, Kristof, Bashar Altakrouri, Daniel Burmeister und Andreas Schrader (2016): „Documentation Generation Tool for Motion-Based Interactions“ · en · *HCI International 2016 – Posters' Extended Abstracts* · Communications in Computer and Information Science · Springer, Cham, S. 137–143 · ISBN: 978-3-319-40541-4 978-3-319-40542-1 · DOI: 10.1007/978-3-319-40542-1_22

- Varesano, Fabio und Fabiana Venero (2012): „Introducing PALLA, a Novel Input Device for Leisure Activities: A Case Study on a Tangible Video Game for Seniors“ · *Proceedings of the 4th International Conference on Fun and Games · FnG '12* · New York, NY, USA: ACM, S. 35–44 · ISBN: 978-1-4503-1570-8 · DOI: 10.1145/2367616.2367621
- Villar, Nicolas, Shahram Izadi, Dan Rosenfeld, Hrvoje Benko, John Helmes, Jonathan Westhues, Steve Hodges, Eyal Ofek, Alex Butler, Xiang Cao und Billy Chen (2009): „Mouse 2.0: Multi-touch Meets the Mouse“ · *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology · UIST '09* · New York, NY, USA: ACM, S. 33–42 · ISBN: 978-1-60558-745-5 · DOI: 10.1145/1622176.1622184
- Vlist, B. J. J. van der, G. Niezen, J. Hu und L. M. G. Feijs (2011): „Interaction Primitives: Describing Interaction Capabilities of Smart Objects in Ubiquitous Computing Environments“ · *AFRICON, 2011* · AFRICON, 2011, S. 1–6 · DOI: 10.1109/AFRCON.2011.6072101
- Wong, C.Y., D. McFarlane, A. Ahmad Zaharudin und V. Agarwal (Okt. 2002): „The Intelligent Product Driven Supply Chain“ · *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* · IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics · Bd. 4, 6 pp. vol.4- · DOI: 10.1109/ICSMC.2002.1173319
- Youngblood, G Michael, Edwin O Heierman, Lawrence B Holder und Diane J Cook (2005): „Automation Intelligence for the Smart Environment“ · *International Joint Conference on Artificial Intelligence* · Bd. 19 · Citeseer, S. 1513
- Zelkha, E, B Epstein, S Birrell und C Dodsworth (1998): „From Devices to Ambient Intelligence“ · *Digital Living Room Conference (June 1998)*

SONSTIGE

- Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (2015): *S3-Leitlinie: Analgesie, Sedierung und Delirmanagement in der Intensivmedizin 08/2015 - DAS - Leitlinie* · URL: https://www.awmf.org/uploads/tx%7B%5C_%7Dszleitlinien/001-0121%7B%5C_%7DS3%7B%5C_%7DAnalgesie%7B%5C_%7DSedierung%7B%5C_%7DDelirmanagement%7B%5C_%7DIntensivmedizin%7B%5C_%7D2015-08%7B%5C_%7D01.pdf (zuletzt abgerufen am 18.12.2018)
- Babaoglu, Ozalp, Márk Jelasity, Alberto Montresor, Christof Fetzer, Stefano Leonardi, Aad van Moorsel und Maarten van Steen (2005): „The Self-Star Vision“ · *Self-Star Properties in Complex Information Systems: Conceptual and Practical Foundations* · Bd. 3460 · Springer, S. 1–2
- DIVI (2021): *DIVI-Intensivregister (www.intensivregister.de)* · Data as of: April 16, 2021
- Ewers, Andre und Sabine Erbschwendtner (2014): „Entwicklung Und Bedeutung Der Gesundheitsfachberufe in der Intensivmedizin“ · *Die Intensivmedizin* · Springer, S. 31–37
- Fegbeutel, C., C. Jäger, K.-H. Schäfer und A. Haverich (2021): *Evaluation eines Kommunikationscomputers im intensivmedizinischen Verlauf von deutsch- und*

- nicht-deutschsprachigen herz-, thorax-, transplantations- und gefäßchirurgischen Patienten · Vortrag · Hannover
- Ferscha, Alois (2007): „Pervasive Computing: connected > aware > smart“ · *Die Informatisierung des Alltags: Leben in smarten Umgebungen* · hrsg. von Friedemann Mattern · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 3–10 · ISBN: 978-3-540-71455-2 · DOI: 10.1007/978-3-540-71455-2_1
- Fey, Görschwin und Rolf Drechsler (2020): „Self-Explaining Digital Systems: Technical View, Implementation Aspects, and Completeness“ · en · *Advanced Boolean Techniques: Selected Papers from the 13th International Workshop on Boolean Problems* · hrsg. von Rolf Drechsler und Mathias Soeken · Cham: Springer International Publishing, S. 1–20 · ISBN: 978-3-030-20323-8
- Freed, Ned und Nathaniel Borenstein (1996): *Multipurpose internet mail extensions (MIME) part one: Format of internet message bodies* · RFC 2045
- IBM (2003): *An architectural blueprint for autonomic computing* · IBM White paper
- Jankowski, Simona, James Covello, Heather Bellini, Joe Ritchie und Daniela Costa (2015): *The Internet of Things. Makings Sense of the Next Mega-Trend*. Goldman Sachs, Equity Research
- Madakam, Somayya und Takahiro Uchiya (2019): „Industrial Internet of Things (IIoT): Principles, Processes and Protocols“ · *The Internet of Things in the Industrial Sector: Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0* · hrsg. von Zaigham Mahmood · Computer Communications and Networks · Cham, Switzerland: Springer International Publishing, S. 35–53 · ISBN: 978-3-030-24892-5 · DOI: 10.1007/978-3-030-24892-5_2
- Mattern, Friedemann und Christian Floerkemeier (2010): „From the Internet of Computers to the Internet of Things“ · *From Active Data Management to Event-Based Systems and More: Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday* · hrsg. von Kai Sachs, Ilia Petrov und Pablo Guerrero · Lecture Notes in Computer Science · Berlin, Heidelberg: Springer, S. 242–259 · ISBN: 978-3-642-17226-7 · DOI: 10.1007/978-3-642-17226-7_15 · URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-17226-7_15 (zuletzt abgerufen am 25. 11. 2021)
- Mlostek, Malgorzata (2021): *Entwicklung Einer Plattform Für Dynamische Tutorials Im Rahmen Des Projektes ACTIVATE* · Bachelorarbeit · Universität zu Lübeck
- Ozyagcilar, Talat (2011): *Layout recommendations for PCBs using a magnetometer sensor* · Freescale Semiconductor Application Note
- Ozyagcilar, Talat (2012): *Calibrating an Ecompass in the Presence of Hard and Soft-Iron Interference* · Freescale Semiconductor Application Note
- Pruvost, G., T. Heinroth, Y. Bellik und W. Minker (2011): „User Interaction Adaptation within Ambient Environments“ · *Next Generation Intelligent Environments: Ambient Adaptive Systems* · hrsg. von Wolfgang Minker und Tobias Heinroth · New York, NY: Springer, S. 153–194 · ISBN: 978-1-4614-1299-1 · DOI: 10.1007/978-1-4614-1299-1_5
- Seyfeddinipur, Mandana (2012): „Reasons for Documenting Gestures and Suggestions for How to Go about It“ · *The Oxford Handbook of Linguistic Fieldwork*

LEBENS LAUF DES AUTORS

PERSÖNLICHES

Name Börge Kordts



AUSBILDUNG

SCHULE

2001 – 2008 Abitur
Gymnasium Buxtehude Süd

HOCHSCHULE

2009 – 2012 Bachelor of Science Informatik
Universität zu Lübeck

2012 – 2015 Master of Science Informatik
Universität zu Lübeck

BERUFLICHE STATIONEN

INDUSTRIE

2013 –2014 Werkstudent in der Softwareentwicklung
cbb Software GmbH

2015 –2016 Softwareentwickler
interactive digital media GmbH

HOCHSCHULE

seit 2017 Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Universität zu Lübeck – Institut für Telematik