

8. VDI/VDE Fachtagung

# USEWARE 2016

Mensch-Technik-Interaktion  
im Industrie 4.0 Zeitalter



# VDI-Berichte 2271



# VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH





8. VDI/VDE Fachtagung

# USEWARE 2016

Mensch-Technik-Interaktion  
im Industrie 4.0 Zeitalter

Dresden, 06. und 07. Oktober 2016



# VDI-Berichte 2271

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**  
(German National Library)  
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie  
(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2016

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092271-3

## Inhalt

	Seite	
Vorwort / Einführung	1	
<b>Plenarvortrag</b>		
<i>N. Streitz</i>	Opportunities and Risks of Digitalization in the Context of Smart Hybrid Cities and Airports	5
<b>Analyse</b>		
<i>E. Brandenburg, A. Geiger, U. Rothenburg, R. Stark</i>	Anforderungsanalyse einer Montagesimulationssoftware zwecks Aufwandsminimierung manueller Konfigurationsaufgaben	15
<i>M. Koller, G. Meixner</i>	Aufgabenmodelle in der industriellen Praxis: Zentrale Punkte für die tägliche Nutzung – Eine Pilotstudie zur Nutzung von Aufgabenmodellen	25
<i>M. Bosse, S. Siwek, C. Wölfel, J. Krzywinski</i>	Product Experience of Industrial Goods: An exploratory investigation in multigenerational groups in developing countries	37

## Interaktion / Eingabemodalitäten

C. Müller, F. Gärtner	Berührungsreiches Point-of-Sale-Terminal – Herausforderungen und Lösungen zur berührungslosen Steuerung durch ungeübte Benutzer im öffentlichen Raum am Beispiel eines industriellen Prototyps	41
R. Kniewel, L. Schmidt	Empirischer Vergleich der Ablenkung der visuellen Aufmerksamkeit von einer Konzentrationsaufgabe durch Benachrichtigungen auf Smartwatch und Smartphone	53
T. Seeling, A. C. Bullinger, E. Fricke, D. Schöller	Natürliche User Interfaces durch den Einbezug von Nutzern gestalten: Implikationen für ein Entwickler-Gestenmanual	65
M. Radziwill, R. Kniewel, L. Schmidt	Gebrauchstauglichkeit und kontextabhängige Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Steuerung in Bezug auf jüngere und ältere Nutzer	81

## Plenarvortrag

T. Cadera, F. Fuchs	Wieviel Trend verträgt gute USABILITY?	93
------------------------	--	----

## Ergonomie

P. Pomiersky, M. Renschler A. Wackenhut, T. Maier	Automatisierte Erzeugung von Ergonomievorgaben für den Fahrerarbeitsplatz mittels eines parametrischen CAD-Modells und eines digitalen Menschmodells	111
R. Mandel, T. Maier	Prüfstandsbasiertes Modell der Raumwirkung im Fahrzeugcockpit	125
B. Janny, M. Schwark, T. Maier	Experimentelle Untersuchung des Alterseinflusses auf die Gestaltung taktiler Druck- und Vibrationsanzeiger für den Unterarm und Hüftbereich	139

## Kollaboration und Assistenz

<i>F. Quint,</i>	Ein Kollaborationssystem zur verbesserten Zugänglichkeit von Wissensressourcen in Produktionsumgebungen	153
<i>F. Loch,</i>		
<i>J. Kreutel,</i>		
<i>P. Pollmanns,</i>		
<i>H. Weber,</i>		
<i>J. Venitz,</i>		
<i>J. Liedel,</i>		
<i>S. Drissi</i>		
<i>S. Heinze,</i>	Förderung kollaborativer Interaktion mittels aspektorientiert adaptiven HMIs	165
<i>J. Ziegler,</i>		
<i>L. Urbas</i>		
<i>A. Knöfel,</i>	Interfacekonzepte für präsente Assistenten – Vergleich verschiedener Interfacekonzepte im Hinblick auf deren Einsatz als Studienmaterial für UX-Untersuchungen	177
<i>M. Müller,</i>		
<i>R. Groh,</i>		
<i>J. Krzywinski</i>		

## Erweiterte und virtuelle Realitäten

<i>R. Herrmann,</i>	Evaluation des Leitstands eines Boden-Luft-Service-robotiksystems für eine Produktionsumgebung	187
<i>J. Hegenberg,</i>		
<i>L. Schmidt</i>		
<i>J. Ziegler,</i>	Integration von Virtuellen Realitäten in industrielle Arbeitsprozesse – Eine Fallstudie am Beispiel eines 3D-Anlagenmodells und einer Google Cardboard VR Anwendung	201
<i>S. Heinze</i>		
<i>T. Kosch,</i>	MotionEAP – Ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion	213
<i>R. Kettner,</i>		
<i>M. Funk,</i>		
<i>A. Schmidt</i>		



## Vorwort / Einführung

Im Mittelpunkt der **8. Fachtagung USEWARE 2016** steht der Mensch im Industrie-4.0-Zeitalter.

Intelligente Komponenten kommunizieren schon heute eigenständig über eingebettete Mobilfunk und Internettechnologien mit der Produktionsanlage und veranlassen bei Bedarf eine Reparatur durch den Menschen.

Das Potential der Digitalisierung in der Industrie steht aber erst am Anfang. Insbesondere die enge Verzahnung von Aspekten des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informatik ermöglichen ungeahnte Chancen. Die Mensch-Technik-Interaktion steht vor einer Reihe von Fragen, die es zu beantworten gilt:

- Welche Interaktionstechnologie ist für die Anwendungsszenarien in digitalen Wertschöpfungsnetzen (Industrie 4.0) besonders geeignet?
- Welche Art der Visualisierung ist bei großer Datenmenge auf dem kleinen Display einer Datenbrille optimal für den Mensch?
- Wie gelingen Übergänge zwischen großen Displays für die Teamarbeit, beispielsweise Powerwall, und individuellen Wearable Computer?
- Wie müssen Konzepte, die im Consumer-Bereich erfolgreicher sind, für den industriellen Einsatz angepasst werden?
- Wie verhalten sich Menschen und interagieren mit solchen Systemen?

Während der Tagung treffen sich Ingenieure, Informatiker, Psychologen und Designer in Dresden um praxisnahe Lösungen auszutauschen, neue Ideen zu finden und miteinander zu diskutieren.

Die Tagungsleiter

**Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas**

**Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner**

## Programmausschuss

**Prof. Dr. phil. Klaus Bengler**, Technische Universität München, Garching

**Prof. Dr.-Ing. Raimund Dachselt**, Technische Universität Dresden

**Dr. Dipl.-Inf. Peter Klein**, User Interface Design GmbH, Ludwigsburg

**Jun. Prof. Dr.-Ing. Jens Krzywinski**, Technische Universität Dresden

**Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner**, Hochschule Heilbronn (Tagungsleiter)

**Dr.-Ing. Holger Oortmann**, Siemens AG, Erlangen

**Dipl.-Des. Axel Platz**, Siemens AG, München

**Dr.-Ing. Christiane Pociennik**, DFKI, Kaiserslautern

**Dr.-Ing. Christoph Runde**, Virtual Dimension Center, Fellbach

**Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt**, Universität Kassel

**Prof. Dr.-Ing. Werner Schreiber**, Volkswagen AG, Wolfsburg

**Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas**, Technische Universität Dresden  
(Vorsitz und Tagungsleiter)

**Dr.-Ing. Jens Ziegler**, Technische Universität Dresden

**Prof. Dr.-Ing. Detlef Zühlke**, DFKI, Kaiserslautern

## Fachliche Träger

### **Forschungsplattform Mensch-Technik-Kooperation, Technische Universität Dresden**

Die Forschungsplattform Mensch-Technik-Kooperation an der Technischen Universität Dresden bündelt Disziplinen übergreifend Aktivitäten auf dem Gebiet der Zusammenarbeit von Menschen mit technischen Systemen und neuartigen Technologien. Theorien, Methoden und Werkzeuge zur Analyse, Bewertung und Gestaltung der Mensch-Technik-Kooperation werden für eine breite Palette von cyber-physischen Systemen in Agrartechnik, Verfahrenstechnik, Fertigungstechnik, Robotik und Mechatronik untersucht und weiter entwickelt.

### **UniTyLab, Hochschule Heilbronn**

Das Usability and Interaction Technology Laboratory (UniTyLab) der Hochschule Heilbronn beschäftigt sich domänenübergreifend mit der Optimierung der Mensch-Technik-Interaktion. Dabei stehen die Anwendung eines menschzentrierten Entwicklungsprozesses nach DIN EN ISO 9241-210 sowie die Exploration, Entwicklung, Transfer und Evaluation von innovativen Interaktionstechnologien im Fokus der angewandten Forschungsaktivitäten.

Weitere Informationen unter <http://www.unitylab.de>

### **VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik**

Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) ist eine gemeinsame Fachgesellschaft des VDI und des VDE. In über 70 Gremien werden aktuelle Fragestellungen zur Mess- und Automatisierungstechnik und zu Optischen Technologien behandelt. Handlungsempfehlungen in Form von VDI-Richtlinien, Erfahrungsaustausch und Veranstaltungen sind Ergebnisse der GMA-Aktivitäten. [www.vdi.de/gma](http://www.vdi.de/gma)



# Opportunities and Risks of Digitalization in the Context of Smart Hybrid Cities and Airports

Dr. rer. nat. Dr. phil. **Norbert Streitz**,  
Smart Future Initiative, Frankfurt

## Abstract

This keynote presentation starts out by providing the context of living in the Urban Age and reflecting on different concepts for developing the “city of the future”. The focus is on public spaces and on the notion of “transient spaces” which is also applied when viewing airports as scaled-down transient cities. The second part introduces basic concepts of what is considered to be a “smart” city, e.g. a city that is equipped with self-awareness. This is followed by introducing the concept of “hybrid” cities, i.e. integrating the virtual, digital world with the real, physical world. The “smart city” platform enables many opportunities based on the availability of information about people as well as states of urban objects. “Smart services” are offered by exploiting this infrastructure and matching people’s profiles and interests with service options available at specific locations. The third part presents general design issues and approaches, e.g., citizen-centered design, the shift from information design to experience design, and the “keep-the-human-in-the-loop” principle as requirements for developing a humane, sociable and cooperative smart hybrid city. The fourth part addresses the risks resulting from smart city installations, especially focusing on serious infringements of privacy rights, i.e. usage of personal data without consent of the people concerned. Finally, the conclusions summarize the goal of designing and implementing a “humane sociable and cooperative, smart hybrid city” reconciling humans and technology and enabling people to exploit their creative, social and economic potential and lead a self-determined life.

## 1. Cities and Airports as Urban Environments

### 1.1 Urban Age

According to the United Nations, word population will rise from 7.3 billion in 2015 to 8.5 billion in 2030 and 9.7 billion in 2050. Population in cities will rise to about 6.5 billion in 2050. Then, 2/3 of the world population will live in cities with the growth taking place especially in Asia and Africa, where we can observe already for some time how urban migration results in so called “megacities”. With more than 50% of the population living already now in urban areas, cities have been and will increasingly become the central hubs of determining life in the 21th century, resulting in what has been called the “Urban Age”. While this context is always to be

kept in mind, the focus of this presentation is on the role of information and communication technology for designing smart cities. Of course, there is a wide range of other issues, for example, socio-economic aspects and issues with respect to implementing ecological, sustainable, green cities. They are very important but beyond the scope here. Furthermore, it should be made clear that smart cities could be one way of addressing some of the problems of the urban age, but it is only one perspective and not at all a solution for all problems.

## 1.2 Public Spaces and Transient Spaces

Quality of life and economic prosperity will largely depend on the ability of cities to exploit their full potential. Therefore, it is important to explore the type and range of different activities in urban environments. At the same time, contemporary life styles become less focused and increasingly multidimensional. People's lives are taking place betwixt and between multiple offers and options. People's roles change within short time frames due to parallel activities in co-located situations.

A multitude of features and built instantiations characterizes urban environments: living quarters, public administration and enterprise office buildings, industrial facilities, markets, shopping and entertainment facilities, restaurants, hotels, sport facilities, parks, places, streets, bridges, towers - just to name a selection. Buildings and spaces have their infrastructures and are populated by people, animals, plants, vehicles and other mobile as well as stationary objects. These lists are not intended to be complete. They only serve the purpose of providing context for the following reflections. In my presentation, I am limiting the discussion mainly to applications in public spaces. Nevertheless, many of the considerations and requirements can also be applied and transferred to smart homes, smart office buildings, schools, etc.

"Public spaces" provide a special function by being accessible to more or less all citizens, often serving also in a "connecting" function between many of the built objects listed above. The public parts of most urban environments (e.g., streets, parking lots, places, markets, bridges, foyers, shopping malls, passenger areas in train/bus stations and airports) can be characterized as "transient spaces". Within the limitations of this paper it is not possible to explore the concept of "transient spaces" in full detail here. Transient spaces in the urban and public context can be characterized by a certain degree of mobility when passing-through (e.g., getting from the entrance of the airport to the check-in area or the boarding gate) or by staying in such a space, e.g., in a waiting area, for a limited period of time, alt-

ough it can sometimes turn out to be unexpected long when the plane is delayed or the train/subway/bus is even canceled.

### **1.3. Airports as Transient Cities**

One important characteristic of airports is that they are mainly based on the notion of “transient spaces”, where especially passengers, but also crew members and other temporary personnel, stay only for a limited period of time. On the other hand, the range and type of activities are very similar to activities of people in public city spaces. Thus, one could consider airports as transient cities and model airports with respect to several dimensions as scaled down cities with a prominent existence and distribution of transient spaces, especially when taking the passenger perspective.

While there is currently a strong emphasis on designing “future cities”, the application domain of “future airports” is discussed only in a few research communities. This is quite surprising, because airports are already now very important hubs of transportation and logistics activities and their relevance will increase affecting millions of people. One could compare their role in this century with highways in the last century, railroads in the 19th century and seaports in the 18th century. Furthermore, it is a very interesting domain for research and studies due to its well defined location and usage scenarios.

## **2. Hybrid, Smart Cities based on Smart Ecosystems**

The basis for building smart cities is to establish an information and communication technology (ICT) infrastructure that allows instrumenting all kinds of physical objects (including humans, animals, plants). Beyond having different types of connectivity in place, the emphasis is on attached or embedded sensors and actuators and - at a more advanced level – integrated smart materials. This infrastructure serves also as the base for the Internet of Things (IoT), by some also called Internet of Everything (IoE).

### **2.1 Smart Ecosystems**

While the current approach is mainly determined by embedding individual sensors and actuators, I predict a shift towards a computing, communication, sensing and interaction “substrate” that can be handled at the application or domain level. Outdoor examples would be smart street-surfaces, building façades and windows while indoors we will find smart table-cloth, smart wall-paper and smart paint. This requires a seamless integration of components with a high degree of diffusion which would lead to an emergent smartness of the overall

environment that might soon parallel other existing ecosystems. Especially in the context of a smart city, the computer as a “visible” distinctive device disappears, either physically due to being integrated in the environment or mentally from our perception, thus providing the basis for establishing a calm technology. This is the core of the “Disappearing Computer” approach [1], [2], which also has serious consequences for issues of privacy to be discussed later.

## 2.2 Smart Cities and Self-Awareness

There are different concepts and terms associated with the ICT- instrumentation of cities, too many to be covered here. I focus on two aspects why one can call a city a “Smart City”. The first notion is based on the general deployment of ICT for its realization (see above). This includes pervasive computing and ambient intelligence infrastructures and transforming urban environments into interactive spaces that are meant to be adaptive, responsive and smart. Combining information and experience spaces with ubiquitous and pervasive computing in urban contexts results in what one would call a “Smart City”.

The second notion I favor is that the “smartness of a city” can also be characterized by how much the city knows about itself and how this is communicated to its citizens. Examples are feedback on air and sound pollution level in the city. Providing awareness and experiences in public spaces is one way to convey the status of the city which in turn requires exploiting different human senses (e.g., visual, audio, tactile). One can use different ways of communication: information by posting real time data on websites, using ambient displays in transient public spaces, providing personalized/ individualized awareness, using visual information via overlay displays (e.g., augmented reality type glasses), using local sound (in earphones) or tactile hints using vibrations conveyed by your clothes.

Konomi et al. [3] developed a very good example of enabling and communicating self-awareness by measuring urban congestion in trains of the Tokyo subway system. It applies a clever approach of using indirect measures (the CO<sub>2</sub> level in the train compartments) for determining the congestion level (the more CO<sub>2</sub>, the more passengers). At the same time, his method is an example that collecting necessary data might also involve the active and consenting participation of citizens in what is called the “Civic Computing” approach.

## 2.3 Hybrid Cities

Augmenting physical objects, e.g., in urban environments and taking the notion of an Internet of Things seriously, the term “Hybrid World” as the combination of real worlds and digital/

virtual worlds is an obvious consequence. All physical objects in the real world end up with having a digital representation (also called “digital shadows”) in the virtual world. Depending on the level of detail of modeling the real world, there will be different digital representations for different purposes. Applying this distinction and combination to urban contexts we arrive at denoting them as “Hybrid Cities” [4]. I favor this term very much and have used it already for a long time (since 2008), because it reflects my understanding that we have to address the connection, balance and interaction of real worlds and virtual worlds, if we want to get the full picture of what is relevant for the design of our future cities, resp. for the city of the future.

## 2.4 Opportunities and Applications of the Smart City Platform

Having established a ubiquitous and pervasive computing and ambient intelligence infrastructure, the next step is to exploit it by collecting, aggregating, evaluating, and processing data from sensors distributed and embedded in the urban environment. The resulting data will enable creating knowledge about people as well as states and changes of associated mobile and stationary objects (devices ranging from smartphones to vehicles, from street lights to buildings, etc.). We will observe a transformation into ambient intelligent environments, where all activities can be monitored and smart services can be provided as offers to people based on personal profiles and interests via matching processes with options and possibilities that are available at these places (=> personalized location-based services). While there is no space here, the presentation will show several application examples: smart cars, smart parking, smart streets and their components (surfaces, lights), etc.

## 3. Design Issues

### 3. 1 User-Centered Design turns into Citizen-Centered Design

The overall goal of designing future or refurbishing existing cities should be: *A Humane, Sociable and Cooperative Smart, Hybrid City* [4,5] reconciling humans and technology by

- enabling citizens to exploit their individual, creative, social and economic potential and to live a self- determined life.
- motivating citizens to get involved, to understand themselves as part of a community, and to be actively engaged by contributing to the public good and welfare (=> collective intelligence, selected aspects of the Greek ‘agora’).
- meeting some of the challenges of the urban age by enabling people to experience and enjoy everyday life and work.
- establishing a calm technology that supports and respects individual and social life by keeping the “human in the loop”.

- viewing the city and its citizens as cooperation partners, where the city is smart in the sense of being self-aware about itself and cooperative towards its citizens by supporting them in their activities.

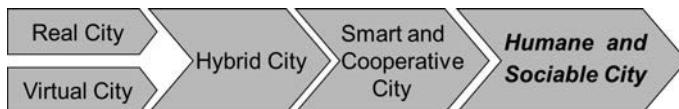


Fig. 1: Relationships of different city characteristics

The idea of the *Cooperative City* is based on our earlier work on Cooperative Buildings and Roomware [6]. In this tradition, I propose to apply human-centered design principles that have proven useful, e.g., in human-computer interaction, in this context as citizen-centered design. Nevertheless, one has to keep in mind that the smart city poses also new challenges.

### 3.2. Shift from Information Design to Experience Design

The overall design approach that I have propagated and employed over the last 30 years is a people-centered design of information, interaction and experiences by “keeping the human in the loop”. I will come back to it when discussing the trade-offs of smart environments. One has to observe and maintain an interaction and balance of mental structures (cognitive, emotional), information structures, social structures and architectural structures of the built environment. This design approach requires interdisciplinary teams with backgrounds in computer science, electrical engineering, product and graphic design, art, architecture, psychology, sociology, economics.

An important change of emphasis over the last 15 years is the shift from information design to experience design. Designing experiences and controlling them is a major objective. One has to distinguish between “direct experiences/ perceptions”, using our human senses, and “indirect, mediated experiences” by making “invisible” phenomena “visible/perceptible” by mapping parameters on modalities accessible to the basic human senses.

A classic example originates from physics, where the level of radioactivity is measured by the Geiger-Müller counter which allows communicating the output also via auditory/sound feedback. A similar approach has been used in information technology, where, e.g., the amount of traffic on a computer network was mapped on sound samples of street noise.

The next step is to aggregate parameters in order to convey higher level concepts (e.g., activities of a person, atmosphere or ambience of a space, a building) or even to communicate

social experiences (e.g., awareness, connectedness). With respect to the airport application scenario the focus will be on providing a pleasant passenger experience.

### **3.4. Keeping the “Human in the Loop” so that Smart Spaces Make People Smarter**

Based on our earlier work [7], I like to distinguish between “system-oriented, importunate smartness” and “people-oriented, empowering smartness”. The first refers to more or less automated or even autonomous system behavior based on the interpretation of collected data. In order to remedy the problems of proactively driven actuators, we propagated then the “people-oriented, empowering smartness” [7], which implies that the “human is in the loop” comparing several options and then taking decisions, which might be partially based on suggestions from the system. The implication of “keeping the human in the loop” can also be stated as “smart spaces make people smarter”, because people can now base their decisions on data collected and processed and thus take more mature and informed actions based on recommendations and suggestions of the system. This approach is getting increasingly popular as work on soft actuation in pervasive computing shows. But there is a caveat to it: How much feedback do we want? How many data can we process? At which level of the data collection and aggregation process do we want or are we able to be involved? As often with this kind of dichotomies, there is no either-or. In the end, it will be a combination of some degree of automation and pre-processing followed by human decisions and actions. The important point is that human intervention and control is possible, i.e. the data belong to the people, and the degree of automation is configurable by the human.

## **4. Privacy Risks and how to address them by Design**

There is no doubt that the smart city approach provides multiple opportunities which have been described by many authors and are therefore not repeated here. At the same time, there are threats that have been articulated. One is the increase of the already existing dependencies on reliable and working ICT-infrastructures. Another one is providing security by being prepared for and fighting criminal manipulations and cyber-attacks. In this presentation, we want to address the third major risk for citizens in a smart city, i.e. the loss of privacy in terms of losing the control over personal data. While the current discussions on privacy focus mainly on the virtual world (e.g., misuse in social media networks), the more prevalent issues will surface in the smart city context concerning the personal data of citizens in the real, resp. hybrid world. The discussion of privacy issues here is based on earlier work by me [5].

Privacy issues are tightly connected with a tricky trade-off for creating smartness. A smart system will usually be smarter with respect to a service offered if it has more knowledge about the person compared to a system with no or insufficient data. Thus, there is an interaction and balance between collecting and processing data for tailoring functionality to make the system ‘smart’ and the right of citizens to be in control over which data are being collected, by whom, how they are used, i.e. the issue of privacy. As a side comment here, it is interesting to observe that many people are willing to provide their data for certain benefits (e.g., loyalty/ payback cards, lotteries, sweepstakes). In some cases, they are even voluntary uploaded by the citizens, be it as unsolicited “selfies” and videos, augmented glasses recordings of activities or sensitive health data being part of a fitness or “quantified self” app.

Especially in public and transient urban spaces, there are obvious design issues and implications for privacy: How can people know what is going on, when they are not aware of being tracked, when they cannot “see” the different sensors, the manifold devices distributed in the urban environment due to the above mentioned Disappearing Computer approach? Thus, we argue for so called Privacy Enhancing Technologies (PETs) [1] and for “Privacy by Design” [5], i.e. to make privacy a first-order objective of system design. This requires addressing the conflict of unobtrusive data collection vs. human control over the data at an early stage of the overall system design.

Privacy used to be a legal and moral right and in many cases a socially negotiated feature. Now, privacy is turning into a commodity you pay for and you can trade – with the implication that privacy is becoming a privilege. In many cases, people are not really aware that the loss of their privacy is the price they pay for a seemingly free product or service, because they pay with their data. When discussing privacy, one should distinguish two aspects: Outgoing data (being collected via logging, tracking, and surveillance) vs. incoming data (resulting from intrusion, unsolicited communication). Both aspects have different but severe consequences. Although privacy is already an issue, it will become even more important in smart hybrid cities [4]. While in the virtual world, you can – to a certain degree – still use fake identities and anonymization services it will be more difficult to achieve this kind of disguise in the real world. The data that exist about you in the virtual world are now complemented by real world data and vice versa. Cameras are showing pictures of you entering a building, a shop or a public space with known locations, while face recognition identifies your personal identity. Real objects you are wearing, carrying, using, buying will be recognized by sensors in the environment because these objects are tagged.

The bicycle or car you are driving is a tagged object broadcasting its location and properties resulting in trajectories of your driving; but also your walking behavior is transparent when carrying a smart phone (based on radio signal multilateration or GPS). It will become more and more difficult to avoid object and person tracking, because soon all objects and their parts will be tagged, respectively have integrated IDs. Location-based services in a smart hybrid city exploit not only your location and preferences but can be used to build up a complete profile by monitoring your activities (e.g., buying goods, eating food, looking at public displays/ advertisements, contacting people), when and where, including also other people present or involved in the situation. Unsolicited offers and advertising on your mobile phones and soon on public displays you are looking at or passing by, may compromise your preferences in public to people around you. This future predicted for 2054 in the movie "Minority Report" (created in 2002) seems to be very close now.

Who can really predict what will happen to all the data generated in the real environment (either unobtrusively collected or voluntarily provided) and then stored up in the "clouds" of numerous service providers and manufacturers, especially when these servers are based in a country that have no or very limited privacy and data security legislation?

## 5. Conclusions

There is agreement that the smart hybrid city proposal contains many opportunities. But one should also be aware that there are several risks requiring the discussion of pros and cons. It is my opinion, that the smart city promises will only survive and be successful if our future cities are designed as *Humane Sociable and Cooperative Smart, Hybrid Cities reconciling humans and technology*. Urban environments should be designed to enable people to exploit their creative, social and economic potential and lead a self-determined life. Therefore, we all have to start or to revive activities taking a stand for personality rights and privacy and data security (in German: 'Recht auf informationelle Selbstbestimmung', i.e. personal data belong to the citizens). This claim is more than a liberal rights movement as some might denigrate it. I am convinced that "privacy by design" could even be a competitive advantage, a USP (unique selling proposition) in the global market, where Europe and Germany in particular could take a lead by reflecting on its basic democratic and ethical values.

## References

- [1] Streitz, N., Kameas, A., Mavrommati, I. (Eds.): *The Disappearing Computer: Interaction Design, System Infrastructures and Applications for Smart Environments*. LNCS 4500, Springer-Verlag, 2007.
- [2] Streitz, N., Nixon, P.: *The Disappearing Computer*. Guest Editors' Introduction to Special Issue. *Communications of the ACM* (March 2005), pp. 33-35.
- [3] Konomi, S., Shoji, K., Ohno, W.: Rapid Development of Civic Computing Services: Opportunities and Challenges. In: Streitz, N. & Stephanidis, C. (Eds.), *Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*. LNCS 8028, Springer-Verlag (2013), pp. 309 – 315.
- [4] Streitz, N.: Citizen-Centered Design for Humane and Sociable Hybrid Cities. In: Theona, I. & Charitos, D. (Eds.), *Hybrid City 2015 - Data to the People*. University of Athens, Greece (2015), pp. 17-20.
- [5] Streitz, N.: Smart Cities Need Privacy by Design for Being Humane. In: Pop, S., Toft, T., Calvillo, N., Wright, M. (Eds.), *What Urban Media Art Can Do - Why When Where and How?* Verlag avedition (2016), pp. 268 – 274
- [6] Streitz, N., Geißler, J., Holmer, T.: Roomware for Cooperative Buildings: Integrated Design of Architectural Spaces and Information Spaces. In: Streitz, N., Konomi, S., Burkhardt, H.-J. (Eds.), *Cooperative Buildings – Integrating Information, Organization, and Architecture*. LNCS 1370. Springer-Verlag (1998), pp. 4-21.
- [7] Streitz, N., Röcker, C., Prante, T., van Alphen, D., Stenzel, R., Magerkurth, C.: Designing Smart Artifacts for Smart Environments. *IEEE Computer* (March 2005), pp. 41-49.

# Anforderungsanalyse einer Montagesimulationssoftware zwecks Aufwandsminimierung manueller Konfigurationsaufgaben

**Elisabeth Brandenburg** M.Sc., Dipl.-Sporting. **Andreas Geiger**,  
Dipl.-Ing. **Uwe Rothenburg**, Prof. Dr.-Ing. **Rainer Stark**,  
Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik,  
Berlin

## Kurzfassung

Die Entwicklungen der Industrie 4.0 stellen nicht nur technische Herausforderungen an die Entwickler, sondern verursachen auch Veränderungen in der Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. Möglichkeiten der Absicherung von Mensch-Maschine-Systemen gibt es in der virtuellen Produktionsentstehung, beispielsweise durch digitale Menschmodelle. Hier werden zumindest die physisch-ergonomischen Aspekte der zukünftigen Nutzer in smarten Fabriken simuliert und optimiert. Die hier durchgeführte Nutzungskontext- und Aufgabenanalyse untersucht ein solches Simulationswerkzeug, mit dem Ziel dessen Gebrauchstauglichkeit zu verbessern. Besonders die Aufgabenanalyse zeigt, dass die Konfigurationsschritte zur Einrichtung des digitalen Menschmodells an eine spezifische Arbeitsaufgabe sehr aufwändig sind. Insbesondere müssen von den Simulationsingenieuren Entscheidungen getroffen werden, die ausschließlich auf Erfahrungen beruhen. Diese Entscheidungsfindungen sollen zukünftig unterstützt werden. Um die Lösung nutzergerecht zu gestalten, werden aus der Nutzungskontext- und Aufgabenanalyse Nutzungsanforderungen abgeleitet. Weiterhin wird ein Lösungsansatz, welcher Methoden aus der kognitiven Modellierung und der Virtuellen Realität enthält, diskutiert.

## Abstract

The development of industry 4.0 is not just a technical challenge for the developer, it is also causing changes in designing human-machine interaction. Virtual product creation provides opportunities to hedge human-machine systems, e. g. by digital manikins. On doing so at least physical ergonomic aspects of future users in smart factories are simulated and optimized. The performed usability context and task analysis is examining such a simulation tool with the aim to improve the usability. Particularly the task analysis shows that the configuration steps to set up a digital manikin for a specific work task are very complex. In particular,

the simulation engineer's decisions must be made based solely on experiences. This decision making should be supported in future. To design the solution user-friendly usage requirements are deduced based on usability context and task analysis. Furthermore an approach to a solution containing cognitive modeling and virtual reality is discussed.

## 1. Motivation

Die Entwicklung hin zu smarten Fabriken, intelligenten Maschinen und Prozessen ist ein Ergebnis der vierten industriellen Revolution, Industrie 4.0. In dieser neuen, vernetzten Umgebung ändern sich auch die Bedingungen und Arbeitsaufgaben für Produktionsarbeiter. Insbesondere für Problemlösen, proaktive Planung und Steuerung, aber auch für Ausführung und Überwachung sind Menschen in der Smart Factory unabdingbar [1], [2]. Die virtuelle Absicherung gewinnt also an zunehmender Bedeutung für die Gewährleistung geeigneter Arbeitsplätze.

Für die virtuelle Absicherung sind digitale Modelle aller relevanten Objekte vonnöten. Das modellbasierte Entwickeln beispielsweise postuliert eine „rechnerunterstützte, formale Modellbildung [...] entlang aller entwicklungsrelevanten Phasen des Produktlebenszyklus mit der Zielsetzung der Weitergabe des Modells in die nächste Entwicklungsphase“ [3]. So entstehen Modelle des Produktes, aber auch der Produktionsumgebung, mit dem Ziel, auch die Fabrik und deren Produktionsstrecken abzusichern.

Das Prinzip der Smart Factory aus der Industrie 4.0 greift eben diese Voraussetzung auf und erlaubt die Fabriksimulation mittels zahlreicher Modelle der Maschinen, Produkte und Produktionsprozesse. Auch digitale Modelle von Arbeitern kommen hier zum Einsatz. Denn ein Aspekt der Produktionsabsicherung ist die Prüfung der Ergonomie von Montagearbeitsplätzen. In Bild 1 ist eine Möglichkeit der Montagesimulation zu sehen.

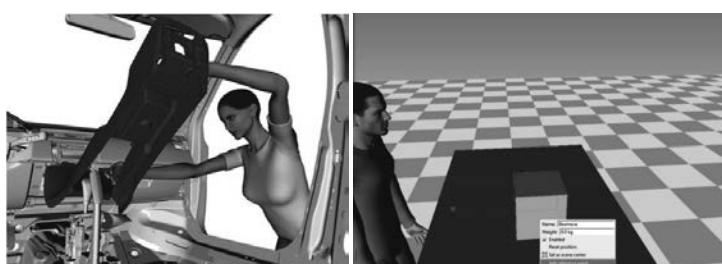


Bild 1: Montagesimulation einer Mittelkonsole mit dem am FCC entwickelten digitalen Menschmodell IMMA.

Ein Arbeitsplatz gilt dann als ergonomisch, wenn u. a. ungünstige Körperhaltungen, zu hohe Kraftaufwände im Finger-Hand-Arm-Bereich und häufige Bewegungen der Finger und Hände vermieden werden [4]. Heute werden diese Absicherungen mithilfe von digitalen Menschmodellen (digital human model: DHM) durchgeführt. Ein Beispiel ist *IMMA* (Intelligently Moving MAnikin: IMMA) [5], ein intelligentes Menschmodell, welches selbstständig einen kollisionsfreien Pfad zur Ausführung der Montageaufgabe berechnet. Auf Basis dieses Bewegungspfades des DHM kann dann beispielsweise, als ein Maß der Ergonomie, die körperliche Belastung abgeleitet werden [5].

Eines der Ziele von *IMMA* ist es, durch Nutzerfreundlichkeit der Simulationssoftware die Notwendigkeit von Expertise bei der Bedienung zu reduzieren. Weitere Entwicklungen sollen *IMMA* durch Simulation von 3D-Muskeln oder Bewegungsberechnung mit Optimalsteuerung erweitern [6]. Dies kann durch die selbstständige Berechnung des Bewegungspfades des Monteurs gewährleistet werden. Im Voraus ist bislang eine umfangreiche Konfiguration des Menschmodells, der zu montierenden Objekte und insbesondere des Greifens notwendig. In diesem Beitrag soll daher eine Analyse durchgeführt werden, die darauf abzielt, die aufwändige Konfiguration zu beschreiben und Anforderungen an eine neue Lösung zu formulieren.

## 2. Anforderungsanalyse

Möglichkeiten der Anforderungsanalyse sind Interviews, Personas, Fragebögen, Nutzungs-kontextanalysen, Aufgabenanalysen und Nutzungsszenarios (Use Case). Für diesen Artikel wurden zwei dieser Methoden verwendet, um die Probleme der bestehenden Konfigurations-schritte des DHM zu identifizieren und nutzungsorientierte Anforderungen zu formulieren. Es wurden sowohl eine Nutzerbefragung als auch eine Aufgabenanalyse durchgeführt. In der Nutzerbefragung wird der Nutzungskontext und das Nutzungsverhalten mit der Software erfasst. Nach dem Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme [7] beschreibt der Nutzungskontext die folgenden Elemente:

- Benutzer und sonstige Interessengruppen: Relevante Gruppen werden identifiziert und ihre Ziele und Einschränkungen in Bezug auf die Software beschrieben.
- Merkmale der Benutzer oder Benutzergruppen: Benutzermerkmale wie Kenntnisse, Fertigkeiten, Erfahrung, Ausbildung, Übung, physische Merkmale, Gewohnheiten, Vorlieben und Fähigkeiten werden beschrieben.
- Ziele und Arbeitsaufgaben der Benutzer: Das Gesamtziel, welches mit dem Produkt (hier: Konfiguration des DHM) erreicht werden soll und die Ziele der Benutzer werden formuliert. Auch Merkmale der Aufgaben, wie die Art der Aufgabenausführung, Häufigkeit und Zeitdauer der Ausführung, Abhängigkeiten und parallel auszuführende Tätigkeiten.

tigkeiten. Zusätzlich sollte erfasst werden, ob die Arbeitsaufgabe falsch/fehlerhaft abgeschlossen werden kann.

- Umgebung des Systems: Die technische Umgebung, Software, Hardware und Materialien, wird erfasst. Außerdem wird die physikalische, soziale und kulturelle Umgebung beschrieben, wie z. B. Arbeitsweise, Organisationsstruktur und Einstellungen.

Die Nutzerbefragung ist Grundlage für die Nutzungskontextbeschreibung. Die Software IMMA ist noch in einem prototypischen Stadium und wird aktuell nur von sechs Anwendern in zwei verschiedenen Unternehmen genutzt. Alle sechs Nutzer bekamen den Fragebogen zugesandt. Die drei Anwender des einen Automobilunternehmens haben den Fragebogen gemeinsam ausgefüllt. Aus dem anderen Automobilunternehmen kamen drei separat ausgefüllte Fragebögen zurück. Somit stehen für die Auswertung vier Datensätze zur Verfügung, da der gemeinsam ausgefüllte Fragebogen nur Angaben einer der drei Personen enthält.

Die Daten für die Aufgabenanalyse wurden wie folgt erfasst. Zunächst wurde die Erfüllung der Arbeitsaufgabe, also das Konfigurieren mit der Montagesimulationssoftware, mehrfach durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde die Analyse abgeleitet und festgehalten, um das Lösen der Aufgabe zu verstehen und darzustellen. Daraus wurde zusammengetragen, wie die einzelnen Schritte bei der Erfüllung der Arbeitsaufgabe aussehen und in welcher Reihenfolge sie bearbeitet werden, um das Arbeitsziel zu erreichen. Ziel beider Analysen ist es, Anforderungen zu formulieren, welche die Optimierung der DHM-Konfiguration erfüllen soll.

### 3. Ergebnisse der Nutzungskontext- und Aufgabenanalyse

Die *Nutzergruppe* sind die Mitarbeiter im Unternehmen, die für die simulationsgestützte Absicherung von Montagearbeitsplätzen zuständig sind, genannt Simulationsingenieure. Diese Gruppe verwendet die Software, um die Simulation durchzuführen. Weitere partizipierende Nutzer sind die Konstrukteure, welche für die Entwicklung der Baugruppen zuständig sind. Diese benötigen die Ergebnisse der Simulation, um die Baugruppen und insbesondere die Zusammenbaureihenfolge der Baugruppen zu optimieren. Außerdem werden die Simulationen verwendet, um dem Management die Montagevorgänge zu präsentieren. Die letzten beiden Nutzergruppen verwenden die Software allerdings nicht selbst, sondern geben nur die Nutzung bei der Kerngruppe in Auftrag. Sie müssen allerdings über die Funktionalitäten und Möglichkeiten der Simulation Bescheid wissen.

Die *Merkmale* der befragten Nutzer sind wie folgt. Die Personen sind im Alter von 23 bis 45 Jahren (MW = 33 Jahre, SD = 10,3 Jahre). Eine Person ist weiblich. Drei von vier Personen

besitzen einen universitären Abschluss als Ingenieur, einer hat Abitur. Sie arbeiten zwischen zwei Monaten und über 20 Jahren ( $MW = 8,54$  Jahre,  $SD = 9,43$  Jahre) in den Unternehmen. Drei der Personen sind als Entwickler und Simulationsingenieure tätig. Davon ist einer neben der Simulation von Montageabläufen, auch für die Simulation von Festkörperverhalten zuständig. Ein anderer entwirft, konstruiert und verifiziert Werkzeuge, die für die Montage notwendig sind. Auch dafür verwendet er die IMMA Software, um die Brauchbarkeit der Werkzeuge abzusichern. Außerdem übernimmt er konstruktionstechnische Aufgaben im Unternehmen. Die dritte Person ist ausschließlich für die Fertigungsplanung zuständig. Der vierte Befragte ist derzeit Doktorand im Unternehmen und soll die Software weiterentwickeln.

Das übergeordnete *Ziel* der simulationsgestützten Absicherung ist es, den Montagevorgang gemäß den Vorgaben der Planungsingenieure zu konfigurieren und die Ergebnisse der Simulation bezüglich ergonomischer Kriterien zu dokumentieren. Um das Ziel zu erreichen werden vier Arbeitsschritte erfüllt, die iterativ durchgeführt werden, bis die Ergonomiekriterien erfüllt werden.

1. Informationen und Material sichern: Zur Simulation einer Montagesequenz werden folgende Daten benötigt: 3D-Modelle der Umgebung, 3D-Modelle der Bauteile und Werkzeuge und die Montageabfolge. Die Informationen können im Produktdatenmanagementsystem abgerufen, oder persönlich von den Bauteilentwicklern erfragt werden.
2. Simulation mit IMMA durchführen: Welche Arbeitsschritte für die Simulation nötig sind, wird später in der Aufgabenanalyse detailliert beschrieben.
3. Simulationsergebnisse interpretieren und dokumentieren: Anhand eines Kriterienkatalogs wird auf Basis der Simulationsdaten entschieden, ob das Kriterium erfüllt wird.
4. Ergebnisse übergeben: Die Ergebnisse werden an den Auftraggeber der Simulationsdurchführung, die Entwickler, berichtet.

Die technische *Umgebung* zur Erledigung der Arbeitsaufgabe besteht lediglich aus der Software IMMA.

Der hier betrachtete *Use Case* ist ein einfacher Arbeitsschritt einer Montageabfolge. Die Aufgabe des Monteurs ist es, ein Objekt (hier eine Box) auf einem Tisch zu greifen und an einer Position rechts neben der Ausgangsposition auf dem Tisch wieder abzustellen. Um diese Teilsequenz mit IMMA zu simulieren, müssen mehrere Arbeitsschritte mit der Software durchgeführt werden. Die *Aufgabenanalyse* zeigt, welche Schritte notwendig sind, um das DHM zu konfigurieren:

Tabelle 1: Aufgabenanalyse der Konfigurationsaufwände zur Simulation des Use Cases  
"Move a box" in der Simulationssoftware IMMA.

Aufgabe	Arbeitsschritte/ Entscheidungen
Festlegen der Startpose des DHM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entscheiden zwischen: Sitzen oder Stehen (gebückt, gerade, gestreckt)</li> </ul>
Festlegen des Start- und Endpunkts des betreffenden Objektes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entscheiden, wo der Startpunkt der Box sein soll</li> <li>– Entscheiden, wo der Endpunkt der Box sein soll</li> </ul>
Festlegen der Greifparameter für die Box	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entscheiden, ob eine oder beide Hände benötigt werden</li> <li>– Entscheiden, ob ein Werkzeug benötigt wird</li> <li>– Wählen einer Hand</li> <li>– Entscheiden, welcher der neun Grifftypen für das betreffende Objekt der passende ist</li> <li>– Entscheiden, wo der Griff am Objekt platziert wird</li> <li>– Entscheiden, wie der Griff am Objekt ausgerichtet ist</li> <li>– Entscheiden, wie weit der Grifföffnungsgrad ist</li> <li>– Alle Parameter für die zweite Hand festlegen</li> <li>– Festlegen, wie weit der Öffnungsgrad zwischen den beiden Händen ist, wenn eine zweihändiger Griff benötigt wird</li> </ul>
Festlegen der Simulationsreihenfolge des DHM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entscheiden, welche der Operationen GET, SIT, PUSH, OPERATE or VIEW zuerst ausgeführt werden soll</li> <li>– Auswahl GET</li> <li>– Entschieden, welches Objekt genommen werden soll</li> <li>– Zuweisen der vorher definierten Greifparameter</li> <li>– Entschieden zwischen den Operationen MOVE, FOLLOW, SUPPORT</li> <li>– Auswahl MOVE</li> <li>– Zuweisen der vorher definierten Start- und Endpunkte</li> </ul>

Zusätzlich zu diesen Arbeitsschritten sind Aktionen, wie Menüs und Menüpunkte anwählen, nötig. Zusammenfassend sind für eine einfache Arbeitsaufgabe des DHM (Bewegen eines Objektes, eine Box auf einem Tisch von Anfangspunkt A nach Endpunkt B heben) ca. 60 Interaktionsschritte nötig. Außerdem muss der Simulationsingenieur innerhalb dieser Arbeitsschritte zwölf Entscheidungen treffen.

Vor allem die beiden Arbeitsbereiche ‚Festlegen der Greifparameter‘ und ‚Festlegen der Simulationsreihenfolge‘ sind sehr aufwändig. Nicht nur die Anzahl der Interaktionen ist vielzählig, auch die notwendigen Entscheidungen sind eigenständig vom Simulationsingenieur zu

bearbeiten. Dieser bekommt keinerlei Hilfestellungen bezüglich der richtigen Entscheidung. So beruhen die Entscheidungen ausschließlich auf dessen Erfahrung und Wissen über die korrekten Eingaben. Ein Nutzer erwähnte zwar, dass bei bekannten Werkzeugen und Bauteilen, die Monteure befragt und beobachtet werden, um einen realistischen Greiftyp zu identifizieren, die Richtigkeit der Einstellungen kann aber nur durch die visuelle Analyse, beispielsweise durch Heranzoomen an Objekt und Hand, abgesichert werden.

Auch die Simulationsreihenfolge wird aufgrund der Erfahrungen und teilweise durch Montageprozessvorgaben definiert. Hier gilt es, aus den vorgegebenen Handlungsmöglichkeiten die am besten geeignete herauszufinden. Die Vorgaben zur Montagereihenfolge enthalten nur Bezüge zu den Bauteilen, aber die Ausführungen, die das Menschmodell dafür machen muss, sind nicht definiert. Dazu gehören vor allem Tätigkeiten, wie Gehen, Greifen und Loslassen. Diese Bewegungsparameter kennt der Prüfingenieur von den laufenden Montagearbeiten, oder probiert diese aus, bis sie ihm natürlich erscheinen. Objektive Kriterien, inwieweit die Einstellungen im Sinne einer realen Handlungsabbildung korrekt sind, gibt es nicht. Insgesamt bewerteten die Nutzer die Zufriedenheit mit der Software, auf einer Skala von eins bis zehn, mit durchschnittlich sechs ( $SD = 1,41$ ). Als negative Aspekt, welche die Bewertung beeinflussen, werden genannt: fehlende rückgängig-Funktion und das Fehlen der Möglichkeit längere Montagesequenzen abzubilden.

#### 4. Nutzungsanforderungen

Aus dem Anspruch, ein nutzerfreundliches, intuitives und effizientes Werkzeug zur Verfügung zu stellen und der in Bezug darauf durchgeführten Anforderungsanalyse werden folgende Nutzungsanforderungen formuliert.

- Konfigurationsaufwände sollen verringert werden.
- Insbesondere beim Simulieren längerer Sequenzen soll der Konfigurationsaufwand optimiert werden.
- Entscheidungen, die aufgrund der Konfiguration des DHM getroffen werden müssen, sollen nicht allein auf der Erfahrung und dem Ausprobieren seitens des Nutzers stattfinden.
- Konfigurationen, die vom Nutzer vorgenommen werden, sollen überprüfbar sein, im Sinne einer „zweiten Meinung“.
- Konfigurationen, die automatisiert vorgenommen werden könnten, sollen nicht nur durch den Nutzer eingegeben werden können.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden zwei sich ergänzende Lösungsbausteine vorgeschlagen.

## 5. Lösungsansatz

Die meisten der hier extrahierten Konfigurationsaufwände betreffen das digitale Menschmodell. Dazu gehören die Greifeinstellungen und die Definition der Handlungsabfolge. Hingegen sind Start- und Endpunkt des Objektes objektbezogene Parameter, die eher aus der Montageabfolge vorgegeben sind. Der erste Lösungsbaustein ist das Nutzen kognitiver Modelle [8]. Eine kognitive Architektur (z. B. ACT-R [9]) ist ein System zur Modellierung von höheren, kognitiven Prozessen. Hierzu gehören unter anderem die Informationswahrnehmung, Informationsverarbeitung und Entscheidungen für die Handlungsausführung. Die Idee ist, das digitale Menschmodell mit kognitiven Modellen zu erweitern, sodass es selbst Entscheidungen treffen kann. So soll das DHM beispielsweise befähigt werden, die Startposition selbst auszuwählen, oder eine Handlungssequenz zu planen, um ein vorgegebenes Ziel zu erreichen. Sind diese Handlungsschritte bekannt, ist es zudem möglich, über kognitive Modelle eine kognitive Belastung der Werkers während der Durchführung der Arbeitsaufgaben zu ermitteln.

Das Greifen hingegen ist ein sehr komplexer Vorgang und benötigt eine umfangreiche Informationsaufnahme und Erfahrungswissen, welches bisher mit kognitiven Modellen nicht umsetzbar ist. Daher ist der zweite Lösungsbaustein die Nutzung von Greiferkennung mittels Virtueller Realität [10]. Hier wird das reale Greifen eines virtuellen Objektes erfasst und interpretiert. Der so extrahierte Grifftyp kann dann entweder dem Objekt in der Software IMMA direkt zugeordnet werden, oder die Informationen werden den kognitiven Modellen als Wissen übermittelt.

## 6. Diskussion

Die ergonomische Absicherung von Montagearbeitsplätzen ist ein wesentlicher Beitrag zum Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, welcher auch gesetzlichen Rahmenbedingungen unterliegt. Nach dem Planen des Montageablaufs, welches gewährleistet, dass Bauteile korrekt zusammengefügt werden, führt der Simulationsingenieur mit einem digitalen Menschmodell (DHM) eine Ergonomieprüfung durch. Das hier beschriebene DHM ist entwickelt worden, um den Simulationsingenieuren ein einfaches Werkzeug an die Hand zu geben, für welches wenig Expertise benötigt wird [11]. Allerdings sind auch mit neuesten intelligenten informations-technischen Verfahren aufwendige manuelle Konfigurationen des DHM nötig. Die Anforderungsanalyse ergibt, dass die Definitionen und Einstellungen, die der Nutzer vornehmen

muss, meistens auf Erfahrungen und Ausprobieren beruhen. Die so vorgenommen Konfigurationen können auch nicht hinsichtlich ihrer Richtigkeit überprüft werden. Dieser Umstand ist nicht nur aufwändig, sondern führt auch zur Unzufriedenheit seitens der Nutzer.

Ziel zukünftig folgender Entwicklungen ist, diese Konfigurationen zu unterstützen oder teilweise zu automatisieren. Ein vorgeschlagener Lösungsansatz ist das Verwenden von kognitiven Modellen, die anstelle des Simulationsingenieurs Entscheidungen treffen. Um ableiten zu können, welche Entscheidungen getroffen werden, wie sie getroffen werden und wie diese an das DHM übermittelt werden, wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt. Dadurch wurden Entscheidungen und Aufgaben erkannt, die nachfolgend über kognitive Modelle gelöst werden können. Da nicht alle Konfigurationen mit kognitiven Modellen abgebildet werden können, wird zusätzlich eine intuitive Interaktion mit Virtueller Realität verwendet. Werden die beiden Lösungsbausteine ergänzend verwendet, kann der Konfigurationsaufwand verringert werden.

In der Anwendung ergeben sich zwei Schwierigkeiten. Zum einen müssen immer dem Anwendungsfall entsprechend kognitive Modelle erarbeitet werden, das heißt, dass sich der Konfigurationsaufwand nur mindert, wenn das digitale Menschmodell im Voraus mit den kognitiven Fähigkeiten erweitert worden ist. Das ist eine weitere Aufgabe, die zu erfüllen ist und die nicht vom Simulationsingenieur selbst durchgeführt werden kann. Dennoch stellt die kognitive Erweiterung prospektiv einen Vorteil für die Absicherung von Montagearbeitsplätzen dar. Gerade im Umfeld Smarter Fabriken in der Industrie 4.0 Entwicklung, gehören zukünftig Überlegungen zum Umgang mit automatisierten Prozessen, intelligenten Maschinen und komplexen Mensch-Technik-Systemen zur Absicherung dazu. Die kognitiven Modelle ermöglichen hier auch eine Absicherung kognitiver Ergonomie, neben der körperlichen Beanspruchungsmessung.

## 7. Literaturangaben

- [1] Spath, D. (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. [Studie]. Stuttgart: Fraunhofer-Verl 2013
- [2] Stark, R., Kim, M., Damerau, T., Neumeyer, S. u. Vorsatz, T.: Notwendige Voraussetzungen für die Realisierung von Industrie 4.0. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (2015) 3, S. 134–141
- [3] Eigner, M., Roubanov, D. u. Zafirov, R.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Berlin: Springer Vieweg 2014

- [4] Kugler, M., Bierwirth, M., Schaub, K., Sinn--Behrendt, A., Feith, A., Ghezel-Ahmadi, K. u. Bruder, R.: Förderschwerpunkt 2007. Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2010
- [5] Hanson, L., Delfs, N., Gustafsson, S., Mårdberg, P., Keyvani, A., Rhen, I.-M., Högberg, D., Carlson, J. S., Bohlin, R. u. Brolin, E.: IMMA – intelligently moving manikins in automotive applications. Proceeding of Third International Summit on Human Simulation. 2014
- [6] Geiger, A.: EMMA-CC Ein zukunftsweisendes digitales Menschmodell zur ergonomischen Absicherung von Montagearbeitsplätzen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 11 (2015)
- [7] DIN EN ISO 9241-210; 2010. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme
- [8] Geiger, A., Brandenburg, E. u. Rothenburg, U.: Ergonomische Montageabsicherung durch digitale Menschmodelle mit kognitiver Handlungsplanung. In: Wienrich, C., Zander, T. u. Gramann, K. (Hrsg.): Trends in Neuroergonomics. 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, 7.-9. Oktober 2015 : Tagungsband. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2015, S. 289–292
- [9] Anderson, J. R., Matessa, M. u. Lebiere, C.: ACT-R: A Theory of Higher Level Cognition and Its Relation to Visual Attention. Human–Computer Interaction 12 (1997) 4, S. 439–462
- [10] Geiger, A., Brandenburg, E. u. Stark, R.: Instruction of digital human models by interaction in immersive virtual environments. In: Proceedings HCI International Conference. 2016
- [11] Hanson, L., Högberg, D., Bohlin, R. u. Carlson, J. S.: IMMA – Intelligently Moving Manikins – Project Status 2011. First International Symposium on Digital Human Modeling. June 14-16, 2011 Lyon, France : conference programme. [Lyon: LBMC] 2011

# Aufgabenmodelle in der industriellen Praxis: Zentrale Punkte für die tägliche Nutzung

## Eine Pilotstudie zur Nutzung von Aufgabenmodellen

M.Sc. **Marius Koller**, Prof. Dr.-Ing. **Gerrit Meixner**,  
Hochschule Heilbronn

### Kurzfassung

Aufgabenmodelle sind ein bekanntes und weit verbreitetes Konzept in der Mensch-Computer-Interaktion. Allerdings gibt es bis heute noch keinen nennenswerten Durchbruch in der praktischen Nutzung. Es existieren Anwendungsfälle, in denen Aufgabenmodelle zur Anwendung kommen. Um diese Anwendungsfälle sowie ihren Kontext zu verstehen, führten wir eine Pilotstudie durch. Dazu interviewten wir fünf Personen aus verschiedenen Berufsgruppen, die in zwei unterschiedlichen Unternehmen beschäftigt sind. Als ein zentrales Problem der Aufgabenmodellierung konnte die fehlende Unterstützung für eine iterative Entwicklung der Aufgabenmodelle identifiziert werden. Ebenfalls wird hervorgehoben, dass je nach persönlichem Hintergrund und Beruf, ein unterschiedlich detailliertes Modell erwartet und benötigt wird. Dazu schlagen wir vier Detaillierungsgrade vor, die zum einen die iterative Entwicklung erlauben zum anderen auch die Detailgrade anpassbar machen. Für die weitere Nutzung von Aufgabenmodellen in späteren Entwicklungsschritten sind Bedingungen wichtig. Die genannten Vorschläge zur Verbesserung der Aufgabenmodellierung wurden in der Userware Markup Language (useML) implementiert.

### 1. Einleitung

Aufgabenmodelle haben eine lange Historie in der Mensch-Computer-Interaktion und werden von vielen Forschungsgruppen kontinuierlich vorangetrieben. Es existieren einige Ansätze, die in der Forschung weit verbreitet sind, beispielsweise ConcurTaskTrees (CTT). Ein Durchbruch in der industriellen Nutzung von Aufgabenmodellen ist jedoch noch nicht geschehen. In manchen Anwendungsfällen werden Aufgabenmodelle heute genutzt. Wir führten eine Pilotstudie durch, um ein Verständnis für solche Anwendungsfälle zu bekommen und Besonderheiten zu erfahren. Die analysierten Anwendungsfälle unterscheiden sich stark; ein Anwendungsfall zielt darauf ab, die Kommunikation zu vereinfachen, im anderen Anwendungsfall wird die Navigation des Produkts auf Basis des Aufgabenmodells erstellt.

Unser Ziel ist es, mögliche spezifische Anforderungen zu erheben, die derzeit noch nicht in wissenschaftlichen Ansätzen implementiert sind.

Dieses Paper präsentiert die Ergebnisse einer ersten Pilotstudie, die zwei Anwendungsfälle in der industriellen Praxis untersucht. Die Studie wurde in zwei verschiedenen Unternehmen durchgeführt, dabei konnten fünf Personen befragt werden.

Kapitel 2 gibt einen kurzen Überblick über den Stand der Wissenschaft und Technik. In Kapitel 3 gehen wir auf die verwendeten Methoden und die Studienteilnehmer ein. Die Ergebnisse der Studie sind in Kapitel 4 zusammengefasst. Darauf folgen in Kapitel 5 einige Aspekte zur Umsetzung in der Userware Markup Language (useML). Zum Ende sind in Kapitel 6 und 7 eine Zusammenfassung sowie der Ausblick zu finden.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

In der Wissenschaft sind Aufgabenmodelle ein weit verbreitetes Konzept. Es existieren verschiedene Sprachen und Notationen, die von verschiedenen Forschungsgruppen entwickelt wurden. Die Geschichte der Aufgabenmodelle reicht zurück zur Hierarchical Task Analysis (HTA), die von Annett und Duncan [1] definiert wurde. Ziel von HTA ist es, die Aufgaben von Arbeitern zu erfassen und hierarchisch zu strukturieren. Basierend auf HTA [13] wurde der Ansatz „Goals, Operators, Methods and Selection Rules“ GOMS [5] entwickelt. Der Ansatz zielt darauf ab, den notwendigen Aufwand zu schätzen, der benötigt wird um die suffiziente Durchführung einer gewissen Aufgabe zu erlernen. Dazu ist eine detaillierte Beschreibung der Aufgabe nötig, die mit Hilfe von GOMS erstellt werden kann. Es ist allerdings weder in HTA noch in GOMS möglich, Informationen zur zeitlichen Abfolge (zum Beispiel Temporaloperatoren) zu modellieren. Die Groupware Task Analysis (GTA) ist eine Methode, die die Erstellung von sogenannter Groupware (Software, die die Arbeit in Gruppen von mehreren Mitarbeitern ermöglicht) unterstützt [14]. Mit GTA ist es wiederum möglich, die Aufgaben zu erfassen und in einem hierarchischen Modell darzustellen. GTA hat mit EUTERPE ein grafisches Werkzeug zur Erstellung von Aufgabenmodellen [15]. Die „Méthode Analytique de Description“ (MAD) ist eine semiformale Methode, um Nutzeraufgaben auf Basis von Interviews zu erfassen [12]. K-MADe ist das dazugehörige Werkzeug, mit dem ein Modell erstellt werden kann [3]. Integriert sind dabei Temporaloperatoren sowie Nutzer- und Systemaufgaben. Es ist jedoch nicht möglich interaktive Aufgaben zu modellieren. CTT ist ein in der Forschung sehr bekannter Ansatz der Aufgabenmodellierung [10]. CTT unterscheidet dabei zwischen abstrakten, interaktiven, System- und Nutzeraufgaben. Ebenfalls integriert sind Temporaloperatoren. Mit CTTE steht ein grafisches Werkzeug zur Verfügung, um die Aufgaben in einem grafischen Modell anzurufen [9, 11]. Responsive CTT ist ein webbasiertes

Tool, das es den Nutzern erlaubt die Modelle über eine Webschnittstelle zu editieren [2]. Im webbasierten Tool wurden die Icons überarbeitet. In Abbildung 1 sind die beiden Versionen gegenübergestellt. Links findet sich die Repräsentation von CTTE, rechts ist die von Responsive CTT dargestellt. Ebenfalls wurde in Responsive CTT die sogenannte „Fischäugen-Darstellung“ eingeführt, die das Modell im Zentrum groß und detailliert darstellt und zu den Seiten verkleinert. Bild 1 zeigt die grafische Repräsentation von CTT. Links ist die Umsetzung in CTTE zu sehen, auf der rechten Seiten die Umsetzung in Responsive CTT. CTT und seine Konzepte kommt findet in der Forschung weitere Anwendungen. Beispielsweise in HAMSTERS (Human-centered Assessment and Modeling to Support Task Engineering for Resilient Systems) sind einige Konzepte aus CTT integriert [4]. HAMSTERS ist eine Notation, um menschliche Fehler in Sicherheitskritischen Systemen zu entdecken und das Design bei Entdeckungen zu ändern [6].

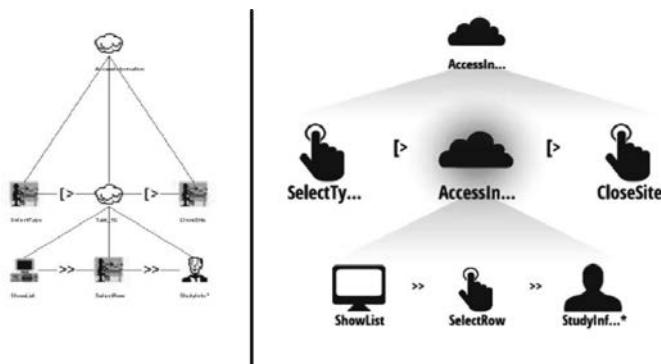


Bild 1: Grafischer Syntax von CTTE und Responsive CTT

Die Useware Markup Language (useML) ist eine Notation, um die Nutzeraufgaben im menschzentrierten Gestaltungsprozess zu modellieren [7]. UseML definiert ein Benutzungsmodell (BM), das in weitere Benutzungsobjekte (BO) gegliedert ist. Diese sind wiederum in elementare Benutzungsobjekte (eBO) gegliedert, welche Aktionen repräsentieren, die nicht weiter aufgeteilt werden können. Mittels verschiedener Transformationen in weitere Modelle, beispielsweise DISL und UIML, kann aus dem Benutzungsmodell eine Benutzungsschnittstelle generiert werden. UseML hat mit Udit ebenfalls einen grafischen Editor zur Erstellung von Aufgabenmodellen [8]. Die grafische Syntax unterscheidet sich jedoch von CTT. UseML nutzt zur Unterscheidung der Typen einen Farbcodex, wohingegen CTT auf Icons setzt. Bild 2 zeigt ein beispielhaftes Benutzungsmodell.

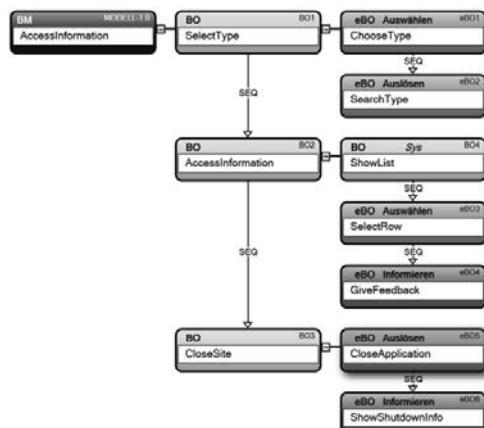


Bild 2: Grafische Repräsentation eines Benutzungsmodells

## 2. Studienteilnehmer und Methoden

Wir erhielten Zugang zu zwei Deutschen Unternehmen, die in verschiedenen Branchen tätig sind. Ein Unternehmen ist im Telekommunikationssektor tätig. Es handelt sich dabei um ein international tätiges Unternehmen mit weltweit angesiedelten Niederlassungen (Unternehmen A). Aus Unternehmen A konnten wir drei Personen aus den folgenden drei Berufsgruppen in die Studie einschließen: Interaction Designer, Requirements Engineer und User Experience Designer. Das zweite Unternehmen ist ein mittelständisches Unternehmen mit einem Standort (Unternehmen B). Das Unternehmen arbeitet branchenübergreifend, wobei sowohl Hard- als auch Software hergestellt werden. Dieses Unternehmen gestattete uns Zugang zu einem Software Engineer und einem User Interface Designer.

Zu Beginn führten wir ein semi-strukturiertes Interview durch, um den Nutzungskontext zu erfassen. Im Anschluss daran wurden mit den Beteiligten der jeweiligen Unternehmen Papierprototypen kollaborativ erstellt. Diese Prototypen wurden in weiteren Iterationen verfeinert und mit allen Teilnehmern evaluiert.

## 2. Ergebnisse der Pilotstudie

Unternehmen B nutzt zum Zeitpunkt der Studie keine Aufgabenmodelle. Der Software Engineer und User Interface Designer sprechen allerdings beide von Kommunikationsproblemen zwischen den Berufsgruppen. Diese Kommunikationsprobleme sollten schon mit verschiedenen Methoden überbrückt werden, was jedoch erfolglos verlief. Aufgabenmodelle haben jedoch aus ihrer Sicht das Potential ein solches Problem zu lösen.

Es wurde direkt zu Beginn des Interviews klar, dass sich die Erwartungen und Anforderungen an Aufgabenmodelle stark zwischen den Berufsgruppen unterscheiden. Der User Interface Designer stellte von Beginn an klar heraus, dass er kein Werkzeug möchte, das ihn in seiner Kreativität einschränkt. Ebenfalls erwartet er ein weniger detailliertes Modell, als der Software Engineer es erwartet. Begründet werden diese Aussagen damit, dass für ihn die Aufgaben und Aktionen der Nutzer relevant sind, nicht jedoch die in der Software verankerten Prozesse und Funktionen. Aus seiner Sicht ist eine grafische Repräsentation mit eindeutigen Namen als Bezeichner am gebrauchstauglichsten.

Im Gegensatz dazu stehen die Erwartungen des Software Engineers. Er erwartet ein Modell, das möglichst detailreich ist. Für die Entwickler-Seite ist ein detailliertes Modell zur Implementierung der Funktionen am besten, da sämtliche Abhängigkeiten klar definiert sind. Wichtig ist für den Software Engineer zusätzlich die iterative Entwicklung, um die Modelle klassisch schrittweise weiterzuentwickeln. Dies stimmt mit den Aussagen des User Interface Designers überein. Wir entwickelten in Absprache mit den Befragten vier Detailstufen:

- **Detailstufe 1:** Hier ist es den Nutzern erlaubt die grobe Struktur des Modells zu erarbeiten. Dabei sind die abstrakten Aufgaben eingeschlossen, die konkreten Aktionen der Nutzer werden hier noch nicht berücksichtigt.
- **Detailstufe 2:** In dieser Detailstufe wird das Modell verfeinert. Es werden hier beispielsweise die konkreten Aktionen der Nutzer hinzugefügt und modelliert. Ebenso ist die Nutzung einer Simulation zur Validierung des Modells erlaubt.
- **Detailstufe 3:** Hier ist es möglich weitere Attribute dem Modell hinzuzufügen. Beispielsweise können Aufgaben nun einer konkreten Nutzergruppe oder Plattform zugewiesen werden.
- **Detailstufe 4:** Diese letzte Detailstufe erlaubt es den Nutzern Aufgaben mit Funktionen zu assoziieren. Diese Detailstufe ist besonders für die Software Engineers wichtig.

Hervorgehoben wird von beiden Befragten, dass eine grafische Repräsentation, wie sie in useML verwendet wird, von Vorteil ist.

Mit den Teilnehmern aus Unternehmen A wurde die selbe Befragung durchgeführt, wie sie mit Unternehmen B durchgeführt wurde. In Unternehmen A kommen bereits Aufgabenmodelle zum Einsatz. Diese werden jedoch nicht konkret als Aufgabenmodelle bezeichnet, sondern als „*Task Flows*“. Ein Auszug aus einem solchen „*Task Flow*“ findet sich in Bild 3. Zu sehen ist, dass die selbst definierte Notation sehr an ein Flussdiagramm erinnert. Ebenfalls

sind Bedingungen bzw. Entscheidungspunkte modelliert worden. Diese sind besonders aus Sicht der Interaction Designer wichtig.

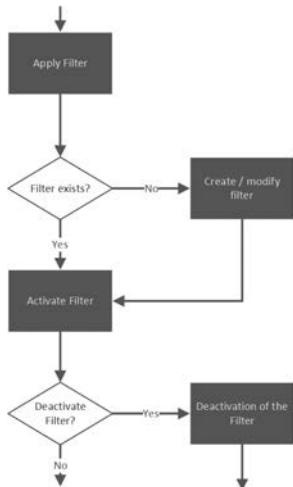


Bild 3: Auszug aus einem *Task Flow*

Diese *Task Flows* sind ein integraler Bestandteil von jedem Projekt und deshalb wird auch Projektzeit dafür eingeplant. Diese Zeit ist abhängig von der Komplexität des Projektes und der Anwendungsdomäne. Beispielsweise sind „Self-Care-Apps“ für die User Experience Designerin eine sehr vertraute Domäne, somit benötigt sie weniger Zeit für einen solchen *Task Flow*. Die erstellten *Task Flows* stellen in Unternehmen A die Basis für die Navigationsstruktur dar. Aufgrund dieser zentralen Rolle wird das Modell geprüft, dies wird derzeit mittels des Vier-Augen-Prinzips umgesetzt. Dabei wird das Modell von einer Person erstellt und im Anschluss unter vier Augen geprüft. Danach erfolgt die Freigabe und es wird zu Kollegen aus anderen Abteilungen (beispielsweise zur Abteilung Software Architektur) zur Prüfung gegeben und weiterentwickelt. Aus der Sicht der Teilnehmer ist die vorgeschlagene Entwicklung in verschiedenen Detailstufen eine Umsetzung, die zum derzeitigen Prozess passt. Die vorgeschlagenen Detailstufen und dazugehörigen Einschränkungen sind aus ihrer Sicht durchdacht und könnten im praktischen Einsatz angewendet werden.

Bild 3 hebt nochmals die Wichtigkeit von Bedingungen und Entscheidungspunkten hervor. Speziell die Interaction Designerin hebt hervor, dass sie diese für ihre Arbeit benötigt. Abhängig von den Entscheidungen und Wegen der Nutzer muss sie ihre Navigationsstruktur

und Interaktionen anpassen. Aus ihrer Sicht existieren in den wissenschaftlichen Notationen keine solche Möglichkeiten, was für sie jedoch ein zentraler Aspekt ist. Um ihr Anliegen besser zu verstehen evaluierten wir gemeinsam die aktuelle Implementierung von useML. Aus ihrer Sicht sind die aktuellen Möglichkeiten noch nicht ausreichend. Dass die Bedingungen nicht grafisch im Modell dargestellt werden erachtet sie als einen Nachteil. Begründet wird dies mit der Tatsache, dass ohne diesen grafischen Hinweis potentiell jedes Element eine Bedingung haben könnte und überprüft werden muss. Die beiden anderen Befragten stimmen den Aussagen zu. Gemeinsam wird eine Möglichkeit gesucht, solche Bedingungen zur repräsentieren. Zwei Möglichkeiten sind erarbeitet worden, die in Bild 4 abgebildet sind. Möglichkeit 1 zeigt eine simple Implementierung mittels eines Strichs durch die Verbindung. Möglichkeit 2 ist angelehnt an die bisherige Repräsentation in ihren Task Flows. Die Umsetzung muss in weiteren Iterationen getestet werden. Beide Möglichkeiten zeigen Vor- oder Nachbedingungen an. Dies könnten eine logische Bedingung (Motor muss gestartet sein) oder eine zeitliche Bedingung (Wartezeit) sein.

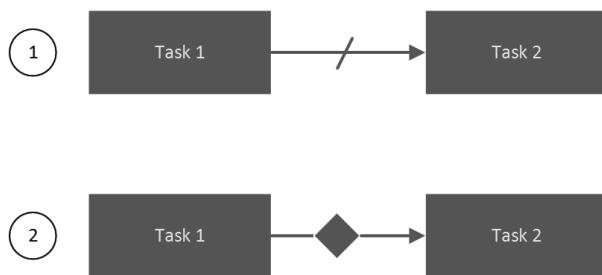


Bild 4: Mögliche Visualisierungen der Bedingungen

Zusammen mit den Teilnehmern wurden die beiden grafischen Werkzeuge Udit und CTTE evaluiert. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Interaktion und Darstellung der Informationen. Die Teilnehmer kommen zu dem Schluss, dass keines der beiden Werkzeuge ihre Erwartungen und Anforderungen vollständig erfüllt – beide haben jedoch Stärken und Schwächen. Bereits die Repräsentation der Modelle unterscheidet sich stark. Während CTTE Icons nutzt, nutzt Udit eine Farbkodierung, um die Typen zu unterscheiden. Die Teilnehmer mit technischem Hintergrund erachten den bei Udit gewählten Ansatz als sinnvoll. Nicht-technische Teilnehmer erachten die Farbkodierung jedoch als schwer verständlich. Speziell der User Interface Designer merkt an, dass ihn die Farbkodierung verwirrt: „*Ich verstehe nicht, warum eine Box orange ist und eine andere schwarz*“. Alle merken an, dass eine direk-

te Manipulation der Elemente enorm wichtig ist. Die derzeit implementierten Interaktionen werden als umständlich wahrgenommen. Der mentale Erstellungsprozess wird durch die umständliche Interaktion unterbrochen und läuft damit nicht störungsfrei ab. Ebenfalls soll nach Aussagen der Studienteilnehmer die Benutzungsschnittstelle überarbeitet werden. Bei beiden Oberflächen fehlt eine klare Strukturierung der Funktionen. Die angebotenen Funktionen werden als zu umfangreich beschrieben. Die Befragten gehen nicht davon aus, den vollen Funktionsumfang in realen Projekten zu nutzen.

Während den Sitzungen wurden zusammen mit den Teilnehmern erste Prototypen erstellt. Auf Basis derer wurden im Nachgang Mock-ups mit „Balsamiq Mockup“ erstellt. Diese wurden mit allen Teilnehmern evaluiert, bis keine weiteren Änderungen mehr gewünscht wurden. Bild 5 zeigt den finalen Prototypen. Zu sehen ist, dass Ribbons genutzt werden. Grund hierfür ist der Wunsch nach einer besseren Strukturierung der Funktionen. Eingefügt wurden drei Ribbons. Der erste hält sämtliche Funktionen, die zur eigentlichen Erstellung und Bearbeitung der Modelle notwendig sind. Der Ribbon „Filter“ enthält sämtliche Funktionen zur Filterung. So können beispielsweise den Aufgaben Plattformen oder Nutzergruppen zugewiesen werden und mittels der Funktionen die dort gruppiert sind entsprechend angezeigt werden. Der Ribbon „Simulation“ startet eine solche, sämtliche anderen Interaktionen können dabei nicht ausgeführt werden.

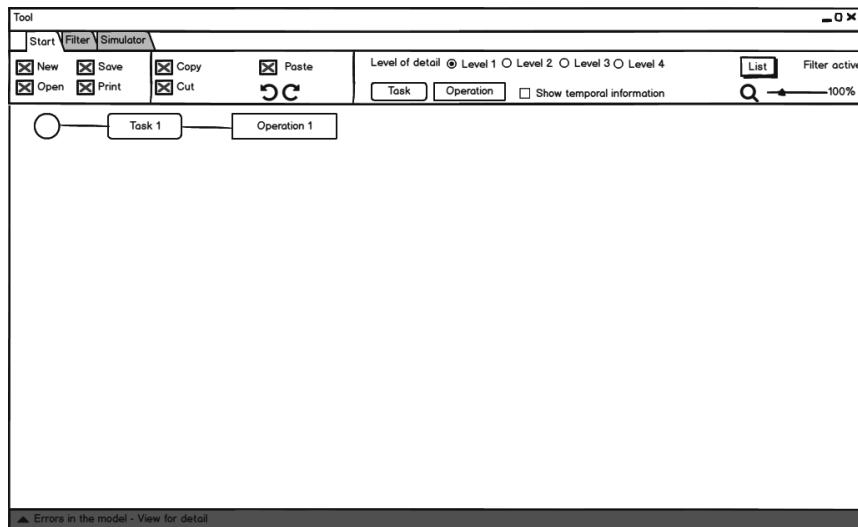


Bild 4: Mögliche Visualisierungen der Bedingungen

Die Änderungen wurde in useML eingepflegt. Grund hierfür ist, dass die Studienteilnehmer die Repräsentation als angenehmer empfanden.

## 5. Umsetzung in useML

Bei useML handelt es sich um einen XML-Dialekt, der in einem XSD-Schema spezifiziert wird. Dieses Schema definiert die Regeln und Elemente, die die Sprache ausmachen. Ebenfalls werden in der Datei sämtliche Attribute und logische Bedingungen definiert. Um die angestrebten Änderungen in die Sprache einfließen zu lassen, muss dieses Schema angepasst werden. Beispielhaft wird die Implementierung der geforderten Bedingungen erläutert.

Zwei prinzipielle Typen von Bedingungen sollten implementiert werden: logische und zeitliche Bedingungen. Bei beiden Bedingungen kommen jeweils eine Vor- und Nachbedingung zum Einsatz.

- **Logische Bedingung:** Gemeint ist hierbei eine logische Bedingung, die erfüllt sein muss bevor eine Aufgabe ausgeführt oder beendet wird (abhängig ob Vor- oder Nachbedingung). Ein Beispiel hierfür ist, dass ein Motor gestartet sein muss bevor er genutzt werden kann.
- **Zeitliche Bedingung:** Hierbei kann eine Wartezeit oder ein konkreter Zeitpunkt gemeint sein. Als konkreter Zeitpunkt kann beispielsweise eine Aufgabe erst zu einem gewissen Zeitpunkt starten, der zeitlich festgelegt wird, beispielsweise Schichtwechsel oder ähnliches.

Integriert wurden die Bedingungen mittels sogenannten komplexen Typen, die es in XML erlauben eine Art Vererbung zu realisieren. Damit existiert ein komplexer Typ „Bedingung“, der von den beiden Typen um die jeweiligen Eigenschaften erweitert wird.

## 6. Zusammenfassung

Die Pilotstudie zeigte, dass spezielle Anforderungen für Aufgabenmodelle in der praktischen Anwendung existieren. Allerdings sind diese von den aktuell verbreiteten wissenschaftlich entwickelten Ansätzen nur unzureichend berücksichtigt worden. Um dennoch Aufgabenmodelle nutzen zu können, wurde in einem Unternehmen eine eigene Notation entwickelt. Ein wichtiges Ergebnis der Pilotstudie ist, dass die verschiedenen Berufsgruppen stark unterschiedliche Anforderungen an Aufgabenmodelle haben. Wir schlagen daher eine Einteilung in verschiedene Detailgrade vor. Damit wird sichergestellt, dass die Nutzer die von ihnen gewünschten Informationen dargestellt bekommen und nicht für sie irrelevante Informationen ausblenden können. Die vier Detailgrade unterstützen zudem die iterative Entwicklung von

Aufgabenmodellen. Als wichtig wurden zudem Bedingungen hervorgehoben. Diese sind für das Interaktionsdesign wichtig, um den „Weg“ des Nutzers zu kennen.

## 7. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigen, dass die aktuellen wissenschaftlichen Notationen noch weiterentwickelt werden müssen. Es zeigte sich jedoch auch, dass viele Konzepte so beibehalten werden sollten. Beispielsweise ist die hierarchische Strukturierung notwendig und muss so beibehalten werden. Speziell die Detailgrade haben allerdings das Potential, die Nutzung von Aufgabenmodellen in der Industrie voran zu bringen.

Als nächster Schritt müssen die Funktionen in useML integriert werden. Dazu müssen zum einen alle Anforderungen in die Sprache integriert werden, zum anderen der grafische Editor neu erstellt werden. Im Anschluss daran kann dann eine erste Evaluation erfolgen, gefolgt von einer größeren Studie. Dabei neu gefundene Anforderungen sollten dann implementiert werden.

**Literatur:**

1. Annett, J., Duncan, K.D.: Task Analysis and Training Design. *Occup. Psychol.* 41, 1967, 211–221.
2. Anzalone, D. et al.: Responsive Task Modelling. In: Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, 2015, 126–131.
3. Baron, M. et al.: K-MADe: Un Environnement Pour Le Noyau Du Modèle De Description De L'Activité. In: Proceedings of the 18th Conference on L'Interaction Homme-Machine. 2006. 287–288.
4. Basnyat, S. et al.: Extending the Boundaries of Model-Based Development to Account for Errors. 2005.
5. Card, S.K. et al.: The Psychology of Human-Computer Interaction. L. Erlbaum Associates Inc., 1983.
6. Fahssi, R. et al.: Enhanced Task Modelling for Systematic Identification and Explicit Representation of Human Errors. In: Abascal, J. et al. (eds.) Human-Computer Interaction – INTERACT 2015. 192–212.
7. Meixner, G. et al.: Model-Driven Useware Engineering. In: Hussmann, H. et al. (eds.) Model-Driven Development of Advanced User Interfaces. 2011. 1–26.
8. Meixner, G. et al.: Udit—A Graphical Editor For Task Models. In: Proc. of the 4th Int. Workshop on Model-Driven Development of Advanced User Interfaces (MDDAUI), 2009.
9. Mori, G. et al.: CTTE: support for developing and analyzing task models for interactive system design. *IEEE Trans. Softw. Eng.* 28, 8, 2002, 797–813.
10. Paternò, F.: ConcurTaskTrees: an engineered approach to model-based design of interactive systems. In: The Handbook of Analysis for Human-Computer Interaction. 2004. 483–500.
11. Paternò, F. et al.: CTTE: An Environment for Analysis and Development of Task Models of Cooperative Applications. In: CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. 2001. 21–22.
12. Rodriguez, F.G., Scapin, D.L.: Editing MAD\* task descriptions for specifying user interfaces, at both semantic and presentation levels. In: Harrison, P.D.M.D. and Torres, D.J.C. (eds.) Design, Specification and Verification of Interactive Systems '97. 1997. 193–208.
13. Tucker, A.B.: Computer Science Handbook, Second Edition. Chapman & Hall/CRC (2004).

14. Van Der Veer, G.C. et al.: GTA: Groupware task analysis—Modeling complexity. *Acta Psychol. (Amst.)*. 91, 3, 1996, 297–322.
15. van Welie, M. et al.: Euterpe-Tool support for analyzing cooperative environments. In: Proceedings of the Ninth European Conference on Cognitive Ergonomics. 1998. 24–26.

# **Product Experience of Industrial Goods: An exploratory investigation in multigenerational groups in developing countries**

**Michaelle Bosse, Sandra Siwek, Christian Wölfel, Jens Krzywinski,**  
Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, IMM,  
Juniorprofessur Technisches Design, Dresden

## **Abstract**

The populational aging is evidenced as a worldwide phenomenon. For 2050, a demographic research from the Berlin-Institute (2013) estimates that about 80 percent of people over 60 will be living in today's developing countries.

With the growth of the elderly population globally, it should be considered that besides the adequacy of products, services and assistance to the elderly, this same public will spend a longer time in their profession before actually retiring. For this reason, the work environment, tools and work stations, should be adequate to the physical and cognitive declines of this generation.

Thus it is necessary to ascertain what are social and economic changes that will occur for this new phase of industrialization. Changing requirements for work are the new challenge in designing human-machine interfaces for industrial goods. The latter will be part of web of things as cyber-physical production systems (CPPS) and operating CPS will be new challenge to operators from different culture backgrounds and ages.

On the one hand, the full automation will bring positive aspects on product development. On the other hand, what are the social consequences that will be felt for this new production system. Reports around working Group for Industry 4.0 showed the needs to attend social and technical improvements to ergonomic design of work systems so as the qualification requirements for employees. Furthermore, it pointed out that the increasing age of employees must be taken into account regarding prospective ergonomic workplace design Kagermann (2013) cited by Dombrowski & Wagner (2014).

Studies related to thermal comfort, acoustic, posture, efficiency, effectiveness and learning levels are treated massively in the areas of cognitive science and ergonomics (Iida 2002, Hignett 2008, Grandjean 2005). Methods such as usability tests of direct human performance

at levels of easily observable tasks for evaluation. They may be driven so that it evaluates the time to complete a task, percentage of participants to perform the tasks successfully, type and number of identified errors, or the subjective degrees of ease of use; criteria measured by a particular score achieved or medium ranges (rating) of results between participants (Norman 2006, Bevan 1991, 1995, Seffah & Matzker 2004). Authors as Hassenzahl und Tractinsky (2006) see the User Experience as a counterpoint of usability. While the usability analyzes functional and measured qualities of a product, UX methods analyzes its subjective and not measurable qualities.

For the User to be completely benefited, beyond the physical and cognitive contexts, the investigation of such topics as 'affect' and 'experience', pleasure and arousal (DESMET; HEKKERT, 2007), has been assessed by the concept of 'User experience'. These concepts affect have been used interchangeably in the introduction, because we use 'product experience' to refer to an experience that is affective. In psychology, the term affect, or affective state, is generally used to refer to all types of subjective experiences that are combined, that is, experiences that involve a perceived goodness or badness, pleasantness or unpleasantness. In experimental research, valence is traditionally used as a bipolar dimension to describe and differentiate between affective states (e.g., BRADLEY; LANG, 1994; PLUTCHIK, 1980; WUNDT, 1905 cited DESMET; HEKKERT, 2007). The authors define the product subjective experiences as the awareness of the psychological effects elicited by the interaction with a product, including the degree to which all our senses are stimulated, the meanings and values we attach to the product, and the feelings and emotions that are elicited. It can be debated whether these psychological consequences are always affective in nature. According to Russell (2003), core affect – the combination of pleasure and arousal – is, to varying degrees, 'involved in most psychological events' [p. 148, emphasis added cited Hekkert, 2006; Schifferstein and Cleiren, 2005].

In order to be benefit for the working conditions for elderly workers, one must not only identify physiological issues but also psychological processes to comprehend in a more assertively what are the needs of industrial workers, especially the elderly ones.

The research question that this study demand to approach is: What are demographic factors, raised with the assistance of instrumental (measure usability) and non-instrumental (measure aesthetic, symbolic and emotional aspects) methods, affect the interaction machine-operator?

This abstract presents the transfer and adaption of evaluation methods from the field of user experience in interaction design/HMI. The research presented applies methods established in the psychology area as Needs Scale and PANAS (Positive and Negative Affect Schedule) as well as a usability questionnaire post-study (PSSUQ Survey) to evaluating product experience in the field of industrial goods.

The investigation was applied at January 2016, in a printing and a textile industries, which were interviewed 24 operators, in several age groups, with the aim to compare the needs of individuals within the group at the work on the machines. In this paper will be described the results of this investigation.

**References:**

- Bevan, N; Kirakowski, J; Maissel, j. What is usability? In: International Conference on HCI, 4, Stuttgart, 1991.
- Bevan, Nigel. Usability is quality of use. In: International Conference on Human Computer Interaction, 6, 1995, Yokohama. Proceedings... Yokohama: Anzai & Ogawa, 1995.
- \_\_\_\_\_. Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações. 2. ed.rev. e ampl. São Paulo: Novatec. 2010.
- Desmet, P. M. A., & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. International Journal of Design, 1(1), 57-66.
- Dombrowski U., Wagner T. (2014). Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP 17 ( 2014 ) 100 – 105.
- Hassenzahl, M.; Tractinsky, N. (2006) User experience – a research agenda. Behaviour & Information Technology, Vol. 25, No. 2, March-April 2006, 91 – 97.
- JORDAN, Patrick W. Human factors for pleasure in product use. Applied Ergonomics. Great Britain: Elsevier. v. 29, n.1. 1998. p. 25-33
- Norman, Donald A. Princípios de design para compreensão e usabilidade. In: O design do dia-a-dia. Tradução de Ana Deiró. Rio de Janeiro: Rocco, 2006.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161-1178.
- SEFFAH, Ahmed; METZKER, Eduard. The obstacles and myths of usability and software engineering. Communications of the ACM. v.47, n.12, December 2004. p. 71-76
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Kim, Y., & Kasser, T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Journal of personality and social psychology, 80(2), 325.
- Schifferstein, H. N., & Hekkert, P. (Eds.). (2011). Product experience. Elsevier.
- Watson, D., Clark, L.A. & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. Journal of Personality and Social Psychology, 54, 1063-1070.

## Berührungsfreies Point-of-Sale-Terminal

### Herausforderungen und Lösungen zur berührungslosen Steuerung durch ungeübte Benutzer im öffentlichen Raum am Beispiel eines industriellen Prototyps

Prof. **Christoph Müller**, Hochschule Furtwangen, Furtwangen;  
M.Sc. **Fabian Gärtner**, Pyramid Computer GmbH, Freiburg

#### Kurzfassung

Aktuelle Kiosksysteme im öffentlichen Raum, z. B. Ticket-Automaten oder Menü-Auswahl-Kiosks in Schnellrestaurants, haben durch den Einsatz eines Touchscreens entscheidende Nachteile: Potenzielle Kunden sind aus hygienischen Gründen nicht bereit, mit einem solchen System zu interagieren. Zudem sind bestimmte Einsatzgebiete, wie z. B. die Positionierung eines Kiosk-Gerätes hinter einer Schaufensterscheibe, nicht realisierbar. Dieser Beitrag thematisiert die genannten Probleme und erläutert ein Forschungsprojekt zur Machbarkeit eines berührungsfreien und gestenbasierten Kiosksystems, das die grundlegenden Vorteile eines Touchscreens mit den Vorteilen einer Gestensteuerung vereinen soll. Hierfür wurde jeder einzelne Schritt von der Auswahl und Optimierung der Hardware- und Softwarekomponenten über die Gestaltung der Benutzeroberfläche bis hin zur Konzeption des Aufbaus des Kiosksystems analysiert. Das System wurde zudem als Prototyp umgesetzt und einer ersten Evaluation durch potenzielle Nutzer unterzogen. Es zeigte sich hierbei, dass aus technischen Gründen ein gestenbasiertes Kiosksystem gegenüber herkömmlichen Touch-basierten Systemen Nachteile aufweist, die keinen Einsatz im öffentlichen Raum erlauben. Die aufgetretenen Probleme werden ebenfalls in diesem Beitrag thematisiert.

#### 1. Warum berührungslose Eingabe?

Touch-basierte Lösungen im öffentlichen Raum haben eine Reihe von Nachteilen. Kunden sind vor allem im Hinblick auf die möglicherweise mangelnde Hygiene und die Gefahr einer hohen Keimbelastung oft nicht bereit, mit einem öffentlichen Gerät durch Berührung des Bildschirms zu interagieren [1, 2]. An einem Kiosksystem im Fast-Food-Bereich ist dies besonders heikel. In einigen Bereichen ist zudem eine Bedienung per Touch gar nicht möglich, z. B. wenn Kiosksysteme in einem vandalismussicheren Gehäuse oder hinter einer Schaufensterscheibe im öffentlichen Raum aufgestellt werden sollen. In solchen Fällen bietet sich ebenfalls eine berührungslose Steuerung des Kiosksystems an.

## 2. Auswahl der 3D-Kamera-Technik

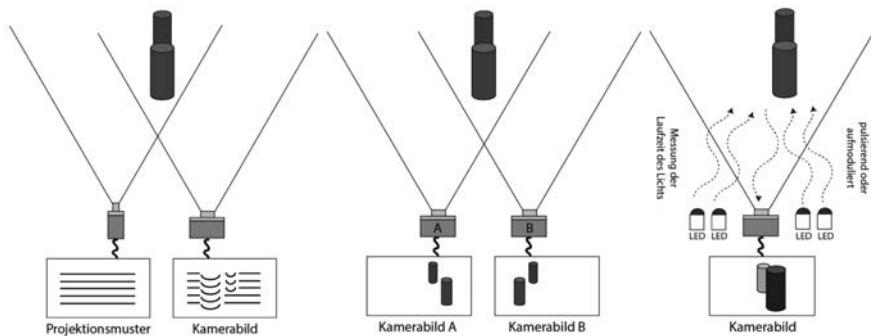


Bild 1: 3D-Kamera-Verfahren, v.l.n.r.: Stereo-, Structured-Light- u. Time-of-Flight-Verfahren

Zur berührungslosen, optischen Erfassung der Benutzerhand zur Eingabesteuerung stehen die drei in Abb. 1 gezeigten und im Folgenden genannten und beschriebenen, derzeit gängigsten Verfahren zur Auswahl:

- Beim *Stereo-Verfahren* werden zwei Kamerasensoren in einem definierten Abstand parallel zueinander angebracht, um durch das Finden von Korrespondenzpunkten in den Bildern der beiden Sensoren das dreidimensionale Tiefenbild mittels Triangulation zu berechnen [3]. Relevant für die Berechnung der Tiefe sind hierbei das Sichtfeld (Field of View) sowie die Distanz der beiden Sensoren zueinander (Baseline).
- Ein *Structured-Light-System* (kurz SL) ist ähnlich dem Stereo-System aufgebaut, wobei eine der beiden Kamerasensoren durch einen Infrarot-Projektor ersetzt wird [4]. Sensor und Projektor sind so ausgerichtet, dass beide einen gemeinsamen Punkt in einem definierten Abstand anvisieren. Grundlage für dieses System ist die auftretende Verzerrung, wenn das durch den Projektor erzeugte Bild (z. B. variable Streifenmuster) auf ein Objekt in der Szene trifft. Dieses Bild wird durch die Kamera aufgezeichnet und anschließend zur Berechnung der Tiefe ausgewertet.
- Das *Time-of-Flight-Verfahren* misst die Laufzeit des Lichtes (engl. Time of Flight, kurz ToF) zur Berechnung der 3D-Tiefendaten [5, 6]. Der große Vorteil liegt hier in der schnellen und einfachen Auswertung der Daten und dem vergleichsweise unkomplizierten Aufbau der Kameras. Es sind lediglich ein spezieller Time-of-Flight-Sensor und eine oder mehrere gewöhnliche Infrarot-LEDs bzw. -Laser-Dioden nötig.

Tab. 1 vergleicht diese drei Verfahren sowohl im Hinblick auf systembedingte Vor- und Nachteile als auch auf Basis der Erkenntnisse aus selbst durchgeföhrten Experimenten.

Tab. 1: Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verfahren

Stereo-Verfahren	Structured-Light-Verfahren	Time-of-Flight-Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Auflösung und Präzision durch moderne Sensoren mögl.</li> <li>+ Verfügbarkeit von Farbinformationen bei RGB-Kameras</li> <li>+ Setup aus mehreren parallelen Kameras sofort einsetzbar</li> <li>+ sehr kostengünstiger und unkomplizierter Systemaufbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ je nach Sensor und Projektor sehr hohe Präzision möglich</li> <li>+ Stromverbrauch liegt zwischen Stereo- und ToF-Verfahren</li> <li>+ Berechnungsaufwand ist geringer als bei Stereo-Verfahren</li> <li>+ kostengünstiger Systemaufbau aus Kamera und Projektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ unkomplizierter Systemaufbau aus Sensor und IR-Dioden</li> <li>+ Multi-Kamera-Aufbau unter bestimmten Umständen möglich</li> <li>+ große Flexibilität und Dynamik in Bezug auf Messbereich</li> <li>+ ToF-Sensoren sind weniger anfällig gegen Hintergrundlicht</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ggf. unflexibler Messbereich durch feste Baseline</li> <li>- Probleme bei Dunkelheit bei Kameras ohne Beleuchtung</li> <li>- Verzerrungen erschweren Finden von Korrespondenzpunkten</li> <li>- Aufwändige und zeitintensive Berechnungen notwendig</li> <li>- Interpolation notwendig für alle strukturarmen Bereiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Farbinformationen bei reinen IR-Systemen verfügbar</li> <li>- hohe Präzision geht auf Kosten der Geschwindigkeit</li> <li>- bei Projektion weniger Streifen wird Interpolation notwendig</li> <li>- Einsatz mehrerer Kameras erfordert Synchronisation</li> <li>- stark anfällig für Störungen bei Fremd- bzw. Gegenlicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kaum Sensoren bzw. Kameras mit hoher Auflösung verfügbar</li> <li>- hoher Stromverbrauch bei hoher Beleuchtungsintensität</li> <li>- generell keine Farbinformationen über ToF-Sensor verfügbar</li> <li>- störungsanfälliger bei starken Temperaturschwankungen</li> <li>- Kosten insb. bei hohen Auflösungen vergleichsweise hoch</li> </ul>

Bezüglich *Sensorauflösung und Präzision* können Neuentwicklungen die aktuell noch geringe Auflösung und Präzision von Time-of-Flight-Kameras erhöhen und somit die Nachteile gegenüber dem Stereo-Verfahren in der Zukunft ausgleichen.

Ein *Multi-Kamera-Aufbau* ist für ein Gestenkiosk-Szenario, wie im weiteren Verlauf beschrieben, sinnvoll. Die Synchronisation der Kameras bei SL- und ToF-Systemen stellt hierbei eine software- und hardwareseitige Herausforderung dar [7]. Unterschiedliche Modulationsfrequenzen beim ToF-Verfahren können dazu beitragen, irrelevante Signale bei Bedarf herauszufiltern [5, 6]. Gleiches gilt für die *Störanfälligkeit bei Fremdlicht*.

Bei Betrachtung der *Wirtschaftlichkeit* sind auf dem Stereo-Verfahren basierende Kameras, für die zwei gewöhnliche Kamerasensoren (CMOS, etc.) verwendet werden können, in der Regel wesentlich günstiger als die innovativeren ToF-Kameras.

Hinsichtlich *Flexibilität* punktet das ToF-Verfahren, bei dem der Messbereich mittels Beleuchtung, Integrationszeit oder Modulationsfrequenz dynamisch anpassbar ist [6]. Bei Stereo-Systemen ist dies nur durch Festlegung mehrerer, unterschiedlich großer Baselines möglich. Die Flexibilität bei Structured-Light-Kameras hängt insbesondere von der Lichtleistung und der Auflösung des verwendeten Projektors ab.

Bei ToF-Kameras kann die *Temperaturabhängigkeit* der Sensoren zu Ungenauigkeiten führen. Denen kann durch Einsatz von Temperatursensoren entgegengewirkt werden [8, 9].

Speziell bei Stereo-Kameras können *Objektivverzerrungen* (z. B. bei Verwendung von *Fish-Eye*-Objektiven) zu Problemen bei der Suche nach geeigneten Korrespondenzpunkten führen. Dies senkt auch die Präzision der Kamera.

Für einen Gedenkiosk sind eine hohe *Bildrate* und geringe *Latenzen* vonnöten, damit schnelle Gesten fehlerfrei erkannt werden. Time of Flight stellt hier prinzipiell das beste Verfahren dar; das aufwändige Finden von Korrespondenzpunkten (Stereo) oder bestimmten Mustern bzw. Streifen beim Structured-Light-Verfahren ist deutlich zeitaufwändiger.

Bei einer im Rahmen des Projektes durchgeföhrten Kamera-Recherche wurden je zwei Kameras pro Verfahren ausgewählt, die intensiven Tests zur Feststellung der *Reichweite*, der *lateralen* sowie *räumlichen Präzision*, dem *Field of View*, der *Bildrate*, der *Latenz*, sowie der *Störanfälligkeit* unterzogen wurden. Für die Durchführung dieser Tests wurde eine Messvorrichtung angefertigt, die in Verbindung mit einer speziell entwickelten Messsoftware die entsprechenden Werte bestimmen konnte. Die Störanfälligkeit wurde unter anderem mittels eines Halogenscheinwerfers und einer Glasscheibe zwischen Kamera und Messsystem getestet. Bei diesen Tests bestätigten sich die in Tab. 1 genannten Vor- und Nachteile.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Stereo-Verfahren zwar viele Vorteile, jedoch auch erhebliche Mängel und insbesondere eine hohe Störanfälligkeit aufweist, was für einen Gedenkiosk als problematisch anzusehen ist. Folglich wurde daher auf eine auf dem ToF-Verfahren basierende Kamera gesetzt. Deren Nachteile, wie die niedrige Auflösung, sollten zukünftig durch technischen Fortschritt geringer bzw. behoben werden.

### 3. Schematischer Aufbau und Positionierung der Mess-Sensorik

Beim Aufbau des Systems waren folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Steuerung aus der Nähe; Benutzer stehen unmittelbar vor dem Kiosk
- Display 32 Zoll im Hochformat
- Interaktionsraum über gesamte Bildschirmfläche bis maximal 1 m Abstand
- Unempfindlichkeit ggü. Verdeckung von anderen Personen oder Gegenständen
- Unempfindlichkeit gegenüber Sonneneinstrahlung oder Reflexionen

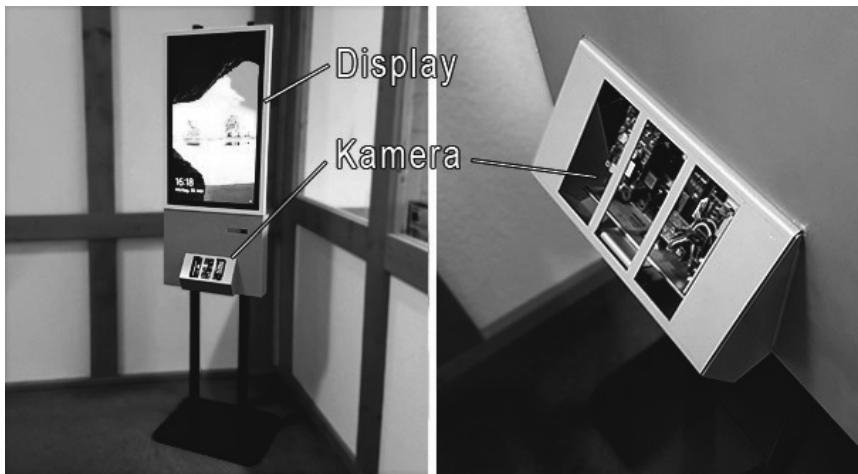


Bild 2: Systemaufbau des Prototyps im Gesamten (links) und die Kamera im Detail (rechts)

Diese – im Vergleich zu bereits existierenden Einsatzgebieten von berührungslosen Eingabesystemen unterschiedlichen – Randbedingungen führten zu dem in Abb. 2 gezeigten und im Folgenden beschriebenen Systemaufbau.

Die erwähnenswerteste Eigenschaft dieses Aufbaus ist die Verwendung von zunächst einer einzigen Kamera unterhalb des Displaybereiches an der kurzen Bildschirmseite im Winkel von 34° (halbes Field of View) zum Display. Dieser Aufbau erlaubt die Verwendung einer einzigen Kamera aus der Auswahl aktuell verfügbarer Kameratypen zur vollständigen Erfassung des Bereichs vor dem Bildschirm. Gleichzeitig kann das System zu einem späteren Zeitpunkt für die Verwendung von zwei Kameras ausgebaut werden. Für den aktuellen Prototyp wurde zunächst auf die Verwendung und Synchronisation von zwei Kameras verzichtet, z. B. um die Stückzahlkosten niedrig zu halten und um den relevanten Mehraufwand für die Erfassungssoftware, zwei 3D-Eingabesignale miteinander zu kombinieren, zu umgehen.

#### 4. Verfahren zur Gestenerkennung

Aus der Vielzahl unterschiedlicher möglicher Verfahren zur Gestenerkennung, wie z. B.

- Ermittlung von Bewegungsvektoren durch Ähnlichkeiten aufeinanderfolgender Bildinhalte
- Formerkennung auf Basis von Konturen und/oder Farben
- Handskelett-Erkennung durch Anwenden eines statistisch basierten Erkennungsmodells
- Fingerspitzenerkennung auf Basis von heuristischer Formerkennung

wurde für den hier beschriebenen Prototyp die *Fingerspitzenerkennung* gewählt. Hierbei wird versucht, fingerartige Objekte im Bild zu erkennen. Damit reduziert sich die Anzahl der erkennbaren Gesten; auf Basis der Anzahl und der Position der erkannten Fingerspitzen kann aber dennoch auf bestimmte Gesten, zum Beispiel auf Pinch-Gesten (Daumen und Zeigefinger bilden einen Kreis) oder auf das Peace-Zeichen, geschlossen werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt vor allem darin, dass im Gegensatz zur Handskelett-Erkennung keine Kalibrierungsphase stattfinden muss, in der Benutzer zunächst vordefinierte Handposen einnehmen müssen. Die Bedienung ist unmittelbar möglich, wenn eine oder mehrere Fingerspitzen im Kamerabild erkannt werden. Auch wenn weitere Faktoren, wie der Öffnungsgrad der Hand, bestimmt sind, bleibt allerdings z. B. die Erkennung der Handrichtung problematisch, da keine Aussage über die Zugehörigkeit der Fingerspitzen zu bestimmten Fingern getroffen werden kann. Dennoch können diese Nachteile in Kauf genommen und die Fingerspitzenerkennung als eine geeignete Art der Gestenerkennung gewertet werden.

## 5. Wahl geeigneter Gesten

Berührungsreie Gestensteuerung zählen, wie auch die weiter verbreiteten Touch-basierten Systeme, zu den *Natural User Interfaces* (NUI) [10]. Geeignete Gesten müssen somit auch hier *intuitiv*, *dezent* und *präzise* sein. Darüber hinaus müssen sie *technisch zuverlässig* erkannt werden und Benutzern ein geeignetes *Feedback* ermöglichen.

*Zeige- und Klickgesten* sind für die Steuerung eines Gestenkiosks eher ungeeignet, auch wenn diese intuitiv, dezent und präzise erscheinen [11]. Bei einer *Klickgeste* müssen Nutzer ihre Hände oder Finger schnell zum Bildschirm hin und anschließend wieder weg führen. Aufgrund des fehlenden haptischen Feedback (keine Berührung des Bildschirms) und der prinzipbedingt häufig auftretenden Fehlerkennung bei zu schnellen oder zu langsam Bewegungen wurde von diesen Arten der Gesten im Prototyp Abstand genommen.

*Greifgesten*, wie z.B. das Greifen von virtuellen Produkten aus einem virtuellen Regal, oder das Umlegen von virtuellen Hebeln (statt Buttons, siehe hierzu auch Kapitel 6), erscheinen sehr intuitiv, da sie zusätzlich zum rein visuellen Feedback durch die geschlossene Faust auch ein natürliches haptisches Feedback liefern. Voraussetzung hierfür ist aber die verlässliche Erkennung sämtlicher Finger der Nutzer. Da dies nur unter bestimmten Haltungen der Hand relativ zur 3D-Kamera gewährleistet ist und ansonsten Erkennungsfehler produziert werden, musste auch dieser Ansatz verworfen werden.

*Swipe-Gesten*, also das Wischen mit der Hand, bieten eine Reihe interessanter Eigenschaften. Insbesondere ist diese Geste Benutzern im Alltag bereits durch die Bedienung von Touchscreens und Smartphones bekannt und benötigt daher keine Lernphase.

Durch die vier Swipe-Richtungen aufwärts, abwärts, links und rechts ist bereits eine einfache und intuitive Menüführung denkbar: Durch Swipen nach links und rechts kann bspw. eine Auswahl über ein 3D-Auswahlrad (vgl. Abb. 3) erfolgen. Solche Interaktionen sind ebenfalls von Smartphones bekannt, wo Bilder in Galerien durchgeblättert werden können. Das Bestätigen einer Auswahl wäre durch eine Swipe-Bewegung nach unten denkbar.

Mögliche Probleme entstehen hinsichtlich der Präzision. Ein Nutzer könnte größere Swipe-Bewegungen evtl. nicht perfekt gerade ausführen und damit ggf. versehentlich mehrere unterschiedliche Auswahlräder in einer Bewegung bedienen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, kann die Benutzeroberfläche optimiert werden, beispielsweise durch entsprechend große Auswahlräder in ausreichend großem Abstand zueinander. Die Geschwindigkeit, mit der eine Swipe-Geste ausgeführt wird, ist in bestimmten Fällen ein kritischer Punkt. Auch hier besteht aufgrund von Bewegungsunschärfe oder aufgrund der beim ToF-Verfahren auftretender, sogenannter *Flying Pixels* (ungültige Pixel) die Gefahr, dass die Bildrate der Kamera nicht ausreicht, um die Swipe-Geste fehlerfrei zu erkennen [12]. Dies ist aber durch die deutlich größere Bewegung bei einer Swipe-Geste im Vergleich zur Klickgeste ein selteneres Problem. Ein weiteres Problem ist die Erkennung ungewöllter Swipes. Dieses kann jedoch dadurch verringert werden, dass nur in entsprechend gekennzeichneten Bereichen der Oberfläche bestimmte Swipe-Gesten erkannt werden. Zudem können Mindestzeiten zwischen der Erkennung von zwei aufeinanderfolgenden Swipes und weitere Mechanismen definiert werden, die die Eindeutigkeit der Erkennung erhöhen und damit die Fehlerrate senken.

Für den hier beschriebenen Prototyp erschien Swipe-Gesten hinsichtlich Bedienbarkeit durch ungeübte Benutzer, technischer Machbarkeit mit der ausgewählten Hardware und Fehleranfälligkeit als die am besten geeignete Möglichkeit.

## 6. Visualisierung und Benutzer-Feedback

Eine optimal angepasste Nutzeroberfläche leistet einen entscheidenden Anteil an einem positiven Benutzererlebnis eines berührungslosen Kiosksystems. Bestehende Systeme versuchen oft, mit herkömmlichen Eingabeverfahren bedienbare Oberflächen auf die Bedienung durch Gesten anzupassen. Dies resultiert häufig in schlecht oder umständlich bedienbaren Anwendungen. Für den Prototyp wurde eine Oberfläche entwickelt, die von Beginn an auf die Gegebenheiten der berührungslosen Bedienung durch ungeübte Nutzer im öffentlichen Raum ausgelegt war. Nutzer eines Gestenkiosks müssen zu jedem Zeitpunkt wissen,

1. wo sie sich in der Oberfläche befinden,
2. ob sie die Aktion bzw. die Geste physisch ausgeführt haben und
3. ob die Oberfläche die Aktion wahrgenommen hat.

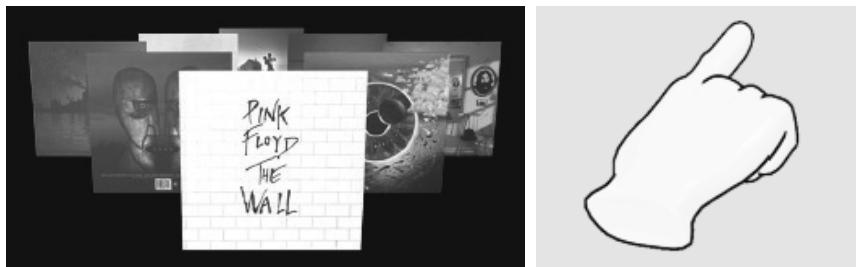


Bild 3: 3D-Auswahlrad (links, [13]) und Beispiel einer virtuellen 3D-Hand (rechts, [14])

Der erste Punkt wird dadurch erfüllt, dass Nutzer kontinuierlich Feedbacks bekommen, mit welchem Bereich oder welchem Element einer Benutzeroberfläche sie gerade interagieren. Nachdem Experimente zeigten, dass das reine Hervorheben von Elementen, mit denen Nutzer interagieren, nur dann ausreicht, wenn den Nutzern bereits bewusst ist, dass es sich um ein gestenbasiertes System handelt, musste ein anderes Verfahren gefunden werden.

Der zweite Punkt wird bei der klassischen Steuerung per Maus und Tastatur durch das haptische und akustische Feedback (das »Klicken«) gelöst. Bei gestenbasierten Systemen ist dies problematischer: da keine Berührung mit dem Bildschirm stattfindet, ist weder ein akustisches noch ein haptisches Feedback gegeben. Das Fehlen dieses Feedbacks muss vor allem durch die Wahl geeigneter Gesten kompensiert werden.

Der dritte Punkt erfordert ein Feedback, das den Nutzern stets eindeutig vermittelt, ob die von ihnen gewünschte und physisch durchgeführte Aktion erfolgreich war. In klassischen Benutzeroberflächen wird bei Buttons hierfür beispielsweise zunächst eine Zustandsänderung von *nicht gedrückt* auf *gedrückt* und folglich das Auslösen dessen Funktionalität durchgeführt. Dieses Feedback ist daher immer konsequent und nach den Regeln des User Interface Designs umzusetzen und wird deshalb auch als eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung und Gestaltung einer gestenbasierten Benutzeroberfläche gesehen.

Im hier beschriebenen Prototyp wird Benutzern ein Feedback in Form einer Darstellung einer auf dem Bildschirm sichtbaren dreidimensionalen Hand vermittelt (vgl. Abb. 3). Ungeübte Benutzer, die zum ersten Mal vor dem Kiosk stehen und zufällig ihre Hand bewegen, sehen sofort, dass das Kiosksystem auf Ihre Aktionen reagiert. Benutzer können in Folge durch Bewegen der Hand und durch Ändern der Fingerstellung die Bedienung des Systems erproben. Zudem kann die Benutzeroberfläche bereits vor oder beim (versehentlichen) Berühren des Bildschirms durch entsprechende Text- oder Icon-Einblendungen den Nutzer auf die berührungsreie Steuerung mittels Gesten hinweisen.

In Bezug auf die visuelle Gestaltung setzen klassische Benutzeroberflächen Bedienelemente wie Buttons, Checkboxen und Textfelder ein. Diese eignen sich jedoch nicht für gestenbasierte Oberflächen, weil das »Drücken eines Buttons« im eigentlichen Sinne per Geste nicht möglich ist. Es zeigt sich, dass für gestenbasierte Oberflächen ein Ersatz für die klassischen Bedienelemente gefunden werden muss und sich somit auch die Gestaltung solcher Oberflächen unterscheidet. Sieht man das System durch die oben beschriebene Nachbildung der Hand als eine Art virtueller Schaukasten an, in die ein Nutzer seine Hand einführt, dann bietet es sich an, die Oberfläche dreidimensional zu gestalten. So wird jedes klassische Bedienelement durch ein entsprechendes dreidimensionales Element ersetzt.

Für den Prototyp wurde eine Visualisierung gewählt, die Cover-Flow-artige Auswahlräder (vgl. Abb. 3) an unterschiedlichen vertikalen Positionen auf dem Bildschirm ermöglicht. Damit wird zunächst der Screen-Space genutzt, um auf unterschiedlichen Höhen auf dem Bildschirm unterschiedliche Einstellungen vornehmen zu können. Diese können mit horizontalen Swipes auf der jeweiligen Höhe durchgeführt werden. Ein Swipe nach unten kann dann abhängig vom Applikationskontext entweder die aktuelle Auswahl mehrerer Auswahlräder gleichzeitig als „zu aktivierende Auswahl“ selektieren oder die aktuelle Auswahl des untersten Auswahlrades dazu verwenden, um in der Selektion eine Hierarchiestufe tiefer zu gehen und ggf. ein weiteres Auswahlrad am unteren Ende erscheinen zu lassen. Beide Aktionen werden durch geeignete visuelle Darstellungen vom Prototyp unterstützt. Die Geste „Swipe nach oben“ wir dabei zum Rückgängig machen der letzten Aktion verwendet.

## 7. Auswertung und Evaluierung

Eine konkrete Auswertung und praktische Validierung der in den vorherigen Abschnitten genannten Aspekte konnte nur durch den Bau eines ersten Prototyps erfolgen. Dies ist im Projektverlauf geschehen (vgl. Abb. 2), wobei dieser Prototyp verschiedene hardware- und softwareseitige Konfigurationen erlaubt, um in einer Nutzerbefragung feststellen zu können, welche Gesamtkonfiguration die für den öffentlichen Raum am besten geeignete Konfiguration darstellt, und um mögliche Probleme frühzeitig erkennen zu können.

Hardwareseitig wurde auf den Prototyp hinsichtlich der Mess-Sensorik bereits in Kapitel 3 eingegangen. Softwareseitig wurde für die Entwicklung der Kioskanwendung die 3D-Engine *Furtwangen University Simulation and Entertainment Engine (FUSEE)* der Hochschule Furtwangen [14] sowie das gängige und weit verbreitete 3D-Programm *CINEMA 4D* als Grafikanwendung genutzt, um einen einfachen Konfigurator für Gaststätten, der es Kunden ermöglichen würde, über dreidimensionale Auswahlräder mit virtuellen Lebensmitteln und per Swipe-Gesten mehrgängige Menüs zusammenzustellen, umzusetzen.

Die Erkennung der Hand funktionierte hierbei in der Regel zuverlässig und akkurat. Es war sowohl möglich, sehr nah am Bildschirm in einem Abstand von wenigen Zentimetern als auch in einem Abstand von bis zu 50 Zentimetern zum Bildschirm zu interagieren. Die Erkennung der Swipe-Gesten hingegen funktionierte nur sehr unzuverlässig und war nicht fehlerfrei reproduzierbar. Die Bewegung der Hand führte zu einer starken Bewegungsunschärfe und hierdurch zu einer so hohen Anzahl an ungültigen Pixeln, dass während der Bewegung keine Handerkennung – und damit keine Gestenerkennung – möglich war. In den wenigen Fällen, in denen ein Swipe erkannt wurde, führte die Rückführung der Hand in die Ausgangsstellung meist zu einer fehlerhaften Erkennung eines zweiten Swipes. Eine Behebung dieses Problems war mit dem gegebenen Stand der Technik nicht möglich.

Neben dieser objektiven Auswertung wurde im Mai 2016 eine unternehmensinterne Usability-Studie durchgeführt: Die Teilnehmer fanden die Idee eines berührungsfreien Kiosksystems generell positiv. Das visuelle Feedback und die Verbindung von Auswahlräder und Swipe-Gesten wurde von zwei Dritteln der Teilnehmer als gut oder ausreichend gut bewertet. Ein Produktiveinsatz des Systems hielten die Teilnehmer aber noch nicht für ratsam, da Swipe-Gesten, wie beschrieben, nur unzureichend erkannt wurden. Dennoch wurde das Gesamtsystem aus Hard- und Software insgesamt positiv bewertet. Die Chance, dass Touchbasierte Systeme in Zukunft generell durch Gestenkioske abgelöst werden, wurde generell als gering eingestuft. Als Ansatzpunkt für die weitere Entwicklung wurde unter anderem die Schaffung einer größeren Intuitivität durch kontextbasierte Lernvideos genannt.

## 8. Fazit

Bereits im Vorfeld und während der Entwicklung des Prototyps ergaben sich für ein berührungsloses Kiosksystem unterschiedliche Herausforderungen, die einen Einsatz des Systems im öffentlichen Raum zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts nur sehr bedingt möglich machten. Wie durch die Evaluation gezeigt wurde, funktioniert der Prototyp vor allem auf Grund der verwendeten 3D-Kamera und der verwendeten Gestenerkennungssoftware im Vergleich zu einem Touch-basierten System sehr unzuverlässig. Somit sind mit dem momentanen Stand komplexe Bedienvorgänge, wie sie an einem Kiosksystem vorgenommen werden müssen, kaum möglich. Daher muss als Fazit festgestellt werden, dass mit dem aktuellen Stand der Technik ein berührungsloses Kiosksystem noch keinen adäquaten Ersatz zu Touch-basierten Systemen darstellen kann. Sollten zukünftige 3D-Kameras und Gestenerkennungsalgorithmen erwartungsgemäß den notwendigen Grad an Fehlerfreiheit liefern, lassen sich die in diesem Prototyp erarbeiteten Bedienungs- und Benutzeroberflächenkonzepte durchaus in berührungslos bedienbaren Systemen verwenden.

## Literatur

- [1] Wölfel, M. »Interacting with Ads in Hybrid Urban Space«. In: Cyberworlds (CW), 2014 International Conference on. Okt. 2014, S. 190–197.
- [2] Sonntag, C. *Interdisziplinäre Studie untersuchte Keime und Pilze auf öffentlichen Touchscreens*. Juni 2011. <https://www.hs-niederrhein.de/news/news-detailseite/interdisziplinaere-studie-untersuchte-keime-und-pilze-auf-oeffentlichen-touchscreens-1939/> (besucht am 31.08.16)
- [3] Schreer, O. *Stereoanalyse und Bildsynthese*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005.
- [4] Geng, J. »Structured-light 3D surface imaging: a tutorial«. In: *Adv. Opt. Photon.* 3.2 (Juni 2011), S. 128–160.
- [5] Bhowmik, A. K. *Interactive Displays – Natural Human-Interface Technologies*. New York: John Wiley & Sons Inc., 2014.
- [6] L. Li. Time-of-Flight Camera — An Introduction. Texas Instruments, Dez. 2015. <http://www.mouser.de/applications/time-of-flight-robotics/> (besucht am 31.08.16)
- [7] IDS Imaging Development Systems GmbH, Hrsg. *Synchronizing Image Acquisition with uEye Cameras*. 2015. [http://www.sanxo.eu/content/appnotes/pdf/AN\\_AB.1.0030\\_Synchronizing-Image-Acquisition-uEye-Cameras\\_EN.pdf](http://www.sanxo.eu/content/appnotes/pdf/AN_AB.1.0030_Synchronizing-Image-Acquisition-uEye-Cameras_EN.pdf) (besucht am 31.08.16)
- [8] Steiger, O; Felder, J. Weiss, S. »Calibration of time-of-flight range imaging cameras«. In: *2008 15th IEEE International Conference on Image Processing*. 2008, S. 1968–71.
- [9] epc600/epc610 temperature and BG light compensation. ESPROS Photonics Corporation, 2014. [http://www.polytec.com/fileadmin/user\\_uploads/Products/Optoelektronische\\_Komponenten/Sensoren/Documents/PH\\_OEK\\_AN10\\_epc600\\_compensation\\_V1.1.pdf](http://www.polytec.com/fileadmin/user_uploads/Products/Optoelektronische_Komponenten/Sensoren/Documents/PH_OEK_AN10_epc600_compensation_V1.1.pdf) (besucht am 31.08.16)
- [10] Wigdor, D.; Wixon, D. *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011.
- [11] Intel. SDK Design Guidelines (version 2). 2014. <https://software.intel.com/sites/default/files/managed/27/50/Intel%20RealSense%20SDK%20Design%20Guidelines%20F200%20v2.pdf> (besucht am 31.08.16)
- [12] D. Lefloch et al. Time-of-Flight and Depth Imaging. Sensors, Algorithms, and Applications: Dagstuhl 2012 Seminar on Time-of-Flight Imaging and GCPR 2013 Workshop on Imaging New Modalities. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
- [13] Pink Floyd (1987) Ltd. albums - Pink Floyd | The Official Site. 1970–2015. <http://www.pinkfloyd.com/music/albums.php> (besucht am 31.08.16)
- [14] C. Müller et al. HandOnCanvas. Verändert. 2013–2015. <http://www.fusee3d.org> und <https://github.com/FUSEEProjectTeam/Fusee/> und (besucht am 31.08.16)



# **Empirischer Vergleich der Ablenkung der visuellen Aufmerksamkeit von einer Konzentrationsaufgabe durch Benachrichtigungen auf Smartwatch und Smartphone**

**Romy Kniewel M.F.A., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt,**  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel

## **Kurzfassung**

Benachrichtigungen auf mobilen Endgeräten sind ein Auslöser für die Ablenkung der visuellen Aufmerksamkeit weg von einer aktuell bearbeiteten Aufgabe hin zum Endgerät. Die zunehmende Verbreitung von Smartwatches, die von Herstellern als weniger ablenkend als Smartphones beworben werden und mittels Benachrichtigungen als zentraler Interface-Komponente agieren, lässt die Frage auftreten, ob Benachrichtigungen auf Smartwatches eine geringere visuelle Ablenkung verursachen als Benachrichtigungen auf Smartphones und worin die Unterschiede bestehen. Dieser Beitrag beschreibt eine empirische Untersuchung mit 40 Probanden, die in vier Doppelaufgabesituationen jeweils hauptsächlich die gleiche Konzentrationsaufgabe zu bearbeiten hatten und nebenbei 12 eingehende Benachrichtigungen lesen und sich bestimmte Informationen merken sollten. Die unabhängigen Variablen waren das Endgerät (Smartphone oder Smartwatch) und die Platzierung des Endgeräts (natürliche oder auf Stativ fixiert). Es wurden objektive Leistungsparameter in der Haupt- und Nebenaufgabe sowie subjektive Parameter, wie die wahrgenommene Ablenkungswirkung der Nebenaufgabe, die Konzentrationsfähigkeit auf die Hauptaufgabe und die wahrgenommene Beanspruchung der Doppelaufgabe erhoben. Auch wurden Blickbewegungen erfasst. Die Erkenntnis dieser Studie ist, dass die Smartwatch-Interaktion im Gegensatz zur Smartphone-Interaktion Vorteile aufweist. Die Leistung in der Hauptaufgabe wurde signifikant weniger negativ beeinflusst. Ebenso wurde sie weniger beanspruchend und weniger ablenkend wahrgenommen.

## **1. Einleitung und Motivation**

Smartphones werden von vielen Menschen fast überall und jederzeit für verschiedenste Anwendungen benutzt [1, 2], und die Bedienung erfolgt meist im Wechsel mit anderen Tätigkeiten. Aktuell besitzen ca. 47,4 Mio. Deutsche ein Smartphone [3]. Ende des Jahres 2012 waren es noch 31 Mio. [4]. Den Smartwatches wird derzeit eine ebenso rasante Verbreitung für die kommenden Jahre prognostiziert [5]. Gleichermassen wird in den Medien (z. B. [6], [7]) zunehmend über eine übermäßige Ablenkung durch die Smartphone-Interaktion berichtet, die sich negativ auf die Leistung in der eigentlichen Tätigkeit auswirkt. Beispiele sind Unfälle

von Fußgängern im Straßenverkehr [8], das Verpassen von Inhalten in der Vorlesung [9] und eine schlechtere Bearbeitung von Hausaufgaben [10].

Benachrichtigungen als zentrales Element von mobilen Endgeräten spielen bei der Ablenkung eine wesentliche Rolle [11]. Verschiedene Applikationen erzeugen dabei die Benachrichtigungen und weisen z. B. auf eingegangene Messenger-Nachrichten hin oder erinnern an Termine. Des Weiteren können Sie auch als Dialog-Element eingesetzt werden, um eine adaptive Einbindung von assistierenden Informations- und Mobilitätsdiensten transparent und steuerbar zu gestalten [12] oder um als eine Basis für die iterative Mobilitätassistenz zur Nutzung des ÖV, wie in [13] vorgeschlagen wurde, zu dienen.

Google wirbt damit, dass die Interaktion mit einer Android-Wear-Smartwatch weniger ablenkend sei als die Interaktion mit einem Smartphone und eine schnellere Rückkehr zur ursprünglichen Aktivität ermöglicht. Das Android-Wear-Designkonzept basiert dabei auf Benachrichtigungen (sogenannten „cue cards“) [14]. Eine Ursache für die geringere Ablenkung könnte die Platzierung der Smartwatch am Handgelenk sein, wodurch eine schnelle Reaktionszeit auf eingegangene Benachrichtigungen begünstigt wird. Außerdem werden visuelle Alarne am Handgelenk im Gegensatz zu visuellen Alarmen an anderen Körperstellen schneller wahrgenommen [15]. Allerdings kann eine Benachrichtigung auf der Smartwatch aufgrund des kleinen Displays nur eine begrenzte Menge an Informationen darstellen, und die Schriftgröße ist tendenziell kleiner. In einer Studie [16], in der ein Smartwatch-basiertes Navigationskonzept empirisch untersucht wurde, wurde herausgefunden, dass die Probanden signifikant weniger auf die Smartwatch blickten als auf ein vergleichenes Navigationsgerät und sie die Smartwatch auch subjektiv weniger ablenkend empfanden.

Dass Benachrichtigungen unterbrechend bzw. ablenkend wirken und wurde bereits für den Desktop-Bereich erkannt und erforscht (z. B. [17]). Im Bereich der mobilen Interaktion wurde ein empirischer Vergleich der Unterbrechung durch Benachrichtigungen auf Smartphone und Benachrichtigungen auf der Smartwatch jedoch noch nicht durchgeführt. Die hier beschriebene Studie zur Untersuchung der Unterschiede soll auch dabei unterstützen, der Frage nachzugehen, ob eine Smartwatch für benachrichtigungsbasierte Mobilitätsdienste, wie sie z. B. in [18] beschrieben wurden, vor dem Smartphone zu präferieren ist.

## **2. Die visuelle Aufmerksamkeit bei der Interaktion mit einer Benachrichtigung**

Die visuelle Aufmerksamkeit bezeichnet die Konzentration der verfügbaren kognitiven Ressourcen zur optimalen visuellen Reizverarbeitung. Es werden zwei Mechanismen unterschieden. Die "offene Aufmerksamkeit" beschreibt die mit Hilfe von Augenbewegungen voll-

zogene Ausrichtung der Fovea centralis auf das wahrzunehmende Ereignis. Die Blickfixationen sind dabei aufgabenabhängig. [19]

Eine visuelle Informationsaufnahme erfolgt ausschließlich während der Fixation. Die Dauer der Fixationen wird häufig als Maß für die Dauer der Bearbeitung der betrachteten Informationen interpretiert.

Die "verdeckte Aufmerksamkeit" bezeichnet die von Kopf- und Augenbewegungen zu trennende, auf neuronaler Ebene stattfindende Verarbeitung situationsrelevanter und irrelevanter Stimuli. Diese Stimulusselektion findet bereits vor dem Einsetzen von Kopf- und Augenbewegungen statt. [19]

Benachrichtigungen erfolgen in Form eines visuellen Hinweises sowie auditiven und/oder haptischen Signals und haben das Ziel, die Aufmerksamkeit des Nutzers zu erregen, damit dieser sich ihnen zuwendet [11]. Der Wechsel der visuellen Aufmerksamkeit zu einer Benachrichtigung auf einem Smartphone geht jedoch zwangsläufig meist auch mit einer motorischen Bewegung des Nutzers einher, z. B. wenn dieser das Smartphone aus einer Tasche holen muss oder er den Sperrbildschirm entsperren muss, um die Informationen in der Benachrichtigung zu lesen. Beim Lesen einer Benachrichtigung auf der Smartwatch ist ggf. ein Drehen des Handgelenks erforderlich, so dass der Nutzer das Display sieht.

Das Android-Betriebssystem für Smartphones (ab Version 5.0 Lollipop) erlaubt es dem Nutzer einzustellen, ob die Informationen von Benachrichtigungen auf dem Sperrbildschirm bereits zu lesen sind oder nur auf eine Benachrichtigung hingewiesen wird. Bei Smartwatches ist das Öffnen einer Benachrichtigung ebenso explizit erforderlich. Die Style Guides von Google legen fest, wie die visuelle Gestaltung der Benachrichtigungen auf Android-Mobilgeräten erfolgen soll und welche Elemente eine Benachrichtigung beinhalten sollen. Dies sind ein Icon der Benachrichtigungen sendenden App, ein Zeitstempel sowie die Nachricht bis zu einem gewissen Zeichenumfang.

### 3. Methode

Auf Grundlage der Annahme, dass die menschlichen kognitiven Ressourcen begrenzt sind, wurde das Doppelaufgabenparadigma für die Versuchskonstruktion gewählt. Dabei hat der Proband parallel zwei Aufgaben zu bewältigen, bei der eine Hauptaufgabe (HA) hauptsächlich zu bearbeiten ist und eine weitere Aufgabe zusätzlich "nebenbei" zu erledigen ist (Nebenaufgabe, NA). Für diese Studie wurde darauf geachtet, dass beide Aufgaben die visuellen Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchten. Die Probanden hatten vier gleich aufgebaute Doppelaufgaben-Situationen zu bewältigen.

Als Hauptaufgabe war, nach einer kurzen standardisierten Übung der Aufgabe, eine sogenannte Durchstreichaufgabe, der Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest D2-R [20], unter Zeitdruck und mit einer Bearbeitungsdauer von 4 Minuten 40 Sekunden zu bearbeiten. Der D2-R-Test misst das Vermögen, sich für kurze Zeit gut konzentrieren zu können. Er besteht aus Buchstaben d und p, welche in 14 Reihen zu je 47 Zeichen angeordnet sind und oben und/oder unten mit einem bis vier Strichen markiert sind. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, in jeder Reihe innerhalb von jeweils 20 Sekunden möglichst viele der mit zwei Strichen markierten d durchzustreichen und dabei weder Auslassungs- (AF) noch Verwechslungsfehler (VF) zu produzieren. Auf das Wechseln zur nächsten Zeile wurde der Proband explizit nach 20 Sekunden auditiv hingewiesen. Die dabei unterbrechende Nebenaufgabe, die ebenfalls eingangs geübt wurde, umfasste das Lesen von je 12 Benachrichtigungen (z. B. Erinnerung, Messenger-Nachricht, Facebook-Status-Update) auf dem Smartphone oder auf der Smartwatch, wobei sich der Proband nur die Informationen der fünf Messenger-Nachrichten merken sollte, um diese später wiedergeben zu können, und die übrigen Benachrichtigungen als Distraktoren fungierten. Jede Benachrichtigung ging mit einem Vibrationsignal einher, das auch auditiv wahrgenommen werden konnte. In einer vorangestellten Kontrollbedingung wurde die HA ohne Unterbrechung absolviert.

Die vier Doppelaufgaben-Situationen unterschieden sich in zwei unabhängigen Variablen: die Art und die Platzierung des Endgerätes. Die natürliche Platzierung der Smartwatch war bei Rechtshändern am linken Handgelenk und beim Smartphone in der linken Jackentasche. Das Smartphone sollte nach dem Lesen der Benachrichtigung immer wieder zurück in die Jackentasche gesteckt werden. Das Stativ war fest fixiert und so ausgerichtet, dass das Display des Endgeräts bei Rechtshändern im linken Bereich des peripheren Sichtfelds platziert war. Der Informationsumfang der Benachrichtigungen war ähnlich, nur die konkreten Informationen unterschieden sich. Einen Überblick über die Bedingungen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Merkmale der Kontrollbedingung (K) und der vier Versuchsbedingungen

	HA	NA		
		Benachrichtigungen	Endgerät	Platzierung
K	d2-R	-		
SP_s		Anzahl zwölf davon fünf Messenger-Nachrichten, ähnliche Inhalte	Smartphone	Stativ
SP_n			Smartphone	natürlich
SW_s			Smartwatch	Stativ
SW_n			Smartwatch	natürlich

Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen war randomisiert, um Lerneffekte auszugleichen. Nach jeder Versuchsbedingung wurden die zu merkenden Inhalte der Messenger-Nachrichten mittels Fragebogen abgefragt. Ebenso erfolgte eine Erhebung der subjektiv erlebten Beanspruchung mittels Raw-TLX [21], eine Abfrage des Ausmaßes der subjektiv wahrgenommenen Ablenkung durch die Nebenaufgabe sowie eine subjektive Einschätzung der eigenen Konzentrationsleistung auf die Hauptaufgabe. Ebenso wurden Blickbewegungen mittels Eyetracking-Brille aufgezeichnet.

Jede Versuchsbedingung wurde mit einem eigenen Prototyp ausgestattet, da sich die Informationen unterscheiden mussten. Die Umsetzung erfolgte mittels der Prototyping-Software JustInMind auf HTML-Basis. Die Informationen in den Messenger-Nachrichten bezogen sich auf ein in kurzer Zeit stattfindendes Treffen. Es waren jeweils Personen-Namen, der Anlass für das Treffen, Verspätungsgründe und -dauer sowie genutzte Verkehrsmittel zu merken.

Um eine Vergleichbarkeit nur der visuellen Aufmerksamkeit zu ermöglichen, wurden die Aspekte der Interaktion mit den Endgeräten, die nur auf den Unterschieden des Betriebssystems basieren, reduziert. So war bei der Smartwatch das explizite Öffnen der Benachrichtigung durch Hochwischen der Benachrichtigung nicht erforderlich. Das Entsperren des Smartphones, um die Inhalte der Benachrichtigung anzuzeigen, war ebenso nicht erforderlich. Dies entspricht einer Einstellung, bei der der Smartphone-Nutzer bereits auf dem Sperrbildschirm die Inhalte der Benachrichtigungen angezeigt bekommt. Daneben wurde darauf geachtet, dass das Design den Vorgaben des Android-Styleguides entspricht.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Stichprobe

Die Stichprobe umfasst 40 Personen ( $m = 30$ ,  $w = 10$ ) in einem Alter von durchschnittlich  $26,85 \pm 4,09$  Jahren. Alle Probanden besaßen Smartphone-Nutzungserfahrung, wobei die Mehrheit eine Erfahrung von über einem Jahr aufwies. 24 Teilnehmer sind auf eine Brille für die Sehkorrektur angewiesen. Die Teilnehmer waren größtenteils Rechtshänder (85 %), und der gleiche Anteil bedient sein Smartphone mit der rechten Hand. Die anderen Teilnehmer waren Linkshänder und bedienen ihr Smartphone mit der linken Hand. 80 % der Probanden würde eine Uhr am linken Armgelenk tragen. Zwei Probanden besitzen eine Smartwatch.

Nicht alle erhobenen Daten aus der Stichprobe konnten hinsichtlich der verschiedenen Untersuchungsaspekte ausgewertet werden. Die objektiven Leistungsdaten und subjektiven Bewertungen hinsichtlich der HA und NA wurden auf Basis von nur 38 Datensätzen ausgewertet werden, da zwei Teilnehmer die Instruktionen zur Bearbeitung der HA nicht befolgten und sich die Leistungswerte dadurch drastisch änderten. Die Blickbewegungsdaten dagegen

sind hiervon unbeeinflusst, da der Wechsel der visuellen Aufmerksamkeit zur NA sowie die Bearbeitungsdauer der HA zeitlich definiert waren und gesteuert wurden. Allerdings lagen bei verschiedenen Probanden in unterschiedlichen Bedingungen zu starke Störeinflüsse vor, so dass diese Datensätze nicht ausgewertet wurden.

### 3.2. Objektiv erreichte Konzentrationsleistung in der HA

Die in der Hauptaufgabe erzielten Konzentrationsleistungen (KL) auf Basis des d2-R-Tests sind in Bild 1 dargestellt. Die KL entspricht der Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte (BZO), die maximal 250 sein können, minus der Verwechslungsfehler (VF). Die insgesamt höchste KL wurde in der Kontrollbedingung K erreicht, bei der nur die Hauptaufgabe zu bewältigen war. Die durchschnittlich schlechteste KL erzielten die Probanden in der Versuchsbedingung SP\_n, in der es erforderlich war, das Smartphone aus der Jackentasche zu holen, um die Benachrichtigungen zu lesen. In den Versuchsbedingungen, die keine Interaktion mit dem Endgerät erforderten, um die Benachrichtigungen zu lesen (SP\_s, SW\_s), ergaben sich höhere KL als in den Bedingungen, die eine Interaktion erforderten (SP\_n, SW\_n).

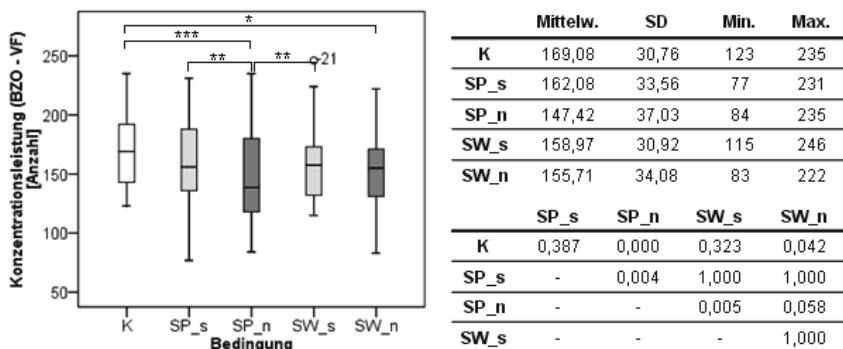


Bild 1: Konzentrationsleistungen in den Bedingungen und Signifikanztest auf Unterschiede

Der Friedman-Test für nicht-normalverteilte abhängige Stichproben ergab  $p < 0,001$ , somit wurde ein Dunn-Bonferroni-Test post-hoc durchgeführt, um herauszufinden, welche Bedingungen sich signifikant unterscheiden. Bei den NA ohne Endgeräte-Interaktion (SP\_s, SW\_s) lagen im Vergleich zur Kontrollbedingung keine signifikanten Unterschiede vor. Die KL war also unwesentlich geringer. Im Gegensatz dazu ergaben sich in beiden Bedingungen mit Interaktion (SP\_n, SW\_n) signifikante schlechtere KL als in der Kontrollbedingung. Die Interaktion mit dem Smartphone (SP\_n) bewirkte die signifikant schlechteste KL in der HA,

wobei die NA mit Smartwatch-Interaktion eine nur tendenziell ( $p = 0,058$ ) bessere KL bewirkte. Ob eine Interaktion mit der Smartwatch erfolgte (SW\_s) oder nicht (SW\_n), hatte keinen signifikanten Einfluss auf die KL in der HA. Dagegen erzeugte die Interaktion mit dem Smartphone (SP\_n) eine signifikant schlechtere Leistung als in SP\_s erzielt wurde.

### 3.3. Subjektive wahrgenommene Konzentrationsfähigkeit auf die HA

Die subjektiven Bewertungen zur Konzentrationsfähigkeit auf die HA (Bild 2) unterscheiden sich von den objektiven Messergebnissen. Die Probanden gaben an, dass sie sich signifikant besser auf die HA in der Kontrollbedingung K konzentrieren konnten als bei allen anderen Bedingungen. Die NA mit Smartphone-Interaktion (SP\_n) hatte zwar die schlechtesten Bewertungen, die Unterschiede sind jedoch zu den anderen Versuchsbedingungen mit einer Ausnahme nicht signifikant. Der einzige signifikante Unterschied ist zwischen der NA mit Smartphone-Interaktion (SP\_n) und der NA mit Smartwatch-Interaktion (SW\_n) zu verzeichnen, wobei sie eine signifikant bessere subjektive Konzentrationsfähigkeit bewirkte.

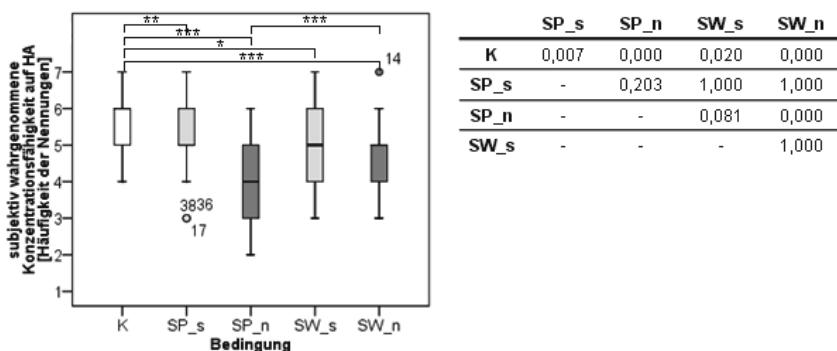


Bild 2: Subjektiv wahrgenommene Konzentrationsfähigkeit auf HA  
(von 1 = "überhaupt nicht" bis 7 = "in hohem Maße")  
und Signifikanztest auf Unterschiede

### 3.4. Objektiv erreichte Erinnerungsleistung in der NA

Die Erinnerungsleistungen unterscheiden sich in den vier Versuchsbedingungen (Tabelle 2). Zur Berechnung der Signifikanz der Unterschiede wurde der Chi-Quadrat-Test angewandt. Die höchsten Erinnerungsleistungen in der NA wurden dann erreicht, wenn das jeweilige Endgerät auf einem Stativ angebracht war (SP\_s, SW\_s). Die geringste Erinnerungsleistung wurde bei der Interaktion mit dem Smartphone erreicht (SP\_n). Die Erinnerungsleistung in

dieser Bedingung unterscheidet sich nicht signifikant von der Erinnerungsleistung in der Bedingung mit der Interaktion mit der Smartwatch (SW\_n). Die Bedingung mit zusätzlicher Interaktion führte jeweils zu einer signifikanten Verschlechterung der Erinnerungsleistung.

Tabelle 2: Objektiv erreichte Erinnerungsleistungen in NA

	<b>SP_n</b>	<b>SW_n</b>	<b>SP_s</b>	<b>SW_s</b>
richtige Antworten	123	138	142	167
falsche Antworten	67	52	47	23
Anteil falscher Antworten	35 %	27 %	25 %	12 %

### 3.5. Subjektiv wahrgenommene Ablenkung durch die NA

Die subjektiv wahrgenommene Ablenkung durch die NA von der HA wurde für jede Bedingung von den Probanden auf einer Skala von 1 = "überhaupt nicht" bis 7 = "in hohem Maße" angegeben. Die NA, die eine Interaktion mit dem Smartphone erforderte (SP\_n) wurde insgesamt am stärksten ablenkend bewertet (Median 5, Minimum 2, Maximum 7). Die insgesamt geringste wahrgenommene Ablenkung wurde für das Lesen der Benachrichtigungen auf dem fixierten Smartphone (SP\_s) geäußert (Median 4, Minimum 1, Maximum 6). Der Unterschied ist zwischen beiden NA ist mit  $p = 0,001$  signifikant. Auch die Interaktion mit der Smartwatch (SW\_n) wurde ablenkender bewertet (Median 5, Minimum 3, Maximum 6) als die interaktionsfreie NA mit Smartwatch (SW\_s; Median 4, Minimum 2, Maximum). Die Angaben für beide NA unterscheiden sich jedoch nicht signifikant ( $p = 0,111$ ). Das Lesen der Benachrichtigungen auf der fixierten Smartwatch (SW\_s) wurde mit  $p = 0,002$  signifikant weniger ablenkend bewertet als die Interaktion mit dem Smartphone (SP\_n). Im Gegensatz dazu wurde das Lesen der Benachrichtigungen auf einem fixierten Smartphone (SP\_s) knapp nicht signifikant weniger ablenkend ( $p = 0,053$ ) bewertet als die Interaktion mit der Smartwatch (SW\_n).

### 3.6. Subjektiv wahrgenommene Beanspruchung in den Aufgabensituationen

Bild 3 stellt die Ergebnisse des Raw-TLX dar. Der maximal mögliche Wert für die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung ist 120. Die Single-Task-Situation (K) wurde am wenigsten beanspruchend wahrgenommen. Die Doppelaufgabensituationen ohne Interaktion (SP\_s, SW\_s) wurden etwas beanspruchender wahrgenommen als die Kontrollbedingung, und die Situationen mit Interaktion (SP\_n, SW\_n) wurden wiederrum noch beanspruchender als die jeweiligen Bedingungen ohne Interaktion (SP\_s, SW\_s) wahrgenommen. Für die Werte ergab der Friedman-Test für nicht-normalverteilte abhängige Stichproben  $p < 0,001$ , so dass

ein Dunn-Bonferroni-Test post-hoc durchgeführt wurde. Der Unterschied der Bedingungen mit und ohne Interaktion ist nur für das Smartphone (SP\_s, SP\_n) signifikant ( $p = 0,014$ ). Dagegen ist der Unterschied bei SW\_s und SW\_n nicht signifikant ( $p = 0,295$ ). Die höchste Beanspruchung wurde bei der Aufgabensituation mit Smartphone-Interaktion (SP\_n) angegeben. Die Interaktion mit der Smartwatch (SW\_n) unterscheidet sich dagegen nicht signifikant in ihren Bewertungen ( $p = 0,501$ ), wurde jedoch leicht weniger beanspruchend bewertet. Auch die Doppelaufgabensituationen ohne Interaktion (SP\_s, SW\_s) unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, und die Mittelwerte sind nahezu gleich. Die Angaben für die interaktionsfreie Bedingung mit Smartwatch (SW\_s) unterscheiden sich nicht signifikant von den Angaben zur Kontrollbedingung (K) und zur Bedingung SP\_s, der Mittelwert von SW\_s liegt auch zwischen den Mittelwerten dieser beiden Bedingungen. SW\_s weist nach K die niedrigsten subjektiven Beanspruchungswerte auf.

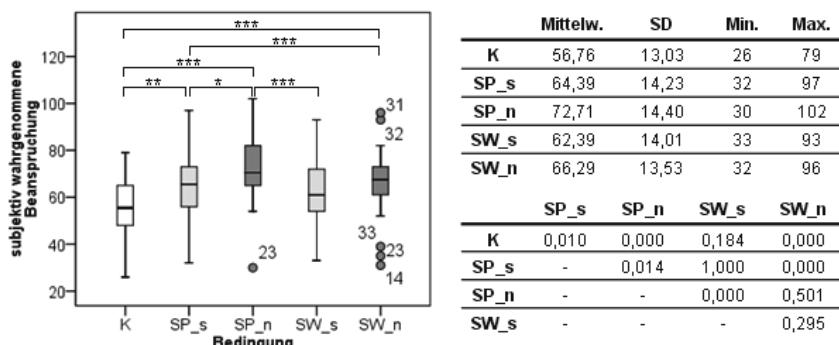


Bild 3: Subjektiv wahrgenommene Beanspruchung und Signifikanztest auf Unterschiede

### 3.7. Blickbewegungen

Die durchschnittlichen Fixationszeiten auf die Haupt- und Nebenaufgabe je Bedingung sind in Bild 4 dargestellt. Die Fixationsdauer auf die HA ist bei der Single-Task-Situation im Vergleich zu allen anderen Bedingungen signifikant länger. Die HA bei der parallelen Smartphone-Interaktion (SP\_n) wurde signifikant ( $p = 0,000$ ) kürzer fixiert als die HA mit interaktionsfreier Smartwatch-NA (SW\_s). Die längsten Fixationsdauern wurden bei SP\_s gemessen. Die Fixationsdauer auf die NA in der Bedingung mit fixierten Smartphone (SP\_s) ist signifikant kürzer ( $p = 0,004$ ) als bei der Interaktion mit dem Smartphone (SP\_n).

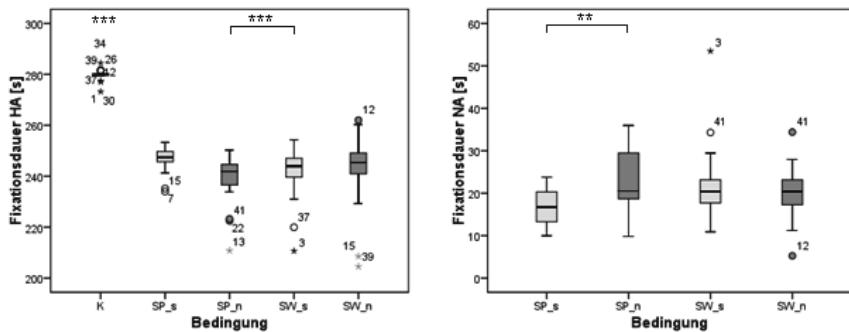


Bild 4: Fixationsdauer für HA (links) und NA (rechts) je Bedingung

#### 4. Diskussion und Schlussfolgerung

Anhand der Ergebnisse lässt sich feststellen, dass das Lesen von Benachrichtigungen auf Smartphone oder Smartwatch objektiv zu einer Reduzierung der KL in einer HA führt. Die mit dem jeweiligen Endgerät erforderliche Interaktion ist dabei die wesentliche Ursache und reduziert die Leistung in der HA signifikant. Der Einfluss der natürlichen Smartwatch-Interaktion ist dabei geringer als der Einfluss einer aufwändigen Smartphone-Interaktion. Es lässt sich vermuten, dass je aufwändiger die Interaktion mit dem Endgerät ist, desto größer ist auch der negative Einfluss auf die Leistung einer HA. Die Angaben zur subjektiv wahrgenommenen Konzentrationsfähigkeit zeigen auch, dass sich Probanden bei einer Smartwatch-Interaktion subjektiv besser auf eine HA konzentrieren können als bei einer Smartphone-Interaktion. Die Ergebnisse zur subjektiv wahrgenommenen Ablenkung durch die NA machen auch deutlich, dass sich die Probanden durch eine NA mit einem Endgerät abgelenkt fühlen. Auch hier wird die Interaktion mit der Smartwatch weniger ablenkend wahrgenommen als die Interaktion mit einem Smartphone. Die Erinnerungsleistung in der NA mit Smartphone-Interaktion (SP\_n) war am geringsten, trotz dass das Smartphone in dieser Bedingung am längsten betrachtet wurde. Die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung ist bei einer Situation, in der z. B. das Smartphone auf einem Tisch liegen würde, geringer als bei einer Situation mit natürlicher Smartwatch-Interaktion.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten insgesamt darauf hin, dass eine Smartwatch eine gute Möglichkeit darstellt, um benachrichtigungsbasierte Assistenzfunktionen für den mobilen Nutzungskontext zu realisieren. Dennoch spiegeln diese Ergebnisse aufgrund der gewählten Laborsituation nur einen Ausschnitt der Realität wider und weitere Studien, mit anderen Doppelaufgabesituationen erscheinen sinnvoll.

**Literatur:**

- [1] Do, T. M. T., Blom, J. u. Gatica-Perez, D.: Smartphone usage in the wild: a large-scale analysis of applications and context. Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces. New York 2011, S. 353–360
- [2] van Eimeren, B.: „Always on“ – Smartphone, Tablet & Co. als neue Taktgeber im Netz. Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2013. In: Media Perspektiven 7 (2013), Nr. 8, S. 386–390
- [3] Liu, C. ; Bendtsen, C. ; Johnson, M. ; McCarthy, A. ; Orozco, O. ; Peart, M. ; Shum, S. ; Utreras Martín ; Wang, H.: Worldwide Internet And Mobile Users : eMarketer's Updated Estimates for 2015, 2015,  
[https://insights.ap.org/uploads/images/eMarketer\\_Estimates\\_2015.pdf](https://insights.ap.org/uploads/images/eMarketer_Estimates_2015.pdf), 17.03.2016
- [4] Schmidt, H.: Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2015 (in Millionen). Statista - Das Statistik-Portal, 2015, 10.03.2016
- [5] Bitkom: Zukunft der Consumer Electronics – 2015 : Marktentwicklung, Schlüsseltrends, Mediennutzung Konsumentenverhalten, Neue Technologien, 2015,  
<https://www.bitkom.org/Publikationen/2015/Studien/CE-Studie-2015/150901-CE-Studie-2015-online.pdf>, 10.03.2016
- [6] Focus Online: Unfallursache Smartphone: Jugendliche leben gefährlich. FOCUS Online, 2015, [http://www.focus.de/digital/handy/unaufmerksam-am-zebrastreifen-unfallursache-smartphone-jugendliche-leben-gefaehrlich\\_id\\_4429811.html](http://www.focus.de/digital/handy/unaufmerksam-am-zebrastreifen-unfallursache-smartphone-jugendliche-leben-gefaehrlich_id_4429811.html), 11.03.2016
- [7] Pauli, R.: Aufmerksamkeitskiller Smartphone. Hochschule. In: TAZ (2016-01-20), S. 18
- [8] Smith, A.: More than half of cell owners affected by 'distracted walking', 2014,  
<http://www.pewresearch.org/fact-tank/2014/01/02/more-than-half-of-cell-owners-affected-by-distracted-walking/>, 29.09.2014
- [9] Riedl, J. ; Zips, S.: Leistungseffekte des kognitiven „Multitaskings“: Smartphones in der Vorlesung. In: Die Neue Hochschule 2015 (2015), Nr. 6, S. 194–197
- [10] Knop, K. ; Hefner, D. ; Schmitt, S. ; Vorderer, P.: Mediatisierung Mobil : Handy- und mobile Internetnutzung von Kindern und Jugendlichen. Zusammenfassung der LfM-Schriftenreihe Medienforschung Band 77, 2015, [http://www.lfm-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/lfm-nrw/Service/Veranstaltungen\\_und\\_Preise/Tagungen\\_und\\_Praesentationen/Alwayson/Dokumente/Band-77\\_Mediatisierung-mobil\\_Zusammenfassung.pdf](http://www.lfm-nrw.de/fileadmin/user_upload/lfm-nrw/Service/Veranstaltungen_und_Preise/Tagungen_und_Praesentationen/Alwayson/Dokumente/Band-77_Mediatisierung-mobil_Zusammenfassung.pdf), 12.03.2016

- [11] Shirazi, A. S. u. Henze, N.: Assessment of Notifications on Smartwatches. Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct. Copenhagen, Denmark, 24 - 27 August, 2015. New York: ACM 2015, S. 1111–1116
- [12] Kniewel, R.; Evers, C.; Schmidt, L. & Geihs, K.,: Designing Usable Adaptations. In: David, K.; Geihs, K.; Leimeister, J. M.; Roßnagel, A.; Schmidt, L.; Stumme, G. & Wacker, A. (Hrsg.): Socio-technical Design of Ubiquitous Computing Systems. Cham: Springer, 2014, S. 211–232
- [13] Samsel, C., Beul-Leusmann, S., Wiederhold, M., Krempels, K.-H., Ziefle, M. u. Jakobs, E.-M.: Cascading Information for Public Transport Assistance. 10. International Conference on Web Information Systems and Technologies Proceedings. 2014, S. 411–422
- [14] Google: App Structure for Android Wear : When to go full screen, o. J.,  
<http://developer.android.com/design/wear/structure.html>, 12.03.2016
- [15] Harrison, C., Lim, B. Y., Shick, A. u. Hudson, S. E.: Where to locate wearable displays? Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, USA: ACM 2009, S. 941–944
- [16] Pielot, M., Poppinga, B., Vester, B., Kazakova, A., Brammer, L. & Boll, S.: Natch: A Watchlike Display for Less Distracting Pedestrian Navigation. In: Ziegler, J. & Schmidt, A. (Hrsg.): Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen. München: Oldenbourg Verlag. 2010, S. 291-300.
- [17] Cutrell, E., Czerwinski, M. u. Horvitz, E.: Notification, Disruption, and Memory: Effects of Messaging Interruptions on Memory and Performance. Proceedings of Interact 2001: IFIP Conference on Human-Computer Interaction. 2001, S. 263–269
- [18] Samsel, C., Dudschenko, I., Kluth, W. u. Krempels, K.-H.: Using Wearables for Travel Assistance. 11th International Conference on Web Information Systems and Technologies. 2015, S. 635–641
- [19] Spektrum Akademischer Verlag: visuelle Aufmerksamkeit. Lexikon der Neurowissenschaft, Heidelberg 2000. <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/visuelle-aufmerksamkeit/13788>, abgerufen am: 31.08.2016
- [20] Brickenkamp, R. ; Schmidt-Atzert, L. ; Liepmann, D.: d2-R : Test d2 - Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest. Göttingen: Hogrefe, 2010
- [21] Byers, J. C. ; Bittner, A. C. ; Hill, S. G.: Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary. In: Advances in industrial ergonomics and safety I (1989), S. 481–485

# Natürliche User Interfaces durch den Einbezug von Nutzern gestalten: Implikationen für ein Entwickler-Gestenmanual

**Thomas Seeling, Angelika C. Bullinger**, TU Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, Chemnitz;  
**Ellen Fricke, Daniel Schöller**, TU Chemnitz, Professur Germanistische Sprachwissenschaft, Semiotik und Multimodale Kommunikation, Chemnitz

## Kurzfassung

Berührungslose Freihandgesten zur Steuerung interaktiver Systeme weisen dann einen höheren Intuitivitätsgrad auf, wenn sie auf konventionalisierten Alltagsgesten der zwischenmenschlichen Kommunikation basieren. Am Beispiel typischer Selektions-, Manipulations- und Navigationsaufgaben, die mittels gestenbasierter 3D-Eingabegeräte steuerbar sind, wird mit explorativen Nutzertests untersucht, welche Gesten als Bedienstrategien durch Nutzer typischerweise spontan hervorgebracht werden. Ziel ist es, dargebotene Gesten auf der Basis ihrer Ähnlichkeit zueinander zu Typen intuitiver Gestenbefehle zusammenzufassen. Mit den definierten Aufgaben zugeordneten Gestentypen als Entscheidungshilfe bei der Implementierung von Gesten-Sets ist es Entwicklern möglich, berührungslose Freihandbedienungen intuitiver zu gestalten. Auf Basis der für spezifische Arbeitsaufgaben dargebotenen Gesten der Probanden ( $N=20$ ) konnten u.a. bereits drei vorläufige Gestentypen für die Aufgabe „Objekt verschieben“ abgeleitet und in ein prototypisches Gestenmanual aufgenommen werden.

## 1. Einleitung

Zur Nutzung eines neuen Interaktionskonzeptes müssen Anwender Regeln und Rahmenbedingungen, die für dieses System gelten, verinnerlichen [1], [2]. Die Dauer dieses Prozesses ist für gestenbasierte Mensch-Maschine-Schnittstellen u.a. von der Häufigkeit der Nutzung und der Passung des implementierten Gesten-Sets zu im Alltag verankerten Objektgebrauchsgesten abhängig. Bestehen Parallelen zwischen den als Gesten-Set in einem System implementierten Gestenbefehlen und Objektgebrauchsgesten des Alltags, wird die Bedienung eher als intuitiv erlebt [3], [4]. Sind Gesten-Sets darüber hinaus für identische Aufgaben über verschiedene interaktive Systeme hinweg gleich gestaltet und können Nutzer dadurch auf ihnen bekannte Bedienkonzepte zurückgreifen, die zusätzlich auf Gesten des alltäglichen Objektgebrauchs basieren, kann die Einübungphase in ein neues System ver-

kürzt werden, was die Akzeptanz und letztlich auch die Nutzung dieser Schnittstellen sicherstellt [5], [6].

Um den intuitiven Gebrauch und damit den Erfolg von Systemen, die auf berührungsloser Interaktion gründen, zu gewährleisten, kann es demnach sinnvoll sein, Nutzer in den Entwicklungsprozess von Gesten-Sets einzubeziehen [1], [7].

## 2. Zielstellung

Am Beispiel von als typisch definierten Selektions-, Manipulations- und Navigationsaufgaben in interaktiven Systemen wird demnach mittels Nutzertest untersucht, welche spontanen Gestenbefehle als Bedienstrategien von Anwendern hervorgebracht werden. Anhand von linguistischen Vergleichsparametern wird festgestellt, ob Probanden für gleiche Aufgaben identische oder ähnliche Gestenbefehle intuitiv darbieten. Diese zu Typen zusammengefasssten Gestenbefehle werden durch weitere erhobene Daten wie etwa dem subjektiv wahrgenommenen Komfort- und Belastungsempfinden sowie der Fähigkeit der Probanden, sich an das dargebotene Gestenkommando zu erinnern, näher beschrieben. Aufbereitet in Form eines Gestenmanuals sind diese Typen Handreichung für Entwickler bei der Implementierung intuitiver, weil auf realweltlichen Gesten der Nutzer gründender, Gesten-Sets in berührungslosen Schnittstellen.

## 3. Operationalisierung intuitiver Mensch-Maschine-Schnittstellen

Zentrales Merkmal intuitiver Entscheidungen ist, dass dieses Handeln ohne bewusste Reflexion oder bewusste Analysen auskommt [8 bis 10]. Intuition kann deshalb als ein kognitiver Prozess beschrieben werden, der Entscheidungen als Problemlösungen für eine gestellte Arbeitsaufgabe produziert, ohne dass der Weg dahin dem Nutzer zu Bewusstsein kommt [11]. Intuition basiert auf (impliziten) Wissensbeständen, die sich aus Vorerfahrungen der Nutzer speisen [8 bis 10], [12 bis 14].

„Ein technisches System ist im Rahmen einer Aufgabenstellung in dem Maße intuitiv benutzbar, in dem der jeweilige Benutzer durch unbewusste Anwendung von Vorwissen effektiv interagieren kann.“ [15]. Die Effektivität der Interaktion ist dabei in der DIN-EN-ISO 9241-11 [16] näher beschrieben mit der „Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der ein Nutzer sein Ziel erreichen kann“. Die unbewusste Anwendung von Vorwissen kann als weiteres Kriterium gelten, wobei Mohs et al. darauf verweisen, dass verschiedene Ebenen von Vorwissen existieren [16]. Auf der untersten Ebene befindet sich das angeborene „Wissen“ (Instinkt- und

Reflexhandlungen), über das alle Menschen verfügen. Auf der obersten Ebene steht der Werkzeuggebrauch als Wissen, zu dem nur Personen mit bestimmter Expertise (zweithöchste Ebene) und bestimmter Kulturreiche (dritthöchste Ebene) Zugang haben. Intuitivität entsteht also durch Vertrautheit und Vorerfahrungen, insbesondere durch Übung [17].

Eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion weist in Teilen Übereinstimmungen mit dem Konstrukt einer guten Usability (Effizienz, Effektivität, Absenz kognitiver Beanspruchung, subjektiv wahrgenommene Zufriedenheit bei der Bedienung) auf [17 bis 19]. Das Konstrukt einer intuitiven Interaktion beinhaltet jedoch Aspekte, die über Gebrauchstauglichkeit hinausgehen. Ullrich und Diefenbach [20] haben mittels eines dualen Ansatzes, der die skizzierten Erkenntnisse der Entscheidungsforschung sowie Anwenderschilderungen, relevante Kriterien identifiziert. Die Intuitivität anzeigen Kriterien hohe wahrgenommene Zielerreichung, geringe wahrgenommene Fehlerrate und geringe wahrgenommene Beanspruchung wurden mittels Fragebogenitems operationalisiert [20].

Im Gegensatz zu Instrumenten wie QUESI (Questionnaire for the Subjective Consequences of Intuitive Use) [18], die Intuitivität vorrangig durch leistungsbezogene und kognitive Aspekte abbilden, setzt der INTUI-Fragebogen anhand seiner vier Komponenten Mühelosigkeit, Gefühlsgeleitetheit, Verbalisierungsfähigkeit und magisches Erleben einen breiteren Fokus auf intuitive Interaktion [21]. Die 17 siebenstufigen Items werden durch gegenseitige Adjektivpaare gebildet und dem Nutzer nach der Interaktion mit einem interaktiven System dargeboten (Bild 1).

Bei der Nutzung (des Produktes) ...						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/> ...handelte ich überlegt	<input type="checkbox"/> ..handelte ich spontan					G_01
<input type="checkbox"/> ...erreichte ich mein Ziel nur mit Anstrengung	<input type="checkbox"/> ..erreichte ich mein Ziel mit Leichtigkeit					H_01
<input type="checkbox"/> ...handelte ich unbewusst, ohne lange über die einzelnen Schritte nachzudenken	<input type="checkbox"/> ..Führte ich bewusst einen Schritt nach dem anderen aus				P_G_02	
<input type="checkbox"/> ...ließ ich mich von meinem Verstand leiten	<input type="checkbox"/> ..ließ ich mich von meinem Gefühl leiten					G_03
<input type="checkbox"/> ...war ich orientierungslos	<input type="checkbox"/> ..konnte ich mich gut zurechtfinden				M_02	
<input type="checkbox"/> ...handelte ich ohne dabei nachzudenken	<input type="checkbox"/> ..konnte ich jeden Schritt genau begründen				P_G_04	

Bild 1: Ausschnitt aus Fragebogen zur Messung von Intuitivität (INTUI) [18]

Weil Freihandgesten stets mit teils erheblichen Muskelaktivitäten verbunden sind, können besonders repetitive und komplexe Gestenfolgen zu Ermüdung führen [22]. Die Beanspruchungsintensität bei der berührungslosen Interaktion mit einem interaktiven System kann durch eine Bestimmung des subjektiven Anstrengungsempfindens erhoben werden [23]. Eine valide Vorgehensweise stellt dabei RPE-Skala ("ratings of perceived exertion") nach Borg [24] dar. Die Schätzskala ist so konstruiert, dass die Schätzungen linear mit der Leis-

tung ansteigen. Die Skala ist für Probanden einfach zu benutzen, sie umfasst den gesamten Bereich von einer minimalen (0) bis zu einer individuellen maximalen Leistung (10) [24].

Um den Teilaspekt einer als natürlich empfundenen Interaktion mit einem System, die Abwesenheit von Schmerzempfinden bei der Darbietung von Gesten für spezifische Aufgaben bewerten zu können, kann das Komforterleben erhoben werden. So können für die Testaufgaben letztlich komfortable von unkomfortablen Gestenkommandos geschieden werden. Studien zeigen, dass gerade komplexe Gesten(folgen), ausgeführt in schneller Bewegung und mit „unnatürlicher“ Stellung von Gelenkwinkeln der Finger und Handgelenke für eine komfortable Mensch-Maschine-Interaktion ungeeignet sind [25]. Rempel et al. [25] schlagen in ihrem Design zur Erhebung des Diskomforts von Gesten bei Gebärdensprachen eine fünfstufige Likert-Skala (0=komfortabel; 5=sehr unkomfortabel bzw. schmerhaft) vor. Studienziel war es, ähnlich wie der Teilaspekt dieses Vorhaben, bestimmte Gesten aus einem Lexikon für Gebärdensprache hinsichtlich ihrer Eignung für eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion zu prüfen [25]. Allerdings knüpfen die Gebärden der Gehörlosen lediglich bei dem Vorwissen gehörloser Nutzer an. Will man neben einer allgemeinen Komfortabilität zusätzlich den Intuitivitätsgrad für hörende Nutzer ermitteln, ist es erforderlich, auch bei zwischenmenschlichen Gesten des Alltagsgebrauchs dieser Nutzer anzusetzen.

Wie beschrieben ist Intuitivität von Interfaces vermittelt durch Vertrautheit und Vorerfahrung [17], [20]. Demnach ist die Eigenschaft interaktiver Systeme, dass sich Nutzer leicht an die implementierten Bedienkonzepte erinnern, ein Indikator für intuitive Interfaces. Nielsen [26] schlägt zur Messung von Interface Memorability eine geeignete Verfahrensweise vor. Hier nach wird der Erinnerungstest unmittelbar im Anschluss an den Nutzertest, mit der Frage nach den Effekten der spezifischen Gestenkommandos oder der Aufforderung der Benennung von Aktionen, mit denen bestimmte Systemzustände ausgelöst werden konnten, durchgeführt. Das Auszählen der korrekten Antworten (Anzahl der Übereinstimmungen von Gestenbefehl und Aktion) ist Indikator für “a interface’s score for memorability” [26].

#### 4. Methodik und Versuchsdesign

Zur Darbietung von Gestenbefehlen und zu deren Bewertung hinsichtlich der beschriebenen Parameter, durchliefen Probanden ( $N=20$ ) in einem explorativen Nutzertest für interaktive Systeme typische Manipulations-, Selektions- und Navigationsaufgaben. 13 Probanden waren dabei männlich, 7 weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 27,5 Jahre ( $sd=7,25$ ). Die Stichprobe beinhaltete 17 Rechtshänder, drei Probanden gaben an, dass ihre dominante Hand die linke sei. Die Auswertung zeigte, dass sämtliche Probanden angaben, technikaffin

zu sein, jedoch konnten nur vier der Probanden bereits Erfahrungen mit 3D-Eingabegeräten vorweisen. Als typische Testaufgaben wurden Szenarien gewählt, die in den meisten interaktiven Systemen in unterschiedlichen Arten und Abstraktionsniveaus Anwendung finden und damit möglichst breitenwirksam gültig sind. Als Testszenarien wurden demnach festgelegt:

- **Horizontales und vertikales Scrollen sowie Blättern von Objekten:** Navigieren in Softwaresystemen ist zentraler Bestandteil einer Vielzahl von Bedienabfolgen innerhalb der Mensch-Maschine-Interaktion, etwa um bildliche oder figürliche Darstellungen so zu skalieren, dass Teilinhalte von Dokumenten, Diagrammen, Schaubildern etc. im Interface ausschnitthaft dargestellt werden können. Mit horizontalem und vertikalem Blättern und Scrollen werden zusätzlich typischerweise Listeneinträge geblöst sowie Seiten organisiert.
- **Objekte gruppieren und Objekte verschieben:** Zudem wurde je eine Testaufgabe für das Gruppieren asymmetrisch angeordneter Objekte auf einem Screen sowie eine Aufgabe zum diagonalen Verschieben von Objekten konstruiert.
- **Skalieren und Zoomen von Objekten:** Ferner interessieren als intuitiv empfundene Bedienstrategien für die Aufgaben Zoomen und Skalieren von Objekten, also objektorientierte Gestenbefehle zur berührungslosen Transformation geometrischer Objekte.
- **Rotieren:** Außerdem werden Gestenbefehle für Aufgaben erfasst, bei denen Objekte in und gegen den Uhrzeigersinn rotiert werden, wie sie in der Alltagspraxis vieler Nutzer etwa beim Drehen von Bildmaterial, Karten oder Zeichnungen zum Einsatz kommen.
- **Öffnen und Schließen von Objekten:** Des Weiteren interessieren Testaufgaben, die von objektorientierten Modellen geprägt sind. Dazu gehören das Öffnen und Schließen von Objekten, wozu Ordner, Programme oder Dateien gehören können, mit denen Nutzer innerhalb von Betriebssystemen mit Desktopmetaphern auf verschiedenen Devices alltäglich umgehen.
- **Ausschneiden, Kopieren und Einfügen von Elementen:** Das Kopieren und Einfügen von Inhalten stellen im Gegensatz zu Öffnen und Schließen abstraktere Bedienkonzepte dar. Mutmaßlich sind deshalb für die Aufgabe des Kopierens im 2D-Multi-Touch-Bereich bisher keine speziellen Gesten implementiert worden.
- **Löschen von Objekten:** Der Befehl Löschen existiert seit den ersten Datenverarbeitungssystemen. Um Gestenbefehle für das Löschen von Objekten evozieren zu können, wird auch dafür eine entsprechende Testaufgabe präsentiert.

- **Auswahl/Anwahl von Objekten:** Der Testdurchlauf wird beschlossen durch die Aufgaben, ein oder mehrere dargestellte Objekte mittels berührungslosen Gestenbefehlen auszuwählen.

Der Versuchsaufbau ist technologieunabhängig, das heißt, dass die für die Testaufgaben dargebotenen Gesten nicht tatsächlich mittels optischer oder gerätebasierter Sensortechnik erfasst werden und im System, als eindeutige Befehle erkannt, entsprechende Funktionen auslösen. Vielmehr werden die Testaufgaben als Soll- und Ist-Zustände von Elementen auf einem 42"-Monitor dargeboten. Die Interaktionselemente werden dabei durch abstrakte geometrische Objekte repräsentiert (Bild 2).

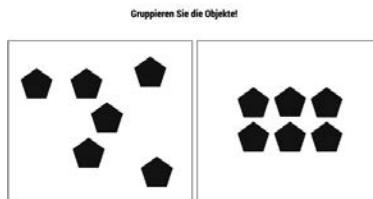


Bild 2: Testaufgabe „Gruppieren von Objekten“ (Ist- und Soll-Zustand von Elementen)

Das Darbieten der Gegenkommandos der Probanden für die 17 Testaufgaben wird mittels Video- und Audiotechnik synchron erfasst. Insgesamt sind vier Feld-Kameras auf den Gesen- bzw. Eingaberaum der Probanden gerichtet. Ein Mikrofon sowie ein Screencapturing-Programm zeichnen die berührungslosen Gestenbefehle der Testpersonen zusätzlich auf (Bild 3).



Bild 3: Multiperspektivische Erfassung einer Probandin bei der Darbietung eines Gegenbefehles für die Testaufgabe „Objekt verschieben“

Im Vorhaben interessieren zum einen die Einschätzungen der Probanden hinsichtlich ihrer dargebotenen Gesten in Bezug auf die dabei empfundene Intuition sowie zum anderen die

der Gestenhandlung zugrunde liegenden kognitiven Konzepte [27]. Beim hier gewählten Ansatz, dem retrospektiven Thinking Aloud, werden die Probanden erst nach der Testaufgabe zur Verbalisierung ihrer Gedanken aufgefordert [28], [29]. Dadurch kann die Darbietung der Gestenbefehle ununterbrochen erfolgen – der spontane Charakter der Gestenbefehle bleibt unberührt. Außerdem sind Möglichkeiten des Nachfragens gegeben. Die Verbalisierungen der Probanden zu jeder Darbietung der Gestenbefehle wurden für die Auswertung transkribiert und mittels der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse zu Kategorien zusammengefasst, die u.a. Rückschlüsse auf die kognitiven Konzepte der Probanden beim Darbieten der Gestenbefehle zulassen [30].

Zusätzlich wurde den Probanden nach jeder Testaufgabe mit dem INTUI ein Fragebogeninstrument mit standardisierten Fragen zur intuitiven Nutzung von Mensch-Maschine-Schnittstellen vorgelegt, um zu prüfen, inwieweit sie den hervorgebrachten Gestenbefehl für die jeweilige Testaufgabe als intuitiv einschätzen [20]. Nach jeder Testaufgabe sind in einem weiteren Schritt Skalen zur Belastung [24] und zum wahrgenommenen Komfortempfinden vorgelegt worden [25].

Eine gezielte Erweiterung der Methode des Lauten Denkens durch einen multimodalen Ansatz im Kontext einer linguistisch-semiotischen orientierten Gestenforschung, die das Zusammenwirken von Gestik und lautlichem Sprechen untersucht, erlaubt darüber hinaus weitere Rückschlüsse, und zwar insbesondere zu Handlungskonzepten und zu räumlich-analogen Vorstellungen, die sich multimodal, d.h. gestisch und lautsprachlich manifestieren [31].

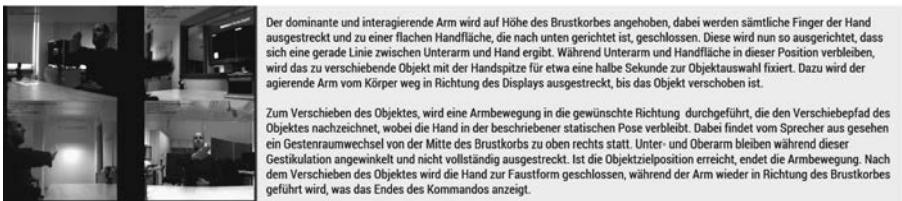
Für die zunächst 20 Probanden, die pro Aufgabe 17 teils unterschiedliche Gestenbefehle dargeboten haben, wird ein Videodokument angelegt und mit Hilfe des Annotationsprogrammes ELAN [32], [33] annotiert. Ausgangspunkt für die linguistisch-semiotische Gestbeschreibung sind zunächst die Parameter Handform, Orientierung der Handfläche, Position im Geste.raum, Bewegungsform und -richtung [34], [35]. Als weitere ergänzende Beschreibungsattribute aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive wurden Dauer und Interaktionsvolumen [6] sowie Form, Beschaffenheit, Anbindung und Ablauf [36] zugrunde gelegt.

Die entsprechenden Parameterinstanziierungen und Attributwerte sind Grundlage für die Zusammenfassung der dargebotenen Gesten zu Gestentypen in Relation zu den definierten Aufgaben innerhalb der Mensch-Maschine-Interaktion. Hierzu wird anhand der oben genannten Parameter festgestellt, ob die Probanden zu gleichen Testaufgaben identische oder ähnliche Gesten dargeboten haben. Für jede der 17 Aufgaben konnte nach der Analyse also mindestens ein Gestentyp konstruiert werden. Für jeden allgemeinen Typ besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass er mehrere ähnliche, ebenfalls typisierte Varianten umfasst.

Ein Konsensus-Wert gibt Auskunft, über die Übereinstimmung der Probanden hinsichtlich der von ihnen für eine Aufgabe dargebotenen Gesten pro Gestentyp [36].

#### 4. Ergebnis: Entwurf eines Gistenmanuals für Entwickler

Das als erster Entwurf umgesetzte Gistenmanual (Prototyp) basiert auf den mittels der Beschreibungsparameter aus dem empirischen Material destillierten Gestentypen. Gestentypen werden als „Gisten-Karten“ in einem Gistenmanual für Entwickler visualisiert. Diese enthalten neben einer linguistischen Beschreibung, die Parameterdarstellung für den Grad der wahrgenommenen Intuitivität, die Memorabilität sowie Werte zu Belastungsempfinden und Komfort und die den Gistenbefehlen zugrunde liegenden kognitiven Konzepte der Nutzer. Bild 4 zeigt für die Testaufgabe „Objekt verschieben“ exemplarisch einen Gestentyp als Eintrag im Gistenmanual.



Intuitivität	Komfort	Belastungsempfinden	Erinnerungsfähigkeit	Mögliche Verwendung
<b>5,48</b>	<b>hoch</b>	<b>0,5</b>	<b>8/8</b>	räumliche Objektmanipulation, Objekt verschieben

Bild 4: Gestentyp 1 für die Testaufgabe „Objekt verschieben“ in Form eines Eintrages in einem Gistenmanual (Prototyp)

Dieser Typ konnte anhand von Ähnlichkeit aus den in der Nutzerstudie dargebotenen Gistenkommandos der Probanden abstrahiert werden und wird in einer Videosequenz aus vier Perspektiven visuell beschrieben. Diese visuelle Dokumentation enthält Anfangs- und

Endpunkt der Geste, die Bewegungsform und -richtung der Geste sowie Informationen, welche Körperteile einbezogen sind.

Daneben finden sich linguistische Beschreibungen der Gestenphasen unter Berücksichtigung der Beschreibungsparameter Handform, Orientierung der Handfläche, Position im Gesterraum sowie von Bewegungsform und -richtung des Gestenkommandos zum Verschieben von Objekten. Die Form des in Bild 4 dargestellten Gestentyps für die Aktion „Objekt verschieben“ kann als statische Pose mit Pfadbewegung beschrieben werden, d.h., dass die Handform (flache Hand, nach unten geöffnet) beibehalten wird, während eine Bewegung der zur Gestenbildung verwendeten Körperteile entlang eines Pfades (das Verschieben) stattfindet. Der Befehl wird typischerweise einhändig mit der dominanten Hand ausgelöst. Das Gestenkommando hat seinen Ausgangspunkt in der Mitte des Gesterraumes, vor dem Brustkorb, wobei der Bewegungspfad vom Körper weg in Richtung des Displays bis über den Kopf verläuft. Das Interaktionsvolumen der einzelnen Gestenphasen ist deswegen als mittel bis groß (Höhepunkt der Geste) zu definieren. Die Bewegung des manipulativen Gestenkommandos wird im Mittel in moderater Geschwindigkeit ausgeführt und dauert in der Ausführung des Verschiebens durchschnittlich 1,45 Sekunden. Die Intuitivität, zusammengesetzt aus den Komponenten Mühelosigkeit, Gefühlsgeleitetheit, Verbalisierungsfähigkeit und magischem Erleben, dieses typischen Gestenbefehls wird, wie auch das Komforterleben ( $MW=0,4$ ) als hoch ( $MW=5,48$ ) bewertet, das subjektive Belastungsempfinden als gering ( $MW=0,45$ ) eingeschätzt, was Entwicklern eine Eignung für die Nutzung räumlicher Objektmanipulationen mittels dieses Gestentyps anzeigt. Zusätzlich haben 100% der Probanden, die diese Geste zur Manipulation nutzten, diese im Anschluss an den Versuchsdurchlauf erinnert.

Unter Berücksichtigung der bisher von 20 Probanden erhobenen und ausgewerteten Daten existieren zwei weitere Gestentypen für die Testaufgabe „Objekt verschieben“. Der zweite, dem ersten ähnliche Typ, unterscheidet sich hauptsächlich hinsichtlich der am Gestenkommando beteiligten Finger der dominanten Hand. Der Gestentypus kann als statische Pose mit einem Finger (typischerweise Zeigefinger) beschrieben werden. Probanden verweisen mittels des Zeigefingers (Handfläche nach unten) auf einen Punkt, das zu navigierende Objekt auf dem Display, und beschreiben anschließend den Bewegungspfad analog zu Gestentyp 1. Der Zeigefinger, der das Objekt punktuell fixiert und es auf einem Pfad, beginnend von der Mitte des Körpers, nach rechts oben verschiebt, ersetzt in dieser Variante die Form der flachen Hand von Gestentyp 1. Gestentyp 1 (flache Hand, Handfläche nach unten) und Gestentyp 2 (Zeigefinger, Handfläche nach unten) unterscheiden sich also wesentlich nur im

Hinblick auf den Parameter der Handform. Beide Handformen sind konventionalisiert, kommen redebegleitend in der zwischenmenschlichen Kommunikation vor und sind in der Alltagskommunikation hochfrequent [37]: Die Zeigefingergeste mit deiktischer Funktion dient der sprachlichen Aufmerksamkeitssteuerung [38], [39], die Form der flachen Hand bildet eine sog. „Gestenfamilie“ mit verschiedenen Form- und Bedeutungsvarianten [39 bis 44]. Wenn man davon ausgeht, dass der Konventionalisierungsgrad einer Geste oder einer Parameterinstanzierung, den Intuitivitätsgrad einer Geste für die Mensch-Maschine-Interaktion erhöht, dann sind beide Gestentypen „intuitiv“ in diesem Sinn. Zugleich wird die Annahme, dass es sich um Gesten mit einem hohen Intuitivitätsgrad handelt, durch die Spontanität der Hervorbringung unterstützt.

Gleiches gilt für den dritten Gestentyp für die Aktion „Objekt verschieben“, der partiell durch eine Nachahmung der Basishandlung des Greifens eines Objekts charakterisiert ist. Die Hand wird dabei typischerweise als „Zangengriff“ oder Greifhand geformt, welche das auf dem Display dargestellte Element imaginär umschließt, um es anschließend – in Richtung, Geschwindigkeit sowie Dauer analog zu Typ 1 und 2 – auf einem gedachten Pfad von der Mitte des Körpers nach rechts oben zu verschieben und dort, unter Öffnen des Griffes zu einer Handfläche, wieder abzulegen. Diese drei Phasen scheinen für den Gestentyp 3 mit der Greifhand bzw. dem Zangengriff als Handform obligatorisch zu sein: Der Verschiebevorgang wird als das Anfassen, Verschieben und Loslassen eines dreidimensionalen Objekts konzeptualisiert und gestisch in allen drei Phasen dargestellt. Bei Gestentyp 1 (flache Hand) und Gestentyp 2 (Zeigefinger) kommen nicht nur dreiphasige, sondern auch zweiphasige und einphasige Handlungsdarstellungen vor, bei denen entweder nur die Phase des Loslassens des Objekts oder zusätzlich die Phase des Anfassens oder Greifens eines Objekts ausgelassen sein können. Eine einphasige Handlungsdarstellung hat nur den Vorgang des Verschiebens selbst zum Gegenstand. Welche Konzeptualisierung vorliegt und wie sie sich auf der gestischen und verbalen Ebene multimodal manifestiert, lässt sich aus der Untersuchung des Zusammenwirkens beider Ebenen erschließen. Gestentyp 1 (Verschiebegeste mit Handfläche) wurde in Variationen von 12 Probanden dargeboten, wohingegen Gestentyp 2 (Verschiebegeste ausgeführt mit Zeigefinger) und Gestentyp 3 (Verschieben durch Greifhand bzw. „Zangengriff“) von jeweils vier Probanden als spontanes Kommando dargeboten wurden. Als den Gestenbefehlen zugrunde liegende kognitive Konzepte konnten das Verschieben eines Blatt Papiers auf einem Tisch (vier Probanden), das analoge Verschieben mit Bauklötzen (sechs Probanden) sowie der Rückgriff auf 2D-Verschiebegesten bei Multitouch-Devices (neun Probanden) festgestellt werden. Diese Differenzierung zwischen analogen

erfahrungsbasierten und technologisch induzierten Verschiebebegesten legt im Weiteren eine altersdifferenzierte Untersuchung nahe.

## 6. Diskussion und Ausblick

Der Versuchsaufbau wurde technologieunabhängig umgesetzt. Die von den Probanden für die Testaufgaben dargebotenen Gesten wurden nicht tatsächlich mittels Sensortechnik erfasst. Dementsprechend konnte auf die Gestenkommandos der Probanden zur Herstellung des definierten Soll-Zustandes der Elemente auf dem Display keine systemseitige Rückmeldung erfolgen. Dieses Vorgehen ist darin begründet, dass beim Einsatz eines interaktiven Systems mit vordefinierten Gestenvokabularen (Leap Motion Controller), im Pre-Test zu beobachten war, dass Probanden ihre Gesten, die sie zur Zielerreichung als angemessen ansahen, revidieren, wenn das System eine Nicht-Detektion von Eingaben rückmeldet. Dies konterkariert das Ziel des Vorhabens, intuitive Typen von Gestenbefehle in einem Manual zu erfassen. Ein Datenhandschuh erwies sich zusätzlich als stark invasiv. Im stattdessen gewählten Vorgehen ist das spontane Evozieren von Gestenbefehlen für die definierten Testaufgaben ohne Reflexionsprozess der Probanden möglich.

Die Studie befindet sich in der Erhebungs- und Testphase, weshalb für eine erste Extraktion von benutzerdefinierten Gestentypen für die vorliegenden Testaufgaben lediglich 20 Probanden zum Ausgangspunkt genommen wurden. Eine Erweiterung der Stichprobe soll zeigen, a) inwiefern die bisher zusammengefassten Gestentypen tatsächlich distinkt sind, ob sie b) mit der Hinzunahme weiterer Fälle ggf. angepasst oder revidiert werden müssen und c) inwiefern die Gestentypen als Empfehlungen zur Gestaltung nutzergerechter Gestenbefehle, etwa zur räumlichen Objektmanipulation, Bestand haben. Da überdies eine altersdifferenzierte Betrachtung geplant ist, sollen in einer weiteren Erhebungsphase vornehmlich Personen über 55 Jahre getestet werden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass erstens eine Erweiterung der Methode des „Thinking Aloud“ durch eine multimodale Sprachbeschreibung unter Einschluss von redebegleitenden Gesten eine präzisere Rekonstruktion von kognitiven Konzepten auch für arbeitswissenschaftliche Fragestellungen ermöglicht [4]. Zweitens erlaubt die Integration von Analyseverfahren aus dem Kontext der Gestenforschung zur zwischenmenschlichen Kommunikation (für eine umfassende Darstellung des internationalen Forschungsstandes siehe [39], [45]) eine präzisere Bestimmung des Konzepts der Intuitivität von Gesten für Mensch-Maschine-Schnittstellen auch in arbeitswissenschaftlichen Kontexten.

Dieser Beitrag wurde vom BMBF im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts MANUACT ([www.manuact.org](http://www.manuact.org)) gefördert.

#### Literatur:

- [1] Dachselt, R., u. Preim, B.: Interaktive Systeme. Band 2. 2. Auflage. Heidelberg: Springer 2014
- [2] Ullrich, D.: Komponenten und Einflussfaktoren der intuitiven Interaktion: Ein integratives Modell. i-com - Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien, 12(3), 2013, S. 44-53
- [3] Fricke, E., Lynn, U., Schöller, D., Seeling, T. u. Bullinger, A. : Hände und Objekte: Perspektiven linguistischer Gestenforschung für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. 3D Sensation, Tagungsband innteract conference, 2016
- [4] Fricke, E., Lynn, U., Schöller, D., Seeling, T.,u. Bullinger, A.: Gesture, virtual globes and technological innovation: Metaphorical concepts as basis for gesturally steering Google Earth with Leap Motion. Gesture - Creativity - Multimodality, Tagungsband 7th Conference of the International Society for Gesture Studies (ISGS), 2016
- [5] O'Hara, K., Harper, R., Metnis, H., Sellen, A. u. Taylor, A.: On the Naturalness of Touchless: Putting the Interaction Back into NUI. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact. 20, 1, Art. 5, 25 Seiten, 2013
- [6] Saffer, D.: Designing Gestural Interfaces. Sebastopol: O'Reilly Media 2008
- [7] Seeling, T., Fricke, E. u. Bullinger, A. C.: Gestenbasierte Google-Earth-Bedienung. Implikationen für ein natürliches Gesten-Set am Beispiel einer 3D-Topographieanwendung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 2016, S. 88-92
- [8] Agor, W. H.: The logic of intuitive decision making: A research-based approach for Topmanagement. New York: Quorum Books 1986
- [9] Bastick, T. : Intuition: Evaluating the construct and its impact on creative thinking. Kingston: Stoneman & Lang 2003
- [10] Fischbein, E.: Intuition in science and mathematics: An educational approach. Dordrecht: Reidel Publishing Co. 1987
- [11] Hammond, K. R.: Naturalistic decision making from a Brunswikian viewpoint: Its past, present, future. In: Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, Zsambok, C. (Hrsg.): Decision making in action: Models and methods . Norwood: Ablex Publishing 1993, S. 205-227

- [12] Cappon, D.: A new Approach to Intuition. *Omni*, 16(1), 1994, S.34-38
- [13] Dreyfuss, H. u. Dreyfuss, S.: Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer. New York: Free Press 1986
- [14] Laughlin, C.: The nature of intuition. A neuropsychological approach. In: Davis-Floyd, R. & Arvidson, S. (Hrsg.): *Intuition: The inside story* New York: Routhledge 1997, S.19-37
- [15] Mohs, C., Hurtienne, J., Kindsmüller, M., Israel, J. u. Meyer, H.: IUIU–Intuitive Use of User Interfaces: Auf dem Weg zu einer wissenschaftlichen Basis für das Schlagwort Intuitivität. *MMI-Interaktiv*, 11, 2006, S.75-84
- [16] DIN-EN-ISO-9241-11. Ergonomic requirements for office work with display terminals (VDTs) – Part 11, Guidance on usability. Genf: International Organization for Standardization 1998
- [17] Blackler, A., Popovic, V. u. Mahar, D.: Investigating users' intuitive interaction with complex artefacts. *Applied Ergonomics*, 41, 2010, S. 72-92
- [18] Naumann, A., Hurtienne, J., Israel, J., Mohs, C., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. u. Hußlein, S.: Intuitive use of user interfaces: defining a vague concept. *Engineering psychology and cognitive ergonomics*. Heidelberg: Springer 2007, S. 128-136
- [19] Norman, D.A. u. Nielsen, J.: Gestural Interfaces: A Step Backward in Usability. *Interactions*, 17 (5), 2010, S. 46-49
- [20] Ullrich, D. u. Diefenbach, S.: INTUI. Exploring the Facets of Intuitive Interaction. In: Ziegler, J., Schmidt, A. (Hrsg.): *Mensch & Computer*, 2010, S. 251-260.
- [21] Ullrich, D.: Intuitive Interaktion: Eine Exploration von Komponenten, Einflussfaktoren und Gestaltungsansätzen aus der Perspektive des Nutzererlebens. Dissertationsschrift. TU Darmstadt 2014
- [22] Daiber, F., Schöning, J., u. Krüger, A.: Whole Body Interaction with geospatial data. *Proceedings of Smart Graphics*, 2009, S.81-92
- [23] Bernhagen, M., Dettmann, A. u. Bullinger, A. C.: Einflussfaktoren der Beanspruchung durch gestenbasierte Eingabegeräte. In: Pielot, M. et al. (Hrsg.), *Mensch und Computer*, 2015, Tagungsband 2015, S. 291–294
- [24] Borg, G.: Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14 (5), 1982, S. 377-381
- [25] Rempel, D., Camilleri, M. J., u. Lee, D. L.: The design of hand gestures for human-computer interaction: Lessons from sign language interpreters. *International journal of human-computer studies*, 72(10), 2014, S. 728-735
- [26] Nielsen, J.: *Usability engineering*. Elsevier 1994

- [27] Fauconnier, G. u. Turner, M.: *The Way We Think. Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities*. New York: Basic Books 2002
- [28] Buber, R.: *Lehrbuch. Qualitative Marktforschung: Konzepte, Methoden, Analysen*. 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler 2009
- [29] Häder, M.: *Empirische Sozialforschung: Eine Einführung* (3. Aufl.). Springer Link: Bücher. Wiesbaden: Springer VS. 2015
- [30] Mayring, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 11. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz 2010
- [31] McNeill, D.: *Hand and Mind: What Gestures Reveal about Thought*. Chicago: Chicago University Press 1992
- [32] Brugman, H. u. Russel, A.: Annotating Multimedia / Multi-modal resources with ELAN, in: Proceedings of the 4th International Conference on Language Resources and Language Evaluation (LREC 2004), 2004, S. 2065-2068
- [33] Wittenburg, P., Brugman, H., Russel, A., Klassmann, A. u. Sloetjes, H.: ELAN: a Professional Framework for Multimodality Research, in: Proceedings of the 5th International Conference on Language Resources and Evaluation LREC 2006 S. 1556-1559
- [34] Bressem, J., Ladewig, S. u. Müller, C.: Linguistic annotation system for gestures (LASG) In: Müller, C. Cienki, A.; Fricke, E.; Ladewig, S.; McNeill, D.; Teßendorf, S. (Hrsg.): *Body-Language-Communication: An International Handbook on Multimodality in Human Interaction*. (Handbooks of Linguistics and Communication Science 38.1.). Berlin und Boston: De Gruyter: Mouton 2013, S. 1098-1125
- [35] Wagner, P., Malisz, Z. u. Kopp, S.: Gesture and speech in interaction: An overview. *Speech Communication*, 57, 2014, S. 209-232
- [36] Woobrock, J., Morris, M. u. Wilson, A.: User-Defined Gestures for Surface Computing. CHI 2009
- [37] Müller, C., Cienki, A., Fricke, E., Ladewig, S., McNeill, D. u. Bressem, J. (Hrsg.) : *Body – Language – Communication. An International Handbook on Multimodality in Human Interaction* (Handbooks of Linguistics and Communication Science 38.2). Berlin und Boston: De Gruyter Mouton 2014
- [38] Fricke, E.: *Origo, Geste und Raum – Lokaldeixis im Deutschen*. Berlin und New York: De Gruyter 2007
- [39] Fricke, E.: Deixis, gesture, and embodiment from a linguistic point of view. In:, Müller, C., Cienki, A., Fricke, E., Ladewig, S., McNeill, D. u. Bressem, J. (Hrsg.): *Body – Language – Communication. An International Handbook on Multimodality in Human Interaction*. Bd. 2. Berlin und Boston: De Gruyter Mouton 2014, S. 1802-1823

- [40] Bressem, J. u. Müller, C.: A repertoire of recurrent gestures in German. In: Müller, C., Cienki, A., Fricke, E., Ladewig, S., McNeill, D. u. Bressem, J. (Hrsg.): Body – Language – Communication. An International Handbook on Multimodality in Human Interaction (HSK 38.2). Berlin und Boston: De Gruyter Mouton 2014
- [41] Calbris, G.: The Semiotics of French Gestures. Bloomington: Indiana University Press 1990
- [42] Kendon, A.: Gesture: Visible Action as Utterance. Cambridge: Cambridge University Press 2004
- [43] Ladewig, S. H.: Beschreiben, suchen und auffordern. Varianten einer rekurrenten Ges- te. Sprache und Literatur, 41, 2010, S. 89-111
- [44] Müller, C.: Forms and uses of the palm up open hand: A case of a gesture family? In: Müller, C. u. Posner, R. (Hrsg.): The Semantics and Pragmatics of Everyday Gestures. Proceedings of the Berlin Conference April 1998, 2004, S. 233-256
- [45] Müller, C., Cienki, A., Fricke, E., Ladewig, S., McNeill, D. u. Teßendorf, S. (Hrsg.): Body – Language – Communication. An International Handbook on Multimodality in Human Interaction (Handbooks of Linguistics and Communication Science 38.1). Berlin und Boston: De Gruyter Mouton 2013



# Gebrauchstauglichkeit und kontextabhängige Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Steuerung in Bezug auf jüngere und ältere Nutzer

Dipl.-Ing. **Manuel Radziwill**, M.F.A. **Romy Kniewel**,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Ludger Schmidt**,  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel

## Kurzfassung

Um die Gebrauchstauglichkeit und kontextabhängige Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Steuerung mittels „Google-Now“ in Bezug auf Nutzer unterschiedlicher Alterskohorten zu evaluieren, wurden im Rahmen einer Laborstudie mit zwei unabhängigen Stichproben die Effektivität und die Effizienz sprachbasierter Smartphone-Interaktion mit dem heute üblichen Interaktionsmuster der virtuellen Touchscreen-Tastatur verglichen. Außerdem wurden die empfundene Einfachheit der Nutzung und die wahrgenommene Nützlichkeit als Komponenten der Nutzerakzeptanz sowie die kontextabhängige Nutzungsbereitschaft der beiden Eingabemodalitäten evaluiert. Die Ergebnisse der Studie zeigen zwar, dass beide Eingabemodalitäten sowohl von jüngeren als auch von älteren Nutzern zur Erledigung von navigationsbezogenen Aufgaben genutzt werden können, dass im Hinblick auf die Effektivität (Häufigkeit Fehleingaben) und Effizienz (Bearbeitungsdauer) der Aufgabenerfüllung jedoch auch signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Eingabemodalitäten, als auch zwischen den beiden Alterskohorten auftreten. So konnte u. a. gezeigt werden, dass mittels Spracheingabe in beiden Versuchsgruppen weniger Fehleingaben getätigt wurden und die Sprache eine schnellere Aufgabenbearbeitung ermöglichte als die tastaturbasierte Eingabe. Der Vergleich zwischen den beiden Alterskohorten zeigte, dass jüngere Nutzer mittels tastaturbasierter Eingabe signifikant weniger Fehleingaben tätigten als Ältere und zudem alle gestellten Aufgaben des Versuchsszenarios signifikant schneller bearbeiteten. Mittels Spracheingabe konnte teilweise der gleiche Effekt festgestellt werden, allerdings nur für zwei von fünf Aufgaben. Die subjektive Bewertung der Probanden machte zudem deutlich, dass die Spracheingabe altersunabhängig sowohl nützlicher als auch einfacher zu nutzen empfunden wird als die Tastatureingabe. Allerdings zeigte sich auch, dass die Nutzungsbereitschaft stark vom Nutzungsumfeld bzw. vom Bekanntheitsgrad mitanwesender Personen abhängig ist, wobei ältere Personen der Nutzung von Spracheingaben in der Öffentlichkeit kritischer gegenüberstehen als Jüngere.

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren ist der weltweit zunehmende Trend zu beobachten, dass Smartphones in unterschiedlichsten Nutzungskontexten und zur Erledigung verschiedenster Aufgaben von einem stetig wachsenden Personenkreis genutzt werden. So stieg der Anteil mobiler Internetnutzer in Deutschland von 38 % im Jahr 2013 und 52 % im Jahr 2014 auf 56 % im Jahr 2015 an [1]. Zu Beginn der Smartphone-Ära galten vor allem technikaffine, jüngere Menschen als Pioniere der mobilen Endgeräte, doch mittlerweile haben sich diese in der breiten Bevölkerung etabliert, und Menschen unterschiedlichsten Alters besitzen und nutzen zunehmend Smartphones. Studien zeigen jedoch, dass sich die Gebrauchstauglichkeit zwischen jüngeren und älteren Nutzern unterscheiden kann und für ältere Nutzer häufiger NutzungsbARRIEREN bei der Smartphone-Interaktion auftreten als für jüngere Nutzer [2], [3]. In diesem Zusammenhang konnte u. a. gezeigt werden, dass sich die Eingabe von Reisezielen im Kontext von Navigationsaufgaben zwischen jüngeren und älteren Nutzern bei der Nutzung einer virtuellen Touchscreen-Tastatur unterscheidet und ältere Nutzer signifikant mehr Zeit zur Aufgabenbewältigung benötigen als jüngere Nutzer [4]. Multimodale Interaktion, d. h. die Bereitstellung unterschiedlicher Ein- und Ausgabemodalitäten kann die Gebrauchstauglichkeit von Benutzungsschnittstellen verbessern. Vor allem in bestimmten NutzungssituatIonen, bspw. während der Fahrt mit einem Auto, besitzt die Sprachsteuerung Vorteile gegenüber der tastaturbasierten Eingabe, da Aufmerksamkeitsressourcen für die Fahraufgabe geschont werden können [5]. Aber auch in anderen NutzungssituatIonen besitzt die sprachbasierte Eingabe das Potenzial, die Interaktion zwischen Mensch und Smartphone effektiver und effizienter zu gestalten, da die Sprache aufgrund ihrer Vertrautheit aus der zwischenmenschlichen Kommunikation als intuitiver Zugang zur Technik betrachtet wird [6]. Sprache ermöglicht eine „natürlichere“ Interaktion, da Nutzer sprachbasierter Systeme die gleichen Interaktionsstrategien nutzen können, welche bereits in der Mensch-Mensch-Kommunikation erlernt wurden [7]. Wird die Sprache als alternative Modalität zur Verfügung gestellt, so kann dies außerdem die Nutzerakzeptanz erhöhen, da nutzerabhängig unterschiedliche Präferenzen im Hinblick auf die Aufgabenlösung auftreten [6].

## 2. Sprachbasierte Smartphone-Steuerung

Mit Einführung der sogenannten Sprachassistenten „Siri“ für Apples Betriebssystem iOS und „Google Now“ für das Betriebssystem Android sind Smartphones in der Lage, über gesprochene Befehle gesteuert zu werden und Informationen aus dem Internet abzurufen. Die Sprachsteuerung geht dabei über das reine Diktieren von Text hinaus, da das Smartphone zum einen vom Nutzer initiierte Sprachkommandos entgegennimmt, an einen Server sendet,

welcher die Kommandos analysiert und eine entsprechende Antwort zum Smartphone zurückschickt. Zum anderen werden auch Ressourcen des Telefons verwendet, um Aufgaben wie z. B. Termine in einen Kalender einzutragen, mittels Sprachbefehlen zu ermöglichen. Durch die Nutzung von Standortdaten werden des Weiteren auch ortsbezogene Suchdienste ermöglicht, z. B. um sich bestimmte Lokalitäten bzw. Routen im Rahmen von Orientierungs- und Navigationsaufgaben anzeigen zu lassen.

### **3. Erkenntnisse der angewandten Forschung**

Zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit sprachbasierter Smartphone-Steuerung wurden bereits mehrere Studien für unterschiedlichste Anwendungsfälle durchgeführt. Bezogen auf die Effizienz der Aufgabenerfüllung konnte dabei u. a. festgestellt werden, dass mittels Sprachsteuerung eine signifikant schnellere Aufgabenbewältigung ermöglicht wird als mittels Tastatureingaben [8]. Zur Eingabe längerer Textbausteine (z. B. das Verfassen von E-Mails) konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass die Sprache eine bis zu fünfmal schnellere Aufgabenbewältigung ermöglicht [9]. Auch lässt sich durch die Verwendung von Spracheingaben die Fehlerrate gegenüber tastaturbasierter Eingabe minimieren [8], wobei die Art und Anzahl von Eingabefehlern stark vom Layout der eingesetzten Tastatur abhängig ist. Mittels physischer QWERTY-Tastatur konnten bspw. weniger Fehler bei der Texteingabe beobachtet werden als mittels virtueller Touchscreen-Tastatur [10], [11]. Auch in Bezug auf ältere Nutzer konnte bereits gezeigt werden, dass Spracheingaben eine effektivere und effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion ermöglichen als Tastatureingaben und keine signifikanten Unterschiede bei der sprachbasierten Interaktion im Vergleich zu jüngeren Nutzern bestehen, wohingegen unterschiedliche Tastaturlayouts (virtuelle Touchscreen-Tastatur, Swipe-Gesten, Handschrift) von jüngeren Nutzern effektiver und effizienter eingesetzt werden können als von älteren Nutzern [11]. Des Weiteren wird die Spracheingabe als leicht zu erlernen empfunden, und es wird ihr eine hohe Nützlichkeit im mobilen Nutzungskontext zugesprochen [8]. Da mit der Verwendung von Sprachbefehlen in der Öffentlichkeit jedoch auch eine Einschränkung der Privatsphäre einhergeht, können auch Nutzungshemmnisse auftreten. So zeigen die Ergebnisse einer im Jahr 2004 mit Studenten durchgeföhrten Studie auf, dass die Nutzungsbereitschaft für sprachbasierte Interaktion ohne das Beisein von weiteren Personen am stärksten ausgeprägt ist. Im Beisein von bekannten Personen nimmt die Nutzungsbereitschaft ab. Am geringsten akzeptiert wird die Nutzung im Beisein von fremden Personen [12].

#### 4. Forschungsfrage und Hypothesen

Die Befunde der angewandten Forschung zeigen auf, dass mittels Sprachsteuerung eine effektivere und effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion sowohl für jüngere als auch für ältere Nutzer ermöglicht werden kann. Allerdings bestehen auch Erkenntnisse darüber, dass vor der Einführung der heutigen Sprachassistenten, je nach Nutzungskontext eine unterschiedlich stark ausgeprägte Nutzungsbereitschaft bei jüngeren Nutzern bestand. Für ältere Nutzer existieren in diesem Zusammenhang keine Erkenntnisse. Es stellt sich demnach die Frage, welche Nutzungsbereitschaft der heutigen mobilen Sprachinteraktion zugesprochen werden kann und wie sich die Gebrauchstauglichkeit im Vergleich zur Tastatur für Nutzerguppen unterschiedlichen Alters verhält. Auf Grundlage der Erkenntnisse der angewandten Forschung wurde bei der Hypothesenbildung davon ausgegangen, dass mittels Sprachsteuerung sowohl älteren als auch jüngeren Nutzer eine effektivere und effizientere Bearbeitung von Orientierungs- und Navigationsaufgaben mit Hilfe der „Google-Now-App“ ermöglicht wird als mittels virtueller Touchscreen-Tastatur. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass bei der Spracheingabe im Gegensatz zur Tastatureingabe keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen bezogen auf die Gebrauchstauglichkeit bestehen und das die Spracheingabe von beiden Altersgruppen nützlicher als auch einfacher zu nutzen bewertet wird als die Tastatureingabe. In Bezug auf die Nutzungsbereitschaft wurde davon ausgegangen, dass das Beisein von fremden Personen noch immer das größte Nutzungshemmnis in Bezug auf Spracheingabe hervorruft, wobei vermutet wurde, dass dieser Effekt bei älteren Nutzern stärker ausgeprägt auftritt als bei jüngeren Nutzern.

#### 5. Methode

Um Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit, die Nutzungsbereitschaft und die Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Interaktion für Orientierungs- und Navigationsaufgaben treffen zu können, wurde eine Laborstudie mit zwei unabhängigen Stichproben durchgeführt, wobei zwei Technikgenerationen als Ausprägungen der unabhängigen Variable „Kohortenzugehörigkeit“ betrachtet wurden. Die „Generation der zunehmenden Haushalts-technisierung“ (Geburtsjahrgänge 1949-1963) wurde als Versuchsgruppe und die „Internetgeneration“ (Geburtsjahrgänge 1979-1996) als Kontrollgruppe betrachtet [13]. Im Rahmen der Studie sollten mit Hilfe der „Google-Now-App“ (Android v5.4.28.19) fünf unterschiedliche Aufgaben zur Orientierung und Navigation bearbeitet werden (vgl. Tabelle 1), wobei die Eingabemodalität als zweite unabhängige Variable betrachtet wurde, mit den Ausprägungsstufen „virtuelle Touchscreen-Tastatur“ und „Spracheingabe“ (vgl. Bild 1).

Tabelle 1: Aufgaben des Versuchsszenarios

Nr.	Inhalt der Aufgabe
A	Auffinden einer Zugverbindung von Ort [x] nach Ort [y]
B	Darstellung einer (Auto-) Route von Ort [x] nach Ort [y]
C	Darstellung einer (Fußgänger-) Route von Ort [x] nach Ort [y]
D	Darstellung einer Kartenansicht von Ort [x]
E	Auffinden eines bestimmten Standorts [x] in Ort [y]

Jede der fünf Aufgaben wurde im Rahmen der Versuchseinführung mit exemplarischen Ortsnamen einmal mittels virtueller Touchscreen-Tastatur und einmal mittels Spracheingabe vom Versuchsleiter vorgeführt. In einem nächsten Schritt mussten die Probanden mit weiteren exemplarischen Ortsnamen jede Aufgabe einmal üben, um die Vergleichbarkeit in Bezug auf die Vertrautheit der Eingabemethoden zu gewährleisten. Anschließend folgte die eigentliche Bearbeitung der Aufgaben mit unterschiedlichen Ortsnamen, wobei die Vergleichbarkeit untereinander durch eine gleiche Anzahl an Buchstaben pro Namen gewährleistet wurde. Um Lern- und Reihenfolgeneffekte auszuschließen, wurden sowohl die Aufgabenreihenfolgen, die Ortsnamen als auch die Eingabemodalitäten interindividuell ausbalanciert, und es wurde nach einem ausgeglichenen Versuchsplan vorgegangen.

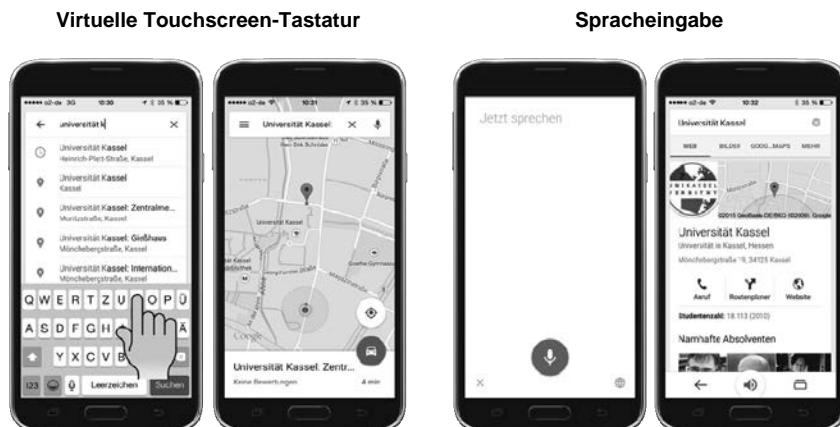


Bild 1: Vergleich der Eingabemodalitäten (links: Tastatureingabe; rechts: Spracheingabe)

Für die Studie dienten die Effektivität und Effizienz als Maße der Gebrauchstauglichkeit sowie die Nutzerakzeptanz als abhängige Variablen. Die Effektivität wurde objektiv über die Zielerreichung und die Häufigkeit an Eingabefehlern erhoben. Die Effizienz wurde über die benötigte Eingabedauer bis zur Zielerreichung gemessen. Zur Messung der Akzeptanz wurde der auf dem Technology Acceptance Model basierende Standardfragebogen von Davis eingesetzt, welcher die wahrgenommene Nützlichkeit und die Einfachheit der Nutzung als zwei Komponenten der Akzeptanz betrachtet [14]. Des Weiteren wurden den Probanden Fragen zu kontextabhängigen Modalitätspräferenzen gestellt.

## 6. Ergebnisse

Die Versuchsgruppe bestand aus 20 älteren Probanden im Alter zwischen 50 und 69 Jahren ( $M=57,8$  Jahre,  $SD=7,2$  Jahre), die Kontrollgruppe setzte sich aus 20 jungen Erwachsenen im Alter zwischen 20 und 31 Jahren ( $M=28,1$  Jahre,  $SD=4,4$  Jahre) zusammen. Die Geschlechterverteilung war in beiden Gruppen ausgeglichen. Alle Teilnehmer der beiden Versuchsgruppen waren im Besitz eines Smartphones, wobei keiner der Probanden angab, Vorerfahrung im Umgang mit Smartphone-basierter Sprachsteuerung zu besitzen.

### 6.1 Modalitätsabhängige Anzahl an Fehleingaben

Alle fünf Aufgaben des Versuchsszenarios wurden sowohl von der Versuchsgruppe als auch von der Kontrollgruppe in beiden Versuchsbedingungen (tastatur- bzw. sprachbasierte Eingabe) zu 100 % erfüllt. Aufgrund nicht-normalverteilter Daten wurde mittels Wilcoxon-Test jedoch festgestellt, dass innerhalb der Versuchsgruppe signifikant mehr Fehler mittels Tastatur- als mittels Spracheingabe getätigt wurden ( $p=0,003$ ). Über alle Aufgaben hinweg wurden dabei 187 Eingabefehler mittels Tastatureingabe und 16 Eingabefehler mittels Spracheingabe identifiziert. Der gleiche Effekt konnte auch in der Kontrollgruppe festgestellt werden. Hierbei wurden 101 Eingabefehler mittels Tastatureingabe und 7 Eingabefehler mittels Spracheingabe identifiziert ( $p=0,004$ ).

### 6.2 Modalitätsabhängige Bearbeitungsdauer

Für die Bearbeitung des Gesamtzenarios benötigte die Versuchsgruppe durchschnittlich 203,2 s mittels Tastatureingabe und 43,7 s mittels Spracheingabe. Die aufgabenspezifischen Bearbeitungsdauern der Versuchsgruppe sind in Bild 2 dargestellt. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests konnte festgestellt werden, dass innerhalb der Versuchsgruppe durch die Benutzung der Spracheingabe für alle fünf Aufgaben signifikant schnellere Eingaben möglich waren als mittels Tastatureingabe. In der Kontrollgruppe ergab sich eine durchschnittliche Bearbei-

tungsdauer von 153,2 s mittels Tastatur- und 34,5 s mittels Spracheingabe. Analog zur Versuchsgruppe konnte hierbei ebenfalls festgestellt werden, dass alle Aufgaben des Szenarios mittels Spracheingabe signifikant schneller bearbeitet werden konnten als mittels Tastatureingabe (vgl. Bild 3).

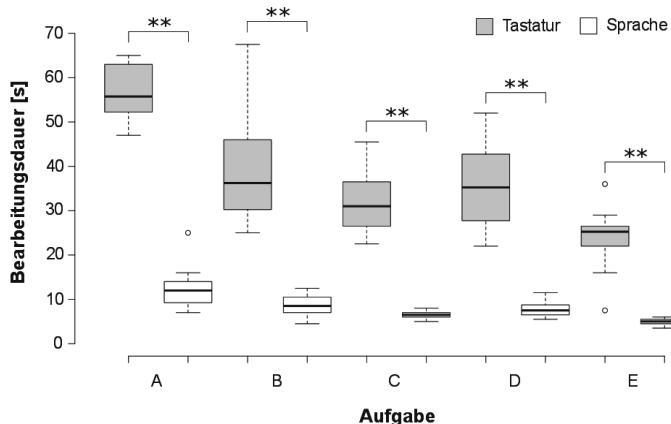


Bild 2: Aufgabenspezifische Bearbeitungsdauern innerhalb der Versuchsgruppe (\*\*:p<0,01)

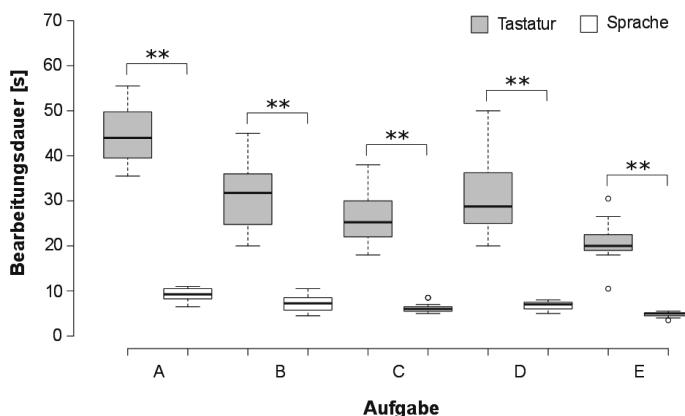


Bild 3: Aufgabenspezifische Bearbeitungsdauern innerhalb der Kontrollgruppe (\*\*:p<0,01)

### 6.3 Modalitätsabhängiger Vergleich der Gebrauchstauglichkeit zwischen den Kohorten

Zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Kohorten wurden aufgrund nicht-normalverteilter Daten U-Tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Die aufgabenspezifisch erzielten Werte der abhängigen Variablen (Fehleingaben und Bearbeitungsdauer) sowie die Ergebnisse der U-Tests sind in Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2: Aufgabenspezifischer Vergleich zwischen beiden Gruppen

Aufgabe	Gruppe	Tastatur		Sprache		Tastatur		Sprache	
		Fehleingaben				Bearbeitungsdauer			
		Anzahl	p	Anzahl	p	$\bar{x}$ [s]	p	$\bar{x}$ [s]	p
A	alt	56	<b>0,004</b>	7	0,294	63,1	<b>0,000</b>	12,3	<b>0,004</b>
	jung	26		4		44,9		9,3	
B	alt	39	0,093	5	<b>0,018</b>	40,6	<b>0,014</b>	8,5	0,079
	jung	21		0		30,5		7,3	
C	alt	20	0,954	2	1,0	31,7	<b>0,006</b>	6,5	0,109
	jung	16		2		25,9		6,3	
D	alt	37	<b>0,035</b>	2	0,152	43,8	<b>0,013</b>	11,6	<b>0,017</b>
	jung	18		0		31,1		6,8	
E	alt	35	0,324	0	0,317	24,0	<b>0,007</b>	4,8	0,454
	jung	20		1		20,8		4,8	

Es ist zu erkennen, dass die Versuchsgruppe mittels Tastatur signifikant mehr Fehleingaben im Rahmen von Aufgabe A ( $p_A=0,004$ ) und D ( $p_D=0,035$ ) tätigte als die Kontrollgruppe. Mittels Spracheingabe wurden signifikant mehr Fehler im Rahmen von Aufgabe B festgestellt ( $p_B=0,018$ ). Außerdem benötigte die Versuchsgruppe mittels Tastatureingabe über alle Aufgaben hinweg signifikant mehr Zeit als die Kontrollgruppe ( $p_A=0,000$ ;  $p_B=0,014$ ;  $p_C=0,006$ ;  $p_D=0,013$ ;  $p_E=0,007$ ). Bezogen auf die Spracheingabe konnte dieser Effekt lediglich für die Aufgaben A ( $p_A=0,004$ ) und D ( $p_D=0,017$ ) festgestellt werden.

### 6.4 Wahrgenommene Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung

Um zu überprüfen, ob sich die beiden Eingabemodalitäten bzgl. der subjektiv wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung innerhalb der beiden Kohorten signifikant unterscheiden, wurden aufgrund ordinalskalierter Skalenniveaus der Fragebogen-Items Vorzeichenests für verbundene Stichproben durchgeführt. Zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Kohorten wurden U-Tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Die wahrgenommene Nützlichkeit der Spracheingabe wurde sowohl in der Versuchs-

gruppe als auch in der Kontrollgruppe signifikant besser bewertet als die Nützlichkeit der Tastatureingabe ( $p_{VG}=0,015$ ;  $p_{KG}=0,021$ ). Der gleiche Effekt konnte für die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung der Spracheingabe festgestellt werden ( $p_{VG}=0,015$ ;  $p_{KG}=0,031$ ). Zwischen den Gruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied.

## 6.5 Kontextabhängige Modalitätspräferenzen

Neben der Gebrauchstauglichkeit und der wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung wurde die Präferenz bzw. Nutzungsbereitschaft der beiden Modalitäten in unterschiedlichen Nutzungssituationen erhoben (vgl. Bild 4).

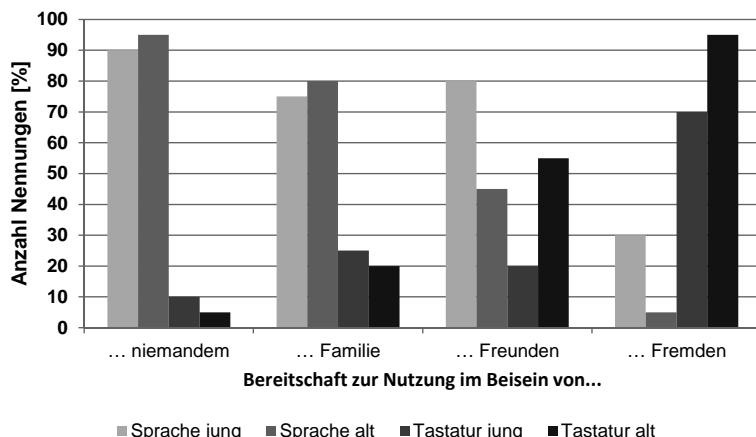


Bild 4: Kontextabhängige Modalitätspräferenzen

Die Ergebnisse zeigen, dass in beiden Alterskohorten die höchste Nutzungsbereitschaft für Spracheingaben im Beisein von keinen weiteren Personen besteht. Die Bereitschaft nimmt in beiden Gruppen über die Anwesenheit von Familienangehörigen und Freunden ab. Im Beisein von fremden Personen sind lediglich 5 % der Versuchsguppe und 30 % der Kontrollgruppe bereit die Spracheingabe zu nutzen. In Bezug auf die Frage, welche Modalität zur Erledigung der Aufgaben des Versuchsszenarios bevorzugt werden würde, gaben sowohl in der Versuchs- als auch in der Kontrollgruppe jeweils 90 % der Probanden an, sich eine situationsabhängige Auswahl der Modalität zu wünschen.

## 7. Gestaltungsempfehlung

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mittels Sprachsteuerung altersunabhängig sowohl eine effektivere als auch effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion ermöglicht werden kann als mittels tastaturbasierter Eingabe. Die subjektiven Einschätzungen der Probanden bzgl. der wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung bekräftigen dabei die objektiv ermittelten Werte. Allerdings konnte mit der Studie auch gezeigt werden, dass weiterhin eine gewisse Hemmnis gegenüber der Nutzung von Spracheingaben besteht, vor allem wenn diese in der Öffentlichkeit bzw. im Beisein von fremden Personen und von älteren Nutzern genutzt werden soll. Gerade im Kontext von Orientierungs- und Navigationsaufgaben spielt die Nutzung im öffentlichen Raum jedoch eine zentrale Rolle. Aus diesem Grund kann für die Gestaltung von mobilen Applikationen dieser Domäne festgehalten werden, dass die Sprache als alternative Eingabemodalität bereitgestellt werden sollte, allerdings als optionale Eingabemodalität und nicht als Ersatz für die tastaturbasierte Eingabe.

## Literatur:

- [1] Arbeitsgemeinschaft Online Forschung (AGOF) e.V.: Mobile Facts 2015-I.  
[http://www.agof.de/download/Downloads\\_Mobile\\_Facts/Downloads\\_Mobile\\_Facts\\_2015/Downloads\\_Mobile\\_Facts\\_2015\\_I/mf%202015I%20AGOF%20mobile%20facts%202015-I.pdf?3823c4](http://www.agof.de/download/Downloads_Mobile_Facts/Downloads_Mobile_Facts_2015/Downloads_Mobile_Facts_2015_I/mf%202015I%20AGOF%20mobile%20facts%202015-I.pdf?3823c4)
- [2] Wilkowska, W., Ziefle, M.: Which Factors form Older Adults' Acceptance of Mobile Information and Communication Technologies? In: Holzinger, A., Miesenberger, K. (Hrsg.): HCI and Usability for e-Inclusion, Proceedings of 5th Symposium Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society (Linz 2009). Berlin: Springer 2009, S. 81-101
- [3] Radziwill, M., Schmidt, L.: Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit Smartphone-assistierter ÖPNV-Nutzung im Spannungsfeld des demographischen Wandels. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft: 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (München 2014). Dortmund: GfA-Press, 2014, S. 91–93
- [4] Radziwill, M., Kniewel, R., Schmidt, L.: Nutzungsbarrieren im Bereich Smartphone-assistierter, multimodaler Mobilität bei älteren Nutzern. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft: 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Karlsruhe 2015). Dortmund: GfA-Press, 2015, S. 1-6 (C.2.19)
- [5] Kortus-Schultes, D., Lankes, B., Meese, R.: Mobile Connectivity Zielgruppe Autofahrrinnen und ihre Präferenzen für Smartphone-basierte Infotainment-Lösungen. In: Proff, H. (Hrsg.): Schritte in die künftige Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer 2013, S. 317–330
- [6] Seifert, K.: Evaluation multimodaler Computer-Systeme in frühen Entwicklungsphasen: Ein empirischer Ansatz zur Ableitung von Gestaltungshinweisen für multimodale Computer-Systeme. Technische Universität Berlin Diss. 2002
- [7] Gibbon, D., Mertins, I., Moore, R.: Handbook of multimodal and spoken dialogue systems: Resources, terminology, and product evaluation, volume SECS 565 of The Kluwer international series in engineering and computer science. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000

- [8] Turunen, M., Melto, A., Hella, J., Heimonen, T., Hakulinen, J., Mäkinen, E., Soronen, H.: User expectations and user experience with different modalities in a mobile phone controlled home entertainment system. In: Eisenhauer, M., Jarke, M. & Wulf, V. (Hrsg.): Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computing Interaction with Mobile Devices and Services. New York: ACM Press, 2009, Nr. 31
- [9] Azenkot, S., Lee, N. B.: Exploring the use of speech input by blind people on mobile devices. In: ACM (Hrsg.): 15th International ACM SIGACCESS Conference. New York, 2013, S. 1-8
- [10] Allen, J. M., McFarlin, L. A., Green, T.: An In-Depth Look into the Text Entry User Experience on the iPhone. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 52(5), 2008, S. 508–512
- [11] Smith, A. L., Chaparro, B. S.: Smartphone Text Input Method Performance, Usability, and Preference With Younger and Older Adults. *Human factors*, 57(6), 2015, S. 1015–1028
- [12] Jöst, M., Häußler, J., Merdes, M., & Malaka, R.: Multimodal Interaction for Pedestrians: An Evaluation Study. In: St. Amant, R., Riedl, J. & Jameson, A. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent User Interfaces. New York: ACM, 2005, S. 59-66
- [13] Sackmann R., Weymann A.: Die Technisierung des Alltags: Generationen und technische Innovationen. Frankfurt am Main: Campus-Verlag, 1994
- [14] Davis F. D.: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: MIS Quarterly Vol. 13. Minnesota: MIS, 1989, S. 319-340

## Wieviel Trend verträgt gute USABILITY?

Dipl.-Designer **Tom Cadera**, Dipl.-Designer **Florian Fuchs**,  
CaderaDesign GmbH, Würzburg

### 1. Kurzfassung

Der Vortrag geht der Frage nach, inwiefern die Konzeption und Gestaltung von HMI-Systemen von aktuellen Trends beeinflusst werden. Es wird gezeigt, dass gerade im Industrie-Umfeld andere Rahmenbedingungen vorliegen als im Consumer-Bereich. Es werden wichtige Unterschiede in diesem Spannungsfeld Industry – Consumer – Trend beleuchtet.

Um dieses Spannungsfeld zu visualisieren, werden im Folgenden aktuelle Beispiele wichtiger Trends gezeigt. Im Fokus stehen die Themen „Flat Design“ und „Funktionale Animationen“.

„Flat Design“ liegt voll im Trend. Spätestens seit Windows 8 und iOS 7 gilt ein Design ohne dreidimensionale Effekte bei der Gestaltung neuer User Interface Systeme als modern und ist bei vielen (Web-) Anwendungen weit verbreitet. Zumindes die Klarheit dieser Benutzeroberflächen stößt vielerorts zurecht auf große Zustimmung. Denn die Vorteile eines „flachen Designs“ liegen unter anderem in der Reduktion visueller Komplexität.

Aber waren die bis dato meist verwendeten, mehr oder minder plastisch anmutenden Controls nur der Wirkung geschuldet, oder diente der Bezug zur Realität nicht auch der Erkennbarkeit und damit der Anwenderfreundlichkeit?

Was bedeutet es für die Gestaltung von sicherheitskritischen Interfaces wie z.B. der Bedienung von Maschinensteuerungen im industriellen oder medizintechnischen Umfeld, wenn man auch hier den optisch reduzierten Weg geht? Leidet darunter die Usability? Wie stark hat sich parallel zur technischen Entwicklung bei der Maschinenbedienung – vom kraftvollen Betätigen eines mechanischen Bedienhebels (Industrial Design) zur leichten Wischgeste auf einem modernen Multitouch-Screen (User Interface Design) – auch die Wahrnehmung der User geändert?

Dieser Vortrag stellt die aktuellen Trends der historischen Entwicklung gegenüber, wirft einen Blick auf relevante Usability-Studien und gibt eine Empfehlung, wo sich ein anwenderorientiertes HMI-Design in diesem Spannungsfeld einordnen sollte.

Weiterhin geht der Vortrag im nächsten Kapitel näher auf den Trend der „Funktionalen Animationen“ ein. Anhand ausgesuchter Beispiele wird illustriert, wie Animationen ein wesentlicher Bestandteil einer gelungenen User Experience sein können. Außerdem wird kurz erläutert, auf welche Besonderheiten wir beim Umgang mit diesem Trend im industriellen Umfeld treffen.

Am Ende des Vortrags werden weitere aktuelle Trends im Bereich der Konzeption und Gestaltung von HMIs in kompakter Form vorgestellt, ohne den Anspruch der Vollständigkeit zu verfolgen. Schließlich möchten wir als Fazit der vorgestellten Trends kurze Empfehlungen aus unserer Erfahrung geben und möchten Sie im Anschluss recht herzlich zur Diskussion über die vorgestellten Themen einladen.

## **2. Kurzvorstellung CaderaDesign**

Wir sind ein Design-Büro aus Würzburg, spezialisiert auf Usability, User Experience und Design bei Konzeption und Gestaltung für Hard- und Software in den Branchen Maschinenbau, Automation und Medizintechnik.



Bild 1: Unser Hauptleistungen (illustriert am Projekt für Uhlmann Pac-Systeme GmbH & Co. KG), Quelle: CaderaDesign GmbH

### 3. Spannungsfeld des Vortrags

Die Konzeption und Gestaltung von HMIs wird von Trends beeinflusst. Abhängig von der Branche fällt auf, dass sich bestimmte Trends in manchen Branchen sehr schnell etablieren. In anderen Branchen wiederum ist man hier eher vorsichtiger. Dies wird gerade in der Gegenüberstellung des Industrie- und Consumer-Umfelds sehr deutlich.

### 4. Rahmenbedingungen im Industrie-Umfeld und Differenzen zur Consumer Welt

Anhand wichtiger Rahmenbedingungen im Industrie-Umfeld möchten wir beleuchten, welche Unterschiede bei der Konzeption und Gestaltung von HMIs im Vergleich zur Consumer-Welt auftreten.

Bei der Betrachtung der System-Anforderungen fallen folgende Rahmenbedingungen auf:

- Höhere Komplexität des Systems
- Engere Randbedingungen
- Kleinere Stückzahlen
- Höheres Zeit- und Kosten-Bewusstsein

In der Phase der „Usability-Konzeption“ stehen folgende Punkte im Fokus:

- Spezialisierung und unterschiedliches Know-how der User (Rollen)
- Komplexität bei Statusanzeigen, Aufgaben und Kontextinfos
- Probanden-Auswahl bei Usability-Tests

Das „visuelle Design“ muss diese Punkte besonders beachten:

- Umgang mit Trends: Flat Design und Usability
- Höhere Lebensdauer der Produkte im Vergleich zu kurzlebigen Trends
- Aufmerksamkeitssteuerung

Bezüglich der technischen Möglichkeiten gibt es Einschränkungen hinsichtlich:

- Performance
- Grafik-Fähigkeit
- Möglichkeiten gängiger Automatisierungs-Tools

Außerdem lohnt sich ein Blick auf die Umwelt des Bedieners. Im industriellen Umfeld treten folgende Unterschiede im Vergleich zu Anwendungen aus der Consumer-Welt hervor:

- Keine Freiwilligkeit bei der Wahl der Bedienung
- Sicherheitsrelevante Themen, Zweihand-Bedienung
- Konkrete Aufgabenerledigung

## 5. Wie entstand Flat Design? Ein Rückblick

In Form eines geschichtlichen Rückblicks aus der Sicht von Industrial & User Interface Designern wird beispielhaft die Entwicklung der Maschinenbedienung erläutert. Von großen Hebeln und Stellräder hin zur Multitouch-Interaktion. Dabei wird deutlich: Jede Maschinenbedienung ist abhängig von den technischen Möglichkeiten Ihrer Zeit.

## 6. Was ist Skeuomorphismus?

Skeuomorphismus<sup>1</sup> ist eine Stilrichtung hauptsächlich im Design, bei der Objekte in ihrer Gestaltung ein anderes Material oder eine Form eines älteren, vertrauten Gegenstandes zitieren oder nachahmen, ohne dass dies durch ihre Funktion begründet ist.

Häufig werden Schatten oder andere Stilmittel verwendet, um einen 3D-ähnlichen Effekt herzurufen. Diese 3D-ähnlichen Effekte sollen den Eindruck erwecken, dass z.B. etwas klickbar erscheint. Elemente auf einem Screen bekommen dadurch einen Aufforderungskarakter (Affordance) und erklären, wie diese zu bedienen sind.

## 7. Was ist Flat Design?

Flat Design ist eine jüngere Stilrichtung im User Interface Design. Als mögliche Definition für Flat Design könnte folgendes gelten:

Flat Design reduziert die grafische Gestaltung auf das Wesentliche, vor allem bei Bedien- und Anzeigeelementen. Flat Design verzichtet auf viele visuelle Effekte, vor allem auf 3D-ähnliche Effekte wie Verläufe, besonders wenn sie Wölbungen assoziieren, Licht-, Reflexions- und Beleuchtungseffekte (z.B. Glanzlichter) und Schatten. Als Ergebnis entstehen flächige, meist abstrakte Darstellungen in meist geometrischen Grundformen.

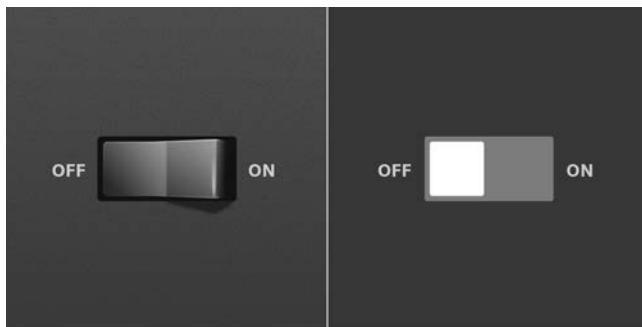


Bild 2: Links Skeuomorphismus, rechts Flat Design, Quelle: CaderaDesign GmbH

## 8. Einsatz von Flat Design im industriellen Umfeld

Auf Basis unserer Erfahrungen mit dem Thema Flat Design haben wir uns gefragt:

- Welchen Einfluss hat Flat Design auf HMIs für Maschinen, Automation, Industrie?
- Wie kann man den durch Flat Design geweckten Begehrlichkeiten in dieser Branche entsprechen?
- Lassen sich alle Forderungen der Branche wie z.B. hohe Bediensicherheit an ein gutes HMI erfüllen?
- Sind die neuen UI Elemente des Flat Designs mittlerweile schon gelernte kulturelle Konvention?
- Oder leidet insgesamt die Usability unter der Reduktion des Flat Design Paradigmas?
- Gibt es bereits Studien dazu?

## 9. Vorhandene Studien zur Usability von Flat Design

Jakob Nielsen und Donald A. Norman beschreiben in kleinen „Studien“ und Berichten, dass durch Flat Design eine schlechtere Erkennung von Interaktionselementen zu erwarten sei.

In einer Studie zum Tablet Design<sup>2</sup> wird z. B. anhand eines Android-Gerätes aufgezeigt, dass viele Benutzer nicht genau wissen, welche Elemente steuerbar sind und welche nicht.

In dem Bericht „iOS 7 User-Experience Appraisal“ wird von einer deutlich schlechteren Usability von iOS7 im Vergleich zu iOS 6 berichtet<sup>3</sup>.

Weitere solche kleinen Beispiele lassen sich auf Blogs und in weiteren Berichten finden. Allen gemeinsam ist, dass meist behauptet wird, die 3D-ähnlichen Effekte hätten einen unterstützenden Faktor für die Erkennung von Interaktionselementen. Durch den Wegfall dieser Effekte sei die Usability gefährdet, da so womöglich eine schlechtere Unterscheidbarkeit von Bedien- und Anzeigeelementen hervorgerufen werde.

In der Zwischenzeit kamen weitere Studien hinzu, auf die wir hier aber nicht mehr eingehen können.

## 10. Was ist Affordance?

Affordance wird häufig übersetzt mit Handlungs(an)leitung, Angebotscharakter oder Aufforderungscharakter. Geprägt hat den Begriff der Wahrnehmungspsychologe James J. Gibson<sup>4</sup>. Verbreitung hat der Begriff seit 1988 vor allem in der User Interface Design Branche durch den amerikanischen Kognitionswissenschaftler und Usability-Spezialisten Donald A. Norman erfahren, z.B. in seinem Buch „Dinge des Alltags“<sup>5</sup>.

Grundlegend sollte verstanden werden, dass im Bezug der Gestaltung von Objekten der Begriff oft fällt, wenn es darum geht, dass ein Objekt oder Element durch sein äußereres Erscheinungsbild eine Art Anleitung bereithält, wie dieses Objekt angefasst oder benutzt werden sollte. Produktdesignern ist dieses Phänomen als Anzeichenfunktion bekannt.

## 11. Einsatz von Flat Design im Industrie-Umfeld?

Die Studienergebnisse über Flat Design und unsere Erfahrungen im Industrie-Umfeld führten zu berechtigten Usability-Bedenken:

- Ist eine Übertragbarkeit auf den industriellen Kontext aus Usability-Sicht zu empfehlen?
- Welche Rolle spielt die Affordance bei industriellen Anwendungen?

- Welche Effekte sind für mögliche Verschlechterung der Usability verantwortlich?

Auf Basis dieser Überlegungen und mangels belastbarer Informationen zu diesen Fragen haben wir den Entschluss gefasst eine eigene Studie zu dieser Thematik zu erstellen.

## 12. Studie – Idee

Zu Beginn der Studie stand die Frage: „Welche Veränderungen von visuellen Parametern führen zu Unterschieden in der Erkennung von Interaktionselementen?“

Dabei stand der Vergleich von Flat Design und 3D-ähnlichen Effekten im Vordergrund. Hauptinteresse galt dem Vergleich hinsichtlich der Erkennung von Interaktionselementen und dem Klickverhalten durch den Anwender.

Damit ein aussagekräftiger Vergleich von Flat Design und 3D-ähnlichem Design stattfinden konnte, galt es bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen, damit später ein gefundener Unterschied auch auf eine bestimmte Manipulation bzw. Änderung von visuellen Parametern zurückzuführen ist.

Damit diese Bedingungen eingehalten werden können, musste ein 1:1 Vergleich der exakt gleichen Bediensituation in verschiedenen Screens unter identischen Rahmenbedingungen stattfinden. Dafür sollten der Screen-Inhalt, das Screen-Layout, die Control-Größen, die Farbigkeit und soweit möglich der Kontrast des Screens und der Elemente gleich sein. Verändert bzw. manipuliert werden sollte nur der 3D-ähnliche Effekt, der in eine Flat Design Variante übertragen wurde.

Unsere erste Haupthypothese der Studie war:

„Screens, die mit 3D-Effekten gestaltet sind, weisen eine höhere prozentuale Erkennungsrate von Interaktionselementen auf als Screens, die in Flat Design gestaltet sind.“

## Änderungen der visuellen Parameter am Beispiel des Uhlmann-HMI



Bild 3: Das Original (in 3D-ähnlichem Design), Quelle: CaderaDesign GmbH



Bild 4: Flat Design (pur), Quelle: CaderaDesign GmbH



Bild 5: Flat Design (optimiert), Quelle: CaderaDesign GmbH

### 13. Studie – Durchführung

Für die Studie wurden den Versuchspersonen 5 verschiedene Screens (Auszüge aus Cade-raDesign-Projekten) in jeweils einer Flat Design oder 3D-ähnlichen Variante präsentiert.

Die Versuchspersonen beantworteten zu Beginn des Testes demografische Fragen und Fragen zur Vorerfahrung in der Benutzung von User Interfaces. Jede Versuchsperson musste anschließend 5 Aufgaben bearbeiten. Zu Beginn jeder Aufgabe bekamen die Versuchspersonen eine kleine Instruktion zum Vorgehen als auch zu jedem Screen eine Beschreibung. Sobald der Screen zu sehen war, hatte die Versuchsperson nur eine bestimmte Zeit, die Aufgabe zu bearbeiten.

Die Aufgabe für die Versuchspersonen lautete:

„Ihre Aufgabe ist es, die Elemente anzuklicken, von denen Sie denken, dass diese eine Aktion auslösen werden.“

War die Zeit, welche mittels eines Countdowns angezeigt war, abgelaufen, wurde der Screen automatisch ausgeblendet und die Klickaufgabe war beendet. Danach mussten die Versuchspersonen noch einen Fragebogen (AttrakDiff) und weitere Fragen beantworten.

Dieses Vorgehen wiederholte sich insgesamt 5 mal für jede Versuchsperson. In jedem Durchlauf wurde ein anderer Screen gezeigt und bearbeitet. Die Reihenfolge der Aufgaben war randomisiert als auch die Auswahl, ob die Versuchspersonen entweder nur die Screens in der 3D-Design Variante oder nur die der Flat Design Variante bearbeitete.

Als Versuchspersonen dienten 31 Studenten (davon 18 männlich und 13 weiblich), welche im Durchschnitt 21,97 Jahre alt waren. 15 Versuchspersonen bearbeiteten die 3D-Varianten, die Flat Design Varianten wurden von 16 Versuchspersonen bearbeitet. Die Gruppe der Studenten wurde gewählt, da diese relativ homogen war und leicht erreichbar. Alle Versuchspersonen haben den Test unter der Leitung des gleichen Versuchsleiters durchgeführt.

Für weitere und viel genauere Ausführungen der Methodik und des Versuchsplans ist auf die vollständige Bachelor-Arbeit zu verweisen.

## 14. Studie – Ergebnisse



Bild 6: Original – Darstellung der Gesamtklicks, Quelle: CaderaDesign GmbH



Bild 7: Flat Design – Darstellung der Gesamtklicks, Quelle: CaderaDesign GmbH



Bild 8: Original – Vergleich prozentualen Erkennungsrate, Quelle: CaderaDesign GmbH



Bild 9: Flat Design – Vergleich prozentualen Erkennungsrate, Quelle: CaderaDesign GmbH

Über die 5 Screens in der 3D-ähnlichen Variante hinweg ergibt sich eine Erkennungsrate der Interaktionselemente im Mittel von 62,91 % ( $SD = 12,82$ ). Hingegen findet sich in den Screens mit Flat Design (Flat) eine gesamt prozentuale Erkennungsrate im Mittel von 55,19 % ( $SD = 10,46$ )<sup>6</sup>.

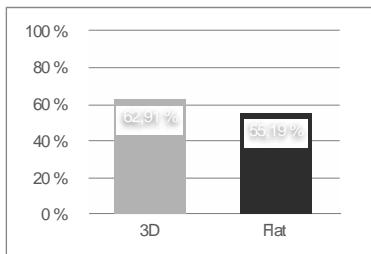


Bild 10: Diagramm - Erkennungsraten im Vergleichbaren, Quelle: CaderaDesign GmbH

## 15. Diskussion der Studienergebnisse

Für die prozentuale Erkennungsrate von Interaktionselementen (PEI) ergab sich, dass die PEI insgesamt in der Stufe 3D signifikant höher ist als in der Stufe Flat Design. Damit kann für die Studie die Haupthypothese bestätigt werden, dass Screens, die mit 3D-Effekten gestaltet sind, eine höhere prozentuale Erkennungsrate von Interaktionselementen aufweisen als Screens, die in Flat Design gestaltet sind. Diese Annahme der Hypothese muss aber kritisch betrachtet werden und es muss genauer verstanden werden, wie es zu diesem Ergebnis kam.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch die Manipulation eines 3D-Effektes in ein Flat Design mit Unterschieden in der Erkennung der von Interaktionselementen zu rechnen ist. Wie groß und wie relevant diese Unterschiede in einem bestimmten Kontext sind, kann durch diese Studie noch nicht genau definiert werden und sollte weiter untersucht werden. Eine Praxisrelevanz abzuschätzen und eine wissenschaftlich fundierte Empfehlung für User Interface Designer auszusprechen, ist in diesem Moment sehr schwer.

## 16. Ausblick

Die Ergebnisse der Studie werfen neue Fragen auf.

Interessant ist auch die Frage, wie das Ergebnis mit einer anderen Testpersonengruppe ausfallen würde. Denn die dieser Studie zugrunde liegende Testgruppe weist einen sehr hohen Grad an Vorerfahrungen mit Touchscreens und Flat Design auf.

Auch der Zeitfaktor beim Probanden-Test sollte kritisch hinterfragt werden. Uns würde aus heutiger Sicht dringend interessieren, ob Interaktionselemente innerhalb eines Screens, die in verschiedenen Stilrichtungen ausgeführt sind („Patterns“ in Bezug auf z.B. helle und dunkle Buttons), ohne Zeitdruck bessere Erkennungsraten erzielen.

Insgesamt sehen wir trotz der wissenschaftlich nicht so eindeutig ausfallenden Aussagen die Hauptthese bestätigt: die Erkennungsraten von 3D-Interaktions-Elementen sind höher. Andererseits sehen wir natürlich auch die Chance, über Flat Design mehr Ruhe, mehr Ordnung und geringere visuelle Komplexität zu erreichen.

Bei CaderaDesign empfehlen wir deshalb unseren Kunden, einen Kompromiss zu verfolgen: Interaktionselemente immer sehr deutlich von Anzeige-Elementen unterscheidbar zu halten.

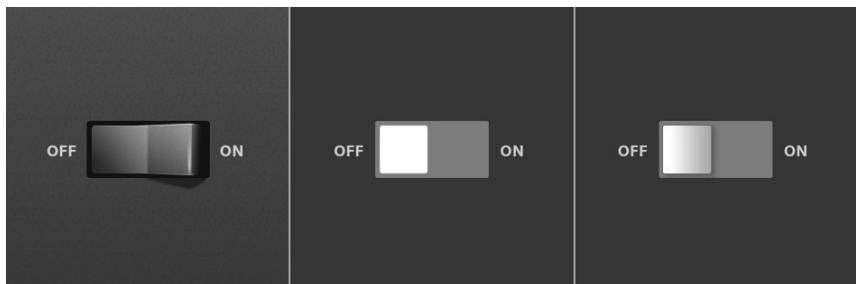


Bild 11: Links 3D-Design (Skeuomorphismus), mittig Flat Design, rechts „Almost Flat Design“, Quelle: CaderaDesign GmbH

## 17. Almost Flat als vorläufige Empfehlung

Der Ansatz des „Almost Flat Design“ ist dabei sicher eine sehr gute Lösung. Dabei reduzieren wir 3D-Effekte von interaktiven Bedienelementen auf ein Minimum, erreichen damit immer noch eine klare Erkennbarkeit und erzielen dabei eine attraktive visuelle Einfachheit.

Die Vorteile des Almost Flat Design Ansatzes:

- Fokussiert die Vorteile von 3D Realismus und Flat Design
- Elegant, modern, reduziert
- Visuelle Unterscheidbarkeit von Controls und Anzeigen
- Schaffung von visuellen Hierarchien

- Reduzierter Einsatz von visuellen Effekten
- Subtile Affordance

## **18. Unsere Empfehlung im Umgang mit dem Trend Flat Design**

Im industriellen Umfeld sollte man vorsichtig mit Trends umgehen, besser zeitlos arbeiten.

Ob Flat Design nur ein Trend ist, oder das Potenzial hat, sich als „zeitloser Stil“ zu etablieren, bleibt abzuwarten (Lerneffekt). Unabhängig davon bleiben die aufgezeigten Usability-Probleme, die mit Flat Design zusammenhängen.

Zumindest im industriellen Umfeld sollte gelten: Im Zweifel für Usability. Daher empfehlen wir: Zugunsten der konsistenten Unterscheidbarkeit von Anzeige- und Bedien-Elementen mit klar erkennbaren, Affordance fördernden Stilmitteln arbeiten!

Diese sollten aber zu Gunsten geringer optischer Komplexität nur sehr gezielt eingesetzt werden: Dezente 3D-Effekte konsistent und nur bei interaktiven Bedien-Elementen verwenden!

## **19. Trend „Funktionale Animationen“**

Führende Design-Blogs und –Magazine<sup>7</sup> sehen seit längerer Zeit den Trend der „Funktionalen Animationen“ im User Interface Design. Animationen auf grafischen Oberflächen sind an sich nichts Neues. Was genau macht Animationen zum aktuellen Trend?

Eine These ist, dass gerade Animationen die Schwächen des Flat Design auffangen: Wie bereits eingehend angedeutet, bekommt der User einer Flat Design Anwendung selten Feedback oder einen Hinweis, ob der Button überhaupt klickbar ist. Der Einsatz von Animationen löst dieses Problem auf einfache Weise: Durch Bewegung ist neben Fläche und Farbe noch ein weites Element hinzugekommen und kann Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Um die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, können Buttons animiert werden oder Elemente können in die Bildfläche hinein- und hinausbewegt werden.

## **20. Was sind „Funktionale Animationen“**

Versuch einer Definition von „Funktionalen Animationen“ im Smashing Magazine<sup>8</sup>:

„Functional animation is subtle animation that we embed in a user interface design as part of our process.

Unlike animation made by Disney Studios or animation made for computer games, functional animation has a clear, logical purpose. Their purpose is to serve a design concept by sup-

porting the solution we are trying to convey. Functional animation is yet another tool in our UX design arsenal.“

## 21. Vorteil von „Funktionalen Animationen“

- Erklärt Prozesse
- Unterstützt die User Experience
- Zeigt den Kontext bei Screenwechsel an
- Unterstützt Gestensteuerung

## 22. Beispiele gelungener „Funktionaler Animationen“ und Einsatzmöglichkeiten im Industrie-Kontext

- Ladezeiten können durch Animationen für den Benutzer subjektiv verkürzt wirken
- Unterstützung des visuellen Feedback bei der Interaktion mit Buttons und anderen UI-Controls
- Erklärung der im Hintergrund ablaufenden Prozesse
- Hervorheben wichtiger systemseitiger Zustandsänderung

## 23. Weitere Trends bei der Konzeption und Gestaltung von HMIs

Es gibt darüber hinaus natürlich noch weitere Trends, die es wert wären, hier im Vortrag eingehender erwähnt und diskutiert zu werden. Um den Rahmen des Vortrags nicht zu sprengen, haben wir uns ganz bewusst auf die Trends „Flat Design“ und „Funktionale Animationen“ beschränkt, da uns diese beiden Themen aus unserer Sicht sehr praxisrelevant, weil einfach umzusetzen, erscheinen.

Weitere Trends in diesem Kontext sind:

- Einsatz mobiler Devices
- Gesten-Steuerung
- Augmented Reality
- Gamification
- Responsive & Adaptive Design
- Widgets, Cards & Tiles (Kachel-UI-Elemente)

## 24. Gesamtfazit und Empfehlung

Der Duden definiert den Begriff „Trend“ als eine „über einen gewissen Zeitraum bereits zu beobachtende, statistisch erfassbare Entwicklung[stendenz]“<sup>9</sup>. Wie in anderen Kontexten gilt auch im Bereich der Konzeption und Gestaltung von HMIs: Einige dieser Trends werden sich langfristig etablieren, andere werden nach einer Weile keine Rolle mehr spielen.

Die jeweils neuen technischen Möglichkeiten sind ein ganz starker Faktor im Aufkommen und im Umgang mit diesen Trends, da sie die Chance und Herausforderung bieten bekannte Interaktionsmöglichkeiten und Verhaltensmuster des Bedieners zu verändern.

Sowohl Designer als auch weitere Projektverantwortliche sollten bei der Neugestaltung von HMIs aufkommende Trends nicht unreflektiert übernehmen, sondern immer für den jeweiligen Kontext und die relevanten Userrollen prüfen, ob und wie Trends eingesetzt werden können.

Als Spezialist für die Branchen Industrie, Automation, Maschinenbau und Medizintechnik empfehlen wir nicht auf jeden Trend aufzuspringen und raten eher zur Vorsicht. Wir raten in erster Linie dazu, vermehrt die Vogelperspektive einzunehmen und von dort aus Trends zu beobachten und zu bewerten. Generell gilt: Usability first!

## 25. Quellen:

---

<sup>1</sup> <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Skeuomorphismus&oldid=148409737>

<sup>2</sup> Jakob Nielsen, 2013. „Tablet Usability“

<sup>3</sup> Raluca Budiu, 2013. „iOS 7 User-Experience Appraisal“, Nielsen Norman Group

<sup>4</sup> James J. Gibson (1977). „The Theory of Affordances“

<sup>5</sup> Donald A. Norman (1988). „The Design of Everyday Things“

<sup>6</sup> M = Mittelwert, SD = Standardabweichung

<sup>7</sup> <https://www.smashingmagazine.com/2015/05/functional-ux-design-animations/>,  
<https://www.uxpin.com/studio/blog/web-design-trends-analyzed-8-effective-types-of-animation/> , <http://www.awwwards.com/6-web-design-trends-you-must-know-for-2015-2016.html> , <http://desiign.de/2016/06/app-animation-ui-design-trend/>

<sup>8</sup> <https://www.smashingmagazine.com/2015/05/functional-ux-design-animations/>,  
<https://www.uxpin.com/studio/blog/web-design-trends-analyzed-8-effective-types-of-animation/>

<sup>9</sup> <http://www.duden.de/rechtschreibung/Trend>



# Automatisierte Erzeugung von Ergonomievorgaben für den Fahrerarbeitsplatz mittels eines parametrischen CAD-Modells und eines digitalen Menschmodells

**Automated generation of ergonomic requirements for the driver's workplace by means of a parametric CAD model and a digital manikin**

Dipl.-Ing. **Philipp Pomiersky, Marcel Renschler B.Sc.**,  
Dipl.-Ing. **Alexander Wackenhut, Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier**,  
IKTD – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design,  
Universität Stuttgart

## Kurzfassung

Aufgrund des steigenden Zeitdrucks und der Variantenvielfalt in der Fahrzeugindustrie werden neue Hilfsmittel benötigt. Eine Möglichkeit sind hierbei automatisierte Abläufe, die im Bereich der Ergonomieauslegung allerdings noch wenig Einsatz finden. Hieraus leitet sich das Ziel ab, ein automatisiertes Vorgehen für die Ergonomieauslegung bei gesteigerter Effizienz, gleichbleibender Qualität der Vorgaben und erhöhter Benutzerfreundlichkeit zu entwickeln. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein automatisiertes Vorgehen mittels Makros in CATIA V5 und RAMSIS NextGen sowie eines parametrischen CAD-Modells, das über eine Excel-Eingabemaske gesteuert wird, umgesetzt. Zur Validierung des Vorgehens hinsichtlich der Effizienz wurde die Anzahl an benötigten Bedienschritten beim automatisierten Vorgehen und beim klassischen Vorgehen miteinander verglichen. Dabei konnte die Effizienz deutlich gesteigert werden und die Anzahl an Bedienaktionen von 1490 Aktionen auf 129 Aktionen reduziert werden. Die Qualität der Ergebnisse wurde anhand der Körperhaltung von fünf Manikins im Vergleich zu der Körperhaltung in einem originalen CAD-Modell des BMW 1er bewertet. Die Übereinstimmung ist dabei insgesamt sehr gut, wobei es zwischen den Manikins leichte Unterschiede gibt. Eine weitere Detaillierung des parametrischen CAD-Modells würde diesbezüglich wahrscheinlich zu weiteren Verbesserungen führen. Die Selbsterklärungsfähigkeit wurde anhand einer Probandenuntersuchung, in der zehn Probanden die automatisierte Ergonomieauslegung für fünf Manikins durchgeführt haben, ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst Probanden mit geringen Kenntnissen in CATIA und RAMSIS die automatisierte Ergonomieauslegung beherrschen können. Bei weiteren Optimierungspotenzialen

stellt die automatisierte Auslegung bereits jetzt für Standardaufgaben eine gute Alternative dar.

## 1. Einleitung und Stand der Technik

In der Fahrzeugindustrie nimmt der Zeitdruck bei der Entwicklung aufgrund von kürzeren Modellzyklen, steigender Variantenvielfalt und Kostendruck stetig zu. Gleichwohl fordert der Kunde ein qualitativ hochwertiges Produkt, das bestmöglich an ihn als Individuum angepasst ist. Da sich der Zeitdruck durch den Prozess des Frontloadings insbesondere auf die frühen Phasen des Produktentstehungsprozess (PEP) auswirkt, werden für diese Phasen neue Hilfsmittel benötigt, um beispielsweise das Fahrzeugkonzept festzulegen oder die häufigen Änderungen des Maßkonzepts und Packages ergonomisch abzusichern und zu bewerten. Der Aufbau von Hardware-Modellen zur Überprüfung von Maßkonzept und Ergonomie für jede Entwicklungsstufe ist aufgrund der Datenbasis teilweise nicht möglich, würde viel Zeit in Anspruch nehmen und ist dementsprechend mit dem PEP der Hersteller nicht vereinbar. Daher kommen nur an wichtigen Stellen des PEPs, wie bei endgültigen Entscheidungen, reale Fahrzeugmodelle zum Einsatz [1]. Für die Entwicklung und Auslegung werden neben variabel einstellbaren Prüfständen vor allem digitale und virtuelle Modelle sowie Simulationen eingesetzt, da diese zu einer deutlichen Beschleunigung des Prozesses führen [2]. Die Erstellung des Maßkonzepts erfolgt bereits rechnergestützt mithilfe von parametrischen Modellen auf Basis von CAD-Systemen [3]. Unter der Berücksichtigung von Normen und Gesetzen werden Maßketten angepasst und ggf. Bauteile parametrisch geändert. Teilweise wird auch die Ergonomie berücksichtigt. Beispiele für solche Programme sind Papst [4], Concept Car [4], CAVA [5], NX General Packaging [6] oder PMKT [3].

Im Bereich der Ergonomie wird für die Auslegung und Bewertung von Fahrzeugen vor allem das Menschmodell RAMSIS eingesetzt [7]. Aktuell gibt es mehrere Varianten von RAMSIS, die in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden. Die neueste Version ist RAMSIS NextGen, die als Standalone-Version zur Verfügung steht. Für die Ergonomieauslegung wird ein CAD-Modell der Fahrzeugumgebung erzeugt, welches in RAMSIS NextGen importiert wird. In der Folge werden die Manikins in RAMSIS mittels Restriktionen an die Fahrzeugumgebung gekoppelt, die Körperhaltung berechnet und Analysen (Erreichbarkeitsräume, Sichtkegel, usw.) durchgeführt. Im Vergleich zu seinen Vorgängern bietet RAMSIS NextGen dabei Funktionen, die dazu beitragen, dass RAMSIS NextGen intuitiver und schneller bedient werden kann und Potenzial für eine automatisierte Bearbeitung vorhanden ist [8]. Beispielsweise können Analysen für mehrere Manikins gleichzeitig durchgeführt werden und es besteht die Möglichkeit, ganze Untersuchungen inklusive Haltungsberechnungen vorab zu definieren,

um sie nachfolgend automatisiert ablaufen zu lassen. Trotzdem müssen bei jeder neuen Fahrzeugvariante immer wieder die gleichen Schritte manuell durchgeführt werden. Die geometrischen Ergebnisse der Analysen werden häufig wieder in CAD-Programme importiert, um sie dort weiterzubearbeiten und anschauliche Vorgaben zu erstellen. Die Bearbeitung der Vorgaben in CAD-Programmen kann dabei teilautomatisiert werden. Beispielsweise können in CATIA V5 Powercopies eingesetzt werden. Insgesamt ist der Grad der Automatisierung bei der Verwendung von RAMSIS deutlich geringer als bei der Maßkonzeption oder anderen Bereichen der Fahrzeugentwicklung, obwohl gerade in den frühen Phasen immer wieder die gleichen Prozesse wiederholt werden müssen.

Entsprechend den beschriebenen Zusammenhängen soll dieser Beitrag folgende Fragestellung beantworten: Wie kann die Ergonomieauslegung und die Erzeugung von Ergonomievorgaben für den Fahrerarbeitsplatz mit CATIA V5 und RAMSIS NextGen vor allem in den frühen Phasen effizienter gestaltet werden? Dabei sind die Ziele, die Erzeugung der Vorgaben bei gleichbleibender Qualität der Analyseergebnisse möglichst automatisiert ablaufen zu lassen, das Zusammenspiel zwischen CATIA und RAMSIS zu optimieren, Anwenderfehler zu reduzieren und gleichzeitig das Vorgehen für den Anwender nachvollziehbar zu gestalten.

## **2. Entwicklung der automatisierten Erzeugung von Ergonomievorgaben**

Um die genannten Ziele zu erreichen, wird nach VDI 2221 vorgegangen. In der Analysephase werden insbesondere Möglichkeiten zur Zeiteinsparung und zur Reduktion von Fehlerquellen ermittelt. Weiterhin werden die Funktionen der unterschiedlichen Programme bzgl. ihres Potenzials zur Automatisierbarkeit und Verfügbarkeit bewertet. Die entstandenen Konzepte unterscheiden sich hauptsächlich im Grad der Automatisierung, den benutzten Programmen und Funktionen sowie den Möglichkeiten für den Nutzer einzutreten oder die Auslegung anzupassen. Nach einer Bewertung wird der Ansatz weiterverfolgt, in dem die Automatisierung hauptsächlich über Makros in CATIA V5 und RAMSIS NextGen sowie mittels eines parametrischen CAD-Modells, das über Excel gesteuert wird, umgesetzt wird. Die Vorteile des Ansatzes sind, dass er praktikabel und einfach anpassbar ist. Weiterhin weist der gewählte Ansatz zwar nicht den höchsten Grad der Automatisierung auf, bietet aber die Möglichkeit vom Anwender schrittweise durchgeführt und damit nachvollzogen werden zu können. Die Verwendung eines parametrischen CAD-Modells verspricht die Vorteile der einfachen Änderung von Maßen für den Nutzer und durch die immer gleiche Benennung der Flächen können die Manikins in RAMSIS einfach mit der Fahrzeugumgebung gekoppelt werden.

Für die Umsetzung des Ansatzes werden in CATIA V5 (Programmiersprache CatScript) und in RAMSIS NextGen (Programmiersprache ECMA-262) Makros programmiert sowie das parametrische CAD-Modell mit zugehöriger Excel-Tabelle erzeugt. Durch die Makros können ganze Prozessabfolgen mit mehreren, nacheinander durchzuführenden Funktionen definiert werden. Dies erfolgt in CATIA mithilfe von neun Hauptmakros, die auf 24 Makros zurückgreifen. Die Führung des Anwenders in Form von Feedback und Hinweisen zu den nächsten Bedienschritten erfolgt über sich öffnende Pop-up-Fenster. In RAMSIS können aufgrund von Beschränkungen durch das Programm nicht alle Funktionen in die Makros integriert werden und müssen daher teilweise manuell vom Anwender ausgeführt werden. Dies erfordert eine stärkere Führung des Anwenders durch die Bedienschritte und folglich eine angepasste Programmierung mit mehreren Bedienschritten, die einen geringeren Umfang aufweisen. Die Führung des Anwenders erfolgt durch Ausgabefelder innerhalb des Statusbereichs. Die manuell auszuführenden Schritte sind alle in eine separate Werkzeugleiste integriert und können dort aufgerufen werden. Insgesamt existieren in RAMSIS neun Makros, von denen mindestens vier durchgeführt werden müssen. Die anderen fünf Makros sind optional und kommen hauptsächlich bei Analysen von mehreren Manikins zum Einsatz. Das parametrische CAD-Modell des Fahrerarbeitsplatzes mit Stütz- und Interfaceflächen ist mit seiner Eingabemaske in Excel über eine Konstruktionstabelle gekoppelt. In der Excel-Tabelle können 129 Parameter variiert werden. Zusätzlich können 36 reale Fahrzeuge sowie acht typische Fahrzeugausprägungen für unterschiedliche Fahrzeugklassen vorausgewählt und angepasst werden. Die Abmessungen der Fahrzeuge beruhen auf einer eigenen, umfangreichen Datenerfassung an realen Fahrzeugen.

In Bild 1 ist der prinzipielle Ablauf der automatisierten Ergonomieauslegung visualisiert. Durch die Ausführung des ersten Makros in CATIA wird Excel geöffnet, der Anwender kann die gewünschten Fahrzeugparameter einstellen (1), bekommt eine Vorschau (2) und das noch nicht aktualisierte CAD-Modell wird geladen. Das zweite Makro in CATIA aktualisiert und bearbeitet das Modell (3) und exportiert dieses als IGES-Datei. In RAMSIS wird durch das Ausführen von Makro 3 die Fahrzeugumgebung importiert und eine Session mit Testkollektiv, Restriktionen und vordefinierten Untersuchungen geladen (4). Das Testkollektiv besteht in Anlehnung an Bubb [9] standardmäßig aus den fünf Manikins: 95 Perzentil Mann, mittlere Korpulenz, Sitzriese (95MML); 95 Perzentil Mann, dick, Sitzzwerg (95MLS); 50 Perzentil Mann, mittlere Korpulenz und Proportion (50MMM); 5 Perzentil Frau, dick, Sitzzwergin (05FLS) sowie 5 Perzentil Frau, dünn, Sitzriesin (05FSL). Aufgrund der unterschiedlichen Aufbauarten bzgl. des Zentraldisplays (integriert oder freistehend) müssen die Flächen der Fahrzeugumgebung mit dem vierten Makro (ein Makro je Aufbauart) umbenannt werden,

damit die Benennung zu den Restriktionen passt. Anschließend muss der Anwender die Hal tungsberechnung manuell starten, um alle Manikins gleichzeitig zu positionieren (5). In der Folge können für die einzelnen Manikins unterschiedliche Analysen durchgeführt werden. Dazu muss zunächst das Makro 5 des entsprechenden Manikins gestartet werden. Anschließend kann der Anwender die vordefinierte Untersuchung (Manikhaut, neun Greifräume, Diskomfort und Gelenkwinkel) starten oder manuell die Sichtkegel oder die Sicht durch das Lenkrad berechnen. Die entstandenen Geometrien werden durch Makro 6 umbenannt, damit sie später in CATIA importiert werden können. Für Analysen von weiteren Manikins müssen das jeweilige Makro 5 und Makro 6 erneut ausgeführt werden. Abschließend muss der Anwender die geometrischen Analyseergebnisse aller Manikins manuell speichern. In CATIA werden die Ergebnisse mittels Makro 7 importiert, durch Makro 8 eindeutig benannt und durch Makro 9 strukturiert und eingefärbt (6).

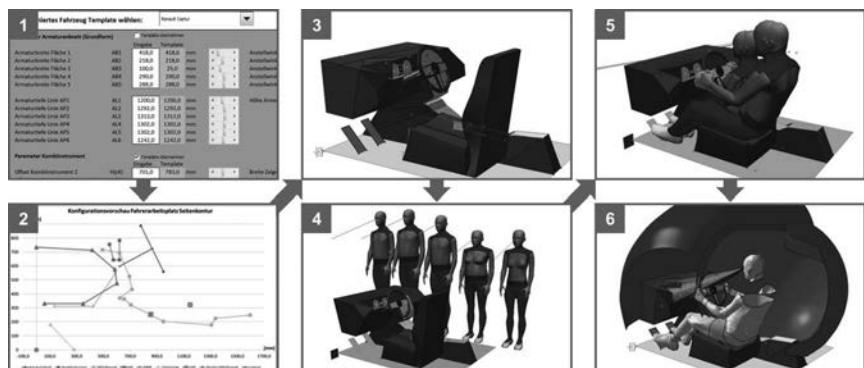


Bild 1: Prinzipieller Ablauf der automatisierten Ergonomieauslegung

### 3. Methoden zur Validierung

Um sowohl die Ergebnisse als auch die automatisierte Ergonomieauslegung selbst im Vergleich zur klassischen Anwendung bzgl. Effizienz der Ergonomieauslegung, Qualität der Analyseergebnisse und Selbsterklärungsfähigkeit des Programms zu validieren, werden drei Untersuchungen durchgeführt.

Zur Bewertung der Effizienz wird die Anzahl an Bedienaktionen (Mausklicks und Texteingaben) für die Erzeugung von Analyseergebnissen des hier vorgestellten Vorgehens mit der klassischen Auslegung in RAMSIS NextGen verglichen. Bei der klassischen Auslegung wird das Multi-Manikin-Handling angewendet, aber auf den Einsatz vordefinierter Körperabmes-

sungen, Restriktionen oder Greifräume verzichtet. Für die beiden Auslegungsvarianten sind jeweils folgende Schritte für fünf Manikins durchzuführen: Fahrzeugumgebung erstellen, Fahrzeugumgebung exportieren, Fahrzeugumgebung importieren, Anthropometrie definieren, Rolle für Fahrer erstellen, Testkollektiv erzeugen, Restriktionen erzeugen, Haltung berechnen, Analysen (Manikhaut, neun Greifräume, Sichtkegel, Sichtkegel durch Lenkrad) durchführen, Analyseergebnisse (Diskomfort, Gelenkwinkel) speichern, Analysegeometrien exportieren, Analysegeometrien importieren, Geometrien aufbereiten und Geometrien speichern. Auf die Messung der Durchführungsgeschwindigkeit wird verzichtet, da sie unter anderem von der Komplexität der Fahrzeugumgebung, den Fähigkeiten des Anwenders und der Rechnerleistung des Computers abhängig und somit nicht reproduzierbar ist.

Obwohl bei der automatisierten Ergonomieauslegung Vereinfachungen zum Einsatz kommen, müssen die Ergebnisse der Haltungsberechnung möglichst exakt mit dem klassischen Vorgehen übereinstimmen. Zur Überprüfung der Qualität wird daher die Haltung von fünf Manikins, die einmal klassisch und einmal durch das automatisierte Vorgehen positioniert werden, analysiert. Als Referenzfahrzeug für den klassischen Ablauf dient die originale Fahrzeugumgebung eines BMW 1er (CAD-Daten wurden freundlicherweise von der BMW AG zur Verfügung gestellt). Es werden jeweils die identischen Haltungsmodelle (Auto), Beweglichkeitsgrenzen (Kapandji) und Restriktionen (insgesamt 18) in RAMSIS verwendet. Allerdings kann die Grenzflächenrestriktion „Abstand Kopfspitze - Dach > 30 mm“ bei der automatisierten Auslegung nicht angewendet werden, da das CAD-Modell kein Dach enthält (vgl. Bild 2). Neben optischen Vergleichen von Skelett- und Hautmodell werden die Gelenkwinkel, Hautpunkte und Skelettpunkte miteinander verglichen. Weiterführend können durch die Gegenüberstellung wichtiger Skelettpunkte Rückschlüsse auf die Abweichungen der Analysen gezogen werden. Dementsprechend stehen der H-Punkt stellvertretend für die Sitzposition, das Mittenauge für die Sicht, die Kopfspitze für die Kopffreiheit, das Kniegelenk für die Kniefreiheit und die Schulter sowie das Schlüsselbein für die Erreichbarkeiten. Für die intervallskalierten räumlichen Abstände werden das arithmetische Mittel, die Standardabweichung, das Minimum und das Maximum berechnet.

Um zu überprüfen, wie selbsterklärend die automatisierte Ergonomieauslegung ist und wie die Anwender sie einschätzen, wird eine Probandenuntersuchung mit zehn Teilnehmenden (Studierende und Doktoranden), die die gesamte automatisierte Ergonomieauslegung für fünf Manikins ausführen sollen, durchgeführt. Die Probanden bekommen eine kurze verbale Einführung und ein einseitiges DIN A4 Blatt mit den wichtigsten Informationen zur Bedienung von CATIA und RAMSIS sowie Erläuterungen, wie die Makros gestartet werden und an welchen Stellen Hinweise zu finden sind. Dieses Blatt bleibt während des Versuchs bei den

Probanden, die dazu aufgefordert werden, die automatisierte Ergonomieauslegung selbstständig durchzuführen, wobei sie bei auftretenden Verständnisproblemen auch Fragen stellen dürfen. Während des Versuchs werden die Anzahl an Fehlern des Probanden und des Programms sowie die Anzahl an gegebenen Hilfestellungen durch die Versuchsleitung gezählt. Zusätzlich wird die Zeit für die Durchführung gestoppt. Der anschließende Fragebogen enthält neben Fragen zur Vorerfahrung der Probanden mit den Programmen Aussagen, die die Probanden bzgl. ihrer Zustimmung bewerten müssen. Die Skala ist fünfstufig und erstreckt sich von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“. Anhand von Boxplots werden die ordinalskalierten Daten deskriptiv ausgewertet.

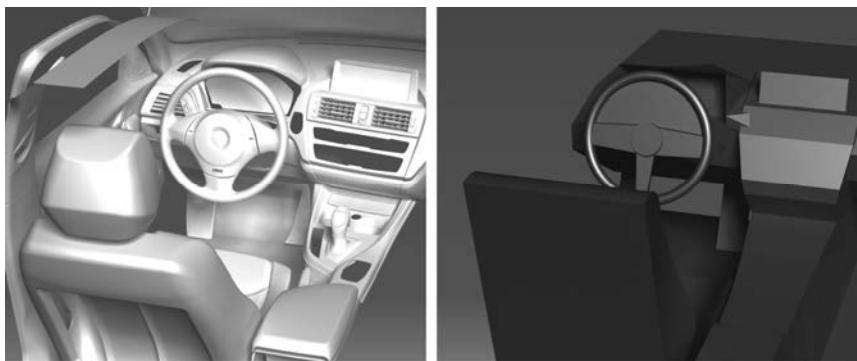


Bild 2: Referenzfahrzeug BMW 1er (links; CAD-Daten wurden freundlicherweise von der BMW AG zur Verfügung gestellt) und vereinfachte Variante des BMW 1er (rechts)

#### 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Bewertung der Effizienz anhand der benötigten Bedienaktionen sind in Bild 3 zusammengefasst. Insgesamt lässt sich die Anzahl der Bedienaktionen durch die Verwendung der automatisierten Ergonomieauslegung von 1490 Aktionen auf 129 Aktionen verringern. Besonders viel Zeit lässt sich durch die Erstellung der Fahrzeugumgebung, die Aufbereitung der Geometrien sowie die Erzeugung der Basisdaten in RAMSIS einsparen (vgl. Bild 3).



Bild 3: Vergleich an benötigten Aktionen (Klicks und Eingaben) zur Ergonomieauslegung

Bezüglich der Qualität der Ergebnisse sind in Bild 4 beispielhaft die optischen Vergleiche für das Manikin 05FSL dargestellt. Obwohl dieses Manikin im Vergleich zu den anderen Manikins die schlechtesten Ergebnisse zeigt, sind die optischen Abweichungen am Skelett und der Haut sehr gering. Lediglich im Bereich des Kopfs treten größere Abweichungen auf. Bei den anderen Manikins sind nahezu keine Unterschiede festzustellen. Auch systematische Abweichungen in eine bestimmte Richtung treten nicht auf.

Die detaillierten Unterschiede bzgl. aller Skelettpunkte, Hautpunkte und Gelenkwinkel sind in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt sind die Abweichungen für die Skelettpunkte und die Hautpunkte gering und für die Gelenkwinkel sehr gering. Die Abweichungen verteilen sich in allen drei Bereichen gleich. Das Manikin 95MLS zeigt immer die besten Ergebnisse. So weist es bzgl. der Abweichungen der Skelettpunkte eine durchschnittliche Abweichung von 1,82 mm auf, bei den Hautpunkten sind es 3,02 mm und bei den Gelenkwinkeln 0,08°. Die anderen

Manikins bewegen sich auf einem ähnlichen, etwas schlechteren Niveau. Beispielsweise liegen die durchschnittlichen Abweichungen der Skelettpunkte zwischen 5,80 mm und 6,93 mm. Das Manikin 95MML weist dabei im Durchschnitt zwar die größte Abweichung auf, bzgl. der Standardabweichung und der maximalen Abweichung sind die Ergebnisse allerdings besser als bei den anderen drei verbleibenden Manikins. Insgesamt zeigt das Manikin 05FSL die größte Abweichung zur Referenzhaltung. Bei den Abweichungen der wichtigen Skelettpunkte, die in Tabelle 2 dargestellt sind, ergibt sich ein etwas anderes Bild. Die Manikins 95MLS, 50MMM und 05FLS zeigen sehr gute Übereinstimmungen. Während das Manikin 95MML immer noch geringe Abweichungen aufweist, sind die Abweichungen des Manikin 05FSL etwas größer. Dies liegt vor allem an der im Vergleich zu den anderen Manikins großen Abweichung an der Kopfspitze.

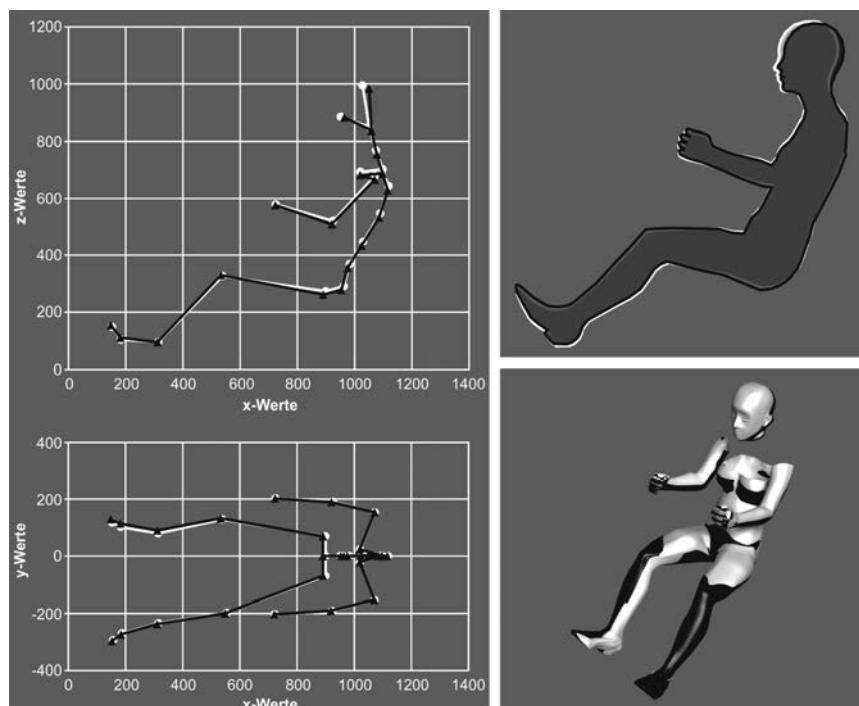


Bild 4: Vergleich von Referenzhaltung (weiß) und automatisiert erzeugter Haltung (schwarz) bzgl. Skelett (links) sowie Haut in 2D- (oben) und 3D-Ansicht (unten) am Beispiel des Manikin 05FSL

Tabelle 1: Räumliche Abweichung aller Skelett- und Hautpunkte sowie Gelenkwinkel

Räumliche Abweichungen		95MML	95MLS	50MMM	05FLS	05FSL	Gesamt
Skeletpunkte [mm] Anzahl: 75	Arithmetisches Mittel	6,93	1,82	5,80	6,06	6,79	5,48
	Standardabweichung	2,01	1,76	5,58	6,92	6,22	5,31
	Minimum	2,06	0,04	0,65	0,05	0,06	0,04
	Maximum	10,93	6,91	15,62	17,66	25,57	25,57
Hautpunkte [mm] Anzahl: 66 (M) / 69 (F)	Arithmetisches Mittel	6,03	3,02	5,18	6,34	9,00	5,95
	Standardabweichung	2,16	2,26	4,36	5,70	5,81	4,78
	Minimum	1,66	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00
	Maximum	11,08	8,54	15,23	16,94	24,95	24,95
Gelenkwinkel [°] Anzahl: 56	Arithmetisches Mittel	0,12	0,08	0,13	0,31	0,53	0,23
	Standardabweichung	0,28	0,21	0,28	0,82	1,10	0,67
	Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximum	1,85	1,64	1,48	6,52	6,17	6,52

Tabelle 2: Räumliche Abweichung wichtiger Skeletpunkte

Räumliche Abweichung [mm]	95MML	95MLS	50MMM	05FLS	05FSL	Arithm. Mittel	Standard abw.
H-Punkt	5,46	3,93	1,13	0,81	14,82	5,23	5,70
Mittenauge	10,01	3,00	2,41	1,49	12,70	5,92	5,08
Kopfspitze	10,93	3,25	1,42	6,04	25,57	9,44	9,70
Kniegelenk (r.)	3,16	5,51	4,17	5,76	7,65	5,25	1,71
Schultergelenk (r.)	9,53	3,28	2,59	2,37	13,67	6,29	5,08
Schlüsselbeingelenk (r.)	9,31	3,24	2,19	2,54	11,86	5,83	4,45
Arithmetisches Mittel	8,07	3,70	2,32	3,16	14,38		
Standardabweichung	3,05	0,94	1,07	2,21	6,00		

Die Teilnehmenden der Untersuchung weisen mittlere Kenntnisse in CATIA (davon keine Kenntnisse: 2 Teilnehmende; erste Kenntnisse: 0; Grundkenntnisse: 3; fortgeschrittene Kenntnisse: 5; Expertenkenntnisse: 0) und geringe Kenntnisse in RAMSIS (davon keine Kenntnisse: 6; erste Kenntnisse: 1; Grundkenntnisse: 3; fortgeschrittene Kenntnisse: 0; Expertenkenntnisse: 0) auf. Für die Durchführung der automatisierten Ergonomieauslegung benötigten die Probanden durchschnittlich 20:33 min (Standardabweichung = 3:06 min), wobei sie im Mittel 1,7 Fehler verursachten und durchschnittlich 1,8 Hilfestellungen brauchten.

Die meisten Probleme traten beim Wechsel zwischen CATIA und RAMSIS, in Zusammenhang mit dem Laden und Abspielen von Makros in RAMSIS sowie bei den manuell auszuführenden Analysen im Zuge von Makro 5 auf. Das Programm lief während den Probandenversuchen sehr stabil und verursachte keinen Fehler. Die Ergebnisse der Befragung sind in Bild 5 visualisiert. Bei den meisten Fragen sind die Ergebnisse sehr eindeutig. Die Probanden empfinden die automatisierte Ergonomieauslegung als Vereinfachung der Bedienung von CATIA und RAMSIS, die hilft Fehler zu vermeiden. Auch die Führung innerhalb der Programme wird positiv bewertet. Allerdings wird teilweise noch mehr Führung gewünscht, was auch daran deutlich wird, dass die Anwender nicht immer wissen, was sie als nächstes tun müssen oder was das Programm macht. Trotzdem trauen sich die Anwender zu, die automatisierte Ergonomieauslegung alleine durchzuführen. Insgesamt wird die automatisierte Ergonomieauslegung bezüglich Vereinfachung, Effizienzsteigerung und Geschwindigkeitserhöhung bei der Ergonomieauslegung positiv bewertet. Aus Sicht der Probanden ist der Grad der Automatisierung sinnvoll und die automatisierte Ergonomieauslegung vor allem für Standardaufgaben geeignet.

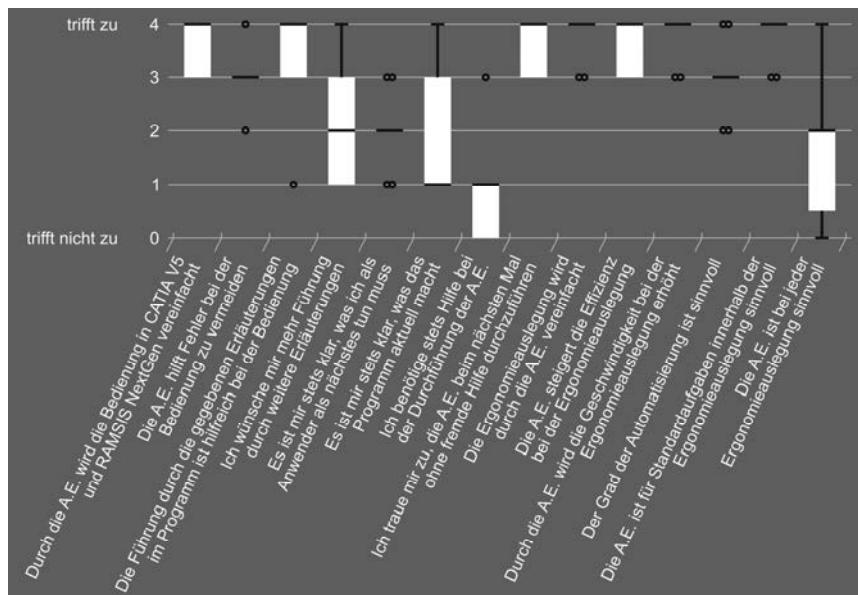


Bild 5: Ergebnisse der Befragung der Probandenuntersuchung zur automatisierten Ergonomieauslegung (A.E.)

## 5. Diskussion und Zusammenfassung

Hinsichtlich der Effizienz ist die Verringerung der Bedienaktionen durch die automatisierte Ergonomieauslegung sehr groß. Dies lässt sich aufgrund des erhöhten Rechenaufwands für einzelne Bedienschritte zwar nicht unverändert auf den Zeitaufwand übertragen. Trotzdem liegt eine sehr große Zeiteinsparung nahe. Die Einsparung wird auch durch die geringen Durchlaufzeiten bei der Probandenuntersuchung bestätigt. Der Aufwand bei der klassischen Ergonomieauslegung lässt sich durch die Verwendung von vordefinierten Manikins und Restriktionen zwar noch etwas reduzieren, doch vor allem bei der Erzeugung der Fahrzeugumgebung, dem Zusammenspiel zwischen CATIA und RAMSIS sowie der Aufbereitung der Geometrien bietet die automatisierte Ergonomieauslegung eine sehr große Zeitersparnis. Ein weiterer Vorteil der geringeren Anzahl an Bedienaktionen ist die Minimierung des Risikos von Anwenderfehlern, was wiederum zu einer Zeitersparnis führt. Optimierungspotenzial gibt es vor allem bei der Durchführung der Analysen in RAMSIS, die teilweise immer noch manuell ausgeführt werden müssen. Aufgrund der Stabilität des Programms, der gewünschten Flexibilität bei den Analysen und der programmiertechnischen Beschränkungen sind auf Basis des Ansatzes mit Makros aktuell keine Anpassungen in diesem Bereich möglich.

Die Ergebnisse bezüglich der Übereinstimmung der Körperhaltung der automatisierten Ergonomieauslegung mit der klassischen Auslegung in einem originalen CAD-Modell sind, besonders im Hinblick darauf, dass die automatisierte Ergonomieauslegung vor allem in der frühen Phase eingesetzt werden soll, als sehr gut zu bewerten. Trotzdem gibt es Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Manikins. Die geringe Standardabweichung bei den Skelett- und Hautpunkten bei den großen Manikins deutet auf eine leichte, gleichmäßige Verschiebung hin. Gründe hierfür könnten das fehlende Dach oder die Vereinfachungen an Sitzverstellfeld, Pedalerie oder Fahrzeugsymbolen sein. Bei den kleinen Manikins sind die Werte für die Standardabweichung und die Maximalabweichungen größer, was auf eine leicht veränderte Körperhaltung hindeutet. Neben den oben genannten Gründen, könnte auch die Sichtebene, die sich zwischen Motorhaube und Lenkrad aufspannt, der Grund für die Abweichungen sein. Bei der Haltungsberechnung muss sich der Augpunkt der Manikins über dieser Ebene befinden, damit die Manikins über das Lenkrad auf die Straße schauen können. Aufgrund der fehlenden Motorhaube hat diese Ebene beim verwendeten parametrischen CAD-Modell eine fixe Neigung von  $8^\circ$  im Gegensatz zu  $7,5^\circ$  beim CAD-Modell des BMW 1er. Möglicherweise führt dies dazu, dass die kleinen Manikins das Kinn anheben und folglich die gesamte Körperhaltung angepasst wird, damit sich der Augpunkt über der Sichtebene befindet. Insgesamt lässt sich bei der Betrachtung aller Manikins kein einzelner, eindeutiger Grund für die Verschiebungen ermitteln. Eine weitere Präzisierung der relevanten Flächen im

parametrischen CAD-Modell kann die Qualität der Analyseergebnisse wahrscheinlich weiter steigern.

Die Selbsterklärungsfähigkeit des Programms kann aufgrund der Ergebnisse als gegeben angenommen werden. Obwohl die Probanden insgesamt eher geringe Kenntnisse hinsichtlich CATIA und RAMSIS aufwiesen und lediglich eine sehr kurze Erläuterung sowie ein einseitig bedrucktes DIN A4 Infoblatt erhielten, verursachten sie nur wenige Fehler und benötigten nur wenig Hilfe. Die meisten Probleme lassen sich durch noch ausführlichere Erläuterungen beheben. Dies wird auch durch die Ergebnisse der Befragung bestätigt. Andere Probleme treten bei sehr geringen Grundkenntnissen, die nach dem ersten Durchlauf der automatisierten Ergonomieauslegung bereits vorhanden sind, nicht mehr auf. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die automatisierte Ergonomieauslegung insgesamt von den Probanden als sehr positiv, als deutliche Vereinfachung und für Standardaufgaben als sehr sinnvoll wahrgenommen wird. Als kritisch ist anzusehen, dass die Anwender nicht immer wissen, was sie als nächstes tun müssen oder was das Programm macht. Hier könnten eventuell aussagekräftigere Popup-Fenster mit integrierten Bildern weiterhelfen. In RAMSIS könnte das Programm generell noch intuitiver gestaltet werden, wenn alle Analysen mit Makros steuerbar wären und die Programmierung von Popup-Fenstern über Makros möglich wäre.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sich die Ergonomieauslegung durch die Verwendung von Makros in CATIA V5 und RAMSIS NextGen sowie die Verwendung eines parametrischen CAD-Modells für Standardaufgaben in der frühen Phase automatisieren lässt. Dadurch wird die Auslegung bei nahezu gleichbleibender Qualität der Analysen deutlich effizienter und einfacher. Durch die Führung der Anwender können sogar Nutzer mit geringen Grundkenntnissen in RAMSIS Vorgaben erstellen, wobei die Interpretation der Ergebnisse sicherlich auch weiterhin von Experten durchgeführt werden muss. Weiteres Optimierungspotenzial besteht in der Ergänzung des parametrischen CAD-Modells um weitere relevante Elemente wie das Dach oder die Motorhaube. Außerdem kann sowohl die Benutzerfreundlichkeit und Führung der Anwender als auch die Effizienz der automatisierten Ergonomieauslegung auf der Seite von RAMSIS verbessert werden.

**Literatur:**

- [1] Herpel, T.; Wagner, P.-O.: Ergonomie und Komfort. In: Braess, H.-H.; Seiffert, U. (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 7., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013, S. 581-593.
- [2] Mandel, R.; Pomiersky, P.; Maier, T.: Der vollvariable Fahrzeug-Ergonomieprüfstand - Absicherung des digitalen Auslegungsprozesses. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung. Stuttgart, 2015.
- [3] Raabe, R.: Ein rechnergestütztes Werkzeug zur Generierung konsistenter Pkw-Maßkonzepte und parametrisches Designvorgaben. Universität Stuttgart, Dissertation, 2013.
- [4] Oehlschlaeger, H.: Virtuelle Produktentwicklung in der Konzeptphase von Nutzfahrzeugen. In: Seiffert, U.; Rainer, G. (Hrsg.): Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008, S. 58-74.
- [5] Potthoff, J.: CAVA - Fahrzeugauslegung mit CATIA V5 unter Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben und Richtlinien. In: Die digitale Produktentwicklung. Renningen: Haus der Technik Fachbuch, Expert-Verlag, 2008.
- [6] Siemens plm Software: NX General Packaging: Intelligent tools for automotive mechanical and occupancy packaging. [http://m.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/4086\\_tcm1224-4583.pdf](http://m.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/4086_tcm1224-4583.pdf), zuletzt geprüft am 17.03.2016.
- [7] Bubb, H.: Menschmodelle. In: Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R. E.; Vollrath, M. (Hrsg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 221-258.
- [8] Pomiersky, P.: Usability-Untersuchung zur Bedienung des digitalen Menschmodells RAMSIS NextGen. In: RAMSIS User Conference. Köln, 2014.
- [9] Bubb, H.; Grünen, R. E.; Remlinger, W.: Anthropometrische Fahrzeuggestaltung. In: Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R. E.; Vollrath, M. (Hrsg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, S. 345-470.

# Prüfstandsbasierter Modell der Raumwirkung im Fahrzeugcockpit

## Model of roominess in the vehicle cockpit based on the vehicle ergonomics test bench

Dipl.-Ing. **Roland Mandel**, Prof. Dr.-Ing. **Thomas Maier**,  
IKTD – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design,  
Universität Stuttgart, Stuttgart

### Kurzfassung

Als ästhetischer Faktor kann die Raumwirkung im Fahrzeug das Komfortempfinden der Insassen beeinflussen. Ausgehend von den Fahrzeuganforderungen Freiraum, Führung und Schutz, die sich aus den Grundbedürfnissen der Fahrzeuginsitzer nach Freiheit, Unterstützung und Sicherheit im Fahrzeug während der Fahrtätigkeit ergeben, wird ein Komfortmodell der Raumwirkung vorgestellt. Das Modell berücksichtigt die drei relevanten Wahrnehmungsarten der Innenraumgeometrie: haptische Wahrnehmung, visuelle Wahrnehmung des Fahrzeuginteriors und visuelle Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung. Es strukturiert das Fahrzeugcockpit entsprechend der Wahrnehmbarkeit in Körper und Freiräume erster bis dritter Ordnung und ordnet ihnen zu erfüllende Komfortkriterien zu. Aus der Anforderung nach Freiraum resultieren die Komfortkriterien Bewegungsfreiheit, Raumgröße und Übersicht / Überblick. Die Komfortkriterien physische Führung, Steifigkeit / Struktur und Abgeschlossenheit entstehen hingegen aus der Forderung nach Führung. Für die Erfüllung der Anforderung Schutz sind Komfortkriterien aus beiden Bereichen relevant.

Zur Beurteilung der Raumwirkung bei unterschiedlichen Fahrzeugginnenraumgeometrien wurde eine Probandenstudie mit zwölf jungen Fahrerinnen und Fahrern durchgeführt. Den Probanden wurden im variablen Fahrzeug-Ergonomieprüfstand ausgehend von den Cockpittabmessungen eines Kompaktklasse-Fahrzeugs nacheinander sechs veränderte Innenraumgeometrien als Reizmuster dargeboten. Die dabei entstehende Raumwirkung wurde jeweils nach einer Simulatorfahrt anhand eines Fragebogens ermittelt.

Es konnten Zusammenhänge zwischen der Erfüllung der Komfortkriterien und der Geometrie der Körper und Freiräume des Fahrzeugcockpits hergestellt werden. Insbesondere zeigte sich, dass Veränderungen des Greenhouse und der Instrumententafel bei gleicher Sitzposition und Bewegungsfreiheit den wahrgenommenen Freiraum vergrößern oder verringern können.

## 1. Motivation und Stand der Forschung

Wachsende Ansprüche an den Komfort im Fahrzeug führen bei der Weiterentwicklung von Fahrzeugmodellen zu immer größeren Abmessungen und Integration von Komfortfunktionen zur Entlastung und Unterstützung der Fahrzeugnutzer. Dem gegenüber stehen ambitionierte Ziele zur Energieeinsparung, die eher auf kleinere Fahrzeuge abzielen. Fortlaufende Tests und Vergleiche zwischen den Herstellern resultieren in einer starken Angleichung der messbaren physikalischen Komfortgrößen. Dadurch werden das Exterior- und Interior-Design immer mehr zum alleinigen Unterscheidungsmerkmal zwischen Fahrzeugen einer Kategorie und gehen als ästhetische Aspekte über das Gefallen direkt in das Komfortempfinden [1] der Fahrzeugnutzer ein.

Im Gegensatz zu biomechanischen Komfortfaktoren, bei denen die Vermeidung von Diskomfort angestrebt wird [2], sind der Ästhetik zugeordnete Komfortaspekte nicht direkt messbar. So gilt ein großzügiges Raumgefühl zwar als wichtiges Komfortkriterium eines Fahrzeugs, wird aber in der Literatur in Bezug auf konkrete Fahrzeugmodelle nur auf Basis von individuellen, subjektiven Einschätzungen beschrieben. Bekannt ist, dass sich ein hohes Dach mit großer Kopffreiheit, eine weit vorgezogene Unterkante der Windschutzscheibe sowie eine große Ellenbogenbreite [3], [4] positiv auf das Raumgefühl der Insassen auswirken. Auch ein langer Radstand und eine breite Spur [3] haben einen positiven Effekt. Diese Parameter beschreiben eine Vergrößerung des Fahrzeuginnenraums in allen Dimensionen, was zwar zu einem großzügigeren Raumgefühl führt, jedoch größere Fahrzeugaufßenabmessungen zur Folge hat. Des Weiteren bezieht sich der Ansatz, das individuelle Raumgefühl eines Fahrzeugnutzers im Fahrzeug zu beschreiben, nur auf den Aspekt der Größe und der Größenwirkung eines Fahrzeuginnenraums. Wichtige Komfortaspekte im Fahrzeug, wie zum Beispiel die Assoziation von Führung und Schutz, bleiben unberücksichtigt. Als besser geeigneter Faktor wird daher die gesamte Raumwirkung des Fahrzeuginnenraums betrachtet, deren Einfluss auf den Innenraumkomfort und damit auf den Nutzungskomfort dargestellt wird.

Neben dem persönlichen Gefallen existieren spezifische Kriterien für den Einfluss der Raumwirkung auf einen hohen Komfort im Fahrzeug. Diese ergeben sich aus den gleichzeitigen Grundbedürfnissen der Fahrzeugnutzer nach Freiheit, Unterstützung und Sicherheit im Fahrzeug während der Fahrtätigkeit. So zeigen verschiedene Untersuchungen zum Komfortempfinden in Fahrzeugen (vgl. [5], [6], [7]) und Prüfständen (vgl. [8], [9], [10]) die Abhängigkeit subjektiv wahrgenommener Komforteigenschaften von maßkonzeptionellen Parametern des Fahrzeugcockpits.

## 2. Komfortmodell der Raumwirkung

Zur qualitativen und quantitativen Beschreibung der Raumwirkung des Fahrzeuginteriors im Pkw wird ein Komfortmodell vorgeschlagen, das die Raumwirkung nicht auf den Größenaspekt reduziert, sondern die geometrische Beschaffenheit des Fahrzeuginnenraums in den Kontext der zu erfüllenden Anforderungen nach Freiraum, Führung und Schutz stellt, die aus den Grundbedürfnissen der Verkehrsteilnehmer nach Freiheit, Unterstützung und Sicherheit resultieren. Als dynamisch bewegter Körper führt und bewegt der Fahrzeuginnenraum seine Insassen relativ zur feststehenden Umgebung, die als externer Freiraum und zur Orientierung dient. Deshalb wird der Fahrzeuginnenraum im Kontext der Fahrzeugumgebung betrachtet, durch die sowohl positive als auch negative Stimuli auf die Insassen einwirken.

Die Raumwirkung entsteht vor allem durch die visuelle und haptische Wahrnehmung der Oberflächen des Fahrzeuginteriors sowie die visuelle Wahrnehmung der einsehbaren Umgebung. Da das Sichtfeld des Fahrers während der Fahrt fast ausschließlich nach vorne und zur Seite gerichtet ist, sind vor allem die Oberflächen im Cockpitbereich relevant. Durch die asymmetrische Sitzposition des Fahrers erfolgt die Wahrnehmung der Beifahrerseite rein visuell.

Ausgehend von den drei relevanten Wahrnehmungsachsen der Teilgestalt Aufbau (vgl. [11]) gliedert das Komfortmodell die Fahrzeugstruktur in korrespondierende Körper und Freiräume erster bis dritter Ordnung (vgl. [12]) und weist ihnen Einflussbereiche zu (siehe Bild 1). So entsteht aus dem Grundbedürfnis nach Freiheit die Anforderung an den Freiraum mit den Komfortkriterien

- Bewegungsfreiheit durch Primärraum (haptisch),
- Raumgröße durch Sekundärraum (visuell Interior) und
- Übersicht / Überblick durch Tertiärraum (visuell Umgebung).

Auf der anderen Seite bezieht sich die aus dem Grundbedürfnis nach Unterstützung resultierende Forderung des Nutzers nach Führung auf die Komfortkriterien

- physische Führung durch Primärkörper (haptisch),
- Steifigkeit / Struktur durch Sekundärkörper (visuell Interior) und
- Abgeschlossenheit durch Tertiärkörper (visuell Umgebung).

Jede der drei Wahrnehmungsachsen besitzt zwei gegenläufige Pole in Form von positiven Interioreigenschaften, sodass sich jeweils Zielkonflikte ergeben.

Bei ausreichender Erfüllung aller sechs wahrnehmbaren Komfortkriterien in Bezug auf die Anforderungen Freiraum, Führung und Schutz kann die Raumwirkung ein positives Empfinden von Freiheit, Unterstützung und Sicherheit vermitteln und damit zusammen mit den wei-

teren physikalischen Komfortgrößen bei der Fahrtätigkeit die Basisemotion Vertrauen [13] unterstützen.

Die Nichterfüllung eines oder mehrerer Komfortkriterien der Raumwirkung kann jedoch zur Basisemotion Angst führen und damit Ablehnung beim Fahrzeuginsitzer hervorrufen.

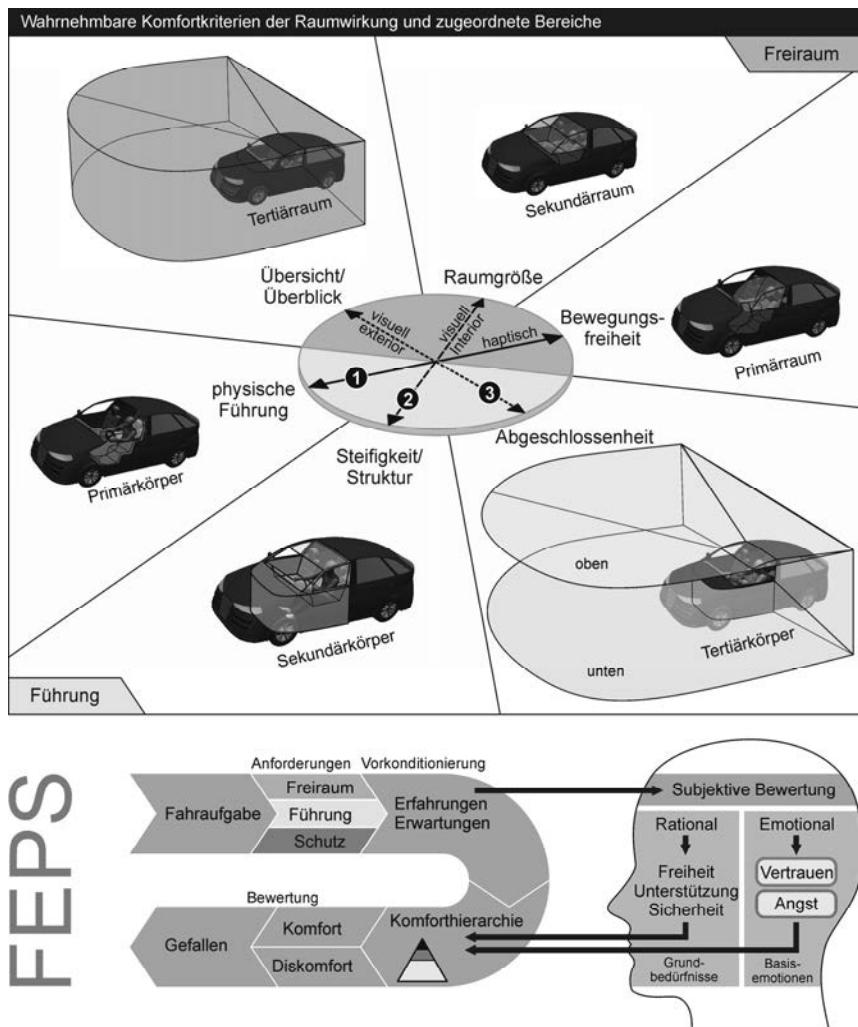


Bild 1: Komfortmodell der Raumwirkung mit zugeordneten Bereichen im Fahrzeug

Die Wahrnehmung des Innenraums erfolgt jedoch immer erst nach dem Einstiegsvorgang und damit bei realen Fahrzeugen nach der Betrachtung des Exteriors, wodurch bereits eine Vorkonditionierung des Betrachters stattgefunden hat [12]. Da individuelle Empfindungen verschiedener Nutzer in einem Fahrzeug unterschiedlich ausfallen, müssen die Parameter zur Verknüpfung der geometrischen Beschaffenheit des Fahrzeuginnenraums mit dessen Raumwirkung anhand von Probandenstudien experimentell ermittelt werden.

### 3. Fahrzeug-Ergonomieprüfstand

Um die entstehende Raumwirkung eines Fahrzeuginnenraums und deren Einflussparameter in Probandenstudien systematisch zu untersuchen, wurde am Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design der Fahrzeug-Ergonomieprüfstand (FEPS) als variables Abbild eines Fahrzeuginnenraums auf Basis einer elektromotorisch verstellbaren Sitzkiste [14] aufgebaut (siehe Bild 2).



Bild 2: Fahrzeug-Ergonomieprüfstand (FEPS) am IKTD

Der Fahrzeuginnenraum des FEPS ist über 50 Motoren elektrisch verstellbar. Die Motoren sind mit Wegsensoren ausgestattet, sodass nacheinander verschiedene Fahrzeuginnenraumgeometrien automatisiert und reproduzierbar angefahren werden können. Zusätzlich bietet der FEPS über weitere 12 Elektromotoren für die Probanden individuell einstellbare Sitzverstellfelder der Frontsitze und ein Lenkradverstellfeld.

Im Gegensatz zu üblichen variablen Prüfständen verfügt der FEPS über einen geschlossenen Fahrzeuginnenraum, der große maßliche Veränderungen der Innenraumgeometrie zulässt. Für die Simulation der Fahrzeugumgebung bei Untersuchungen während der Fahrtätigkeit ist der FEPS mit einer statischen Fahrsimulation über fünf Monitore mit 225° Blickfeldabdeckung und drei Rückspiegelmodulen sowie einem Kombiinstrument und einem Zentraldisplay ausgestattet.

## 4. Probandenstudie

Die durchgeführte Studie umfasst eine Probandenbefragung mit Fahrtätigkeit im Fahrzeug-Ergonomieprüfstand zur Erfassung der Raumwirkung und relevanter Einflussparameter anhand sechs unterschiedlicher Fahrzeuginnenraumgeometrien als Reizmuster.

### 4.1 Probandenkollektiv

Das Testkollektiv bestand aus einer Gruppe von 12 jungen Fahrerinnen und Fahrern (7m, 5w, Altersspanne 22-28 Jahre, Altersdurchschnitt  $24,9 \pm 1,9$  Jahre) aus dem Umfeld des Instituts, die zum Testzeitpunkt alle im Besitz einer Fahrerlaubnis der Klasse B waren und eine jährliche Fahrleistung von durchschnittlich  $7750 \pm 5391$  km (Spanne 500-17500 km) vorweisen können. Die Probanden hatten keine Vorkenntnisse zu den Verstellmöglichkeiten des FEPS, waren mit dem Fahren im Prüfstand aber größtenteils vertraut.

### 4.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Für die Versuche wurde der Prüfstand so vorbereitet, dass die sechs unterschiedlichen Einstellungen über das Interface angewählt und für jeden Probanden einzeln automatisiert angefahren werden konnten. Das Interior des Prüfstands bildete eine geschlossene Fahrzeughülle, lediglich zwischen Instrumententafel und Türverkleidungen befanden sich zwei kleine Lücken, die ein unabhängiges Verfahren der Baugruppen gewährleisteten. Alle Spalte waren nach außen verdeckt, um störenden Lichteinfall zu vermeiden. Die erste Prüfstandseinstellung E1 beinhaltete typische Abmaße eines Kompaktklasse-Fahrzeugs und war für jeden Probanden identisch. Sie diente der einheitlichen Vorkonditionierung der Probanden und bildete die Referenz für die weiteren Reizmuster E2-E6, die in zufälliger Reihenfolge dargeboten wurden (siehe Bild 3). Um die Probandenaussagen direkt in Bezug zu den veränderten Parametern setzen zu können und um Aussagen zu deren Auswirkungen zu treffen, wurden bei den einzelnen Varianten nur wenige Parameter verändert. Vielmehr wurden die Freiräume und Körper des Fahrzeuginnenraums derart variiert, dass die Fahrzeugbreite, sowie die Sitzposition und die Stützflächen der Probanden über alle Reizmuster konstant blieben.

So wurde bei der Einstellung E2 durch eine Erhöhung des Dachs um 80 mm und eine um 80 mm vorgezogene Dachkante das Greenhouse stark vergrößert. Die Einstellung E3 bezog sich auf Veränderungen der sekundären und tertiären Freiräume. Hierzu wurde bei E3 das Cockpit durch ein Zurückversetzen der Frontscheibenunterkante um 160 mm verkürzt. E4 beinhaltete eine um 80 mm vorgezogene Dachkante zur Erweiterung des Primär- und Sekundärraums. Bei den Varianten E5 und E6 wurden die Außenabmessungen von E1 beibehalten, jedoch die Instrumententafel um je 80 mm nach vorne und unten (E5), sowie nach

hinten und oben (E6) versetzt, was zu großen Veränderungen bei den primären und sekundären Freiräumen und den sekundären Körpern führte. Am Ende des Versuchsdurchlaufs wurde ohne das Wissen der Probanden nochmals die erste Prüfstandseinstellung als Wiederholungsmessung E7 angefahren. Durch die starken Variationen der Einstellungen im Bereich der Fensterflächen wurde für die Studie ein Prüfstands-Setup ohne Scheiben gewählt.

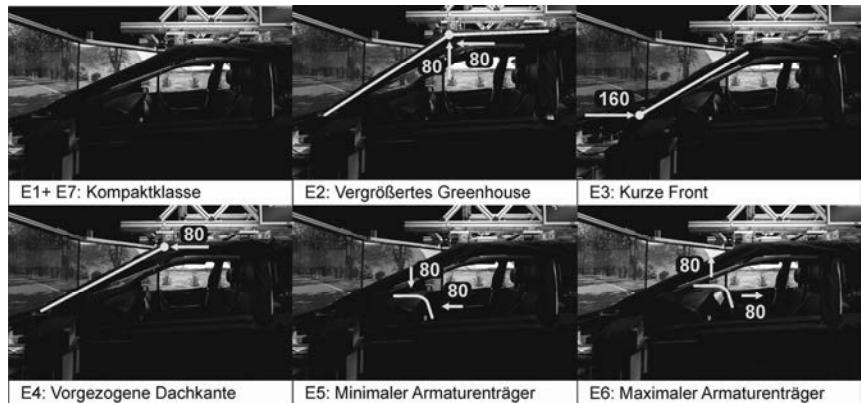


Bild 3: Dargebotene Prüfstandseinstellungen als Reizmuster

Die Testpersonen hatten die Aufgabe, nach der individuellen Einstellung von Sitz und Lenkradposition im Prüfstand jeweils eine kurze Fahrstrecke von 3 min (1 min Stadtverkehr, 1 min Landstraße, 1 min Stadtverkehr) zurückzulegen, wobei die Richtungsvorgaben über im Kombiinstrument eingebundene Navigationspfeile erfolgten.

Um den Aspekt der Sicherheitswirkung des Fahrzeugs zu adressieren, war in die Simulationsstrecke ein potenzielles Gefahrenszenario eingebunden. Während der Proband an einer roten Ampel wartet, nähert sich von hinten ein LKW, fährt über die Abbiegespur links vorbei und schert direkt vor dem Proband ungeachtet des Ampelsignals wieder auf dessen Spur ein.

Am Ende der Teststrecke wurden die Probanden für die Befragung auf einen Parkplatz am rechten Fahrbahnrand geleitet. Diese erfolgte anhand eines Fragebogens und beinhaltete die Einordnung subjektiver Assoziationen zur jeweiligen Innenraumgeometrie auf 8-stufigen Ratingskalen mit offenen Fragen zur näheren Spezifikation und zur Verständniskontrolle als geführtes Interview unter Anwendung der Methode des lauten Denkens. Der Versuchsleiter

nahm dazu eine Position neben dem Prüfstand auf Höhe der B-Säule ein, ohne das Sichtfeld der Probanden einzuschränken.

Nach jeder Befragung wurden die Probanden gebeten, aus dem Prüfstand auszusteigen und in einem abgetrennten und sichtgeschützten Bereich Platz zu nehmen, während die nächste Prüfstandseinstellung vorgenommen wurde.

## 5. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Probandenaussagen anhand der vorgegebenen Wertepaare zu den Komfortfaktoren der Wahrnehmungsachsen sind in Bild 4 als Boxplots dargestellt.

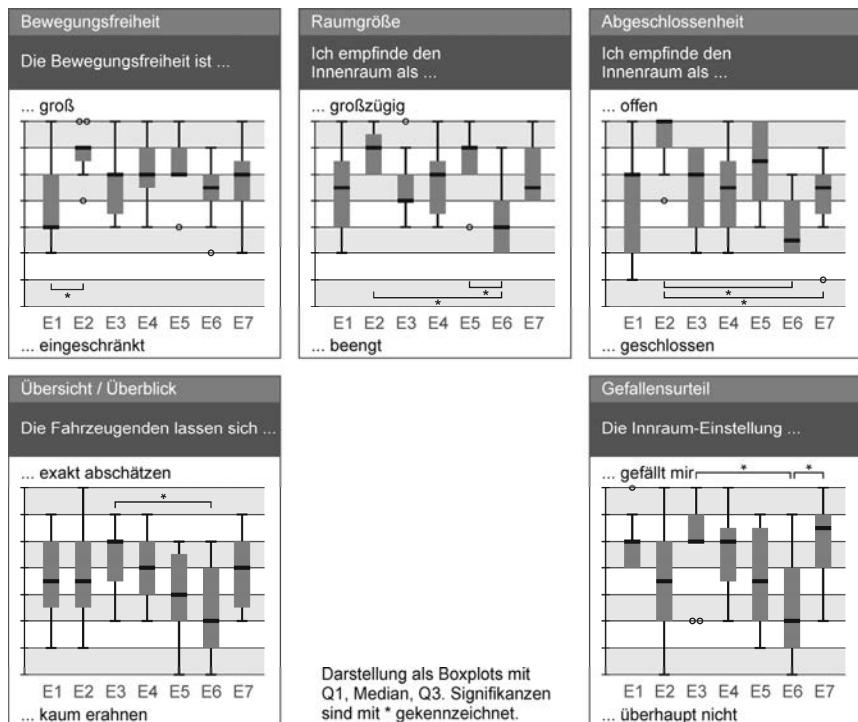


Bild 4: Ergebnisse zu Komfortkriterien der Wahrnehmungsachsen und zum Gefallensurteil

Bei der Bewertung der Bewegungsfreiheit zeigt sich ein Konditionierungseffekt durch die erste Prüfstandseinstellung. Obwohl Fahrzeugsbreite und Sitzposition bei jeder Variante identisch waren, empfanden die Probanden die Bewegungsfreiheit bei der Starteinstellung als

am stärksten eingeschränkt, vor allem durch die Fahrertüre. Veränderungen von Flächen im Greifraum ohne permanenten Kontakt (Primärraum) zeigten bei den weiteren Einstellungen Auswirkungen auf die wahrgenommene Bewegungsfreiheit. Dagegen entsprechen die Einschätzungen der Probanden zur Raumgröße den tatsächlichen Veränderungen des Innenraumvolumens (Sekundärraum) im Cockpitbereich. Die Bewertungen zur Abgeschlossenheit des Innenraums zeigen einen starken Bezug zum sichtbaren Fahrzeugumfeld (Tertiärraum), das durch die Position der Fensteröffnungen bestimmt wird. Deutliche Unterschiede zwischen E5, E6 und E7 weisen jedoch auf den zusätzlichen Einfluss des Innenraums (Primär- und Sekundärraum) auf die Abgeschlossenheit / Offenheit hin. Während das Sichtfeld bei E5 und E7 nach außen identisch war, führte das erhöhte Innenraumvolumen durch die niedrige Instrumententafel bei E5 zu einer offeneren Einschätzung dieses Reizmusters. Bei E6 war die Sicht nach unten direkt durch die hohe Instrumententafel eingeschränkt, was zu einer eher geschlossenen Einschätzung führte. Ähnliche Ergebnisse lieferte die Abschätzbarkeit der Fahrzeugenden. Hier wurde die Einstellung E3 mit verkürzter Front am besten bewertet. In Bild 5 sind die Befragungsergebnisse zu den übergeordneten Anforderungen an den Fahrzeuginsenraum aus der Raumwirkung dargestellt.

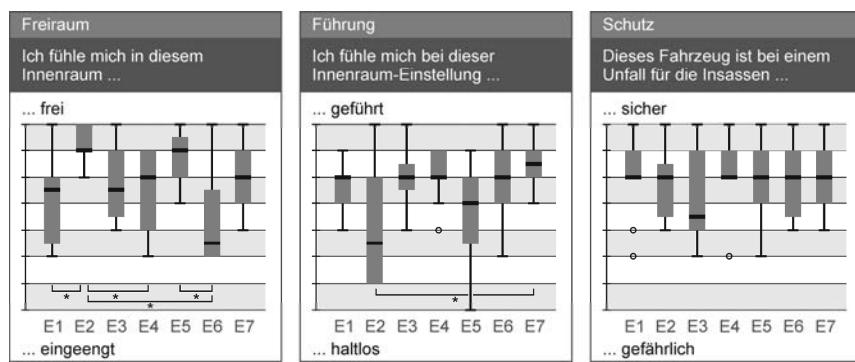


Bild 5: Ergebnisse zu den Fahrzeugeanforderungen

Es zeigte sich der Einfluss des Innenraumvolumens (sekundärer Freiraum) und der Sichtbereiche (tertiärer Freiraum) auf den wahrgenommenen Freiraum. Dieser korreliert mit den Komfortkriterien Bewegungsfreiheit und Raumgröße, sowie mit der Offenheit als Gegenpol der Abgeschlossenheit. Auch empfanden die Probanden ein subjektiv unterschiedliches Gefühl der Führung bei den verschiedenen Einstellungen, das durch die Erhöhung der Abstände von Sekundärkörpern zum Fahrer reduziert wurde.

Den wahrgenommenen Schutz durch das Fahrzeug bewerteten die Probanden im Vergleich zur Referenzeinstellung E7 bei E3 als geringer, bei E4 in Bezug auf den Interquartilsabstand als leicht höher. Diese Bewertungen decken sich auch mit den verbalen Aussagen zur Begründung, wonach eine sichere Wirkung vor allem durch einen großen Freiraum nach vorne (Sekundärraum) als auch durch große geschlossene Bereiche (Sekundärkörper) vor dem Fahrer wie beispielsweise durch eine lange Front oder einen massiven Armaturenträger entsteht.

## 6. Diskussion und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zeigen deutliche Zusammenhänge zwischen der geometrischen Beschaffenheit der Körper und Freiräume im Fahrzeugcockpit und der Erfüllung der Komfortkriterien des Modells der Raumwirkung. Ohne Vorinformationen der Probanden durch das Fahrzeugexterior und mit zufällig gewählter Reihenfolge der Einstellungen, ergaben sich klar erkennbare Unterschiede bei der Bewertung der Raumwirkung anhand der Komfortkriterien.

Auch ein Zusammenhang der einzelnen Freiräume mit der übergeordneten Fahrzeuganforderung Freiraum und der einzelnen Körper mit der Fahrzeuganforderung Führung ist ersichtlich. Die Anforderung Schutz bezieht sich jedoch auf beide Bereiche. So wirkt Einstellung E4 vermutlich deshalb relativ sicher, weil sie mit der vorgezogenen Dachkante einerseits über erhöhte Primär- und Sekundärräume verfügt, andererseits der große und weit nach vorn gezogene Armaturenträger als Sekundärkörper zusätzlich Massivität und große Deformationszonen suggeriert, ohne die Bewegungsfreiheit einzuschränken. Generell zeigte sich im Interview die wichtige Bedeutung der Position von Frontscheibenoberkante und Sonnenblenden für die entstehende Raumwirkung.

Große Änderungen der Freiräume und Körper im Prüfstandsinnenraum hatten deutlich erkennbare Auswirkungen auf die subjektiven Empfindungen der Probanden. Die geringen Abweichungen der Befragungsergebnisse zwischen ähnlichen Prüfstandseinstellungen zeigen hingegen eine hohe Konsistenz innerhalb der Versuchsreihe. Aus den teilweise großen Streuungen und deutlichen Abweichungen bei E1 im Vergleich zu den weiteren Einstellungen lässt sich die Notwendigkeit der Vorkonditionierung der Probanden, beispielsweise durch die ersten dargebotenen Prüfstandseinstellungen, ableiten. Insofern eignet sich die Wiederholungsmessung E7 nicht zur Bestätigung der Konsistenz, da insbesondere bei der Bewegungsfreiheit eine starke Konditionierung auftrat.

Da in einem statischen Prüfstand letztendlich nur eine statische Abstützung des Fahrers erfolgen kann, hat die physische Führung, die eine ergonomische Haltung ermöglicht und Er-

reichbarkeiten bei Bedienvorgängen miteinschließt, eine deutlich geringere Priorität als im Realfahrzeug. Körperbewegungen dienen im Prüfstand fast ausschließlich der Bedienung von Stellteilen sowie der Sichtfelderweiterung. Körperbewegungen durch Längs- und Querbeschleunigungen sowie aktive Ausgleichsbewegungen zu deren Kompensation treten im FEPS systembedingt nicht auf. Aus diesen Gründen waren zur physischen Führung im Rahmen der Studie keine Aussagen möglich. Das Gefühl von Führung entstand nach Aussage der Probanden eher durch das Vorhandensein der fahrzeugtypischen Baugruppen mit Stützflächen, Stellteilen und Anzeigern im gewohnten Greifbereich und kann daher in Abhängigkeit von den Sekundärkörpern gesehen werden.

Bei Fragen zur Steifigkeit / Struktur des Innenraums bezogen sich die Probanden meist auf die direkte Beurteilung der Bauteile des Prüfstands, was eine Übertragung auf unterschiedliche Wirkungen bei Realfahrzeugen ausschließt.

Ohne die Kenntnis der tatsächlichen Fahrzeuggröße bezogen sich die Probanden bei der Abschätzung der Fahrzeugenden auf den sichtbaren Bereich des Fahrzeugs. Sie beurteilten damit ihr Sichtfeld, das in direktem Zusammenhang mit dem Komfortkriterium Überblick / Übersicht über die Verkehrssituation steht. Alle Probanden erwähnten dabei die Motorhaube als relevante Einflussgröße, die im FEPS wie in vielen Pkw aber nicht sichtbar war. Im Pkw erfolgt die Abschätzung der Länge des Vorderwagens in diesem Fall anhand der visuellen Vorkonditionierung vor dem Einstiegsvorgang (vgl. [12]), was jedoch im Prüfstand gezielt vermieden wurde.

Es ist ersichtlich, dass sich die Einstellungen E2, E5 und E6 deutlich von dem Feld der übrigen Varianten und auch von typischen Pkw abheben. Eine Erklärung dafür ist, dass die geometrischen Veränderungen dieser drei Varianten besonders deutlich waren und von allen Probanden erkannt wurden, wenngleich manche Probanden noch zusätzliche Unterschiede vermuteten. Beim Gefallensurteil erhielten diese Varianten schlechtere Bewertungen, wobei E2 sehr stark polarisierte und die Antworten der Probanden über die komplette Spanne verteilten lagen. Die starke Polarisierung von Variante 2 in Bezug auf das Gefallen zeigt die unterschiedlich ausgeprägten subjektiven Anforderungen der Probanden an den Freiraum. So war im Interview stets die Größe des Innenraums der Grund für die positiven als auch für die negativen Bewertungen.

Die Untersuchungsergebnisse im Fahrzeug-Ergonomieprüfstand veranschaulichen den Einfluss der untersuchten Aufbauparameter auf die Komfortkriterien der Raumwirkung des Interiors. In der Studie konnte somit die Eignung des FEPS sowie der Befragungsmethode zur Beurteilung der Raumwirkung bestätigt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen im Fahrzeug-Ergonomieprüfstand weitere Versuche mit unterschiedlichsten Prüfstandseinstellungen als Reizmuster durchgeführt werden, die die großen Verstellbereiche des Prüfstands ausnutzen. Ziel der Versuche ist es, die Parameter zur Erfüllung der Anforderungen an die Raumwirkung im Fahrzeug näher zu beschreiben und das Modell der Raumwirkung zu konkretisieren.

**Literatur:**

- [1] Knoll, C.: Einfluss des visuellen Urteils auf den physisch erlebten Komfort am Beispiel von Sitzen. Technische Universität München Diss. 2007
- [2] Zhang, L.; Drury, C. G.; Helander, M. G.: Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Human Factors* (1996) 38 S. 377-389
- [3] Teske L.; Goßmann H.: Aufbau / Karosseriebauweisen. In: Braess, H., Seiffert U. (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Vieweg 2011
- [4] Kraus, W: Grundsätzliche Aspekte des Automobildesign. In: Braess, H-H.; Seifert, U. (Hrsg.): *Automobildesign und Technik*. Wiesbaden: Vieweg 2007
- [5] Tanoue, C; Ishizaka, K.; Nagamachi, M.: Kansei Engineering, A study on perception of vehicle interior image. In: *Industrial Journal of Industrial Ergonomics* (1997) 19 S. 115-128
- [6] Amini, P.; Schmitt, R.; Falk, B.: Wahrnehmung von Sicherheit. *Automobiltechnische Zeitung* (2013) 5 S. 448-456
- [7]] Wagner, P.-O.: Gewählte Sitzeinstellung in Abhängigkeit von der Gestaltung des Dashboards. In: Bubb et al. (Hrsg.): *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Springer Vieweg 2015
- [8] Reed M.; Letho, M.; Schneider, L.: Development of a predictive model and design guidelines based on subjective evaluation of rear seat passenger headroom. University of Michigan 1999
- [9] Hiamtoe, P.; Steinhardt, F.; Köhler, U.; Bengler, K.: Subjective and objective evaluation of sense of space for vehicle occupants based on anthropometric data. In: IEA 2012 18th World congress on Ergonomics - Designing a sustainable future. Recife 2012
- [10] Mandel, R.; Pomiersky, P.; Maier, T.: Der vollvariable Fahrzeug-Ergonomieprüfstand – Absicherung des digitalen Auslegungsprozesses. In: Binz, H.; Bertsche, B.; Bauer, W.; Roth, D. (Hrsg.): *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung*. Stuttgart 2015
- [11] Mandel, R.; Müller, A.; Maier, T.: How much room for convenience? Factors contributing to perceived comfort in electric vehicles, Bd. 1. In: *13th Stuttgart International Symposium Automotive and Engine Technology*. Stuttgart 2013 S. 273-287
- [12] Mandel, R.; Klarzyk, J.; Maier, T.: Impact of visual preconditioning on the comfort rating of the vehicle interior. In: *15th Stuttgart International Symposium Automotive and Engine Technology*. Stuttgart 2015 S. 725-736

- [13] Roth, M.; Saitz, O.: Emotion Gestalten. Methodik und Strategie für Designer. Basel: Birkhäuser 2014
- [14] Braun, M.: Entwicklung eines variablen Ergonomie-Prüfstandes mit CAD-Anbindung und Validierung einer Arbeitsmethodik. Technische Universität München Diss. In: Fortschritt-Berichte VDI, Verkehrstechnik / Fahrzeugtechnik (1999) Bd. 12, Nr. 374

# Experimentelle Untersuchung des Alterseinflusses auf die Gestaltung taktiler Druck- und Vibrationsanzeiger für den Unterarm und Hüftbereich

**Experimental investigation of the influence of age on the design of tactile pressure and vibration displays for forearm and hip areas**

Dipl.-Ing. **Benedikt Janny**, Dipl.-Ing. **Matti Schwalk**,

Prof. Dr.-Ing. **Thomas Maier**,

IKTD – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design,  
Universität Stuttgart, Stuttgart

## Kurzfassung

Die taktile Informationsdarbietung kann den Menschen ergänzend zu optischen und akustischen Anzeigen bei der Interaktion mit seiner Umwelt unterstützen. Zur Beurteilung des Alterseinflusses bei taktilen Anzeigen wurden Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Druck- und Vibrationsreizen sowie deren Kombination mit zwei Alterskohorten durchgeführt. Die jüngere Gruppe ( $n=6$ ) wies einen Altersdurchschnitt von  $23,2 \pm 1,6$  Jahren, die ältere Gruppe ( $n=6$ ) einen Altersdurchschnitt von  $70,7 \pm 9,6$  Jahren auf. Neben der Erfassung der individuellen, taktilen Leistungsfähigkeit durch genormte Verfahren wurden hierzu Erkennungsraten von Richtungsinformationen am Unterarm und im Hüftbereich ermittelt. Dabei wurden die unterschiedlichen Reiztypen Druck und Vibration sowie die beiden Körperregionen im Kontext des Alterseinflusses gegenübergestellt. Die Ergebnisse beider Alterskohorten zeigen generell hohe Erkennungsraten für beide Körperregionen (zwischen 90 und 100 %). Eine durchgeführte Korrelationsanalyse deutet darauf hin, dass es im Hüftbereich einen negativen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Erkennungsrate gibt, während dies am Arm nicht der Fall ist. Durch Vibrationsreize lassen sich am Arm altersunabhängig höhere Erkennungsraten erzielen als durch Druckreize. An der Hüfte wird die Erkennung durch die Kombination der beiden einzelnen Reiztypen (Druck+Vibration) maximiert. Des Weiteren bietet die Anbringung am Arm aufgrund der Unabhängigkeit von Kleidung sowie des über die Lebensspanne relativ konstanten Handgelenkumfangs gestalterische Vorteile.

## 1. Motivation und Stand der Forschung

Taktile Anzeiger bzw. Displays können effektiv zur Unterstützung gängiger optischer oder akustischer Anzeiger eingesetzt werden [1]. Durch zusätzliche taktile Stimuli konnten bei jungen Testpersonen bereits kürzere Reaktionszeiten sowie geringere Fehlerraten im Vergleich zur rein visuellen Informationsdarbietung nachgewiesen werden [2], [3]. Sinnvolle Anwendungsbereiche umfassen beispielsweise mobile Navigationsanwendungen sowie Warn- und Erinnerungsfunktionen im PKW. Erste Entwicklungen diesbezüglich, etwa in Form von Vibrationsgürteln und -armbändern oder vibrotaktilen Displays im Lenkrad oder Sitz, werden mittlerweile erforscht oder sind zum Teil bereits kommerziell verfügbar. Hierbei ist anzumerken, dass sich die Mehrheit an taktilen Versuchsprüfständen oder am Markt verfügbaren aktiven taktilen Displays auf Vibrationsreize beschränkt. Die zweite akzeptable Art der taktilen Reizdarbietung – durch Druckkreuze – findet kaum Anwendung [4]. Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich mit der Untersuchung geeigneter Reizmuster zur Darbietung verschiedener Informationsinhalte (z. B. [5], [6]). Besonders geeignet zur taktilen Übermittlung erscheinen Lage- und Richtungsinformationen (z. B. [7], [8]). Die Frage, inwieweit taktile Anzeiger zur Unterstützung älterer Nutzer Anwendung finden können, wurde bislang wissenschaftlich kaum untersucht.

Arab et al. [9] untersuchten in einer der wenigen altersbezogenen Studien die Variation verschiedener vibrotaktiler Gestaltungsparameter (Vibrationsdauer, Pausendauer zwischen Vibrationsreizen, Mustergestaltung sowie die Vibrationsamplitude) mit dem Ziel der Übermittlung sowohl von Richtungs- als auch semantisch höherwertigen Informationen mittels vibrotaktiler Reizgebung. Die Ergebnisse deuten altersabhängige Unterschiede, insbesondere bei der semantischen Mustererkennung, an. Cholewiak und Collins [10] führten in diesem Zusammenhang Versuche zur räumlichen Erkennung von Vibrationsmustern am Unterarm durch. Dabei hatte das Alter einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die richtige Lokalisierung der Reize. Ein direkter Vergleich zwischen einem älteren und einem jüngeren Probandenkollektiv hinsichtlich der Anwendung und Gestaltungsparameter taktiler Displays mit Einbeziehung von Druckkreisen ist den Autoren zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt. Laut aktuellem Stand der Forschung soll in der altersgerechten, technischen Produktgestaltung eine redundant-multimodale Informationsübertragung zwischen Maschine und Mensch angestrebt werden [11]. Die taktile Wahrnehmung bietet hierfür insgesamt großes, bislang nur bedingt genutztes Potential.

Physiologisch gesehen ist im Alter mit einem Rückgang der somatosensorischen, taktilen Leistungsfähigkeit zu rechnen, wodurch es zu Auswirkungen auf die Mensch-Produkt-Interaktion kommt, welche bei der Interface-Gestaltung Berücksichtigung finden müssen [12].

Allerdings muss angemerkt werden, dass die taktile Leistungsfähigkeit im Alter unter allen interaktionstauglichen Sinnesmodalitäten relativ gesehen am wenigsten Verluste erleidet. Daher wird die Nutzung von taktilen Anzeigern zur Informationsübermittlung im Alter wissenschaftlich explizit gefordert [11]. Betrachtet man die altersbedingten physiologischen Veränderungen des Tastsinns im Detail, fällt auf, dass es vor allem zum Rückgang der schnellaadaptierenden Meissner- und Vater-Pacini-Mechanorezeptoren kommt [13], [14], [15]. Nach Beyer und Weiss [16] sind diese maßgeblich an der Registrierung von Geschwindigkeit und Beschleunigung geringster Hautdehnung beteiligt. Dies hat vor allem ein gemindertes Vibrations- und Berührungsempfinden zur Folge [17]. Hinsichtlich der Stärke des eingeschränkten Vibrationsempfindens scheint eine Abhängigkeit zur Anzeiger-Vibrationsfrequenz zu bestehen. Laut Fisk bleibt im Laufe des höheren Lebensalters die Sensitivität bzgl. niedriger Vibrationsfrequenzen im Bereich von 25 Hz relativ stabil, während es bei Frequenzen über 60 Hz zu einer linearen Abnahme ab dem Erwachsenenalter kommt [18]. Aus den zuvor erwähnten Erkenntnissen leiten sich folgende Ziele der vorliegenden Studie ab:

1. Die Untersuchung der Fragestellung, ob ältere Nutzer bis zu acht verschiedene Richtungsinformationen taktil sicher wahrnehmen und erkennen können, wodurch aktive taktile Displays etwa für Navigationsaufgaben genutzt werden könnten.
2. Die Überprüfung der Hypothese, dass ältere Nutzer bei der Verwendung von aktiven taktilen Displays mit Druckkreisen höhere Erkennungsraten als bei der Verwendung von Vibrationsreizen erzielen; somit die Verwendung von Druckkreisen für Ältere Nutzer zu bevorzugen wäre.
3. Der Vergleich der taktilen Erkennungsraten bei dargebotenen Lageinformationen an verschiedenen Körperregionen (Unterarm und Hüfte) zwischen jüngeren und älteren Probanden.
4. Ableitung von Gestaltungshinweisen für die altersgerechte Gestaltung aktiver taktiler Displays an verschiedenen Körperregionen.

## 2. Versuchsvorrichtung

Zur altersübergreifenden Untersuchung von taktilen Druck- und Vibrationsanzeigen wurde ein am Institut entwickelter, modularer taktiler Hüftgurt mit 8 Aktuator-Einheiten verwendet (vgl. [19]) und um eine variable Vorrichtung für die Anbringung von 4 Einheiten am Unterarm erweitert. Die Anzahl von 8 Aktuatoren an der Hüfte sorgt dafür, dass auch bei kleinen Versuchsteilnehmern die statische Zweipunktschwelle (kleinster wahrnehmbarer Abstand zwischen zwei parallelen Druckkreisen) in diesem Bereich nicht unterschritten wird, um möglichst gute Randbedingungen für eine zuverlässige Erkennbarkeit zu schaffen. Selbiges gilt für die

4 Aktuator-Einheiten am Unterarm. In der Literatur existieren insbesondere für den Hüftbereich kaum konkrete Angaben, es kann jedoch von einer mittleren statischen Zweipunktschwelle von maximal 70 mm sowie am Unterarm von ca. 40 mm ausgegangen werden [1]. Ferner wird die Anzahl von 8 Aktuatoren für taktile Gürtel mit vibrotaktilem Reizen auch von Cholewiak et al. [20] empfohlen. Jede Aktuator-Einheit verfügt über einen Zylindermagneten mit Rückholfeder, der durch einen effektiven Hub von 3 mm (bei einer Kraft von ca. 3 N) den Druckkreis realisiert. Der Durchmesser der runden Wirkgeometrie aus Kunststoff, welche den Reiz auf den Körper überträgt, ist ebenfalls 3 mm. Zur Erzeugung von Vibration ist jeweils zusätzlich ein Vibrationsmotor mithilfe eines Adapters an der Hubachse des Zylindermagnets befestigt (siehe Bild 1). Somit wird ein sequentielles oder simultanes Aufbringen von Druck und Vibration an der jeweils selben Stelle ermöglicht. Die Vibrationsmotoren haben einen Durchmesser von 8 mm sowie eine Höhe von 3,4 mm und werden mit einer Eingangsspannung von 3 V betrieben, was zu einer Vibrationsfrequenz von 185 Hz und einer Amplitude von 0,7 G (normalisierte Erdbeschleunigung) führt. Die Reizdauer wurde auf Basis von Voruntersuchungen und Richtwerten aus der Literatur für alle Reize auf 250 ms festgelegt. Das Gewicht jeder Aktuator-Einheit beträgt 300 g.



Bild 1: Versuchsvorrichtung – Hüfte

Die 8 Aktuatoren-Einheiten können bei jedem Probanden individuell in gleichen Abständen um die Hüfte angebracht werden, wobei stets eine Einheit zentral vorne positioniert wird. Am Unterarm erfolgt die Anbringung der 4 Aktuator-Einheiten (oben, unten, links, rechts) durch die variable Halterung (siehe Bild 2), wobei der Unterarm mit nach oben gerichtetem Daumen flach aufliegt. Die Reizaufbringung erfolgt dabei oberhalb des Handgelenks. Die Ansteuerung der Aktuatoren wird mithilfe der Software LabVIEW sowie einem Arduino-Mikrocontroller realisiert.

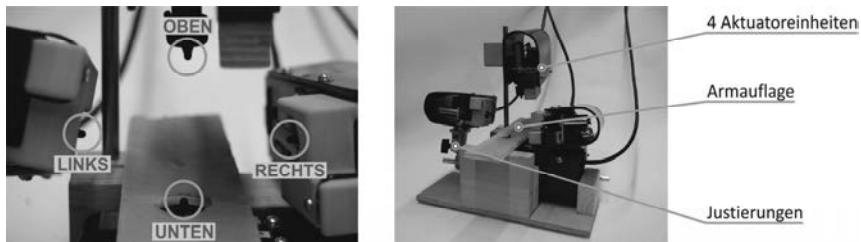


Bild 2: Versuchsvorrichtung – Arm

### 3. Methoden und Versuchsdurchführung

Die durchgeführte Studie unterteilt sich in drei experimentelle Versuchsdurchgänge:

- Physiologisch-normative Erfassung der taktilen Wahrnehmungsleistung und anthropometrischen Probandendaten
- Erfassung der taktilen Erkennungsraten im Hüftbereich mittels taktilem Hüftgurt
- Erfassung der taktilen Erkennungsraten am Unterarm mittels taktiler Armvorrichtung

Alle Versuche wurden tagsüber zwischen 11 und 18 Uhr bei einer Raumtemperatur zwischen 21 und 23°C durchgeführt.

#### 3.1 Probandenkollektiv

Insgesamt nahmen 12 Probandinnen und Probanden an den Versuchen teil, welche aus dem studentischen Kreise des Instituts (jüngere Gruppe) sowie dem Freundes- und Familienkreis der Studienleiter (ältere Gruppe) angeworben wurden. Kohorte 1 (jung) wurde durch sechs Probandinnen und Probanden (3m, 3w, Altersspanne 21-26 Jahre, Altersdurchschnitt  $23,2 \pm 1,6$  Jahre) gebildet. Kohorte 2 (alt) wurde durch ebenfalls sechs Probandinnen und Probanden (3m, 3w, Altersspanne 55-80 Jahre, Altersdurchschnitt  $70,7 \pm 9,6$  Jahre) gebildet und besaß breite Variabilität bezüglich des beruflichen und bildungstechnischen Hintergrunds. Jeder der Probanden war zum Zeitpunkt des Versuchs zu einer selbstständigen Lebensführung in der Lage. Die jüngeren Probanden wiesen keinerlei taktile Sensibilitätsstörungen auf. Sämtliche Einschränkungen und Krankheiten, von denen vermutet werden konnte, dass diese Auswirkungen auf die taktile Wahrnehmungsleistung der älteren Probanden haben könnten, wurden erfasst. Des Weiteren wurden von jedem Probanden Größe, Gewicht, Hüft- sowie Unterarmumfang (direkt oberhalb des Handgelenks) gemessen. Die Daten finden sich in Form von Mittelwerten mit Standardabweichung sowie des berechneten Body-Mass-Index (BMI) in Tabelle 1.

Tabelle 1: Ergebnis der medizinisch-biologischen Probandendatenerfassung

Kohorte	Erfasste Sensibilitätsstörung	$\bar{\sigma}$ -BMI $\pm \sigma$	$\bar{\sigma}$ -Handgelenkumfang $\pm \sigma$	$\bar{\sigma}$ -Hüftumfang $\pm \sigma$
Ältere	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spinalkanalstenose (operiert, bei einem älteren Probanden)</li> <li>• Karpaltunnelsyndrom an der dominanten Hand (operiert, bei zwei älteren Probanden)</li> </ul>	28,83 $\pm$ 1,86	20 $\pm$ 2 cm	111 $\pm$ 5 cm
Jüngere	–	20,35 $\pm$ 2,10	16 $\pm$ 1 cm	81 $\pm$ 6 cm

### 3.2 Physiologisch-normative Erfassung der taktilen Wahrnehmungsleistung

Die normative Erfassung der taktilen Wahrnehmungsleistung erfolgte durch Ermittlung des räumlichen Auflösungsvermögens mittels statischer Zweipunktdiskriminationsschwelle, der Erfassung der Druckkreiszschwelle durch Semmes-Weinstein Knick-Monofilamente sowie der Messung der Vibrationssensibilität mittels Rydel-Seiffer-Vibrationsgabel nach standardisierten Testabläufen.

Zu Beginn erfolgte die Erfassung des räumlichen Auflösungsvermögens mittels statischer Zweipunktschwellenmessung durch angefertigte Diskriminatoren, in Anlehnung an Huppelsberg und Walter in Form von gebogenen Büroklammern [21]. Getestet wurde mit insgesamt vier Diskriminatoren (15 mm, 10 mm, 6 mm, 4 mm) in absteigender Reihenfolge nach dem Grenzverfahren unter Ausschluss der visuellen Kontrolle. Insgesamt wurden drei Körperstellen getestet (Fingerbeere des Zeigefingers, Handgelenksrücken und Hüftbereich der dominanten Hand bzw. Körperhälfte), wobei jeder Testdurchlauf dreimal wiederholt wurde. Die Diskriminatoren wurden in Längsrichtung der jeweiligen Körperextremität senkrecht aufgesetzt, leicht angedrückt bis sich die Druckstellen an der Haut weiß färbten und für drei Sekunden auf der Haut belassen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Anzahl der als getrennt wahrgenommenen Reize auf der Haut mit eins oder zwei zu benennen. Sobald zwei von drei Durchgängen richtig erkannt wurden, wurde der Reiz als getrennt wahrgenommen gewertet.

Laut Schmidth [22] kann die Erfassung der Reizsensibilität mittels Reizschwellencharakterisierung durch geeichte Tasthaare unter Ausschluss der visuellen Kontrolle erfolgen. In vorliegender Untersuchung wurden vier Semmes-Weinstein Knick-Monofilamente (4,0 / 2,0 / 0,4 / 0,07 g Kraft) verwendet, welche senkrecht zur Hautoberfläche bis zur beginnenden Durchbiegung der Filamente angedrückt wurden. Es wurden die gleichen drei Körperstellen wie bei

der Zweipunktschwellenerfassung getestet, wobei jeder Testdurchlauf ebenfalls dreimal wiederholt wurde. Die geknickten Filamente wurden für drei Sekunden auf der Haut belassen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, unter Ausschluss visueller Kontrolle verbal zu äußern, sobald ein Reiz an der zuvor vereinbarten Stelle gespürt wurde. Sobald zwei von drei Durchgängen erkannt wurden, wurde die Messung als gültig gewertet.

Zuletzt erfolgte die Erfassung der Vibrationssensibilität mittels Rydel-Seiffer-Vibrationsgabel unter Ausschluss visueller Kontrolle lateral am Fingermittelglied des Zeigefingers, lateral am Handwurzelknochen auf Höhe des Hackenbeins und lateral im Hüftbereich (jeweils der dominanten Hand bzw. Körperhälfte). Die geeichte Vibrationsgabel wurde durch Anschläge am Handballen des Versuchsleiters in Vibration versetzt und anschließend der Gabelsockel an der vereinbarten Messstelle aufgesetzt und leicht angedrückt. Die Aufgabe des Probanden bestand darin, verbal zu äußern, ab wann keine Vibration mehr an der Messstelle verespürt werde. Durch den Versuchsleiter wurde daraufhin der durch die Dreiecksanzeige der Messgabel angezeigte Vibrationswert notiert, gemessen in achteln, reichend von 0/8 (Minimum) bis 8/8 (Maximum).

### **3.3 Erfassung der taktilen Erkennungsraten im Hüftbereich und am Unterarm**

Nach einer Einweisung bezüglich des Versuchsablaufs erfolgten die Messungen der taktilen Erkennungsraten an Hüfte (8 Richtungen) und Unterarm (4 Richtungen), vgl. Bild 1. Den Probanden wurden dabei in randomisierter Reihenfolge Druck-, Vibrations- oder kombinierte Druck-Vibrations-Reize an je einer der potentiellen Stellen um die Hüfte bzw. am Unterarm dargeboten. Dabei wurde jeder Reiz bzw. jede Reizkombination 6 Mal wiederholt dargeboten, sodass an der Hüfte insgesamt 144 und am Unterarm 72 Reizabfragen erfolgten. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Benennung der jeweils wahrgenommenen Stelle am Körper. Zum Ausschluss der auditiven Beeinflussung trugen die Probanden Gehörschutz. Die reine Versuchsdauer zur Ermittlung der Erkennungsraten, ohne die normative Erfassung der taktilen Leistungsfähigkeit, betrug für jeden Probanden ca. 40 min.

## **4. Ergebnisse**

Die Ergebnisse der räumlichen Wahrnehmungsleistungsmessung in Form der erfassten statischen Zweipunktdiskrimination sowie der Druck-Reizschwelle und des Vibrations-Empfindens sind Bild 3 zu entnehmen. Es erfolgte eine separate Auswertung für jede Kohorte. Hierbei zeigen die physiologisch ermittelten taktilen Werte geringfügig schlechtere Wahrnehmungsleistungen der älteren Kohorte.

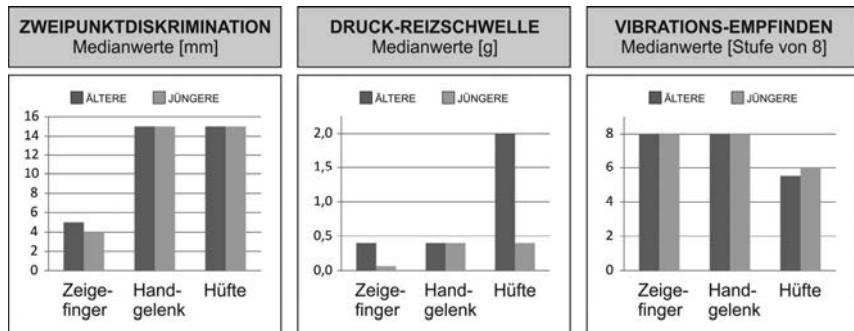


Bild 3: Ergebnisse der normativ erfassten taktilen Wahrnehmungsleistung

Nach durchgeföhrtem Literaturabgleich ist festzuhalten, dass die Messwerte der jungen Kohorte auf keinerlei Einschränkungen, weder hinsichtlich des räumlichen Auflösungsvermögens, der Druck-Reizsensibilität noch der Vibrationssensibilität, hinweisen. Die Werte der älteren Kohorte deuten auf leichte Einschränkungen hin, liegen jedoch im für diese Altersgruppen angegebenen normalen Bereich.

Die folgenden Bilder zeigen eine Übersicht der Erkennungsraten für die verschiedenen Richtungen und Reiztypen an Hüfte (Bild 4) und Arm (Bild 5). Im Zentrum der dargestellten Netzdiagramme finden sich die durchschnittlichen, prozentualen Erkennungsraten jeder Kohorte für die verschiedenen Reiztypen (Druck, Vibration, Druck+Vibration,). Die jeweilige Erkennungsrate (*ER*) ergibt sich aus der Anzahl richtiger Antworten (*N*), der Anzahl an dargebotenen Richtungen (*R*), der Anzahl an Reizwiederholungen (*W*) sowie der Anzahl an Probanden pro Kohorte (*n*) und errechnet sich nach Gleichung (1):

$$ER = \frac{N}{R \times W \times n} \quad (1)$$

Die Eckpunkte der oktogonalen (Hüfte) bzw. rautenförmigen (Arm) Netze enthalten die zugehörigen richtungsabhängigen Erkennungsraten. Die genaue Anordnung der Aktuatoren an Hüfte und Arm kann der jeweiligen Legende entnommen werden.

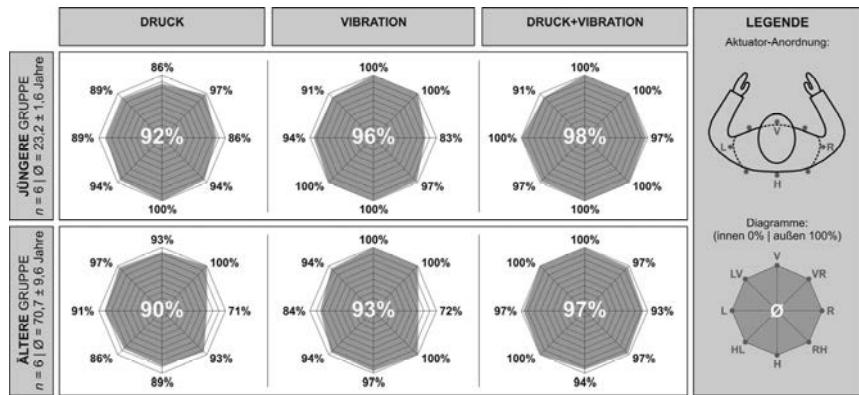


Bild 4: Erkennungsraten (ER) der taktilen Richtungs-Reize beider Kohorten an der Hüfte

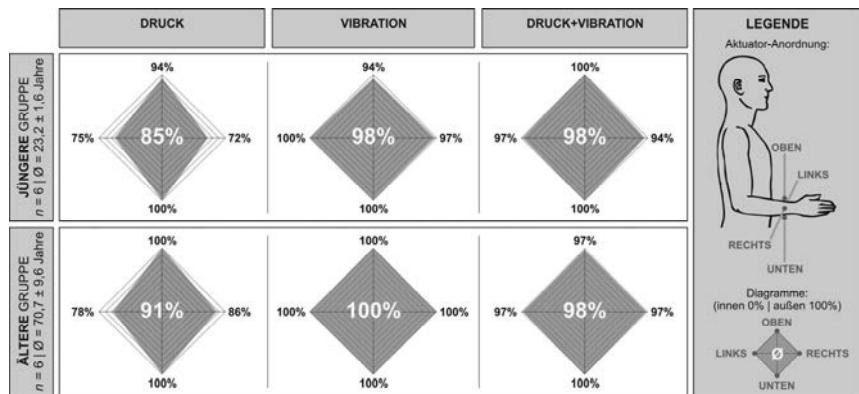


Bild 5: Erkennungsraten (ER) der taktilen Richtungs-Reize beider Kohorten am Arm

## 5. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Prüfstanduntersuchungen zeigen generell hohe Erkennungsraten sowohl der jüngeren als auch der älteren Kohorte. Somit wird deutlich, dass die taktile Erkennung von 8 Richtungsinformationen im Hüftbereich sowohl jüngeren als auch älteren Nutzern möglich ist. Um Zusammenhänge zwischen den erfassten Erkennungsraten und dem Lebensalter, dem BMI sowie dem Hüft- bzw. Handgelenkumfang zu prüfen, wurden Korrelationsanalysen nach Pearson und Spearman durchgeführt. Bild 6 zeigt die jeweils relevanten Korrelationskoeffizienten, unterteilt nach Körperregion, Reiztyp und Richtung. Über eine Farbkodie-

rung wird entsprechend der Legende die Stärke der Korrelation verdeutlicht. Zur Bewertung der Effekte wurde dabei auf Referenzwerte nach [23] und [24] zurückgegriffen.

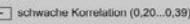
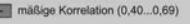
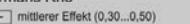
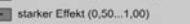
HÜFTE Korrelationen	Reiztyp bzw. Richtung		Druck Vibration Dru+Vib Gesamt	LEGENDE							
	Erkennungsrate – Mittelwert			Pearsons r							
	Erkennungsrate – Standardabweichung			 + - schwache Korrelation (0,20...0,39)  + - mäßige Korrelation (0,40...0,69)							
	Pearson r (n=12   df=10)			+ -	-	-	-				
	Korrelation mit Alter			-0,29	-0,43	-0,43	-0,49				
	Korrelation mit BMI			-0,17	-0,24	-0,06	-0,24				
	Korrelation mit Hüftumfang			-0,12	-0,19	-0,05	-0,18				
	Spearmans Rho (n=12   df=10)			-0,49	-0,31	-0,22	<b>-0,69</b>				
	Rangkorrelation mit Alter			-0,17	-0,10	0,24	-0,33				
	Rangkorrelation mit BMI			-0,08	0,02	0,31	-0,18				
Korrelation zwischen Alter und Hüftumfang nach Pearson: $r = 0,86$											
ARM Korrelationen	Reiztyp bzw. Richtung		Druck Vibration Dru+Vib Gesamt	Spearmans Rho							
	Erkennungsrate – Mittelwert			+ -	-	-	-				
	Erkennungsrate – Standardabweichung			 + - mittlerer Effekt (0,30...0,50)  + - starker Effekt (0,50...1,00)							
	Pearson r (n=12   df=10)			-	-	-	-				
	Korrelation mit Alter			0,13	0,43	-0,05	0,17				
	Korrelation mit BMI			0,03	0,29	-0,20	0,03				
	Korr. mit Handgelenkumfang			0,16	0,32	0,04	0,19				
	Spearmans Rho (n=12   df=10)			0,22	0,00	0,19	0,30				
	Rangkorrelation mit Alter			0,15	-0,07	0,04	0,20				
Korrelation zwischen Alter und Handgelenkumfang nach Pearson: $r = 0,53$											
Oben				Allgemein							
Rechts				Signifikanz „fett“ hervorgehoben							
Unten				- nicht vorhanden, Erkennung konstant							
Links				-							

Bild 6: Korrelationen der Erkennungsraten mit Alter, BMI und Hüft- bzw. Handgelenkumfang

Aus der Korrelationsanalyse lassen sich folgende Erkenntnisse bezüglich der Hüfte ableiten. Nach Pearson korrelieren die Erkennung von Vibration, Druck+Vibration sowie die gesamte taktile Erkennung (gemittelt über die 3 Reiztypen) jeweils mäßig negativ mit dem Alter. Die Erkennung von Druck korreliert hingegen nur schwach mit dem Alter.

Nach Spearman korreliert die taktile Gesamterkennung mit einem starken und signifikanten Effekt negativ mit dem Alter. Die Einzelbetrachtungen der Erkennung von Druck und Vibration zeigen dabei jeweils einen mittleren negativen Effekt.

Generell wird im Bereich der Hüfte ein Zusammenhang zwischen taktiler Erkennung und dem Alter ersichtlich. Die negativen Korrelationen für alle Reiztypen deuten auf eine leichte altersbedingte Abnahme der taktilen Erkennung im Hüftbereich hin, wodurch es im Alter zu Einschränkungen im Umgang mit taktilen Hüftgurten kommen kann. Allerdings weisen alle Erkennungsraten, sowohl im Alter als auch bei den jüngeren Probanden, generell sehr hohe

Werte über 90% auf (vgl. Bild 4). Die teilweise niedrigeren Erkennungsraten an den Körperseiten sind vorrangig anatomisch bedingt und bestätigen die Ergebnisse früherer Studien (vgl. [4]). Zu erwähnen bleibt außerdem die generell schwache Ausprägung der Korrelationen. Hinzu kommt eine hohe und signifikante Korrelation zwischen Alter und Hüftumfang ( $r=0,86$ ) nach Pearson, bei gleichzeitig stark abweichenden Hüftumfangsmittelwerten der beiden Kohorten (Ältere:  $111\pm5$  cm, Jüngere:  $81\pm6$  cm), weshalb in weiterführenden Studien geklärt werden muss, inwiefern sich Effekte der Korpulenz mit Alterseffekten überlagern.

Am Arm lässt sich nach Pearson eine mäßig positive Korrelation der Erkennung von Vibratlon mit dem Alter feststellen, wobei dieser Effekt maßgeblich durch zwei jüngere Probanden mit auffallend geringer Erkennungsrate zustande kam. Festzuhalten bleibt jedoch, dass die Erkennungsraten im Armbereich mit steigendem Alter nicht abnehmen, sondern insgesamt ein auffallend hohes Niveau (bis zu 100%) aufweisen (vgl. Bild 5). Im Vergleich zur Hüfte kann dies allerdings auch auf die geringere Komplexität der Erkennungsaufgabe, mit nur 4 statt 8 Richtungen, zurückgeführt werden. Die niedrigen Werte der Druckerkennung bei der jüngeren Kohorte lassen sich auf die erwähnten beiden Ausreißer zurückführen. Im Gegensatz zur Hüfte besteht zwischen Alter und Handgelenkumfang nach Pearson nur eine mäßige Korrelation ( $r=0,53$ ). Dies verdeutlicht ebenfalls der Vergleich der mittleren Handgelenkumfangswerte der beiden Kohorten (Ältere:  $20\pm2$  cm, Jüngere:  $16\pm1$  cm).

Insgesamt ergeben sich für die Gestaltung von am Körper getragenen, taktilen Anzeigegeräten somit folgende Erkenntnisse:

- Aufgrund der generell hohen Erkennungsraten bieten beide Körperregionen prinzipiell großes Potential für taktile Anzeiger.
- Durch Vibrationsreize lassen sich am Arm höhere Erkennungsraten erzielen als durch Druckkreise (altersunabhängig).
- An der Hüfte maximiert die Kombination der beiden einzelnen Reiztypen die Erkennungsraten (altersunabhängig). Dieses Ergebnis deutet an, dass eine Redundanz innerhalb der taktilen Modalität gestalterisch sinnvoll sein kann.
- Die Anbringung am Arm weist aufgrund der Unabhängigkeit von Kleidung gestalterische Vorteile auf. Hinzu kommt der über die Lebensspanne relativ konstante Handgelenkumfang.

Die Hypothese der besseren Eignung von Druckkreisen zur Vermittlung von taktilen Lageinformationen kann generell nicht bestätigt werden. Die Validierung der Ergebnisse sollte mit einem größeren Probandenkollektiv erfolgen.

## Danksagung

Teile der Untersuchungen wurden in der Geriatrie des Robert-Bosch-Krankenhauses in Stuttgart durchgeführt. Für die Unterstützung und sehr angenehme Zusammenarbeit möchten wir uns herzlich bei allen Beteiligten bedanken!

## Literatur:

- [1] Schlick, Christopher M.; Bruder, Ralph; Luczak, Holger (2010): Arbeitswissenschaft, 3. Auflage, Seite 993. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [2] Petrov, Aleko; Pfeffer, Stefan; Maier, Thomas (2011): Visuelle Präsentation und taktile Repräsentation – redundante, substitutive oder komplementäre Informationsdarbietung? In: 9. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin.
- [3] Schwalk, Matti; Maier, Thomas (2014): Multimodale HMI – Untersuchungen zur Erweiterung der Arbeitsgedächtniskapazität durch visuell-taktile Anzeiger. In: Krzywinski, J.; Linke, M.; Wölfel, C.; Kranke, G. (Hrsg.): Entwerfen Entwickeln Erleben 2014 – Beiträge zum Technischen Design. Dresden, S. 233-242.
- [4] Schwalk, Matti; Maier, Thomas (2016): Effects of Pressure and Vibration Stimuli on the Usability of Human-Machine Systems – Studies on Spatial Recognition and Response Times Using a Variable Tactile Belt. In: Deml, B.; Stock, P.; Bruder, R.; Schlick, C. M. (Eds.): Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes – Proceedings of the Annual Meeting of GfA 2015. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 343-359. – ISBN 978-3-662-48659-7.
- [5] Van Erp, Jan B. F. (2002): Guidelines for the use of vibro-tactile displays in human computer interaction. Proceedings of Eurohaptics 01/2002.
- [6] Fitch, Gregory M.; Hankey, Jon M.; Kleiner, Brian M.; Dingus, Thomas A. (2011): Driver comprehension of multiple haptic seat alerts intended for use in an integrated collision avoidance system. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 14, no. 4, pp. 278-290.
- [7] Pielot, Martin; Henze, Niels; Heuten, Wilko; Boll, Susanne (2008): Evaluation of continuous direction encoding with tactile belts. HAID'08: Haptic and Audio Interaction Design 26.
- [8] Heuten, Wilko; Henze, Niels; Boll, Susanne; Pielot, Martin (2008): Tactile Wayfinder: a non-visual support system for Wayfinding. In: Proceedings of NordiCHI, pp 172–181.

- [9] Arab, Farah; Paneels, Sabrina; Anastassova, Margarita; Coeugnet, Stephanie; Le Morelle, Fanny; Dommes, Aurelie; Chevalier, Aline (2015): Haptic patterns and older adults: To repeat or not to repeat? In: 2015 IEEE World Haptics Conference (WHC). Evanston, IL, S. 248–253.
- [10] Cholewiak, Roger W.; Collins, Amy A. (2003): Vibrotactile localization on the arm: Effects of place, space, and age. In: Perception & Psychophysics, 65 (7), pp 1058-1077.
- [11] Biermann, Holger; Weißmantel, Heinz (1997): Regelkatalog SENSI-Geräte. Bedienerfreundlich und barrierefrei durch das richtige Design/ Holger Biermann ; Heinz Weißmantel. 2. Aufl. Darmstadt: Inst. für Elektromechanische Konstruktionen, S. 109 bzw. S. 32, S. 55.
- [12] Janny, B. ; Haug, M. ; Maier, T. (2014): Optimierung gestalterischer Faktoren für die altersgerechte Mensch-Produkt-Schnittstelle durch Greifkraftmessung. In: Krzywinski, J.; Linke, M.; Wölfel, C.; Kranke, G. (Hrsg.): Entwerfen Entwickeln Erleben 2014 – Beiträge zum Technischen Design. Dresden, S. 279-290.
- [13] Thornbury, J. M.; Mistretta, C. M. (1981): Tactile Sensitivity as a Function of Age. In: Journal of Gerontology 36 (1), S. 34–39.
- [14] Jones, Lynette A.; Lederman, Susan J. (2006): Human hand function. Oxford, New York: Oxford University Press, S. 151.
- [15] Shaffer, Scott; Harrison, Anne (2007): Aging of the Somatosensory System: A translational Perspective. In: Physical Therapy, Volume 87, No. 2, S. 193-207
- [16] Beyer, L.; Weiss, T.( 2001): Elementareinheiten des somatosensorischen Systems als physiologische Basis der taktil-haptischen Wahrnehmung. In: Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung. Grunwald, M.; Beyer, L. (Hrsg.). Basel: Birkhäuser Verlag, S.25-38.
- [17] Kenshalo, D.R. (1977): Age changes in touch, vibration, temperature, kinesthesia, and pain sensitivity. In: Birn JE, Schale KW (eds) Handbook of physiology of aging. Van Nostrand Reinhold, New York, S. 562-575.
- [18] Fisk, A. D.; Rogers, W. A.; Charness, N. (2009): Designing for older adults. Principles and creative human factors approaches. 2. Aufl. Boca Raton, Fla: CRC Press/Taylor & Francis (Human factors & aging series).

- [19] Schwalk, Matti; Sperl, Michael; Maier, Thomas (2015): Abbildung von Druck- und Vibrationsreizen auf dem menschlichen Körper durch einen variablen taktilen Hüftgurt. In: VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft, 61. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Karlsruhe.
- [20] Cholewiak Roger W.; Brill, J. Christopher; Schwab, Anja (2004): Vibrotactile localization on the abdomen: Effects of place and space. Perception & Psychophysics, 66, pp 970-987.
- [21] Huppelsberg, Jens; Walter, Kerstin (2005): Kurzlehrbuch Physiologie. [nach dem neuen GK 1]; 42 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- [22] Schmidth, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred (2011): Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S.298-299.
- [23] Albert, Ruth; Marx, Nicole (2010): Empirisches Arbeiten in Linguistik und Sprachlehrforschung – Anleitung zu quantitativen Studien von der Planungsphase bis zum Forschungsbericht. Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG, Tübingen.
- [24] Schwarz, Jürg (2016): Methodenberatung, Universität Zürich (UZH). URL: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/rangkorrelation.html> (abgerufen am 12.07.2016).

# Ein Kollaborationssystem zur verbesserten Zugänglichkeit von Wissensressourcen in Produktionsumgebungen

Dipl.-Ing. **Fabian Quint**, M. Sc. **Frieder Loch**,

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI),  
Kaiserslautern;

Prof. Dr. **Jörn Kreutel**, Beuth Hochschule für Technik, Berlin;

Dipl.-Inf. **Peter Pollmanns**, SemanticEdge GmbH, Berlin;

Dr. rer. pol. **Harald Weber**,

Institut für Technologie und Arbeit (ITA), Kaiserslautern;

M. Eng. **Janis Venitz**, Daimler AG,

Anlaufqualifizierung & Weiterbildungsprojekte Daimler Trucks;

B. Sc. **Jonas Liedel**, Schaeffler, Corporate Construction,

Energy Management & Maintenance

Dipl.-Inf. **Samia Drissi**, Infoman AG

## 1. Kurzfassung

Die Digitalisierung von Arbeitsumgebungen und das Mitarbeiter-Engagement sind zum strategischen Erfolgsfaktoren von Unternehmen geworden. Ferner gilt das Expertenwissen von komplexen technischen Prozessen als ein wertvolles Gut produzierender Unternehmen, dessen Dokumentation und Austausch einfach, intuitiv und effektiv gestaltet sein muss. Hierfür werden in dem BMBF-Verbundprojekt „AmBiWise“<sup>1</sup> neuartige Assistenz- und Kollaborationssysteme entwickelt. In der vorliegenden Veröffentlichung wird ein Überblick über die zwei umgesetzten Anwendungsszenarien der Produktion und den Potentialen, die durch das entwickelte System gehoben werden, gegeben. Nach der Vorstellung des Kollaborationssystems werden die ersten Evaluationsergebnisse zusammengefasst, welche die Akzeptanz im Hinblick auf die Einführung disruptiver Technologien veranschaulichen.

---

<sup>1</sup> „AmBiWise - Alltagsgerechte, mobile, kontext-sensitive Benutzungsschnittstellen für einen optimierten Wissensaustausch im sozialen Netzwerk“, Verbundprojekt-Nr. V4ISS035, [www.ambiwise.de](http://www.ambiwise.de)

## 2. Einleitung und Motivation

Wissen ist ein Kernaspekt für die Wettbewerbsfähigkeit der Produktion. Der „Knowledge-Worker“ ist eine Grundvoraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie [1]. Er verfügt über großes Fachwissen und ist eine knappe Ressource, die die Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Industriestandorts sichern kann. Ihn gilt es beim Generieren und Austauschen von Wissen mit Tools, die speziell für den industriellen Einsatz optimiert sind, zu unterstützen [2].

In der Praxis liegt produktionsrelevantes Wissen in unterschiedlich starker Strukturierung vor. Während in der Montage Wissen oft standardisiert und formal dokumentiert vorliegt, sind die Prozesse in der Wartung und Instandhaltung weniger strikt und besitzen ggf. viele Abhängigkeiten, was die Etablierung eines Standards erschwert. Trotz der Unterschiede beider Bereiche spielt situatives Wissen der Mitarbeiter [3] eine entscheidende Rolle. Dieses Wissen eignen sich Mitarbeiter durch langjährige Erfahrung an und ist oft implizit [4]. Solches implizites Wissen wird hauptsächlich zwischen Mitarbeitern ausgetauscht, insbesondere wenn „Kniffe und Tricks“ durch direktes Vormachen (engl. direct teaching-in) gezeigt werden. Direktes Vormachen ist die effizienteste Methode [5] führt jedoch auch dazu, dass implizites Wissen häufig undokumentiert bleibt und, beispielsweise wenn Mitarbeiter das Unternehmen verlassen, verloren geht. Außerdem ist diese Methode nicht immer anwendbar. Die gilt insbesondere für global agierende Firmen mit verteilten Produktionsstandorten und Mitarbeitern unterschiedlicher Muttersprachen. Daher werden Arbeitsabläufe in der Praxis oft schriftlich dokumentiert. Dies geschieht zum Beispiel in Form von Standardarbeitsblättern, die alle prozessrelevanten Daten wie Werkzeuge, Maschinen oder Einbaumaterialien enthalten. Solche Dokumente, die in der Produktion häufig nur in Papierform vorliegen, bringen allerdings Probleme wie eine eingeschränkte Portabilität, Ungenauigkeit und Komplexität mit sich [6]. Der Aufwand diese Dokumentationen in dynamischen Produktionsumgebungen mit häufigen Änderungen aktuell zu halten führt dazu dass sie oft veraltet sind [7]. Weiterhin werden Dokumentationen nur selten im Bedarf zu Rate gezogen [8]. Zudem werden solche standardisierten Leitfäden über zentrale Stellen verfasst bzw. organisiert, so dass situatives bzw. implizites Wissen nur erschwert und verzögert einfließen kann. Kollaborationssysteme können diese Nachteile überwinden. Solche Systeme ermöglichen es Mitarbeitern im Produktionsumfeld Wissen einzuspeichern und abzurufen. Ferner unterstützen die Feedbackprozesse, das Engagement einzelner Mitarbeiter zu fördern und ihre Motivation in Produktivität umzuwandeln.

Im Folgenden wird ein Kollaborationssystem vorgestellt, das im Rahmen des Forschungsprojekts AmbiWise entwickelt und durch die Anwendungspartner Daimler und Schaeffler evaluiert wurde.

Es baut auf in der Praxis bestehenden Prozessen auf, die durch ihre Digitalisierung aufgewertet werden. Auf Basis von mobilen, kontextsensitiven und intuitiven Benutzungsschnittstellen können Wissensressourcen einfach und am Ort der Tätigkeit editiert und mit multimedialen Inhalten angereichert werden. Diese multimedialen Inhalte wie Abbildungen, Videos oder Instruktionen durch Augmented Reality (AR) sind entscheidender Bestandteil um Wissen effizient zu dokumentieren und den Mitarbeiter gezielt zu unterstützen. Gerade dynamische Medieninhalte, wie beispielsweise Videos, zeigen signifikante Vorteile gegenüber statischen Medien wie textbasierten Instruktionen [9] und werden im privaten Umfeld in Form von Video Tutorials häufig genutzt [10]. Um die multimedialen Wissensinhalte nutzen zu können werden verschiedene Zugriffsformen beispielsweise über Texteingabe, Spracheingabe, graphische Auswahl oder QR-Codes ermöglicht. Arbeitswissenschaftliche sowie datenschutzrechtliche Aspekte werden bei der Erstellung des Systems gleichermaßen berücksichtigt.

### 3. Anwendungsszenarien

Die Anwendungspartner, welche die Anforderungen der Evaluationsumgebungen definierten, sind im Automobil- und Automobilzuliefererbereich angesiedelt. Beide Anwendungsszenarien sind durch hohe Anforderungen hinsichtlich Produktions- und Qualitätsanforderungen gekennzeichnet und werden im Folgenden erläutert.

#### 3.1 Kontinuierliche Qualitätsabsicherung

Das Anwendungsszenario der Daimler AG fokussiert eine kontinuierlichen Qualitätsabsicherung durch proaktive Qualifizierungsmaßnahmen, unter dem Einsatz von innovativen Konzepten des Wissensmanagements.

Das hierbei verwendete AmbiWise-System zielt auf die Unterstützung der arbeitsplatzbezogenen Qualifizierungsmaßnahmen von Mitarbeitern in Montage- und montagenahen Bereichen ab. Dabei stehen grundsätzlich drei Teilszenarien im Vordergrund:

##### ***Aktualität der organisatorischen Wissensbasis und standardisierte Arbeitsprozesse.***

Änderungen im Montageprozess, neu entstandene Erfahrungswerte sowie temporäre Handlungsschwerpunkte erfordern eine ständige und unmittelbare Aktualisierung bestehender Standards zur korrekten Ausführung von Tätigkeiten. Hierfür waren bisher stationäre und papierbasierte Prozesse vorgesehen. Das AmbiWise-System verfolgt hierbei

einen digitalen und für wesentliche Prozessschritte mobilen Ansatz. Das System unterstützt die Beschreibung der Tätigkeiten unmittelbar am Ausführungsort (z.B. Montagestation) durch Text sowie das Hinzufügen von additiven Lernmaterialien wie Videoclips und Fotos.

#### ***Das erforderliche Qualifizierungsniveau effizient erreichen und erhalten.***

Mitarbeiter werden von Multiplikatoren in der korrekten Ausführung des Arbeitsprozesses gemäß Standard geschult. Dabei wird grundsätzlich zwischen dem Neu-Anlernen (Erstqualifizierung), dem Umlernen und einer Erhaltungsqualifizierung bzw. Nachqualifizierung unterschieden. Diese Qualifizierungsprozesse werden von fachlich und persönlich geeigneten Mitarbeitern der Daimler AG, sog. Multiplikatoren, durchgeführt. Dabei orientieren sich die Qualifizierungsvorgänge an der 4-Stufen-Methode nach REFA<sup>2</sup> und waren bislang überwiegend papierbasiert oder an die stationäre Nutzung des Produktions-Lern-Systems (PLS) gebundenen. Mit Hilfe des AmbiWise-Systems können auch diese Prozesse mobil nutzbar gemacht und digital umgesetzt werden.

Das Nachqualifizieren durch Selbstlernen zielt auf die Möglichkeit ab, dass Mitarbeiter sich die korrekte Ausführung der Tätigkeiten gemäß Standards selbstständig aneignen. Diese Maßnahme kann u.a. zum Zwecke einer Nachbereitung oder nach längerer Abwesenheit eines Mitarbeiters hilfreich sein. Die im System enthaltenen Medientypen (Abbildung, Video, AR-Inhalt) können dabei das Selbstlernen durch eine intuitivere Darstellung der Inhalte verbessern.

#### ***Kontinuierliche Qualitätssicherung und Wirksamkeitsprüfung – Durchführung von Cycle-Checks.***

Um eine Aussage über Wirksamkeit eines Qualifizierungsvorgangs zu treffen, werden durch ausgewählte Personen der betroffenen Fachbereiche Cycle-Checks durchgeführt. Cycle-Checks werden entweder proaktiv (Turnus) oder reaktiv (z.B. wegen aktueller Produktänderungen) inszeniert. Der Cycle-Check-Verantwortliche prüft an der betroffenen Station die Konformität der Arbeitsausführung mit dem aktuellen Standard. Der etablierte, jedoch rein auf Papier umgesetzte Prozess wird mit dem AmbiWise-System ebenfalls mobil und digital realisiert.

### **3.2 Dokumentation von Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten.**

Beim Anwendungspartner Schaeffler wird das Anwendungsszenario der Dokumentation von Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten durch fortschrittliche Benutzungsschnittstellen sowie innovative Methoden des Wissensmanagements abgebildet.

---

<sup>2</sup> (REFA, 1987) zitiert nach (Lotter & Wiendahl, 2012, S. 399)

Die stark gestiegene Komplexität der Produkte der Schaeffler Gruppe erfordert neben höchster Präzision der Produktionsmaschinen ebenso hohe Verfügbarkeiten. Das Ziel ist explizites und implizites Wissen von Instandhaltern über innovative und komplexe Produktionsmaschinen zu erfassen und zu speichern. Ebenso soll dieses Wissen allen anderen Instandhaltern in anschaulicher Weise und mobil zur Verfügung gestellt werden sowie Möglichkeiten des Wissens- und Erfahrungsaustauschs ermöglicht werden.

Ziel des AmbiWise-Systems ist daher die Unterstützung der Dokumentation und Bereitstellung von Expertenwissen für Mitarbeiter der Instandhaltung. Das AmbiWise-System unterstützt drei Teilszenarien:

#### ***Expertenwissen im Feld aufnehmen.***

Komplexe Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten erfordern eine einfach verständliche Dokumentation. Durch die Vielzahl der Produktionsmaschinen besitzen die Instandhalter Wissensschwerpunkte und gelten als Experten für die von ihnen betreuten Maschinen. Daher besteht der Bedarf nach effektiven Methoden zur Wissensrepräsentation. Die bisherige text- und fotobasierte Dokumentation wird durch das AmbiWise-System mobil in Form von Videos bereitgestellt, um Experten die Dokumentation der multimedialen Inhalte vor Ort zu ermöglichen.

#### ***Bereitstellen von Wissen zur Aufgabenbewältigung und Qualifizierung.***

Im Falle eines Defektes an einer Produktionsmaschine ist ein schnelles Handeln der Instandhalter gefordert. Vor dem Hintergrund, dass sich die Instandhalter unterschiedlich gut mit den Maschinen auskennen und manche Tätigkeiten nur selten durchzuführen sind, wird unter Umständen viel Zeit verwendet um die Informationen zur Aufgabenbewältigung zu finden. Dieser Prozess wird über das AmbiWise-System digital abgebildet um über mobile Benutzungsschnittstellen die notwendigen Informationen schnell finden zu können.

#### ***Bewerten und kontinuierliche Verbesserung des bereitgestellten Wissens.***

Die inhaltliche Darstellung der dokumentierten Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten hat einen großen Einfluss darauf, ob diese bei der Durchführung der Tätigkeit hilfreich sind oder nicht. Deswegen bietet das AmbiWise-System Möglichkeiten den Konsumenten eine Bewertung bzw. Kommentare zu den Inhalten (z.B. Verständlichkeit und Qualität eines Videos) zu hinterlassen. So ist sichergestellt, dass die Inhalte den Bedarfen der Konsumenten gerecht werden und stetig verbessert werden können.

### **4. Technisches Kernkonzept und Systemarchitektur**

Das technische Kernkonzept (vgl. Abbildung 1) bildet die funktionale Grobstruktur und abstrahiert von einer konkreten Architektur. Es illustriert wie über Benutzungsschnittstellen,

die auf Basis des Kontexts (z.B. Nutzer, Ort, Rolle) adaptiert werden, Wissen von einer Wissensdatenbank abgerufen oder eingespeichert wird. Die Benutzungsschnittstellen bieten je nach Realisierung unterschiedliche Modalitäten wie Sprache, Touch, Videos, Abbildungen oder AR-Inhalte an, um das einzuspeichernde Wissen in geeigneter Form abzubilden oder Suchabfragen gestalten zu können [11].

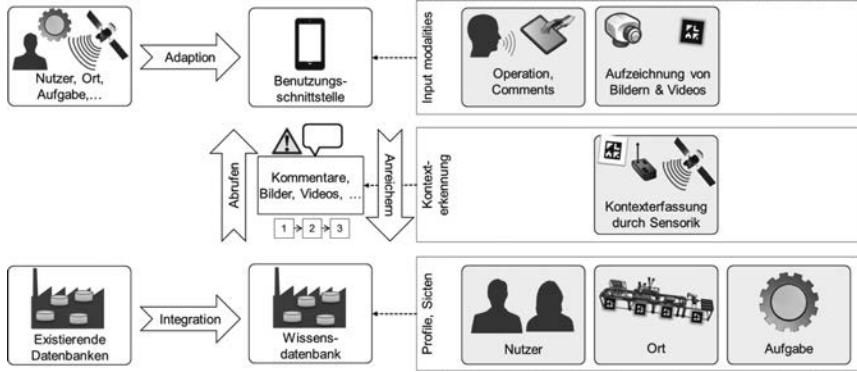


Abbildung 1: Technisches Kernkonzept

Zur Umsetzung des Systems wurde das technische Kernkonzept in eine Architektur überführt, die sich an der Idee der Serviceorientierten Architektur für verteilte Softwaresysteme [12] orientiert. Um eine wiederverwendbare und erweiterbare Architektur zu erhalten, die auf beide Szenarien anwendbar ist, wurde dem entsprechend eine funktionale Dekomposition der erforderlichen Systemfunktionen in abgeschlossene Dienste (engl. Services) vorgenommen.

Die Architektur unterscheidet zwischen primären und sekundären Diensten. Die primären Dienste beinhalten den Lese/Schreibzugriff, das Suchen von Ressourcen sowie die Kommunikation zwischen den Nutzern (bspw. für Freigabeprozesse). Sekundäre Dienste bieten Querschnitts-Funktionen, zum Beispiel die Kontext- und Spracherkennung oder die Authentifizierung. Die Funktionen werden als Dienste, die über eine einheitliche Schnittstelle kommunizieren, gekapselt. Dadurch ergibt sich eine verteilte Architektur (siehe Abbildung 2), die es ermöglicht die Dienste separat zu implementieren.

Der *Integration-Service* stellt das Bindeglied zwischen der mobilen Benutzungsschnittstelle (*Mobile Webapp*) und den angeschlossenen Backend-Diensten dar. Dadurch können die Dienste anwendungsspezifisch orchestriert werden, z.B. können die Operationen für lesende und schreibende Zugriffe in komplexe Prozesse eingebunden werden, die auf den Inhalten

basieren. In den Erprobungsszenarien wird dies durch die für den Projektpartner Daimler implementierte Funktionalität der Cycle Checks illustriert, die die bestehenden Wissensinhalte bezüglich Tätigkeiten und Arbeitsschritten als Grundlage verwenden.

Die Servicearchitektur insgesamt und die Verwendung eines Integrationsservices im Besonderen entkoppeln die mobile Benutzungsschnittstelle für AmbiWise von den Backend-Technologien. So werden z.B. die elementaren Zugriffsoperationen auf Wissensressourcen durch eine abstrakte ContentService Schnittstelle beschrieben, deren Implementierung auf unterschiedliche Weise erfolgen kann. Im Projekt erfolgt die Umsetzung durch Microsoft Sharepoint als Wissensrepository und eine davor platzierte ContentService Implementierung, die die Sharepoint API integriert. Alternativ wäre jedoch auch, z.B. für den produktiven Einsatz des Systems, eine Implementierung des ContentServices denkbar, die auf existierende Legacy-Systeme der Anbieter zugreift, und die Wissensinhalte daraus bezieht. Auf die Verwendbarkeit der existierenden Benutzungsschnittstelle für AmbiWise hätte ein solcher Austausch der Service-Implementierung keine Auswirkungen.

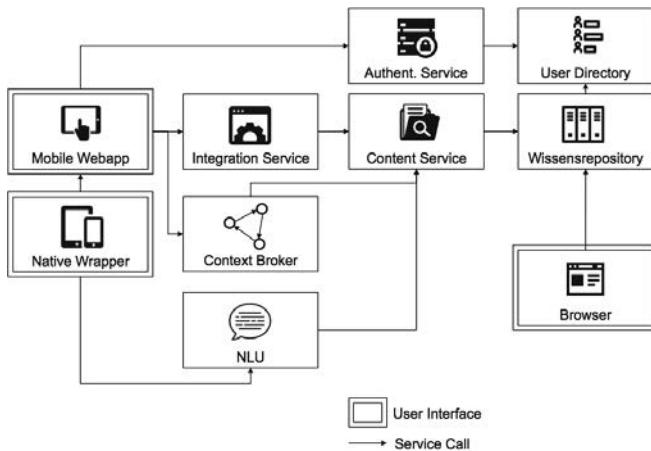


Abbildung 2: Service Architektur

Dank eines „Service Brokers“, wie er in der serviceorientierten Architektur als Vermittler zwischen Services und den auf diese zugreifenden Anwendungskomponenten vorgesehen ist [12], kann die Ermittlung der konkreten Service-Implementierungen zur Laufzeit des Systems erfolgen, vorausgesetzt die Services sind zugreifbar.

Die Kernfunktionen der Benutzungsschnittstelle werden durch eine Web Applikation bereitgestellt, die auf aktuellen Browsern lauffähig ist und das System geräteunabhängig nutzbar macht. Für die Anbindung erweiterter Funktionen wird die Web Applikation in eine native Anwendung gewrapped. Diese unterstützt z.B. die Eingabe gesprochensprachlicher Suchabfragen auf Basis eines lokalen Spracherkenners, der auf dem Endgerät installiert ist. Die Wissensinhalte werden dafür durch den in Abbildung 2 dargestellten *NLU Service* für „Natural Language Understanding“ dynamisch angereichert und in eine kontextfreie Grammatik als Sprachmodell [13] überführt. Neben der Erschließung des Wissensinhalts per Sprache ist auch die Auswahl anzugebender Suchtreffer, die Navigation durch Listen gefundener Medieninhalte und die Steuerung des eingebundenen Videoplayers möglich. Der Wrapper stellt außerdem Funktionen zur Kontexterkennung bereit. So kann die Technologie iBeacons [14], basierend auf dem Standard Bluetooth low energy, für eine kostengünstige Kontexterkennung genutzt werden. Da diese Technologie nur zu Android und Apple Geräten kompatibel ist, bindet der Wrapper für Android diese Funktionalität an, während der Wrapper auf Windows diese Funktion nicht beinhaltet.

Die Single Sign-On Authentifizierung des Endnutzers erfolgt durch Zugriff auf einen *Authentifizierungsservice*, der entsprechend dem Standard OAuth 2.0 [15] im Erfolgsfall ein Service Token als „Passierschein“ für die Systemnutzung durch den Endnutzer ausstellt. Alle Service-Zugriffe verwenden dieses Token und müssen ihrerseits durch den Authentifizierungsservice bestätigt werden. Dies betrifft alle Ebenen der Systemarchitektur, d.h. auch die Zugriffe aus dem Integration Service auf den Content Service und aus diesem auf das Content Repository durchlaufen die Authentifizierung im Namen des Endnutzers. Damit kann auf Ebene des Content Service überprüft werden, welche Berechtigungen der Nutzer hat, und die Auslieferung von Inhalten oder die Ausführung von schreibenden Zugriffen im Sinne eines für die Inhalte ggf. bestehenden Rollenkonzepts erfolgen.

## 5. Bedienkonzept

Mit dem System wird auf Basis einer web-basierten Bedienoberfläche interagiert. So wird eine hohe geräteübergreifende Kompatibilität erreicht und der Zugriff auf die App von mobilen und stationären Geräten ermöglicht. Die Navigation erfolgt entweder gemäß einer Baumstruktur, bei der zunächst in einer graphischen Darstellung eine Station ausgewählt wird (siehe Abbildung 3), über die die an der Station verfügbaren Tätigkeiten und, in einem weiteren Schritt, deren einzelne Arbeitsschritte und die ggf. damit assoziierten multimedialen Inhalte zugreifbar sind. Alternativ ist durch Sprach- oder Texteingabe auch der Direktzugriff auf Tätigkeiten und Arbeitsschritte unabhängig von der Auswahl einer Station möglich.

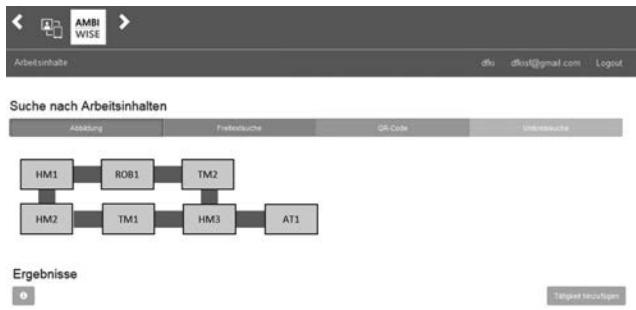


Abbildung 3: Suche nach Arbeitsinhalten

Arbeitsschritte werden in einem standardisierten Layout, das sich an Firmenstandards der Produktion orientiert, dargestellt. In dieser Ansicht können die Inhalte aktualisiert und mit ergänzenden Medieninhalten versehen werden (siehe Abbildung 4). Dadurch können Mitarbeiter Wissen vor Ort einspeichern um Kollegen zu unterstützen. Bevor die Inhalte abgerufen werden können, wird durch einen mehrstufigen Freigabeprozess (z.B. Meister, Betriebsrat, etc.) sichergestellt, dass diese den Standards entsprechen.

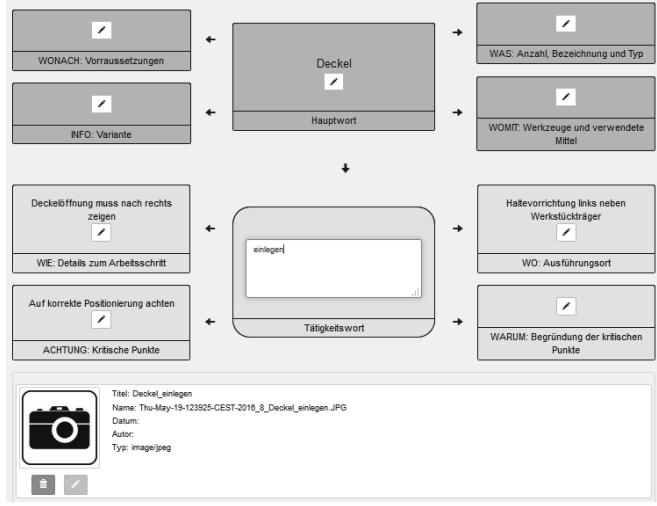


Abbildung 4: Darstellung und Bearbeitung eines Arbeitsschritts

## 6. Erprobung

Der Zweck der Erprobung ist zu bewerten in welchem Umfang das entwickelte System zur effektiven Lösung der gestellten Aufgaben dient, sich effizient handhaben lässt und eine hohe Zufriedenheit der Nutzer erzeugt. Im Rahmen der Umsetzung sind zwei Entwicklungsphasen angesetzt, die jeweils durch eine Evaluation abgeschlossen werden. In der ersten Phase liegt das Ziel in der Erhebung von Hinweisen zur Weiterentwicklung des Systems. Hingegen liegt das Ziel der zweiten Phase in der Überprüfung der Zielkriterien, die durch die Anforderungsanalyse zu Beginn erhoben wurden.

Zur Evaluation wurden unterschiedliche Methoden genutzt. So wurden die Ergebnisse aus automatisch erfassten Daten, Kurzfragebogen nach der Systemnutzung, Langfragebogen nach Ende einer Pilotphase, Vor-Ort-Begleitungen und Workshops gewonnen.

Wie in Abbildung 5 gezeigt ergaben die Evaluationsergebnisse der ersten Phase, die durch Kurzfragebogen erhoben wurden, dass das AmbiWise System zur Ausführung der Aufgaben (vgl. Kapitel 3) geeignet ist. Weiterhin ist die Zufriedenheit der Systemnutzer gewährleistet.

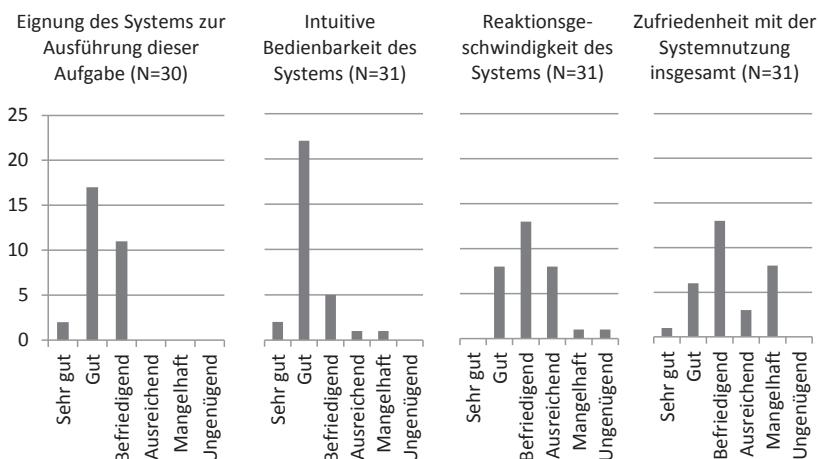


Abbildung 5: Evaluationsergebnisse

Nach Erprobungen des AmbiWise-Systems an vier Standorten und in verschiedenen Fachbereichen der Division Daimler Trucks lassen sich in den beschriebenen Anwendungsszenarien bereits erste Aussagen zu den Effekten des Systems tätigen. Die Digitalisierung, mobile Verfügbarkeit und intuitive Nutzbarkeit der anerkannten Prozesse,

verspricht optimierte Qualifizierungsvorgänge. Insbesondere die Faktoren Erstellungsaufwand, Beschaffungszeiten und die Qualität der benötigten Qualifizierungsunterlagen können durch den Einsatz des AmbiWise-Systems positiv beeinflusst werden. Konkret treten hier die direkte Erstellung von Qualifizierungsunterlagen und die Bewertung der Qualifizierungswirksamkeit auf Shopfloor-Ebene in den Vordergrund. Notwendige Schulungsmedien, Dokumente und Prozesse (z.B. Cycle-Checks) sind am Ausführungsstandort verfügbar und nutzbar. Dadurch können etablierte Prozesse optimiert und effizienter gestaltet werden. In Folge dieser Optimierungen lassen sich zudem positive Auswirkungen auf erfolgsrelevante Größen der Montagetätigkeiten feststellen.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Die ersten Evaluationsergebnisse zeigen, dass das entwickelte System ein geeignetes Werkzeug zur Kollaboration und dem Umgang mit Wissensressourcen darstellt. Dies muss sich ebenfalls in den weiterführenden Ergebnissen (bspw. durch die Langbefragung) ergeben um eine fundierte Aussage zu ermöglichen. Insbesondere die Erprobung weiterer Endgeräte technologien wie z.B. SmartGlasses sowie Darstellungsformen von Wissensinhalten z.B. durch Augmented Reality zur Erweiterung des vorgestellten Systems werden interessante Ergebnisse liefern.

## Danksagung

Wir danken Andrea Gerlach und Arvid Grunenberg von der Beuth Hochschule sowie dem Projektpartner Infoman AG für ihre Beiträge zur Umsetzung von Frontend- und Backendkomponenten des AmbiWise Systems.

## 8. Literatur

- [1] EFFRA, *Factories of the Future PPP, FOF 2020, Roadmap*. [Online] Available: [http://www.effra.eu/attachments/article/335/FoFRoadmap2020\\_ConsultationDocument\\_120706\\_1.pdf](http://www.effra.eu/attachments/article/335/FoFRoadmap2020_ConsultationDocument_120706_1.pdf). Accessed on: Apr. 21 2016.
- [2] A. Stocker, P. Brandl, R. Michalczuk, and M. Rosenberger, "Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory," *Elektrotech. Inftech*, vol. 131, no. 7, pp. 207–211, 2014.
- [3] N. Thom and B. A. Sollberger, "Das Zusammenspiel von Mensch, Kultur und Technologie für ein erfolgreiches Wissensmanagement," (ger), *Quo vadis Wirtschaftsinformatik?*, pp. 323–333, 2008.
- [4] M. Polanyi, *Implizites wissen*: Suhrkamp, 1985.

- [5] S. Wiedenmaier, O. Oehme, L. Schmidt, and H. Luczak, "Augmented reality (AR) for assembly processes design and experimental evaluation," (en), *International journal of Human-Computer interaction*, vol. 16, no. 3, pp. 497–514, 2003.
- [6] C. A. Ventura, "Why switch from paper to electronic manuals," in *Proceedings of the ACM conference on Document processing systems*, 2000, pp. 111–116.
- [7] D.-M. Wilson, A. M. Martin, and J. E. Gilbert, "iTech: Interactive Assistants for Technical Communication," (da), 2012.
- [8] D. G. Novick and K. Ward, "Why don't people read the manual?," in *Proceedings of the 24th annual ACM international conference on Design of communication*, 2006, pp. 11–18.
- [9] A. Holzinger, M. Kickmeier-Rust, and D. Albert, "Dynamic media in computer science education; content complexity and learning performance: is less more?," (en), *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 11, no. 1, pp. 279–290, 2008.
- [10] BITKOM, *Mehr als jeder Dritte schaut Video-Anleitungen im Internet*. [Online] Available: [http://www.bitkom.org/de/presse/8477\\_82486.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/8477_82486.aspx). Accessed on: Jun. 17 2015.
- [11] H. Weber, F. Quint, F. Eierdanz, N. Ottersböck, and D. Gorecky, "Nutzerzentrierte Gestaltung von mobilen, kontext-sensitiven Assistenzsystemen für einen vereinfachten Wissensaustauschen in komplexen Produktionsszenarien: 7. VDI/VDE Fachtagung USEWARE 2014 - USEWARE 2014," (de), *VDI-Berichte 2222*, pp. 133–143, 2014.
- [12] A. Arsanjani, "Service-oriented modeling and architecture," (en), *IBM developer works*, pp. 1–15, 2004.
- [13] S. McGlashan and A. Hunt, "Speech Recognition Grammar Specification Version 1.0," *W3C REC REC-speech-grammar-20040316*, 2004.
- [14] Apple, *Getting Started with iBeacons*. [Online] Available: <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>.
- [15] D. Hardt, "The OAuth 2.0 authorization framework," (en), <http://tools.ietf.org/html/rfc6749.html>, 2012.

# Förderung kollaborativer Interaktion mittels aspektorientiert adaptiven HMIs

Dipl.-Ing. **Sebastian Heinze**, Dr.-Ing. **Jens Ziegler**,  
Prof. Dr.-Ing. **Leon Urbas**, Professur für Prozessleittechnik,  
Technische Universität Dresden

## Kurzfassung

Der Beitrag stellt einen innovativen Lösungsansatz vor, der im Gegensatz zu strikt hierarchisch geordneten Modellen Möglichkeiten bietet, außerhalb von diesen Strukturen Arbeitsabläufe zu unterstützen. Ziel ist die kontextabhängige Unterstützung der Kooperation bei komplexen Aufgaben der Prozessführung, zum Beispiel der Fehlerdiagnose. Dazu kommen neben den von modernen Webtechnologien bekannten darstellungs- und interaktionsbasierten Designs auch Komponenten, die für die Anwendungsdomäne heute noch nicht existieren. Dazu werden die domänenspezifischen Aufgabenstrukturen analysiert, um insbesondere die schwach- oder unstrukturierte kooperative Fehlerdiagnose auf geeignete Weise zu unterstützen und so einen positiven Einfluss auf die Verbesserung der kollaborativen Aufgabenbearbeitung zu haben.

## 1. Einleitung

Moderne adaptive Webtechnologien ermöglichen es über Gerätegrenzen hinweg Inhalte für Nutzer bereitzustellen und so neue Nutzungsszenarien erlebbar zu machen. Auch sind aufgaben- und kontextspezifische Systeme seit vielen Jahren Teil der Forschung. In professionellen Anwendungen wie beispielsweise der Prozessführung in der Prozess- und Fertigungsindustrie steht dies im Gegensatz zu nach wie vor aufgaben- und gerätespezifisch entworfenen Human-Machine-Interfaces (HMIs). Beim Auftreten eines Fehlers wird die fast vollständige Automatisierung des Normalbetriebs unterbrochen und das ausführende Personal vor eine hochgradig komplexe und nur kooperativ lösbare Aufgabe gestellt. Diese kooperative Aufgabenlösung wird von heutigen Prozessführungssystem nur in unzureichendem Maße unterstützt. Ziel ist hier eine deutliche Verbesserung des kollaborativen Problemlösungspotentials durch die Kombination von den Möglichkeiten der modernen Webtechnologien mit aufgabenangemessenen Anpassungen. Basis für die domänenspezifische Anpassung sind Aspekte, funktionale und inhaltliche Zusammenhänge der Prozessführung die direkt an den

Punkten ansetzen, bei denen heutige Prozessführungskonzepte an ihre prinzipbedingten Schwächen stoßen.

## **2.Zielstellung**

### **2.1 Stand der Technik**

In der Betriebsphase besitzt die Prozessführung die Aufgabe, die hochautomatisierte Anlage und ihren Zustand zu überwachen, den Betrieb zu optimieren und Parameter in einer Weise anzupassen, dass sich der ablaufende Prozess in einem möglichst ökonomisch und ökologisch attraktiven Arbeitsbereich befindet und somit ungewollte Schwankungen im Prozess zu reduzieren oder zu eliminieren [5,7]. Zusätzlich dazu sind auch Emissionswerte und daran angeschlossen der Energie- und Materialverbrauch möglichst niedrig zu halten [6]. Dem Leitwartenfahrer fällt somit die Umsetzung des Supervisory-Control-Prinzips zu [27].

Die HMI als Schnittstelle für die grundlegenden Aufgaben der Prozessleitung *Überwachen, Eingreifen, Diagnostizieren* [6] dienen neben der Durchführung der Aufgaben auch der Verbesserung der Leistung des Operators, das Human-Machine-Interface (HMI) muss somit dem Leitwartenfahrer die Möglichkeit bieten seine Aufgabe so effektiv und effizient wie möglich durchzuführen, ohne die Gesundheit des Nutzers zu gefährden [5].

Das Umfeld der Leitwarten und der darin enthaltenen HMIs schottet den Leitwartenfahrer stark von der Anlage ab. In einer ruhigen Atmosphäre sitzen die Leitwartenfahrer allein oder in Gruppen vor jeweils mehreren Bildschirmen, die mit physikalischen Schemata, Diagrammen oder detaillierten Anzeigen den einzigen Blick auf dem Prozess aus der ansonsten abgeschirmten Leitwarte geben [7].



Bild 1: Effizientes Leitwartenlayout nach [31]

Während bei modernen Leitwartenkonzepten sowohl Kollaborationsszenarien und Laufwege der Operator betrachtet werden [31], ist die derzeitig typische verbale Kommunikation von Angesicht zu Angesicht zwischen verschiedenen Leitwartenfahnen oder per Telefon/Funk zu Arbeitern im Feld hierbei bezüglich der Integration der eigenen Sichtweise auf den Diskussionsgegenstand hinderlich. Auch bei der Darstellung ist eine Grundlage zu schaffen, auf der die aktuell dargestellte und relevante Information über das bereits vorhandene Maß, zum Beispiel mittels großer Anzeigetafeln, kollaborativ genutzt werden kann, etwa durch ein System welches die verschiedenen benötigten Informationen in einer Sicht aufbereitet [26].

Mit dem Wandel der Aufgabenstruktur in der Prozessführung, werden Leitwartenfahrer künftig verstärkt Entscheidungen bezüglich unvorhergesehener Geschehnisse und Situationen mit unzureichender Datenlage treffen müssen [28]. Dafür sind neue Interaktions- und Informationskonzepte notwendig.

## 2.2 Aspekte im integrierten Informations- und Interaktionsraum

Basis für diese Arbeit ist das Konzept des integrierten Informations- und Interaktionsraums [1]. Ein entscheidender Punkt ist dabei die Kombination von verschiedenen, im Anwendungsbereich der Prozessführung auch verteilten, Datenquellen mit semantischen, algorithmisch auswertbaren Daten, die explorierbar und navigierbar sind. Neben der semantischen Beschreibung ist eine Verlinkung der Daten notwendig, um die Nachverfolgbarkeit über Domänenengrenzen sicherzustellen [32].

Der Blick auf diesen integrierten Informationsraum durch die Endgeräte des Nutzers kann auf von der Metapher einer Lupe übertragen werden, die auf einen ohne Hilfsmittel unüberblickbare Informationsansammlung gerichtet ist. Man erhält einen Ausschnitt des Informationsraumes, wobei die Art und Größe des Ausschnittes nun von verschiedenen Aspekten, namentlich der Arbeitsaufgabe, dem aktuellen Gerät, den Wünschen und Entsprechungen des Nutzers sowie dem Kontext in der sich das System befindet, verändert werden können. Tabelle 1 stellt diese Vision vergleichend zum aktuellen Nutzungsparadigma der Prozessführung dar.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von bisherigen Darstellungskonzepten und der Vision der aspektorientierten Darstellung

	<i>Stand der Technik</i>	<i>Vision</i>
<i>Beschreibung</i>	Nutzung vorkonfektionierter Bildschirme für alle Nutzer	Nutzung von individuell auf den Nutzer zugeschnittenen Sichten
<i>Vorteile</i>	Bildung eines Common Ground für Diskussionen.	Höhere Effizienz durch Aufgaben-, Kontext-, Nutzer und Geräteadaption
<i>Nachteile</i>	Die Darstellungen müssen jedem Nutzer seine Aufgabe ermöglichen, daher kann kaum auf individuelle Bedürfnisse eingegangen werden. Des Weiteren kann die Unterschiedliche Interpretation und Sichtweisen auf die Darstellungen zu Missverständnissen führen.	Ein fehlender Common Ground kann die Kommunikation erschweren.

Eine solche Anpassung ermöglicht nicht vollständig vordefinierte, erst zur Laufzeit endgültig definierte, Szenarien, bei denen bei der kollaborativen Problemlösung in der Leitwarte mehrere Nutzer gemeinsam an einem Problem arbeiten können, ohne einen zusätzlichen Einstellungsaufwand für beispielsweise das Übertragen von Daten auf ein zur Kollaboration geeignetes Gerät zu haben [8].

### 3. Aspekte

#### 3.1 Aspektbegriff

Aspektorientierung wurde im Bereich der Programmierparadigmen bereits 1997 eingeführt und adressiert dort Interessenüberschneidungen (engl. *cross-cutting concerns*). Das Konzept der *cross-cutting concerns* beschreibt schwer modularisierbare Ziele bei der Softwareentwicklung, etwa verteilte Sicherheitskonzepte [22], die mit den üblichen Methoden (etwa Objektorientierung) nicht in Einklang zu bringen sind. Die Idee der überschneidenden Anforderungen der jeweiligen Daten wird mit dem Konzept der Aspektorientierung auf die Prozessführung übertragen. Die aktuell genutzten Modelle der Prozessführung sind strikt hierarchisch geordnete Strukturen. Die technologische Hierarchie, definiert beispielsweise in IEC61512 [30], die Navigationshierarchie ebenso wie die Alarmhierarchie [6] und nicht zuletzt auch die Automatisierungspyramide [29] zeigen die strikte Baumstruktur aktueller Modelle. Während passende Konzepte für das Modellieren von festgelegten Arbeitsabläufen innerhalb dieser Hierarchiestrukturen existieren [16], können freie und undefinierte Abfolgen weder modelliert noch grafisch dargestellt werden. Die Aspekte, nach denen die Adaption des Systems ausgerichtet wird, stellen hier *cross-cutting concerns* dar, also benötigte Systemeigenschaften, die nicht in die Hierarchien eingeordnet werden können oder sich mit Möglichkeiten der aktuellen Systemkonfiguration widersprechen.

Die Aspekte des Nutzungskontexts, der Arbeitsaufgabe, des Nutzers und dessen Endgerät bilden über ihren Einfluss auf die Benutzungsschnittstelle und die Funktionalität des Systems die Basis für Interaktionen mit dem System und ermöglichen eine algorithmische Adaption des Systems an die Aspekte. Die vielfältige Kombination der Aspekte ermöglicht unterschiedliche Zugriffe auf die Information des Datenmodells und damit hochspezialisierte Zugänge zu den Daten. Die Kombination all dieser Aspekte kann bei den breiten Anforderungen der Prozessindustrie nicht auf eine Weise in den Hierarchien angeordnet werden.

Die Navigationshierarchie der Darstellung in der Leitwarte besitzt beispielweise maßgeblich andere Anforderungen und Eigenschaften, als eine Anwendung im Feld, die bereits durch eine geringere Sichtweite auf relevante Prozesselemente begründet liegt. Hier ist eine Adaption nach dem Aspekt des Nutzungskontextes notwendig, wenn die Effizienz des Unterstützungssystems erhöht werden soll.

Die Erfahrung des Nutzers und dessen Leistungsvoraussetzungen bei der Bearbeitung einer Aufgabe sind auch schwer innerhalb der bestehenden Hierarchien einzuordnen. Werden verschiedene Stufen davon bei einem System genutzt, kann dieses Verhalten nicht in eine Kombination der Hierarchstufen eingeordnet werden.

### 3.2 Aspekte in der Literatur

Tabelle 2: Ansätze zur Aspektmodellierung und modellbasierten Anpassung von Benutzungsschnittstellen

Aspekt	Adaption	Konzept/ Literatur
Kontext/ Aufgabe	Neuanordnung von Interfaceelementen	Analyse des <i>task tree &amp; Dialogmodels</i> [18]
Benutzung/ Aufgabe	Benutzungsschnittstelle	Useware Architektur, Kontextadaption nach Seißler [9]
Kontext	-	Semantisch nutzbare Kontextmodellierung [10]
Nutzer/ Kontext/ Aufgabe	Laufzeitadaption der Benutzungsschnittstelle	[24],[25]

Aufgaben in dem Anwendungsgebiet der Prozessführung haben oft einen komplexen Charakter dem in den bisherigen Arbeiten nur zum Teil Genüge geleistet wird. Die Komplexität hängt hierbei von vielen Faktoren ab, beziehungsweise wird über sie definiert. Neben der Art der Zusammenschaltung der einzelnen Teilaufgaben sind auch dynamische Effekte, die fehlende Transparenz für den Nutzer, mehrere, sich widersprechende Ziele und die nötige Koordination von mehreren Personen in der Zusammenarbeit Punkte, die die Komplexität einer solchen Aufgabe ausmachen [7].

## 4. Adaption nach Aspekten

### 4.1 Idee

Die Aspekte müssen nun um Variablen erweitert werden, auf deren Basis dann das System mit seine Inhalte, die Darstellung und die Funktionalität dementsprechend anpasst. Grundlegend ist eine dreistufige Einteilung ressourcenintensiver Systeme möglich [11]. Ressourcenadaptierte Systeme sind fest auf bekannte Ressourcen und Eigenschaften angepasst, ohne dass zur Laufzeit eine Möglichkeit zur weiteren Einflussnahme besteht. Ressourcenadaptive Systeme nutzen vorgegebene Algorithmen, Strategien oder Regelsysteme zur Einflussnahme zur Laufzeit unter Zuhilfenahme verfügbarer Ressourcendaten. Ressourcenadaptierende Systeme lösen variable und unvorhersehbare Ressourcenbeschränkungen über die Umsetzung von höheren Anpassungstechniken.

Eine ähnliche Einteilung lässt sich anhand der Anpassbarkeit treffen [19].

- Adaptierte Systeme werden zur Designzeit auf den Nutzer zugeschnitten.
- Adaptierbare Systeme können vom Nutzer zur Laufzeit an die aktuellen Bedürfnisse und Gegebenheiten hinsichtlich UI und Funktionalität verändert werden.
- Adaptive Systeme wechseln dynamisch zur Laufzeit ihre Präsentation und Funktionalität.

Das Konzept der Aspektorientierung umfasst eine Adaption zur Laufzeit und ordnet sich daher in die (ressourcen-)adaptiven Systeme ein.

#### 4.2 Adaption von Information

Inhaltsadaptierende Systeme können grundsätzlich in 5 verschiedenen Arten auf die vom System dargestellte Information Einfluss nehmen [9,15].

- Durch die Auswahl an Information können diese vom HMI versteckt oder angezeigt werden und so eine Gefahr von Informationsüberflutung minimiert werden.
- Die Anpassung des Detailgrades der dargestellten Information erlaubt insbesondere eine Reaktion auf die kognitive Last des Nutzers oder dessen aktuelle Leistungsvoraussetzungen.
- Ebenso ist es möglich, dass bestehende Informationen um ein Feedback angereichert werden, wenn die Interaktion und Nutzung dieser durch den Nutzer außerhalb des gewünschten Bereiches liegt.
- Die Modalität von Informationen kann variiert werden, um etwa auf den Zeitdruck für die Erfüllung eines Ziels oder die Erfahrung des Nutzers einzugehen.
- Die Anpassung der räumlichen Anordnung von Informationen und Informationsgruppen bietet die Möglichkeit zur verbesserten Informationswahrnehmung des Nutzers. Die Adaption nach physischen Eigenschaften des Endgerätes, etwa Bildschirmgröße, Ausrichtung und Pixeldichte, ist mit Konzepten wie Responsive Web Design [12] dynamisch unterstützt [13,14] und verbindet Modalitätswechsel mit einer variablen Anordnung der Bildschirmelemente. Die Dialoganpassung, beispielsweise in Form von veränderlichen Sortierreihenfolgen von Menüeinträgen oder veränderbaren Größen der Interaktionsobjekte bietet zusätzlich zur Adaption der Anordnung Möglichkeiten der Einflussnahme [17].

Zusätzlich zur Anpassung der Information ist auch eine Anpassung des Automatisierungsgrades im Anwendungsfall der Prozessführung sinnvoll. Aufgrund der durchgehend benötigten Möglichkeit zum Kontroll- und Steuerungseingriff sind der selbstständigen Adaption des Systems Grenzen gesetzt. Der Grad der Autonomie muss insbesondere bei einer selbstständigen Adaption des Systems so gewählt werden, dass zu keinem Zeitpunkt ein Kontroll-

verlust eintritt. Zur Vermeidung solcher Probleme sind Konzepte wie die facettierte Navigation geeignet [20]. Dieses Konzept, welches von dem Einsatzgebiet der Suche in großen Datensätzen abstammt, verändert iterativ bei Eingabe von neuen Daten die Ergebnismenge [21]. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Adaptionen stets vom Nutzer nachvollzogen werden können.

Im für dieses Konzept relevanten Themenbereich der Erstellung von modellbasierten laufzeitadaptiven und kontextsensitiven Systemen gibt es viele bestehende Konzepte, wobei die frühen Konzepte aufgrund geringer Flexibilität oder benötigten manuellem Eingriff ohne Rückkopplung ins Modell häufig eine mangelhafte Gebrauchstauglichkeit besitzen [23].

## 5. Diskussion

Das vorgestellte Konzept der aspektorientierten Adaption eines Unterstützungssystem für die Prozessführung unterstützt Arbeitsabläufe, die mit bisherigen Konzepten aufgrund ihrer Komplexität oder der nicht möglichen Erfassung in Modellen nicht unterstützt werden konnten und verfolgt das Ziel der Effizienzsteigerung der Aufgabenbearbeitung.

Dabei fördert ein derart gestaltetes System die kollaborative Interaktion durch die Bereitstellung hochadaptierter Sichten, die als Grundlage für die Diskussion der individuellen Sicht des Nutzers auf den Ausschnitt aus dem Informationsraum dienen. Zusätzlich werden neue Cross-Device Ansätze ermöglicht, die sich bei dynamischen und migrativen Workflows positiv auf die Aufgabenbearbeitung auswirken.

Das mit der Aspektadaption anvisierte Ziel des *Faceted Browsing* bietet eine vereinfachte Möglichkeit zum Erkunden des Informationsraumes. Gegenüber anderen adaptierenden Systemen besitzen die Aspekte einen adaptiven Einfluss auf das System und benötigen keine manuelle Adaption.

Der aktuelle Prototyp umfasst eine Implementierung auf Basis von den Webtechnologien HTML5, CSS3 und Javascript und realisiert den Großteil der Aufgaben des Prozessführers in einem reduzierten Detailgrad. Derzeitig sind die Adoptionsmöglichkeiten des Systems auf die Eigenschaften des Zielgerätes, die Zugriffsrechte des Nutzers sowie die Sprache des Systems beschränkt. Der Nutzer kann das adaptierbare System aber manuell seinen Bedürfnissen anpassen, etwa in der Aufteilung der Bildschirmflächen oder der Auswahl der anzuseigenden Informationskategorien (z.B. Prozessbildschirm, Alarmmanagement).

## 6. Zusammenfassung & Ausblick

Es wurde ein Konzept vorgestellt, was über bestehende Adoptionskonzepte für industrielle UIs hinaus die Adaption von Oberfläche und Funktionalität hinsichtlich der aktuellen Arbeits-

aufgabe, dem Kontext des Systemeinsatzes, dem Nutzer sowie den Eigenschaften des Zielgerätes vornimmt. Ein wesentlicher Mehrwert des vorgestellten Lösungsansatzes besteht darin, dass die Aspekte dafür genutzt werden können, um die Informationspräsentation zielgerichtet auf die aktuellen Anforderungen anzupassen.

Um für die Interaktion im integrierten Informations- und Interaktionsraum nutzbar zu sein, müssen die Aspekte formalisiert und dort abgelegt werden. Insbesondere müssen auch weitere Kopplungsterme identifiziert und validiert werden. Die Aspektvariablen müssen hinsichtlich ihrer unterstützten Adaptionmechanismen validiert werden um anschließend formalisiert werden zu können. Die Adoptionsstrategien werden dann mittels Adoptionsalgorithmen daraus abgebildet.

Der aktuelle Prototyp muss mit diesen Erkenntnissen um die fehlenden Adoptionsmöglichkeiten bezüglich Kontext, Nutzer und Aufgabe erweitert werden.

## Danksagung

Wir möchten Frau Romy Müller sowie Herrn Stefan Bamberger und Georg Kluge für ihre wertvolle Beteiligung an der Schaffung des Aspektbegriffs danken.

- [1] Graube, M.; Schneider, F.; Obst, M.; Urbas, L.: (2015). Integrierter Informations- und Interaktionsraum. Modularisierung und Digitale Anlage von der Leitwarte bis ins Feld. In: Tagungsband GMA-Kongress Automation 2015. VDI.
- [2] Schneider, F.; Graube, M.; Urbas, L. (2014). Integrierter Informationsraum: Responsive HMI für Leitwarte und Feld. In: VDI-Berichte 2222, Tagungsband USEWARE 2014. VDI.
- [3] Ziegler, J.; Graube, M.; Heinze, S.; Hensel, S.; Urbas, L.: (2015) Using Semantic and Responsive Web Design Technologies for Cross-Device Interactions in Industrial Applications. In: Cross-Surface Workshop, ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces
- [4] Kiczales, G. et al.: (1997) Aspect-Oriented Programming. In: Proceedings of the 11th European Conference on Object-Oriented Programming. S. 220 – 242
- [5] Urbas, L. (2012). Process Control Systems Engineering. München, Oldenbourg Industrieverlag
- [6] VDI/VDI 3699-2: Prozessführung mit Bildschirmen – Grundlagen, Beuth, 2014
- [7] Kluge, A.: (2014) The Acquisition of Knowledge and Skills for Taskwork and Teamwork to Control Complex Technical Systems. Dordrecht, Springer Science+Business Media
- [8] Jetter, H.C. et al.: (2013) Collaborative interactions in future crisis rooms. Proc. JRC ECML WS: 35-39.
- [9] Seißler, M.: (2013) Modellbasierte Entwicklung kontextsensitiver Benutzungsschnittstellen zur Unterstützung der mobile Instandhaltung. Dissertation, TU Kaiserslautern
- [10] Stephan, P.: (2012) Entwicklung einer Referenzarchitektur zur Nutzung semantisch interpretierter Ortsinformationen am Beispiel der Instandhaltung. Kaiserslautern. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern
- [11] Whalster, W.; Tack, W.: (1997) Ressourcenadaptive Kognitive Prozesse. In: Tagungsband Informatik 97 - Informatik als Innovationsmotor, 27. GI-Jahrestagung
- [12] Marcotte, E.: (2011) Responsive Web Design. A Book Apart
- [13] ZURB Foundation Homepage, <http://foundation.zurb.com/>
- [14] Bootstrap Homepage, <http://getbootstrap.com/>

- [15] Rothrock, L.; Koubek, R.; Fuchs, F.; Haas, M.; Salvendy, G.: (2002) Review and reappraisal of adaptive interfaces: Toward biologically inspired paradigms. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science 3(1), S. 47–84
- [16] Pfeffer, J., Graube, M., Ziegler, J. & Urbas, L. 2013. Vernetzte Apps für komplexe Aufgaben in der Industrie. In: atp edition - Automatisierungstechnische Praxis, 55, 34-41
- [17] Malinowski, U.; Kühme, T.; Dieterich, H.; Schneider-Hufschmidt, M.: (1993) Computer-Aided Adaptation of User Interfaces with Menus and Dialog Boxes. In: Proceedings of the 5th International Conference on Human-Computer Interaction. S. 122–127, Elsevier
- [18] Feuerstack, S.; Blumendorf, M.; Schwartze, V.; Albayrak, S.: (2008) Model-based layout generation. In: Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '08). S. 217–224, ACM Press
- [19] Schlungbaum, E.: (1997) Individual user interfaces and model-based user interface software tools. In: Proceedings of the 1997 International Conference on Intelligent User Interfaces, ACM
- [20] Morville, P.; Callender, J.: (2010) Search Patterns – Design for Discovery. O'Reilly Media
- [21] Karlson, A. K.; Roberston, G.; Robbins, D. C.; Czerwinski, M.; Smith, G.: (2006) FaThumb: A Facet-based Interface for Mobile Search. CHI 2006 Proceedings, ACM Press
- [22] Rashid, A. et al.: (2010) Aspect-Oriented Software Development in Practice: Tales from AOSD-Europe. In: Computer 43(2), S.19 – 26.
- [23] Myers, B.; Hudson, S. E.; Pausch, R.: (2000) Past, present, and future of user interface software tools. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction 7(1), S. 3–28
- [24] Breiner, K.; et. al.: (2011) Automatic Adaptation of User Workflows within Model-Based User Interface Generation during Runtime on the Example of the SmartMote. In: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International HCI Conference, S. 165-174, Springer Berlin Heidelberg
- [25] Görlich, D.: (2009) Laufzeit-Adaption von Benutzungsschnittstellen für Ambient-Intelligence Umgebungen mittels Raumbasierter Benutzungsmodelle. Dissertation. TU Kaiserslautern
- [26] Urbas, L., Ziegler, J., Doherr, F.: (2012). Produktergonomie in der Prozessautomatisierung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 66(2-3), S.169-182
- [27] Sheridan, T.B.: (1987) Supervisory Control. In: G. Salvendy (Hrsg.) Handbook of Human Factors/Ergonomics. S. 1295 1327, Wiley

- [28] Müller, R.; Narciss, S.; Urbas, L.: (2016) . Interfacing Human Decision Makers with CPPS. In: Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications. Elsevier
- [29] DIN EN 62264: Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen, Beuth, 2014
- [30] IEC 61512: Batch Control, IEC, 2009
- [31] Inamura, T. N. E.; Hadji, N. T. A.: (2011) Control Room Resign for Efficient Plant Operation. In: Yokogawa Technical Report English Edition 54(1), S. 33-36
- [32] Graube, M.; Pfeffer, J.; Ziegler, J.; Urbas, L.: (2011) Linked Data as Integrating Technology for Industrial Data. In: Proceedings of the 14th International Conference on Network-Based Information Systems, S. 162-167, IEEE

## Interfacekonzepte für präsente Assistenten

### Vergleich verschiedener Interfacekonzepte im Hinblick auf deren Einsatz als Studienmaterial für UX-Untersuchungen

**Anja Knöfel, Mathias Müller, Rainer Groh, Jens Krzywinski,**  
Technische Universität Dresden

#### Kurzfassung

Im Fokus des Beitrags steht die Fragestellung, welche Interaktionstechnologien für interaktive Assistenzsysteme im Anwendungskontext mobiler Arbeitsmaschinen in der Agrarsystemtechnik besonders geeignet sind und wie diese eingesetzt werden können. Anhand von Interfaceentwürfen und Prototypen wird dargelegt, inwieweit vorhandene Konzepte angepasst und erweitert werden müssen, um den steigenden funktionalen Anforderungen sowie den Nutzerbedürfnissen gerecht zu werden. Dabei stand insbesondere das Nutzererleben (engl. User Experience – UX) im Vordergrund der Entwicklung und Bewertung der Designvarianten.

#### Designkontext für Assistenzsysteme im industriellen Einsatz

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die Problematik der gestiegenen Anforderungen an Maschinenbediener in nahezu allen industriellen Produktions- und Verarbeitungsbereichen. Die heutigen Maschinenkomplexität beruht u. a. auf dem stetig steigenden Funktionsumfang von Maschinen und Anlagen sowie deren zunehmenden Modularisierung und Vernetzung (Geisberger & Broy, 2012), (Kautzmann, 2014). Umfangreichere Prozesskenntnisse in der Entwicklung bedingen zudem komplexere und höhere Zielstellung in Produktion und Verarbeitung. Für Maschinenbediener sind hierdurch die Informationsmenge und in der Folge vor allem die kognitiven Anforderungen im Arbeitsalltag enorm gestiegen (Haunberger, 2013). Da die Fähigkeiten des Menschen zur Informationsaufnahme und -verarbeitung sowohl physisch, als auch kognitiv limitierten sind, ist ein zunehmender Unterstützungsbedarf im Umgang mit dem gestiegenen Informationsumfang und den zu steuernden komplexen Maschinen zu beobachten. Neben Automatisierung, Aus- und Weiterbildungsangeboten sowie individuelle Beratungs- und Serviceleistungen stellen Assistenzsysteme hierfür einen Lösungsansatz dar. Es bedarf jedoch gezielter Untersuchungen, welche Art von Assistenz benötigt wird und über welches technische System diese am besten zur Verfügung gestellt werden kann. Hierbei spielt das Interface als Schnittstelle zwischen Mensch und technischem Sys-

tem eine wesentliche Rolle. Aspekte des Nutzererlebens haben dabei ebenso Auswirkung auf die Mensch-Maschine-Interaktion wie die zu realisierende Funktion.

Kontextübergreifend existieren mit Robotern, Embodied Conversational Agents (ECA), Chatbots, sprachbasierten Interfaces (Voice User Interface – VUI) und Grafischen User Interfaces (GUI) sehr vielfältige Gestaltungsansätze für das Interface von Assistenzsystemen. Diese unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich Informationsdarstellung und Interaktionsdesign. (Knoefel, 2013) Innerhalb eines konkreten Szenarios ist das Design des User Interface (UI) vordergründig durch die Funktion des Systems bedingt, hat jedoch auch Auswirkung auf die UX also darauf, wie die Nutzer ein System erleben.

Im industriellen Kontext stellt eine Kombination aus displaybasierten GUIs und unterschiedlichen Hardwareelementen (Joystick, Button, Schalter, Drehräder, etc.) den primären Lösungsansatz für das UI von Maschinen dar. Branchenübergreifend ist eine starke Fokussierung in Richtung touch-basierter Displays zu verzeichnen. (Knoefel, Stelzer, Groh, & Krzywinski, 2014), (Knoefel, 2014) Wenngleich bislang sicherheitsbedingt nicht alle Funktionen über touch-basierte Displays umgesetzt werden können, stellt ein GUI im Vergleich mit anderen Interfacevarianten für die aktuellen Anforderungen der Maschinenbedienung ein einfaches und kostengünstiges Interface dar, welches sehr flexibel z. B. auf unterschiedliche Produkte eines Herstellers anpassbar ist und zugleich eine stabile technologische Umsetzung ermöglicht. Da die abzubildenden Informationen im industriellen Kontext zumeist vielfältige visuelle Darstellungsvarianten erfordern (Funktionsschemata, Diagramme, Leistungskurven usw.), ist mittels GUI zudem eine große funktionale Zuverlässigkeit gegeben. Sowohl Einsatzbedingungen als auch funktionale Anforderungen für Assistenzsysteme im benannten Kontext sind mit denen der Maschinensteuerung vergleichbar. GUIs können daher in diesem Kontext zunächst auch für das Interface von Assistenzsystems als primärer Lösungsansatz betrachtet werden.

### **Designvarianten für Maschinenterminal und Assistenzsystem**

Das Nutzerleben im Umgang mit einem technischen System wird durch aufgabenbezogene und nicht-aufgabenbezogene Qualitäten beeinflusst (Mahlke 2007). Dabei werden je nach System und Einsatzkontext, unterschiedliche menschliche Bedürfnisse befriedigt. Im Umgang mit interaktiven Produkten stehen für das Nutzererleben von den von HASSENZAHL untersuchten Bedürfnissen Verbundenheit, Stimulation und Kompetenz im Vordergrund. (Hassenzahl et al., 2010) Im professionellen Kontext der Maschinenbedienung ist Sicherheit als ein weiteres essentielles Bedürfnis der Nutzer zu betrachten. Dies betrifft sowohl die Sicherheit bei der Maschinenbedienung (individuelle Verantwortung des Maschinenbedieners

für die eigene Person, Technik und Umfeld) als auch die Sicherheit in Bezug auf die Unterstützungsleistung des Assistenzsystems (Vertrauen). Da es sich beim Untersuchungsgegenstand um ein Assistenzsystem handelt, sollte zudem der Aspekt der Autonomie einen wesentlichen Einfluss auf das Nutzererleben haben. Die weiterhin von Hassenzahl benannten Bedürfnisse Bedeutsamkeit und Popularität sowie darüber hinaus von Sheldon formulierten Bedürfnisse – Self-actualization-meaning, Physical thriving, Money-luxury (vgl. Sheldon 2001) – werden voraussichtlich durch die Erfüllung der zuvor Genannten beeinflusst, spielen jedoch keine zentrale Rolle und werden daher in die folgenden Überlegungen nicht einbezogen.

Um zu untersuchen, inwieweit das Nutzererleben in Bezug auf ein GUI-basiertes Assistenzsystem hinsichtlich der Bedürfnisse Verbundenheit, Stimulation, Kompetenz, Sicherheit, Autonomie beeinflusst werden kann, wurden innerhalb studentischer Abschlussarbeiten verschiedene Interfaceentwürfe für Maschinenterminal und Assistenzsystem erarbeitet. In diesem Beitrag werden die entstandenen Entwürfe vorgestellt und analysiert, inwieweit sie für die geplante UX-Untersuchung geeignet sind oder modifiziert werden müssen. Im Ausblick des Beitrags wird die geplante UX-Untersuchung vorgestellt und diskutiert.

Ausgangspunkt für die Interfaceentwürfe sind drei neue Maschinenkonzepte für die Getreideernte, welche an der Juniorprofessur für Technisches Design in Kooperation mit der Professur für Agrarsystemtechnik an der TU Dresden entwickelt wurden (Krzywinski et al., 2015). Bei allen drei Szenarien handelt es sich um Schwarmkonzepte, in welchen ein Maschinenbediener mehrere teilautonome Maschinen gleichzeitig überwachen und steuern muss.



Bild 1 (links): Konzept Mähdrescherschwarm von Hannes Wittig  
(Gestaltung Sebastian Lorenz)

Bild 2 (rechts): Konzept selbstfahrendes Schneidwerk von Jan Wolf (Gestaltung Sebastian Lorenz) Jun.-Professur für Technisches Design – TU Dresden

Sie bedingen daher für UI und Untersuchungsszenario eine besonders hohe Informationsdichte. Die Unterstützung durch ein technisches Assistenzsystem stellt somit für eine UX-Untersuchung ein glaubhaftes Untersuchungsszenario dar. Zielstellung für jede Arbeit war der Entwurf eines Maschineninterfaces für je eines der drei benannten neuen Maschinenkonzepte. Dabei sollte immer über (ein) gemeinsames Interface Maschinenterminal und Assistenzsystem umgesetzt werden. Die Aufgabenstellungen wurden dahingehend variiert, dass einerseits verschiedene Grundkonstellationen umzusetzen waren und andererseits hierfür verschiedene Technologien zum Einsatz kamen.

Für **Variante [a]** wurde ein mehrteiliger Interfaceansatz gewählt bei welchem die visuellen Inhalte über das displaybasierte Maschinenterminal sowie über Fensterscheiben und Spiegel als Augmented Reality (AR) Interface umgesetzt wurden. Hierbei wurden Inhalte des Maschinenterminals sowie eines Assistenzsystems AR-basiert in die Umgebung des Nutzers integriert (Abb.: 4, 7). Im Szenario steht zudem ein konventionelles Touch-Display für die Bedienung von Maschinen und Assistenzsystem zur Verfügung, welches jedoch im Entwurf nicht betrachtet wurde.

Für **Variante [b]** wurde ein großflächiges Touch-Display (Microsoft Surface Tabletop) in Bereiche für die Maschinenbedienung und das Assistenzsystem unterteilt. Das Assistenzsystem wurde so in einem eigenständigen Bereich direkt in das Maschinenterminal integriert (Abb.: 3, 6). Für die Interaktion wurden mit multi-touch und tangibles zwei verschiedene Interaktionsmodi umgesetzt.

Für **Variante [c]** wurde ein konventionelles Touch-Display (Microsoft Surface Tablet) für Maschinenbedienung und Assistenzsystem verwendet. Hierbei entstand eine integrierte Variante (Abb.: 7, 8) bei welcher die Systeme innerhalb der GUI zu einem System verschmelzen sowie eine weiter Variante mit geteilten Fensterbereichen vergleichbar zu Variante [b].

**Variante [d]**, bei welcher das System als zum Nutzer zugehörig z. B. mittels einer AR-Brille umgesetzt werden könnte (vgl. Abb.: 9,10), wurde bisher nicht innerhalb einer prototypischen Umsetzung betrachtet. Prinzipiell denkbar wäre Varianten [a], welche für die Umsetzung mittels AR erarbeitet wurden, dahingehend zu modifizieren, dass diese der Darstellung über eine AR-Brille gerecht wird. Die folgenden Abbildungen zeigen in schematischer Darstellung die verschiedenen Konfigurationen sowie Ansichten der im Entwurfsprozess entstandenen Prototypen.

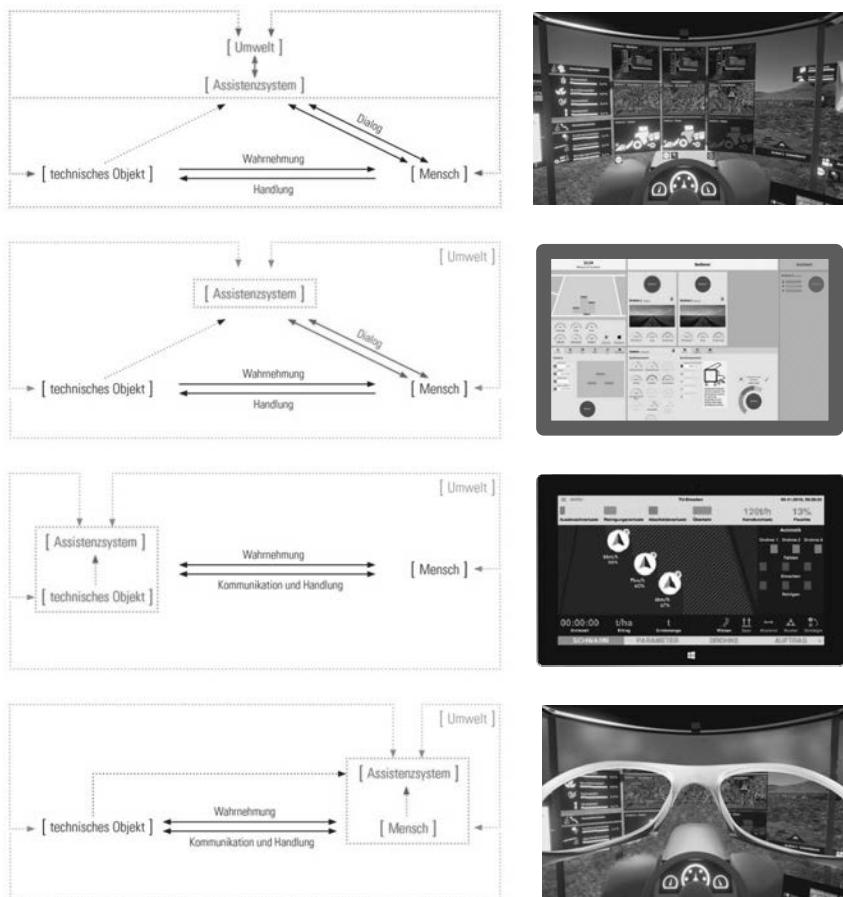


Bild 3,5,7,9 (o. l. nach u. l.): Schemata zur Integration eines Assistenten

Bild 4,6,8,10 (o. r. nach u. r.): 4: AR-Entwurf – N. Heinrich; 6: Tabletop-Entwurf –

J. Schumacher; 8: Touch-Terminal-Entwurf – F. Pizl.,

10: modifizierte Darstellung zu AR-Entwurf von N. Heinrich

## Entwicklung und Bewertung der Designvarianten

Innerhalb der konkreten Entwurfsarbeit konnten verschiedene Varianten für die prinzipiell angedachten Grundkonstellationen entwickelt werden. So entstanden für die direkte Integration des Assistenzsystems in die GUI eine Variante, bei welcher das Assistenzsystem konti-

nuierlich für jede Interaktion des Nutzers mit dem Maschinenterminal Zusatzinformationen und Optimierungsvorschläge anbietet (Abb. 8) und eine weitere Variante bei welcher dies nur in einem integrierten Simulationsmodus umgesetzt wird. Im Vergleich wurde deutlich, dass, obwohl beide Varianten auf vergleichbaren technologischen Randbedingungen aufbauen, hinsichtlich der UX unterschiedliche Auswirkungen zu erwarten sind. Bei dieser integrierten Variante ([c] Abb. 7, 8) verschmelzen UI der Maschine und des Assistenzsystems miteinander. Es ist demnach für den Maschinenbediener nicht unbedingt ersichtlich, wann er direkt mit der Maschine interagiert und wann mit dem Assistenzsystem. Die Funktion das Assistenzsystem abzuschalten ist vorhanden aber im Vergleich mit anderen Varianten weniger ersichtlich. Diese beiden Aspekte könnten einen negativen Einfluss auf die gefühlte Autonomie des Nutzers haben. Zudem bietet das Assistenzsystem in diesem Entwurf bei jeder Interaktion mit dem Display Zusatzinformationen an, was sich vor allem bei erfahrenen Nutzern störend und möglicherweise negativ auf die gefühlte Kompetenz auswirken könnte. Andererseits wird durch den integrativen Ansatz des UI nicht vordergründig kommuniziert, dass er Maschinenbediener durch ein Assistenzsystem unterstützt wird, was ebenso positive Effekte auf dessen gefühlte Kompetenz haben könnte.

Variante [b] (Abb. 6) verdeutlicht durch die 2 getrennten Bereiche im Display, dass dem Maschinenbediener hierdurch sehr einfach und deutlich kommuniziert werden kann, wann er mit der Maschine interagiert und wann mit dem Assistenzsystem. Zudem wird deutlich, wann der Maschinenbediener selbst für die Maschinensteuerung zuständig ist und wann er dies an das Assistenzsystem übergibt. Der erste Eindruck zur prototypischen Umsetzung legt nahe, dass dies durch die Verwendung von Tangibles noch gesteigert werden kann. Es wird erwarte, dass sich durch die klare Trennung der Interfacebereiche, positive Effekte auf die gefühlte Autonomie, Kompetenz und Sicherheit des Nutzers ergeben. Möglicherweise kann dies den Maschinenbediener zu einem explorativen Umgang mit dem System motivieren.

An den beiden Entwürfen zu Variante [a] (Abb. 3) wird deutlich, dass die Auslagerung von Inhalten in die Umgebung nicht zwangsläufig eine klare Trennung in Assistenz- und Maschineninterface bedingt. In beiden hierzu entstandenen Entwürfen werden die Inhalte gemischt über die gesamte Fahrerkabine verteilt. So entsteht zwar eine andere Art der Interaktion und ein Teil der Informationen kann inhaltsbezogen besser verortet und gefunden werden, es ist jedoch nicht zu erwarten, dass der Nutzer hierdurch klarer unterscheiden kann, wann er die Maschine bedient, und wann er mit dem Assistenzsystem interagiert oder dieses die Maschinenbedienung übernimmt. Um diese Anforderung umzusetzen, wäre vergleichbar zu [b] eine konsequente Unterteilung in Bereiche für Maschinensteuerung (z. B. auf dem Terminal) und Assistenzsystem (z. B. AR-basiert auf den Fensterflächen der Kabine) notwendig.

Für die Durchführung konkreter Untersuchungen eignen sich aktuell nur 2 von 5 Prototypen (vgl. Abb.: 6 und 8). Bei allen anderen Implementierungen mangelt es einerseits an Funktionen und es gibt andererseits unklare Überschneidungen zwischen Maschinenterminal und Assistenzsystem. Insbesondere die Entwürfe für ein AR-basiertes Assistenzsystem, welches über Fensterscheiben und Spiegel in die Umgebung des Maschinenbedieners integriert ist eignen sich auf dem aktuellen Stand nicht für eine UX-Untersuchung. Hier sollten Gestaltungsaspekte wie die generelle Sichtbarkeit, Umfang und Art der Informationsdarstellung oder Defizite durch Überlagerungseffekte vorrangig unter dem Gesichtspunkt der Usability untersucht werden.

### **Modifikation der Designvarianten für UX-Bewertung**

Um nachfolgend eine Untersuchung zu den benannten Aspekten der UX durchzuführen wurde System [c] modifiziert und zwei weitere Varianten implementiert. **Variante [c1]** stellt die bereits beschriebene Grundkonstellation dar, bei welcher Maschineninterface und Assistenzinterface über ein gemeinsames Display als integrierte Lösung abgebildet werden. Bei einer (Touch-)Interaktion mit dem Terminal ändert sich die betreffende Ansicht und es werden innerhalb des Maschinenterminals Zusatzinformationen und Vorschläge durch das Assistenzsystem angeboten (vgl. Abb.11, 12). **Variante [c2]** wurde dahingehend modifiziert, dass über eine (Touch-)Interaktion mit dem Terminal auf einem separaten Gerät (Smartphone) Zusatzinformationen und Vorschläge durch das Assistenzsystem angeboten werden (vgl. Abb.13, 14). Die weitere Interaktion erfolgt über das separate Gerät. Die Anzeige auf dem Maschinenterminal bleibt bestehen. Bei **Variante [c3]** wird die Interaktion mit dem Assistenzsystem über das separate Gerät (Smartphone) ausgelöst. Mittels Scan werden Icons sowie Text auf dem Maschinenterminal erfasst, um Zusatzinformationen vom Assistenzsystem Vorschläge für die Maschinenkonfiguration zu erhalten (vgl. Abb.15, 16). Die Interaktion erfolgt somit ausschließlich über das separate Gerät. Die Anzeige auf dem Maschinenterminal bleibt bestehen. Die drei Varianten gleichen sich vollständig im Screenlayout und damit hinsichtlich Abstraktionsgrad und Art der Informationsdarstellung. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Geräteanzahl und der Verortung der Informationen auf den Geräten sowie der Art der Interaktion. Durch das separate Gerät für das Assistenzsystem in [c1] und [c2] wird dieses eigenständiger gegenüber dem Maschinenterminal und zugleich gegenständlicher, was die Präsenz des Assistenzsystems erhöhen soll. Zudem findet eine Verschiebung der Interaktion vom Maschinenterminal zum Assistenzsystem statt, wodurch die Wirkung des Assistenzsystems auf den Nutzer möglicherweise von proaktiv zu reaktiv verändert wird. Je nachdem, wie der Maschinenbediener zw. Ein Proband innerhalb einer Studie die Eigen-

tumsverhältnisse für das Smartphone bewertet, kann dies Einfluss auf die UX-Bewertung haben.

Als zweites System soll Variante [b] (Abb. 6) in den beiden Interaktionsvarianten als Touch-Interface und als Tangible User Interface betrachtet werden. Die beiden Varianten unterscheiden sich einerseits hinsichtlich der Art der Interaktion und andererseits hinsichtlich der Präsenz der zu steuernden Maschinen auf dem Interface. Das Assistenzsystem ist in beiden Varianten gleich umgesetzt. Möglicherweise haben jedoch die unterschiedlichen Maschinenrepräsentationen als Farbflächen auf dem Touch Interface sowie als Tangibles, Einfluss auf das Nutzererleben in gegenüber dem Assistenzsystem.



Bild 11,12: Variante [c1] (Screen Design: Entwurf und Implementierung – F. Pizl)

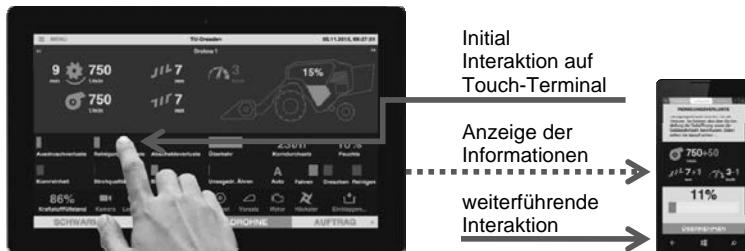


Bild 13,14: Variante [c2] (Screen Design: Entwurf – F. Pizl, Implementierung: S. T. Nguyen)

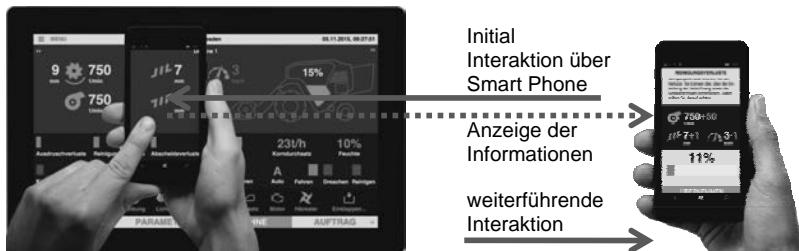


Bild 15, 16: Variante [c3] (Screen Design: Entwurf – F. Pizl, Implementierung: S. T. Nguyen)

## Ausblick – Studienkonzeption für UX-Evaluation der Assistenzsysteminterfaces

Ziel der im Folgenden geplanten Nutzerstudie ist, die gegebenenfalls auftretenden Unterschiede im Nutzererleben in Bezug auf das Assistenzsystem zu erfassen. Hierfür wird den Probanden mittels der Szenarien (vgl. Abb. 1, 2) sowie über den AR-Interface-Entwurf (vgl. Abb. 4) das Interaktionsszenario vermittelt. Darauf aufbauend werden den Versuchsteilnehmern nacheinander je eine Variante für [b] und [c] präsentiert und sie bekommen die Möglichkeit über den explorativen Umgang sowie gezielte Aufgaben das Interface für Maschinenterminal sowie Assistenzsystem zu erkunden. Im Anschluss sollen einerseits UX-Parameter mittels validierter UX-Fragebögen (meCUE, PANAS, Bedürfnisskalen) erhoben werden. Andererseits soll erfasst werden inwieweit, die Versuchsteilnehmer die minimale Unterschiede (z. B. eigenständig vs. integriert) in der Gestaltung des Assistenzinterfaces erleben und beschreiben können. Hierfür wird eine Bewertung der Prototypen, anhand zuvor ermittelter Adjektivpaare zur Beschreibung von Assistenzsystem-Interfaces, vorgenommen. Im Vordergrund einer Untersuchung stehen somit die folgenden Fragen: Können die Unterschiede der Assistenz-Interface durch die Probanden beschrieben werden. Haben die Unterschiede Einfluss auf das Nutzererleben und wenn ja, welchen? Wird eines der benannten Nutzerbedürfnisse besonders durch die variierten Gestaltungsparameter beeinflusst und falls ja, welches? Die Ergebnisse könnten weitere Parameter für gezieltere Gestaltungsempfehlungen zur UI-Gestaltung von Assistenzsystemen im professionellen Kontext liefern.

## Literatur:

- Geisberger, E.; Broy, M. (2012): agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems: Springer-Verlag.
- Haunberger, S. (2013): Agrartechnik zwischen Autonomiegewinn und Anpassungzwang. Ergebnisse einer Expertenbefragung. TA-PROJEKTE. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 22 (2), S. 63–66.
- Hassenzahl, M., Diefenbach, S., & Göritz, A. (2010). Needs, affect, and interactive products—Facets of user experience. *Interacting with computers*, 22(5), 353–362.
- Kautzmann, Timo (2014): Die mobile Arbeitsmaschine als komplexes System: KIT Scientific Publishing.

- Knoefel, A.; Stelzer R.; Groh R. (2014a): Kontextbasierte und nutzergerechte Maschinenbedienung. In: Michael Clasen (Hg.): IT-Standards in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Fokus: Risiko- und Krisenmanagement. 24. - 25. Februar 2014 in Bonn, Germany. Bonn: Ges. für Informatik, S. 81–84. Online verfügbar unter [http://www.gilnet.de/Publikationen/27\\_81.pdf](http://www.gilnet.de/Publikationen/27_81.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2016.
- Knoefel, A.; Stelzer R.; Groh R.; Franke I. S. (2013): The user interfaces of intelligent assistance systems. Functions, Problems and Design Characteristics. In: Consilience and innovation in design. Proceedings and program : 5th IASDR 2013 Tokyo : 24th-30th August 2013, Shibaura Institute of Technology. 5th International Congress of International Association of Societies of Design Research (IASDR). Tokyo, Japan, 26.-30.08.2013. DRS. [Shuppanchi fumei]: 5th International Congress of IASDR 2013.
- Knoefel, A.; Stelzer, R.; Groh, R.; Krzywinski, J. & Herlitzius T. (2014b): Nutzerzentrierte Interfaces für Landmaschinen. Vergleich aktueller Nutzerschnittstellen mit Entwicklungen im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion. In: Conference Agricultural Engineering. Land.Technik 2014 ; Agrartechnik im Dialog mit Politik und Gesellschaft. Conference Agricultural Engineering. Berlin, 19.-20.11.2014. Nichtred. Ms.-Dr. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 2226), S. 237–247.
- Krzywinski, J.; Lorenz S.; Apitz F. (2015): Agricultural HMI-Visions 2020-30. Different concepts for new harvesting systems and user oriented operating solutions. In: Innovations in agricultural engineering for efficient farming. Conference: Agricultural Engineering, Land.Technik AgEng 2015. 978-3-18-092251-5. Hannover, 6.-7. 11.2015. Nichtredigierter Manuskriptdruck (VDI-Berichte, 2251).
- Mahlke, S. (2008). User experience of interaction with technical systems.
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Kim, Y., & Kasser, T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. Journal of personality and social psychology, 80(2), 325.

# Evaluation des Leitstands eines Boden-Luft-Servicerobotiksystems für eine Produktionsumgebung

**Roman Herrmann, M. Sc., Dipl.-Inf. Jens Hegenberg,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt,**  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel

## Kurzfassung

Für ein Servicerobotiksystem, welches teilautonom Arbeitsumgebungs faktoren aufzeichnet sowie Ultraschall- und Thermografiemessungen durchführt, wurde ein mobiler Leitstand konzipiert und realisiert. Der Leitstand besteht aus einem mobilen verstellbaren Montage- und Bildschirmarbeitsplatz für die praktische Vorbereitung, Planung, Überwachung und Dokumentation des Robotereinsatzes sowie einer Datenbrille für die Teleoperation eines Flugroboters. Um die Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstelle des Bildschirmarbeitsplatzes zu evaluieren, wurde eine Untersuchung mit Anwendern in der Produktionsumgebung eines Automobilherstellers durchgeführt. Um die Gebrauchstauglichkeit der Assistenzfunktionen bei der Teleoperation von Flugrobotern zu evaluieren, wurde des Weiteren eine Untersuchung zur Darstellung von Warnmeldungen in Datenbrillen bei einer realen Flugaufgabe durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Verbesserungsmöglichkeiten für die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle auf und geben Gestaltungshinweise für die Darstellung von Warnmeldungen in Datenbrillen.

## 1. Einleitung

Im Zuge steigender Energiekosten sind Unternehmen bestrebt, energieeffizient zu produzieren. Neben der Beleuchtung, Wärmeversorgung oder Kühlung der Produktionsbereiche bieten vor allem regelmäßige Inspektionen von Druckluftkomponenten bisher weitgehend ignoriertes Einsparungspotential. Häufig entstehen schlechte Energiebilanzen durch Undichtigkeiten im Herstell- und Verteilungsprozess. Untersuchungen gehen von typischen Leckraten von 20 bis zu 50 % aus [1]. In metallverarbeitenden Betrieben bieten Isolationsschäden an Hochtemperaturöfen ebenfalls enorme Energieeinsparungspotentiale. Gleichzeitig sind viele Unternehmen auch bestrebt, Verbesserungen der Arbeitsumgebungs faktoren (AUF) über die gesetzlichen Forderungen hinaus zu realisieren. In Produktionsumgebungen gibt es relativ häufig Beschwerden über das Hallenklima (Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Trockentempe-

ratur). Häufig vorgeschrieben sind Lufttemperatur-Messungen ohne Erfassung der Wärmestrahlung oder Luftfeuchte [2]. Auch wenn die per Thermometer gemessene Raumtemperatur in einem akzeptablen Bereich liegt, können Mitarbeiter beispielsweise im Bereich von Außenwänden aufgrund von Kältestrahlung frieren. Unternehmen haben ein hohes Interesse an der frühzeitigen Erkennung solcher verbesslungsfähigen Klimasituationen. Die manuelle Erfassung des Klimas mit einem entsprechenden Gerät aufwändig. Auch bezüglich Lärm sind Unternehmen bestrebt, kontinuierlich Schallpegel in Produktionsumgebungen und an Arbeitsplätzen zu messen. Ziel ist auch hier die frühzeitige Erkennung von Belastungen, die durch Lärm verursacht werden. Solche Belastungen entstehen u. a. durch unregelmäßige, kurzzeitige Spitzenschallpegel (z. B. beim Überfahren von Rampen mit Flurförderzeugen). Zusammengefasst besteht ein Bedarf nach kontinuierlichen Messungen und Kartierungen von Klimafaktoren (Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit und Wärmestrahlung), der Beleuchtungsstärke und des Schallpegels sowie der automatisierten Inspektion von Druckluftanlagen und thermografisch relevanten Anlagen [3]. Um diesen Problemen zu begegnen, wurde im Forschungsprojekt Robotair ein Boden-Luft-Serviceroboter-System entwickelt [4, 5]. Das Mensch-Maschine-System mit (teil-) autonomen mobilen Robotern soll regelmäßige Inspektionen mit einer großen, räumlichen Abdeckung und kurzen Inspektionszyklen bei konstant hoher Inspektionsqualität ermöglichen. Komponenten sind ein bodengebundener und ein luftgestützter Roboter, intelligente Sensor-Module und ein mobiler Leitstand (Bild 1).

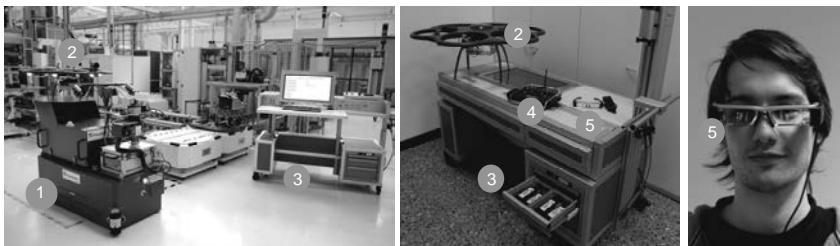


Bild 1: Mobiles Servicerobotiksystem in einer Produktionsanlage, bestehend aus mobilem Bodenroboter (1), Flugroboter (2) und mobilem Leitstand (3). Die vorbereitende Montage des Flugroboters erfolgt am mobilen Leitstand, Steuerung und Überwachung mit konventioneller Fernsteuerung (4) und Durchsicht-Datenbrille (5).

Der Bodenroboter dient der kontinuierlichen teilautonomen Inspektion großflächiger Werkhallen, während der Flugroboter zur manuellen Überprüfung schlecht erreichbarer, hoch gelegener Bereiche dient. Der mobile Leitstand dient der leitenden Kontrolle teilautonomer sowie

der Teleoperation manueller Inspektionen. Letztere werden durch eine Augmented Reality (AR)-Benutzungsschnittstelle in einer Durchsicht-Datenbrille unterstützt, die dem Operator die Sicht auf den Flugroboter und die gleichzeitige Wahrnehmung virtueller Informationen, beispielsweise freier Flugkorridore, erlaubt.

## 2. Mobiler Leitstand

Der mobile Einsatz der Roboter, insbesondere die Teleoperation des Flugroboters auf Sicht, erfordert die Anwesenheit des Operators in der Einsatzumgebung der Roboter. Dort benötigt er Zugriff auf die Benutzungsschnittstelle zur leitenden Kontrolle, um die Messwerte und die autonome Koordination zwischen Boden- und Flugroboter zu überwachen. Außerdem muss er vor Ort zumindest die Fernsteuerung und die Austauschakkus des Flugroboters sowie die Datenbrille für die AR-Unterstützung verfügbar haben. Sollten verschiedene Messkonfigurationen benötigt werden, sind weiterhin die entsprechenden Sensormodule für die nötigen Umbauten mitzuführen. Um diese verschiedenen Aufgaben vor Ort durchführen zu können, wurde ein mobiler Leitstand realisiert, der über diverse Staufächer für den Materialtransport sowie einen höhenverstellbaren Bildschirmarbeitsplatz für die leitende Kontrolle verfügt. Der Leitstand lässt sich außerdem als Montagearbeitsplatz für anfallende Umbauten oder Reparaturen nutzen. Optische und akustische Signalisierungseinrichtungen erlauben eine Warnung bzw. Alarmierung des Operators, während dieser bspw. den Flugroboter steuert. Die Höhe und der Winkel des Monitors sowie die Höhe des Arbeitsplatzes lassen sich elektrisch verstetzen. Der Leitstand verfügt über eine Totmannbremse, um Probleme in unebenen/nicht waagerechten Hallenbereichen zu vermeiden. Die Bremse wird freigegeben, indem die beiden Griffstangen gegeneinander gezogen werden. Der Leitstand kann unabhängig von externer Stromversorgung betrieben werden. Die Auslegung des Leitstands bspw. hinsichtlich der Höhe als Sitz- und Steharbeitsplatz orientiert sich an aktuellen Normen und Richtlinien. Zur Absicherung der ergonomischen Gestaltung wurde eine computergestützte anthropometrische Evaluation des Leitstands bspw. hinsichtlich Greif- und Sichträumen vorgenommen.

### 2.1 Funktionen der Benutzungsschnittstelle des Bildschirmarbeitsplatzes

#### 2.1.1 Planung von Inspektionen

Die Planung einer Inspektion umfasst die Definition von Messungen, die als Aufgaben bezeichnet werden. Mögliche Messungen entsprechen der Erfassung von AUF (Klimafaktoren, Schallpegel und Beleuchtung), Aufzeichnung von 3-D-Modellen der Umgebung und Thermografiebildern sowie Messungen von Ultraschall zur Detektion von Druckluftleckagen. Wäh-

rend die Aufnahme von 3-D-Modellen und Thermografiebildern sowie die Messung von Ultraschall sowohl vom Boden- als auch vom Flugroboter ausgeführt werden können, können AUF nur mit dem Bodenroboter aufgenommen werden. Eine Inspektion wird in einer Planungsansicht definiert, die eine 2-D-Karte des zu inspizierenden Gebiets, bereits in der Inspektion enthaltene durchzuführende Aufgaben und bereits angelegten Aufgaben für das selektierte Areal enthält (Bild 2). Als Funktionen innerhalb der Planungsansicht können neue Messungen eingetragen oder Sperrzonen, Areale in denen die Roboter nicht einfahren bzw. einfliegen dürfen, festgelegt werden. Vorhandene Aufgaben können per Drag-and-drop in die Liste der durchzuführenden Aufgaben für das Areal hinzugefügt werden. Das System berechnet auf Wunsch des Benutzers die kürzeste Route, basierend auf dem kürzesten Pfad zwischen den Aufgaben und visualisiert diesen in der 2-D-Karte.



Bild 2: Benutzungsschnittstelle für die Planung einer Inspektion.

### 2.1.2 Überwachung von Inspektionen

Die Überwachung bei der Durchführung einer Inspektion dient der Sicherstellung der korrekten Funktionsweise in geplanten und unvorhergesehenen Situationen (Bild 3). Dargestellt werden im Echtzeitbetrieb eine 2-D- oder 3-D-Karte mit den geplanten Aufgaben und den Positionen der Roboter, Kamerabilder aus Sicht der Roboter, Statusinformationen der Roboter sowie Messdaten, wie z. B. die AUF. Der Benutzer kann bei Bedarf die Inspektion jederzeit unterbrechen und anschließend wieder fortsetzen.



Bild 3: Benutzungsschnittstelle für die Überwachung einer Inspektion.

### 2.1.3 Dokumentation der Inspektionsergebnisse

Die aufgenommenen Messdaten werden dem Benutzer in der Dokumentations-Ansicht visualisiert (Bild 4). Die Ansicht besteht aus einem Bereich, der die Details der Inspektion zusammenfasst, einem Bereich, der die Ergebnisse der AUF durch Bildung des jeweiligen arithmetischen Mittels sowie der Standardabweichung zusammenfasst, einem Bereich der die Ergebnisse der Ultraschall- und Thermografiemessungen anzeigt sowie einer 2-D- und 3-D-Karte, in denen Positionen von Leckagen und ein in der Katastergröße frei konfigurierbares räumliches Kataster vorhanden ist. Zusätzlich werden die Messwerte der AUF noch in einem zeitlichen Verlauf dargestellt.

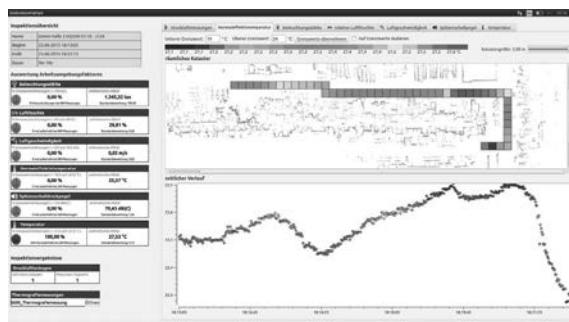


Bild 4: Benutzungsschnittstelle für die Dokumentation einer Inspektion.

## 2.2. Datenbrille zur Unterstützung der Teleoperation des Flugroboters

Während der Teleoperation des Flugroboters sind Blickabwendungen vom Flugroboter zu vermeiden, um Schäden an Personen oder Inventar zu vermeiden. Eine Datenbrille soll da-

her relevante Informationen, wie z. B. Warnmeldungen oder Angaben zur Navigation, direkt in das augmentierte Sichtfeld des Operators einblenden.

### **2.2.1. Darstellung von textuellen Warnmeldungen in Datenbrillen**

Die eingeblendeten Informationen müssen dabei schnell erkennbar und gut lesbar sein, dürfen den Operator aber nicht von der eigentlichen Aufgabe der Steuerung ablenken. Die Literatur weist in diesem Bereich Lücken bezüglich der Informationsdarstellung in Datenbrillen auf [6]. Studien zu Head-Mounted Displays oder Head-Up Displays befassen sich meist mit dem Einsatz dieser in der Luftfahrt und den damit verbundenen Problemen. Prinzel und Risser diskutieren z. B. in einem Forschungsbericht der NASA das Phänomen „attention capture“ als häufige Unfallursache [7]. Durch das fehlende Vermögen, die visuelle Aufmerksamkeit zwischen den zwei Informationsquellen (Display und „äußerer Welt“) zu wechseln, wird die gesamte Aufmerksamkeit auf das Display bzw. dessen Symbolik fokussiert, wodurch die Umgebung außerhalb des Cockpits vernachlässigt wird. Die Auswirkung von drei verschiedenen Arten der Textdarstellung auf die Leistung bei der simulierten Steuerung eines Flugroboters wurde bereits in einer vorangehenden Studie mit simulierten Flügen untersucht [8]. In der Studie konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich verschiedener Darstellung von Warnmeldungen und Flugleistung nachgewiesen werden. Als Grund hierfür wurde die starke Vereinfachung der Flugaufgabe angegeben.

## **3. Vorgehen**

### **3.1. Evaluation der Benutzungsschnittstelle des Bildschirmarbeitsplatzes**

Ziel bei der Gestaltung der Benutzungsschnittstelle war neben Robustheit und Funktionalität eine hohe Gebrauchstauglichkeit nach DIN ISO 9241-110. Die Benutzungsschnittstelle wurde in Laborstudien bereits evaluiert. Um eine hohe Gebrauchstauglichkeit und Intuitivität zu gewährleisten, wurde in einer zweiten Iteration das System mit späteren Anwendern in der Einsatzumgebung evaluiert. Die Probanden bearbeiteten hierfür ein typisches Szenario (Bild 6 links). Anschließend füllten die Probanden den Usability-Fragebogen ISONORM 9241/10 aus, und es wurden bildgestützte und qualitative Interviews mit ihnen geführt.

#### **3.1.1 Beschreibung des Szenarios**

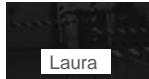
Im Vorfeld des Szenarios wurde eine Inspektionsroute angelegt, die die Probanden bearbeiteten. Die Probanden sollten diese Inspektion zur Bearbeitung öffnen, eine Messaufgabe hinzufügen, eine Messaufgabe aus der Inspektionsroute löschen, eine Baustelle (Sperrzone)

einzeichnen, die Route hinsichtlich der Pfadlängen optimieren und die veränderte Route anschließend speichern. Danach wurde eine aufgezeichnete Inspektionsroute in der Benutzungsschnittstelle abgespielt, bei der die Probanden auf Ereignisse, wie z. B. dem plötzlichen Auftreten einer Person im Nahbereich des Bodenroboters, reagieren sollten. Abschließend mussten die Probanden in der Dokumentationsansicht die Ergebnisse interpretieren. Unter anderem musste die Anzahl der gefundenen Leckagen, Maximalwerte von Spitzenschallpegel und Temperatur ermittelt werden und Grenzwerte neu konfiguriert werden.

### 3.2 Untersuchung der Darstellung textueller Warnmeldungen in der Datenbrille

Für die Untersuchung der Darstellung von textuellen Warnmeldungen bei realen Flugaufgaben fand eine Orientierung an Untersuchungen bzgl. Warnmeldungen beim Führen von Kraftfahrzeugen statt [9]. Untersucht wurden die in der Vorstudie [8] beschriebenen verschiedenen Darstellungen bezüglich der Effektivität und Effizienz (Tabelle 1). Unterschiedliche Reaktionszeiten können unter der Annahme, dass die Reaktionszeit proportional abhängig von der benötigten Zeit zur Wahrnehmung ist, auf die Wahrnehmbarkeit der Einblendungen schließen lassen.

Tabelle 1: Unterschiedliche Darstellung mit Beispielen

Beschreibung	Beispiel ohne Einblendung	Beispiel mit Einblendung
D1: Text hinterlegt mit weißem Hintergrund		 Laura
D2: Text ohne Hintergrund		 Laura
D3: Text hinterlegt auf permanenten Hintergrund		 Laura

#### 3.2.1 Versuchsablauf

Die Probanden mussten mit einem Flugroboter (Bebop Parrot Drone), die mit einem Skycontroller gesteuert wird, einen Parcours im Labor abfliegen und auf Warnmeldungen reagieren (Bild 5 und Bild 6 rechts). Die Reaktionszeiten wurden über Schalter an der Fernsteuerung gemessen, die je nach textueller Einblendung rechts oder links betätigt wurden.

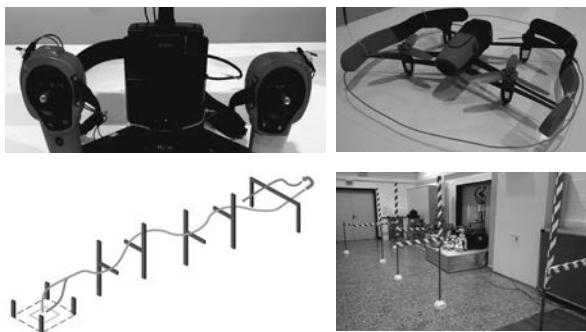


Bild 5: Skycontroller zur Fernsteuerung des Flugroboters, bei dem über den Joysticks Schalter für Benutzereingaben angebracht sind (oben links), verwendeter Flugroboter (oben rechts), schematische Darstellung des abzufliegenden Parcours (unten links), abzufliegender Parcours im Labor (unten rechts).

Zur Analyse der Warnmeldungen werden zwei Teilaufgaben erstellt. Die Wahrnehmungsaufgabe untersucht, inwiefern sich die Darstellungsvarianten bezüglich der Wahrnehmungszeit unterscheiden. Daher wird als Inhalt der Warnmeldung nur das Wort „Warnung“ angezeigt. In einem zweiten Aufgabenteil wird in Anlehnung an [9] eine Leseaufgabe zur Untersuchung der Erkennbarkeit der Warnmeldung erstellt. Diese beinhaltet neben der Wahrnehmung auch das Lesen der Warnmeldungen. Hierzu werden anstelle des Textes „Warnung“ bekannte deutsche Vornamen als Inhalt gewählt, welche die Probanden als weiblich und männlich unterscheiden müssen. Neben der Erfassung von Reaktionszeiten in beiden Aufgabenteilen werden als zweites Merkmal Fehler bzw. die Anzahl richtiger Antworten erfasst. Nimmt ein Proband die Warnmeldung nicht wahr bzw. reagiert nicht darauf, wird dies als Fehler bewertet. Bei der Leseaufgabe werden zusätzlich dazu falsche Antworten ebenfalls als Fehler gewertet (z. B. Einblendung: Peter; Antwort: weiblich). Um den Einfluss der grundsätzlichen Reaktionsschnelligkeit der Probanden zu reduzieren, wurde diese in Basistests erfasst. In diesen sollten die Probanden, jeweils vor den beiden Aufgaben, nur auf die Warnmeldungen reagieren, ohne dass die Flugaufgabe ausgeführt werden muss, und danach den Parcours ohne Warnmeldungen abfliegen. Nach Absolvieren der letzten Leseaufgabe wurde zum Schluss noch einmal der Parcours ohne Warnmeldungen abgeflogen. Pro Flug mit Warnmeldungen wurden vier Warnmeldungen angezeigt, deren Einblendungszeitpunkt variierte, um Lerneffekte zu vermeiden. Der Versuchsablauf umfasste das jeweilige Absolvieren des Basistests vor dem dreimaligen Ausführen der Erkennungs- und Leseaufgabe. Zwischen-

durch wurde die Beanspruchung mittels des NASA-TLX erfasst. Gemessen wurden die Flugzeit für das Absolvieren des Parcours, die Anzahl der Kollisionen mit Hindernissen, die Reaktionszeiten auf Warnmeldungen und die Anzahl an Fehlern bezüglich der Antworten.

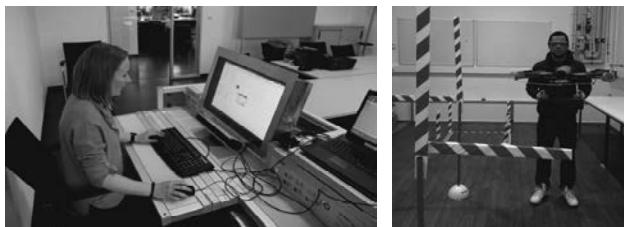


Bild 6: Probanden während des jeweiligen Versuchs: Evaluation der Benutzungsschnittstelle des Bildschirmarbeitsplatzes (links), Untersuchung textueller Warnmeldungen in Datenbrille bei der Teleoperation (rechts).

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Evaluation der Benutzungsschnittstelle des Bildschirmarbeitsplatzes

#### 4.1.1 Auswertung ISONORM 9241/10

An der Evaluation der Benutzungsschnittstelle nahmen 20 Probanden teil. Der Fragebogen ISONORM 9241/10 lässt in sieben Kategorien Antworten zwischen 1 (sehr negativ) und 7 (sehr positiv) zu. Die Ergebnis-Mittelwerte der sieben Kategorien sind mit einer Spanne von höchstens 0,64 um die Neutralbewertung (Zahlenwert 4) lokalisiert. Am schlechtesten schneidet die Kategorie Selbstbeschreibungsfähigkeit ab; am besten die Kategorien Aufgabenangemessenheit und Steuerbarkeit. In der Kategorie Selbstbeschreibungsfähigkeit schnitten die Items „Bietet Erklärung auf Verlangen“ und „Bietet von sich aus Erklärungen an“ mit jeweils einem Mittelwert von 2,8 schlecht ab. Bezuglich der Steuerbarkeit schneidet das Item „Unnötige Unterbrechung bei der Arbeit“ mit einem Mittelwert von 5,5 am besten ab. In der Kategorie „Lernförderlichkeit“ lag der Mittelwert für das Item „Einprägsam“ bei 5.

#### 4.1.2 Auswertung der Interviews und Videos

Die Auswertung der aufgezeichneten Videos beim Lösen der Aufgaben ermöglichte die Bestimmung von Usability-Problemen. 19 Probanden scheiterten beim Speichern der Inspektionsroute. Die Speicherfunktion wurde in der Menüleiste bzw. Panel hinterlegt, die beim verwendeten Ubuntu 14.04 nur bei Überfahren mit der Maus sichtbar wird, ansonsten ist das

Panel ausgeblendet. Weiterhin problematisch war das Einzeichnen von Sperrzonen. Um eine Sperrzone einzulegen, muss ein einfacher geschlossener Pfad erzeugt werden.

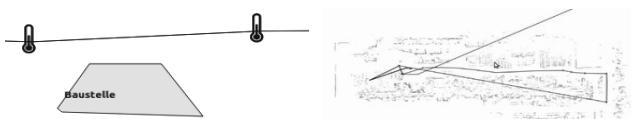


Bild 7: Usability-Problem beim Einzeichnen von Sperrzonen: Korrekt eingezeichnete Sperrzone (links), fehlgeschlagenes Einzeichnen einer Sperrzone (rechts).

#### 4.2 Untersuchung der Darstellung textueller Warnmeldungen in der Datenbrille

An der Untersuchung nahmen 30 Probanden teil, die im Mittel 27 Jahre alt waren ( $M = 27,8$  Jahre;  $SD = 7,6$  Jahre). 22 schätzen ihre Koordinationsfähigkeiten als normal ein und üben wöchentlich oder täglich eine Sportart aus, die ein erhöhtes Maß an Koordinationsfähigkeit erfordert. Die Mehrheit der Probanden gab an, noch keine Erfahrung mit einer Fernsteuerung zu haben. Die Probanden wurden in drei Gruppen zu jeweils 9 Personen aufgeteilt. Jede Gruppe führte die Aufgabe mit genau einer Darstellungsform aus, um Lerneffekte zu vermeiden. Insgesamt konnten pro Gruppe jeweils 27 Flüge ausgewertet werden.

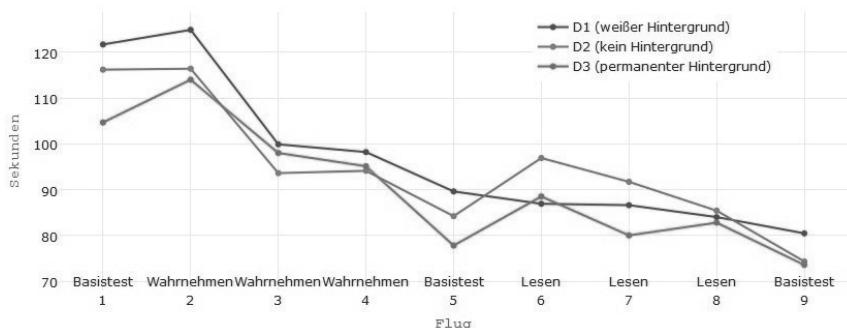


Bild 8: Mittelwerte der Flugzeiten bei den unterschiedlichen Darstellungen.

Bild 8 macht Lerneffekte über die Versuchsdauer deutlich. Der größte Lerneffekt wurde bei Darstellung 1 festgestellt. Der Lerneffekt ist bei Darstellung 1 signifikant größer als bei Darstellung 2 (Games – Howell:  $p = 0,02$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Flugzeiten der drei Darstellungsvarianten konnten nicht identifiziert werden. Die arithmetischen Mittel

der Flugzeiten und der Anzahl der Kollisionen sind in Tabelle 2 gegenübergestellt. Signifikante Unterschiede zwischen den Flugzeiten verschiedener Darstellungen konnten nicht festgestellt werden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der arithmetischen Mittel der Flugzeiten und der Anzahl von Kollisionen bezüglich unterschiedlicher Darstellungen

Darstellung	Wahrnehmungs-aufgabe		Leseaufgabe		Basistest	
	Flugzeiten	Kollisionen	Flugzeiten	Kollisionen	Flugzeiten	Kollisionen
D1 (weißer Hintergrund)	109,6 s	0,63	85,8 s	0,40	96,6 s	0,97
D2 (ohne Hintergrund)	101,4 s	0,27	91,3 s	0,27	91,6 s	0,27
D3 (permanenter Hintergrund)	102,4 s	0,37	84,9 s	0,30	91,5 s	0,40

Bezüglich der verursachten Kollisionen bei der Wahrnehmungs- und Leseaufgabe können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, die der Darstellungsform zuzuordnen sind. Signifikante Unterschiede in den Reaktionszeiten konnten zwischen den einzelnen Darstellungen ebenfalls nicht festgestellt werden. Bezüglich den Fehlern bei der Leseaufgabe konnten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwert des Basistests (keine Fehler) und den folgenden drei Flügen (8,8 % Fehler) mit zu lesenden Warnmeldungen festgestellt werden (Wilcoxon-Test,  $Z = -3,81, p = 0,000$ ). Tendenziell wurden bei Darstellung 1 mehr richtige Antworten gegeben als bei Darstellung 2 (Mann-Whitney-Test,  $U = 26,50, p = 0,075$ ) und als bei Darstellung 3 (Mann-Whitney-Test,  $U = 25,50, p = 0,063$ ). Bezüglich der Beanspruchung konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Tendenziell war die Gesamtbeanspruchung bei Darstellung 1 (NASA-TLX Wert: 53,5) geringer als bei Darstellung 2 (NASA-TLX Wert: 60,6) und bei Darstellung 3 (NASA-TLX Wert: 62,6).

## 5. Zusammenfassung und Diskussion

Hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstelle bestehen noch Verbesserungsmöglichkeiten, die vor einem Produktiveinsatz realisiert werden sollten. Insbesondere die häufigen Fehler beim Speichern und beim Einzeichnen einer Sperrzone sollten bei einer Überarbeitung der Benutzungsschnittstelle beachtet werden. Hinsichtlich der Gestaltung von Warnmeldungen in Datenbrillen bei Flugaufgaben zeigte sich, dass die Darstellung ohne einen permanenten Hintergrund kürzere Flugzeiten ermöglicht als eine Darstellung, die gänzlich auf einen Hintergrund verzichtet. Tendenziell wurden bei der Leseaufgabe bei der

Darstellung ohne einen permanenten Hintergrund weniger Fehler gemacht als bei den Darstellungen mit permanenten Hintergrund und ohne Hintergrund. Insgesamt scheint demnach eine Darstellung mit einem temporären Hintergrund als eine geeignetere Alternative als eine ohne einen oder mit einem permanenten Hintergrund. Die vorliegende Studie liefert somit erste Ergebnisse im Hinblick auf eine geeignete Darstellungsvariante für Warnmeldungen bei realen Flugaufgaben und kann als Grundlage für weitere Untersuchungen und Folgestudien dienen. Die gewonnenen Erkenntnisse können bei Folgestudien berücksichtigt werden, um weitere Erkenntnisse bezüglich der Darstellung von Warnmeldungen in Datenbrillen bei der Steuerung von Flugrobotern zu gewinnen.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IM12007G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

**Literatur:**

- [1] Galitsky, C.; Worrell, E.: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry. Bericht. Berkeley, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, Environmental Energy Technologies Division, 2008
- [2] Technische Regel für Arbeitsstätten (ASR) A3.5 - Raumtemperatur. In: Gemeinsames Ministerialblatt (GMBI 2010, S. 751, zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287)
- [3] Ziegner, D.; Herrmann, R.; Hegenberg, J. & Schmidt, L.: Anforderungsanalyse für ein Boden-Luft-Servicerobotiksystem zur Inspektion von industrieller Druckluftversorgung und Verbesserung von Arbeitsumgebungsfaktoren. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft: 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 2014, S. 115–117
- [4] Hegenberg, J.; Herrmann, R.; Ziegner, D.; Schmidt, L.; Günther, T.; Ordoñez Müller, A.; Kroll, A.; Barz, T. & Schulz, D.: Forschungsprojekt Robotair: Praxistaugliches Boden-Luft-Serviceroboter System für die Inspektion industrieller Druckluftversorgung und die Verbesserung der Arbeitsumgebungsfaktoren. In: Technische Sicherheit 5 (2015), Nr. 5, S. 16–22
- [5] Herrmann, R.; Hegenberg, J.; Ziegner, D. & Schmidt, L.: Mensch-Roboter-Interaktion in einem Boden-Luft-Servicerobotiksystem für die Inspektion industrieller Druckluftversorgung und Verbesserung von Arbeitsumgebungsfaktoren. 4. Wo?-Kongress, Vortrag Gelsenkirchen, 2014
- [6] Livingston, M. A. (2013). Issues in Human Factors Evaluations of Augmented Reality Systems. In W. Huang, L. Alem, & M. A. Livingston (Eds.) Human Factors in Augmented Reality Environments (pp. 3-9). New York: Springer.
- [7] Prinzel, L. J. & Risser, M.: Head-Up Displays and Attention Capture. Springfield, VA: National Technical Information Service, 2004
- [8] Ziegner, D.; Himpelmann, T.; Hegenberg, J.; Herrmann, R. & Schmidt, L.: Informationsdarstellung in Datenbrillen bei der Steuerung eines Flugroboters. In: Wienrich, C.; Zander, T. O. & Gramann, K. (Hrsg.): Trends in Neuroergonomics: 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (Berlin 2015). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2016, S. 33–37
- [9] Friedman, D., Green, P., Tsimhoni, O., & Watanabe, H. (2000). Display of Short Text Messages on Automotive HUDs: Effects of Dirving Workload and Message Location. Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute.



# Integration von Virtuellen Realitäten in industrielle Arbeitsprozesse

## Eine Fallstudie am Beispiel eines 3D-Anlagenmodells und einer Google Cardboard VR Anwendung

Dr.-Ing. **Jens Ziegler**, Dipl.-Ing. **Sebastian Heinze**, Professur für Prozessleittechnik, Technische Universität Dresden

### Kurzfassung

In diesem Beitrag wird am Beispiel einer VR-Anwendung für eine 3D-Umgebung einer verfahrenstechnischen Versuchsanlage demonstriert, wie VR-Anwendungen sinnvoll in mobile IT-gestützte Arbeitsabläufe integriert werden können. Es wird dargelegt, wie derartige Anwendungen generiert und verteilt und auf handelsüblichen Endgeräten ausgeführt und genutzt werden können. Dabei werden ein 3D-CAD Modell einer Versuchsanlage im industriellen Maßstab, welches im Rahmen des Detail-Engineering Prozesses routinemäßig erstellt worden ist, sowie die als Linked Data semantisch aufbereiteten Engineering-Daten der Anlage genutzt um ein mobiles Informationssystem auf einem handelsüblichen Smartphone in Verbindung mit einer Zeiss-VR-One Brille und einem speziellen Bediengerät zu realisieren. Das Resultat ist eine vollständig explorierbare, mittels Linked Data dynamisch mit Informationen angereicherte virtuelle Repräsentation dieser Anlage für den Einsatzzweck der Störungsbehebung im Rahmen der Anlageninstandhaltung. Alle dafür notwendigen Entwicklungsschritte sowie mögliche Einsatzszenarien werden in diesem Beitrag erläutert.

### Abstract

This paper presents a case study of a Virtual Reality application creating a 3D environment of a pilot process plant. The application is based on an ordinary 3D-CAD model and a semantic description of the plant and is running on a consumer smartphone in a Zeiss VR headset and a special control unit. As a result, the user can explore a virtual representation of the plant that is dynamically enriched by engineering and process data that is relevant for the maintenance and troubleshooting tasks at hand. All necessary development steps as well as possible usage scenarios for such a system will be described in this article.

## 1. Einführung

Die Nutzung Virtueller Realitäten (VR) hat sich in den Bereichen Produktentwicklung und Simulation inzwischen zu einem Standardverfahren entwickelt. Dazu kommen neben komplexen CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) Umgebungen zunehmend auch tragbare VR-Systeme zum Einsatz. Für die Mensch-Technik-Interaktion ergeben sich dadurch erhebliche neue Gestaltungsmöglichkeiten. Durch die stereoskopische Darstellung kann einerseits die menschliche Tiefenwahrnehmung genutzt werden, und durch die Verfolgung der Kopfbewegung (Headtracking) können außerdem Inhalte allein über den Blick-Fokus angewählt werden. Reale und bekannte Elemente können in die virtuelle Realität eingebunden und dort mit neuen Inhalten verknüpft werden. Anwender können sich so schneller einarbeiten und anschließend Aufgaben effektiver bearbeiten.

Für eine Nutzung tragbarer VR-Systeme im industriellen Einsatz ist es unabdingbar, dass von den eingesetzten Arbeitsmitteln eine möglichst geringe Belastung und keine Gefährdung des Anwenders ausgehen, und dass sie bedarfsgerecht und sicher verwendet werden können. Ob tragbare VR-Systeme diese Anforderungen prinzipiell erfüllen können, bedarf derzeit noch weitergehender Untersuchungen. Einen wirklichen Mehrwert bieten Arbeitsmittel nur dann, wenn sie nutzbringend in die bestehenden Arbeitsabläufe integriert werden. Tragbare VR-Systeme können heute aus handelsüblichen Smartphones und einiger zusätzlicher Hardware für die Optik und zusätzliche Eingabemöglichkeiten aufgebaut werden. Daher erscheint eine Integration in bereits IT-gestützte mobile Arbeitsabläufe (vgl. [1]) durchaus zielführend. Hierbei ist zu untersuchen, inwieweit heute verfügbare technische Lösungen zu diesem Zweck geeignet sind und welche Nutzungsszenarien sich dafür entwickeln lassen.

## 2. Stand der Technik

Die VR-Technologie kann als 4D-Simulation von Teilen der realen Welt verstanden werden, mit einem dreidimensionalen Abbild des Raums und einer zeitlichen Dimension der Veränderung und Interaktivität dieses Raums [2]. Virtuelle Realitäten können hardware-basiert sein (z.B. Head Mounted Displays, Datenhandschuhe etc.) oder PC-basiert (unter Verwendung üblicher Zusatzgeräte wie Tastatur und Maus), wobei erstere eine wesentlich höhere Immersion erzeugen, dafür jedoch technisch wesentlich aufwändiger sind.

Erste Virtual Reality Anwendungen entstanden ab den 1960er Jahren in unterschiedlichen Konfigurationen [4], [5]. Professionelle Anwendungen umfassten insbesondere militärische [6] und zivile [7] Trainingsszenarien. Neben dem Einsatz von VR-Brillen existieren auch Ansätze zur Nutzung von Projektionen zur Erstellung einer Virtuellen Umgebung [8]. In der Consumer-Technik konnten sich jedoch lange Zeit keine Produkte durchsetzen.

Einen großen Popularitätsschub für Virtual Reality Anwendungen startete die VR-Brille Oculus Rift in 2012 [9], in dessen Folge viele Hersteller ein eigenes VR-Headset präsentierten. Einen anderen Ansatz wählte Google mit dem 2014 präsentierten Cardboard Konzept [10]. Anstatt einer vollständig integrierten Lösung wird das eigene Smartphone verwendet und die VR Brille wird zu einer sehr simplen und günstigen Konstruktion. Neben dem von Google vorgeschlagenen Cardboard-System existieren auch Lösungen, die auf Basis der Cardboard-Idee Smartphone-Halterungen mit Linsensystemen darstellen [11]

Derzeitige Entwicklungen befassen sich in hohem Maße mit dem Erhöhen der Immersion durch ein übergangsfreieres Einbinden in die sensomotorische Welt des Nutzers [12].



Bild 1: Handelsübliche Komponenten eines tragbaren Virtual Reality Systems

### 3. Einsatzszenarien für tragbare VR Systeme im industriellen Einsatz

Die starke Automatisierung und Digitalisierung von industriellen Produktionsanlagen hat Zahl der Arbeitsaufgaben direkt an und in den Anlagen in vielen Branchen erheblich reduziert. In automatisierten Anlagen finden Arbeiten direkt an und in der Anlage hauptsächlich im Rahmen des Aufbaus, der Inbetriebnahme und der Instandhaltung statt, während der eigentliche Betrieb automatisiert oder entfernt durchgeführt wird. Dadurch ergeben sich Diskrepanzen bei der aktuellen Lagebeurteilung der verteilten Akteure, da sich die Informations- und Wahrnehmungsräume teils erheblich voneinander unterscheiden. VR-Systeme können hier einen realen Arbeitsraum virtuell abbilden, der dann allen Beteiligten gleichsam zur Verfügung steht. Damit kann ein gemeinsames Lageverständnis (Team Situation Awareness) geschaffen werden, wie es mit heutiger Sprach- und Datenübertragung nicht möglich ist [12].

Virtuelle Realitäten erlauben es, komplexe Planungsdaten hochverdichtet und dennoch leicht durch das visuelle Wahrnehmungssystem wahrnehmbar darzustellen. Im Vergleich zu zweidimensionalen Darstellungen entfällt die kognitive Übertragungsleistung auf den dreidimen-

sionalen Zielraum, und die darstellbare Informationsmenge und -dichte steigt durch den größeren Darstellungsraum und die zusätzlichen Darstellungsmöglichkeiten (z.B. durch Animationen und Bewegungsdynamik) erheblich. Zudem können die virtuellen Umgebungen durch synthetische Darstellungsmittel wie Diagramme, Texte oder Digitalanzeigen angereichert werden um zusätzliche Daten aus der Planung oder dem aktuellen Betrieb zu vermitteln. Durch einfache separate Bediengeräte können auch komplexe Virtuelle Umgebungen ohne größeren Aufwand virtuell durchschritten und erkundet werden.

Prozesssimulationen, Systemverhalten und Fehlerbilder lassen sich ebenfalls simulativ in die Virtuelle Realität integrieren. Damit können tragbare VR-Systeme können im täglichen Betrieb von Anlagen vielfältig eingesetzt werden, von der (ggf. kollaborativen) Analyse von Symptomen zur Diagnose und Therapieauswahl bis hin zur konkreten Handlungsunterstützung durch Spezialisten in der (in diesem Fall geteilten) Virtuellen Realität. So können die Baumaßnahmen, Inbetriebnahmeaufgaben oder Störungsbilder zunächst gefahrlos und vergleichsweise aufwandsarm virtuell erarbeitet und analysiert, Lösungsstrategien entwickelt und getestet, und mit den geplanten Maßnahmen verbundene Folgen bewertet werden. Ebenfalls können bei komplexen Aufgaben zunächst Lösungsstrategien durch Expertenteams entwickelt werden (z.B. in einer CAVE-Umgebung) und anschließend an die Umsetzer vor Ort übermittelt werden. Diese können sich zunächst in der Virtuellen Realität auf die Umsetzung vorbereiten, bevor sie an die reale Anlage gehen. Derartige Konzepte wurden unter anderem im Projekt ManuVAR über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage hinweg untersucht [14].

Weiterhin können VR-Systeme intensiv für Schulungs- und Trainingsaufgaben eingesetzt werden. Durch die Nachbildung der realen Anlage einschließlich Prozess- und Systemverhalten können normale und abnormale Situationen eingehend studiert und geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Nach dem gleichen Prinzip können auch konkrete Maßnahmen an der Anlage (z.B. Reparaturen) geplant, geprüft und erprobt werden. Dies wird für die Instandhaltung in extremen Umgebungen derzeit unter anderem im Projekt EDUSAPE umfassend untersucht [15].

## 4. Fallstudie

### Zielstellung

Im Rahmen einer Fallstudie wurde ein VR-System zur Unterstützung von Instandhaltungsaufgaben in der Prozessindustrie entwickelt. Die Grundlage dafür bildet das Gerätezentrum für Automatisierungstechnik, eine Kleinfeldversuchsanlage im reduzierten technischen Maßstab. Für die Anlage stehen die Konstruktionsdaten, Instandhaltungspläne sowie ein para-

metrisches 3D-CAD Modell zur Verfügung. Als Zielsystem wurde ein *Google Android* basiertes Smartphone mit darauf laufender *Google Cardboard* Anwendung gewählt, daher muss das 3D-Modell in die dafür eingesetzte *Unity Game Engine* überführt werden. Die weiteren Daten stehen als Linked Data zur Verfügung und sollen dynamisch in die Anwendung geladen und geeignet in der Virtuellen Realität dargestellt werden. Die Steuerung soll über *Google Cardboard* und einen mittels Bluetooth-HID eingebundenen Controller realisiert werden. Dazu wurden drei verschiedene Bedienkonzepte für eine spätere Evaluation umgesetzt.

### Modellüberführung und Szenenerstellung

Die zur Verfügung gestellten 3D-Modelle wurden mit *DS Solidworks* erstellt welches das CAD-Modell parametrisch beschreibt und standardmäßig in dem Binärformat „.sldprt“ speichert. Diese Daten müssen zunächst in ein polygonales Netz umgewandelt werden, um eine effiziente Darstellung durch die von *Google Cardboard* eingesetzte *Unity Game Engine* zu ermöglichen. Diese Umwandlung ist nicht trivial und bestimmt maßgeblich den späteren Speicherverbrauch und die Verarbeitungsgeschwindigkeit der VR-Anwendung. Entsprechend sorgfältig muss das Modell überführt und aufbereitet werden. Zunächst wird das Modell mit grober Auflösung in das STL-Format exportiert, wobei die Baugruppen separat gespeichert werden um später eine Interaktion und individuelle Behandlung zu ermöglichen. Beim Export werden keine Texturkoordinaten erstellt. Die Normalen werden hingegen mit exportiert. Die damit erfolgte Konvertierung in ein Netzbasiertes Dateiformat ist noch selten von guter Qualität und hat - abhängig vom Modell - meist zu viele Vertices für eine interaktive Anwendung auf einem Smartphone. Daher wird das exportierte Mesh mit einem geeigneten Werkzeug aufbereitet (z.B. *Blender* oder *Meshlab*), was prinzipiell manuell oder automatisiert erfolgen kann. Aufgrund der Komplexität typischer Anlagenmodelle ist letzteres anzustreben. Hier wurde der in der 3D-Grafiksuite *Blender* integrierte Modifier *Decimate* eingesetzt, um das Modell zu retopologisieren. Das Werkzeug wird weiterhin genutzt, um das Modell inhaltlich zu strukturieren, bislang nicht enthaltene Objekte zu ergänzen sowie um die Objekte neu zu texturieren. Das Ergebnis wird aus *Blender* im Filmbox (fbx)-Format exportiert.

In Unity werden die einzelnen Objekte in der Szene, die *GameObjects*, hierarchisch angeordnet. Die Engine greift auf diese Objekte zu, führt Standardaktionen aus und wendet objektbezogene Skripte an. Darüber werden das Verhalten der Objekte und deren Interaktion mit der Engine durch den Entwickler festgelegt. Entsprechend der Hierarchie können so system-, gruppen- oder elementweite Funktionen ausgeführt werden. Der so entstandenen Szene werden nun weitere Objekte wie Beleuchtung, Raum, Walkplane und der *Google Cardboard-Player* hinzugefügt. Dabei werden von Google für Unity verschiedene vorgefertigte

Objekte und Skripte bereitgestellt (z.B. für Headtracking und Stereo-Rendering), die nur importiert werden müssen [2]. Bild 2 zeigt die resultierende Objekthierarchie der Szene.

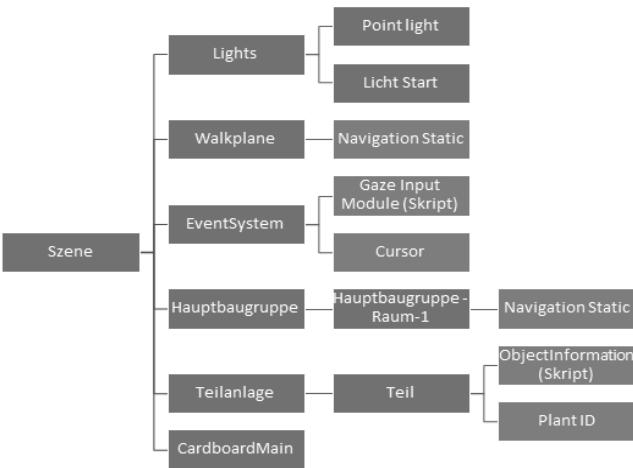


Bild 2: Übersicht des Szenenaufbaus (Blau: vollständige Spielemente; Orange: durch Skripte oder Programmoptionen beschriebene Merkmale und Eigenschaften)

Anschließend wird ein physikalisches Modell für die Kollisionserkennung in der virtuellen Realität erzeugt. Aufgrund die Komplexität des Anlagenmodells ist eine volle Kollisionserkennung extrem aufwändig. Stattdessen werden verschiedene Unity-Komponenten zur Vereinfachung verwendet. *NavigationMesh* definiert eine Ebene, auf der sich der Anwender bewegen kann. *NavMeshAgent* ermöglicht eine automatische Pfadfindung auf der Fläche zwischen definierten Punkten auf der Bewegungsebene (Walkplane). Für interaktive Gegenstände realisiert *MeshCollider* die Kollisionserkennung auf Basis des Mesh. Für komplexere Strukturen erstellt *BoxCollider* die kleinstmögliche Box um das Objekt entlang der Achsen (Bounding Box), was die Kollisionserkennung stark vereinfacht.

## Interaktion

Der Anwender kann sich in der Virtuellen Realität umsehen, bewegen und Objekte anwählen. Dazu werden unterschiedliche reale und virtuelle Steuerelemente eingesetzt. Als reales Steuerelement kommt ein Joystick mit vier Tasten zum Einsatz (Bild 3). Als virtuelle Steuerelemente stehen dem Anwender das Headtracking und ein virtuelles Steuerpult zur Verfügung, das sechs Tasten und zwei virtuelle Anzeigen bereitstellt.

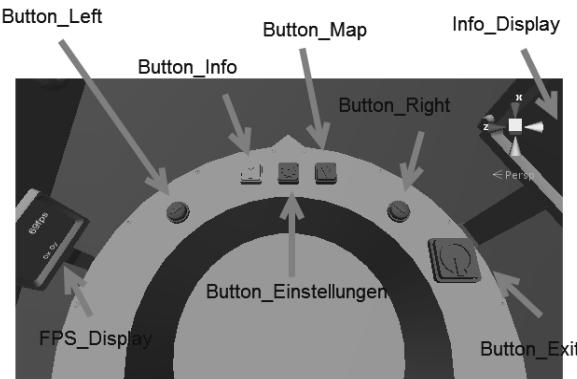


Bild 3: Links: Realisierung des Steuerpults; Rechts: Bluetooth-HID fähiger Joystick

Das Umsehen wird vollständig über den Headtracker realisiert. Bewegen kann sich der Anwender mithilfe des Joysticks und, je nach Bedienvariante, durch die Blickrichtung. In der Variante 1 bewegt sich der Anwender grundsätzlich translatorisch in Blickrichtung. Seitliche Auslenkung des Joysticks führen zu einer seitlichen translatorischen Bewegung. In der Variante bewegt sich der Anwender grundsätzlich translatorisch in die aktuelle Ausrichtung des Steuerpults. Seitliche Auslenkung des Joysticks führen zu einer Rotation des Steuerpults. Mithilfe des sogenannten *Gaze-Cursors* kann der Anwender virtuelle Elemente auswählen. Dazu sieht der Anwender das entsprechende Objekt an und drückt eine Taste am Joystick. Der *Gaze-Cursor* wird mit dem vorgefertigten Element *EventSystem* und dem Skript *GazeInputModule* realisiert. Anwählbar sind alle Objekte mit einem Kollisionsmodell. Zur Minimie-

rung des Berechnungsaufwands wurden für alle selektierbaren Objekte wiederum Bounding Boxes verwendet. Die Tasten des Steuerpults werden ebenfalls über den Gaze-Cursor bedient. Bild 4 zeigt einen Screenshot der Anwendung mit Gaze-Cursor und angewähltem Element. Die Tasten auf dem Steuerpult sowie auf dem Joystick sind teilweise redundant ausgelegt und ermöglichen zum einen die Bewegung in der Virtuellen Realität und zum anderen das Wechseln in verschiedene Extra-Menüs, zum Beispiel für Einstellungen oder für die Übersichtsdarstellung der Gesamtanlage (Bird View).

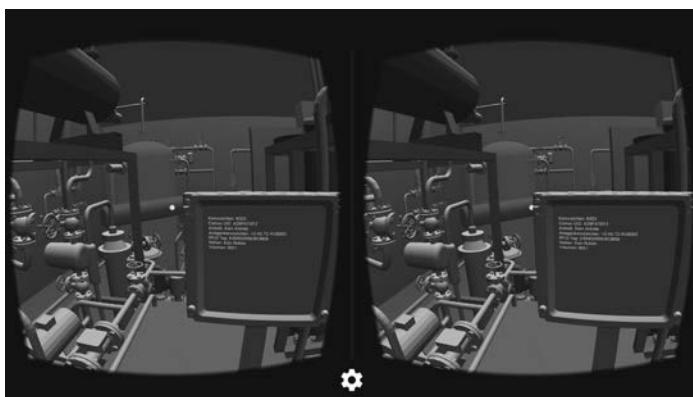


Bild 4: VR-Anwendung mit Gaze-Cursor (gelb), derzeit ausgewähltem Element (grün) und per Gaze Cursor angewähltem Element (rot); rechts im Bild zu sehen ist die Virtuelle Anzeige mit den Informationen zum angewählten Element

### Datenanbindung und Anzeige von transienten Daten

Wählt der Nutzer ein Objekt aus, werden dessen Konstruktions- und Instandhaltungsdaten angezeigt. Diese werden asynchron über eine SparQL-Schnittstelle von einem *Virtuoso Triple Store* abgefragt. Sobald die Daten komplett geladen sind, wird der Text formatiert und auf der virtuellen Anzeige (Info Display) am Steuerpult angezeigt (Bild 4). Dafür wurde in Unity jedem Element mit einer *ObjectInformation* manuell eine feste *plantID* zugewiesen. Die direkte Einblendung des Textes in die Virtuelle Realität wurde zunächst ebenfalls implementiert, erwies sich jedoch in der Erprobungsphase als ungeeignet, da sich erhebliche Kontrast- und Fokussierungsprobleme zeigten. Die konkrete Ausgestaltung synthetischer Darstellungsmittel ist grundsätzlich stark abhängig von der darzustellenden virtuellen Umgebung und der zu unterstützenden Arbeitsaufgabe. Alternative Darstellungsmittel können jedoch prinzipiell auf die gleiche Weise erzeugt werden. Wie in zu erkennen ist, ist das Steuerpult bei horizontalem

Blick in die Anlage mit Ausnahme der virtuellen Anzeigen nicht in der Blicklinie des Anwenders und beeinträchtigt damit nicht die Immersion der Simulation. Durch einfaches Senken des Kopfes kann der Anwender die Bedienelemente des Steuerpults nutzen.

## 5. Diskussion

Arbeiten vor Ort werden bereits heute erfolgreich durch mobile IT unterstützt, wobei vermehrt auf handelsübliche Mobilgeräte zurückgegriffen wird. Diese Mobilgeräte können im vorgestellten Ansatz unmittelbar für das VR-Headset genutzt werden. Es ist auch denkbar, die VR-Anwendung in ein orchestriertes Unterstützungssystem bestehend aus einer Reihe von miteinander vernetzten mobilen Anwendungen (Mobile App Ensemble, [16]) zu integrieren. Dadurch entsteht ein sogenanntes *Cross-Device-Interaction* Szenario, welches beispielsweise durch Wearables wie Smartwatches weiter ausgebaut werden kann [17].

Die Durchführung von Team-Meetings zur Planung, Kontrolle oder Lösungsentwicklung in CAVE-Umgebungen ist heute bereits gebräuchlich. Durch die Nutzung tragbarer VR-Systeme lassen sich die virtuellen Realitäten jedoch bedarfsgerecht und ortsungebunden nutzen. Ist eine CAVE bereits vorhanden, können die dort erarbeiteten Lösungen zudem direkt an das tragbare VR-System übermittelt werden, was unmittelbar zu einem gemeinsamen Lageverständnis führt, da alle Beteiligten die gleiche Virtuelle Realität teilen.

Prinzipiell sind die Kosten für Anschaffung und Betrieb der vorgestellten Lösung um ein Vielfaches geringer als für eine CAVE. So sind die notwendigen Ausgangsdaten in digitalisierten Anlagen bereits vorhanden, die Transformations- und Bearbeitungswerkzeuge sind teilweise kostenfrei, und die Kosten für die Hardware-Ausstattung liegen im niedrigen vierstelligen Bereich. Der Hauptkostenpunkt von VR-Lösungen liegt heute bei der Pflege und Bereitstellung der VR-Modelle. Hier eröffnet sich ein großes Potenzial für spezialisierte Dienstleister, die aufgrund ihrer Expertise und Infrastruktur die notwendigen Dienstleistungen deutlich kosten-effizienter anbieten können.

## 6. Zusammenfassung

Es wurde anhand einer Fallstudie der 3D Anlagenmodellierung eine Möglichkeit vorgestellt, mittels kommerziell verfügbarer Geräte eine modellierte Umgebung zu visualisieren, die es neben der Modellexploration auch ermöglicht verschiedene Datenquellen dynamisch zu integrieren. Durch die Nutzung von handelsüblichen (Commercial-Off-The-Shelf) Produkten reduzieren sich die Systemkosten, die anfallenden Aufwände liegen nun im Wesentlichen bei der VR-Modellerstellung und -pflege. Da diese bedarfsgerecht erstellt werden können (model

on demand), ist die Kapitalrendite erwartbar deutlich positiver als bei bisherigen Speziallösungen. Darin liegt der wesentliche Mehrwert des vorgestellten Ansatzes.

### **Danksagung**

Wir danken den Herren Roy Ledermüller, Andreas Peetz, Jesus Espinosa Enriquez und Felipe Galarza Jimenez für die technische Umsetzung der Fallstudie.

## Literatur

- [1] Ziegler, J.: Wearables im industriellen Einsatz – Befähigung zu mobiler IT-gestützter Arbeit durch verteilte tragbare Benutzungsschnittstellen., TU Dresden Diss. 2016
- [2] Ong, S.K. & Nee, A.Y.C.: Virtual and augmented reality applications in manufacturing. Springer Science & Business Media 2013
- [3] Unity Developer Guide. <https://developers.google.com/cardboard/unity/guide>
- [4] Sutherland, I.: A head-mounted three dimensional display. In: Proc. AFIPS '68 (Fall, part I) Proc. of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I 1968
- [5] US Patent 2955156, <https://www.google.com/patents/US2955156> 1960
- [6] Moshell, M.: Three views of virtual reality: virtual environments in the US military. In: IEEE Computer 26(2), 1993
- [7] Hamilton, E.C. et. al.: Comparison of video trainer and virtual reality training systems on acquisition of laparoscopic skills. In: Surgical endoscopy 16(3), 2002
- [8] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A.: Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In: Proc. SIGGRAPH 1993. ACM
- [9] Oculus Rift Homepage, <https://www3.oculus.com/en-us/rift/>
- [10] Google Cardboard Homepage, <https://vr.google.com/cardboard/>
- [11] Zeiss VR One, <http://zeissvrone.tumblr.com/>
- [12] Magic Leap Homepage, <https://www.magicleap.com/#/home>
- [13] Endsley, M.R. & Jones, W.M.: A model of inter- and intrateam situation awareness: Implications for design, training and measurement. In: New trends in cooperative activities: Understanding system dynamics in complex environments. HFES 2001.
- [14] ManuVAR – Manual Work Support throughout System Lifecycle by exploiting VR/AR. An EC FP7 Integrated Project. <http://www.manuvar.eu/>
- [15] EDUSAFAE – Education in advanced VR/AR Safety Systems for Maintenance in Extreme Environments. A Marie Curie ITN project. <http://edusafe.web.cern.ch/edusafe/>
- [16] Pfeffer, J. & Urbas, L.: Towards formal modeling of App-Ensembles. In: Workshop on Formal Methods in Human Computer Interaction, ACM EICS 2015. ACM
- [17] Ziegler, J.; Graube, M.; Heinze, S.; Hensel, S. & Urbas, L.: Using Semantic and Responsive Web Design Technologies for Cross-Device Interactions in Industrial Applications. In: Cross Surface Workshop, ACM ITS 2015. ACM



## MotionEAP – Ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion

**Thomas Kosch, M.Sc., Romina Kettner,**  
**M.Sc., Dipl.-Inf. Markus Funk, Prof. Dr. Albrecht Schmidt,**  
Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart

### Kurzfassung

Der Trend eine hohe Anzahl von gleichen Bauteilen in Serie herzustellen bewegt sich weiter weg in Richtung individueller Herstellung von Bauteilen nach den Wünschen der Kunden. Dies erzeugt neue Herausforderungen für Produktionsstätten, da oft nur ein geringer Bedarf von speziell angefertigten Bauteilen besteht. Entsprechend müssen Montagevorgänge angepasst werden. MontagearbeiterInnen müssen daher oft neue Arbeitsabläufe mit unterschiedlichen Arbeitsanleitungen zur Produktion von Bauteilen mit geringer Losgröße erlernen. Dies hat einen kognitiven Mehraufwand zur Folge, welcher die Qualität der produzierten Bauteile beeinflussen und Auswirkungen auf die Herstellungszeit haben kann. Das Ziel des Projekts motionEAP besteht darin, ein System zu entwickeln, welches sowohl Montageanleitungen als auch eine Verbaukontrolle auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion bereitstellt. MotionEAP ist in der Lage, Arbeitsabläufe und Montageanleitungen zu erlernen, um MontagearbeiterInnen entsprechend mit projizierten Feedback zu unterstützen. Zusätzlich stellt motionEAP mit Hilfe einer Tiefenkamera eine Verbaukontrolle bereit, um MontagearbeiterInnen auf Verbau- oder Eingriffsfehler hinzuweisen. Darüber hinaus wurden Studien durchgeführt, um die Effizienz von motionEAP bezüglich gemachter Fehler, benötigter Zeit sowie kognitivem Aufwand zu untersuchen.

### 1. Einleitung

Produktionsstätten erleben durch die Profilierung verschiedener Technologien eine Veränderung traditioneller Produktionsprozesse. Insbesondere mit Hinblick auf die Entwicklung der Industrie 4.0, stellt sich ein Trend weg von der Massenproduktion zu individuellen Produkten mit geringen Losgrößen ein. Davon sind unter anderem manuelle Montagerbeitsplätze betroffen, welche bei MontagearbeiterInnen in einen kognitiven Mehraufwand resultieren können. Gleichzeitig werden Technologien, wie beispielsweise Assistenzsysteme, dazu benutzt um MontagearbeiterInnen in neue Produkte einzulernen und die kognitive Belastung zu verringern [2].

2013 initiierte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie das Projekt motionEAP<sup>1</sup>, welches mit Hilfe einer Tiefenkamera Bewegungen sowie den Verbau von Teilen durch einen MontagearbeiterIn erkennt, um entsprechendes Augmented Reality basiertes Feedback auf den Arbeitsplatz zu projizieren. Das Konsortium des Projekts setzt sich sowohl aus Industriepartnern (Audi AG, Schnaithmann Maschinenbau GmbH, GWW – Gemeinnützige Werkstätten und Wohnstätten GmbH, BESSEY Tool GmbH & Co. KG, KORION Simulation & Assistive Technology GmbH, Robert Bosch GmbH) sowie Forschungspartnern (Hochschule Esslingen, Universität Stuttgart) zusammen. Primär beschäftigt sich das Projekt mit den folgenden Aspekten: Kognitive Unterstützung für MontagearbeiterIn in der manuellen Montage durch die Augmentierung des Arbeitsplatzes mittels Projektion und die Diskussion von ethischen Sichtweisen, welche bei einem Einsatz eines Assistenzsystems mit kognitiv beeinträchtigten MontagearbeiterInnen von Relevanz sind [1].

Während der Laufzeit des Projekts entstanden verschiedene Prototypen unter Berücksichtigung der Anforderungen eines einzelnen Montagearbeitsplatz, kooperativer Montagearbeitsplätze sowie verschiedener Augmented Reality basierter Assistenzsysteme bei der Kommissionierung (siehe Abbildung 1).

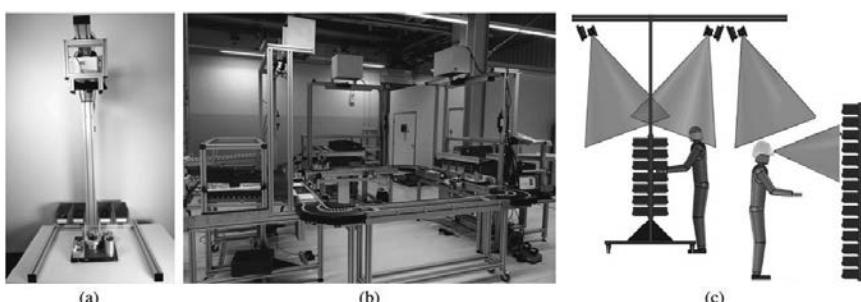


Bild 1: Konstruierte Prototypen: (a) Einzelner Arbeitsplatz bestehend aus einer Kinect v2 zur Verbau- und Entnahmeerkennung und einem Projektor zur Bereitstellung von Arbeitsanleitungen und Feedback, (b) Montagezelle bestehend aus drei Kamera-Projektor Systemen, (c) Schematische Darstellung mobiler projektionsbasierter Unterstützung während Kommissionierungsprozesse.

<sup>1</sup> [www.motioneap.de](http://www.motioneap.de)

## 2. Kognitive Unterstützung während manueller Montageprozesse

Mittels motionEAP werden dem/der MitarbeiterIn Montageanleitungen in Form von Projektionen auf der Arbeitsfläche angezeigt (siehe Abbildung 2). Über diese Hilfestellung bekommt der/die MitarbeiterIn Feedback bezüglich der korrekten oder fehlerhaften verbauten Montageteile nach jedem Montageteil.

tageschritt sofort angezeigt. Entnimmt der/die NutzerIn ein falsches Einzelteil aus dem

Kleinteil-Ladungsträger wird anstelle des grünen, ein rotes Licht auf die Box projiziert. Nach demselben Prinzip erfolgt das Feedback bezüglich der korrekten Montage auf einem Werkstückträger im Montagebereich. Eine der Besonderheiten von motionEAP ist die präzise Lokalisierung des zu verbauenden Montageteils, wie beispielsweise die Erkennung einer fehlenden Schraubenunterlegscheibe. Durch den Einsatz einer Tiefenerkennungskamera ist das System in der Lage innerhalb kürzester Zeit auf Fehler in Auswahl oder Montage von Bauteilen zu reagieren und kontextbewusstes Feedback zu geben.



Bild 2: Ein Arbeitsplatz benutzt motionEAP um projizierte Feedback zur Montageassistenz einzublenden.

Zur Evaluation von motionEAP wurden verschiedene Studien durchgeführt. So konnte zunächst eine Steigerung der Effizienz bei gleichzeitiger Reduktion von Fehlern mit projektionsbasierten Montageanleitungen festgestellt werden [3]. Dazu nahmen 64 Teilnehmer an einer Studie teil, in der projektionsbasierte Montagenanleitungen gegen Piktogramme evaluiert wurden. Zusätzlich wurde die Darstellung einer Montageanleitung mittels Projektion mit projizierten Videoanleitungen verglichen. Häufig war zu beobachten, dass sich nach kurzer Zeit ein Lerneffekt bei den Probanden einstellte [4]. Als einen weiteren Themenschwerpunkt lässt sich Adaptivität betrachten. Um diese Nutzerzentriert zu gestalten, werden sogenannte Key Performance Indicators (KPI), wie beispielsweise mit Anzahl der gemachten Fehler und lange Wartezeiten zwischen den einzelnen Montageschritten, erfasst. Als eine weitere Komponente in der Anpassung der Adaptivität wurden externe Parameter erhoben. So wurden physiologische Messungen durchgeführt, um beispielsweise die Hautleitfähigkeit der Montage-

arbeiter zu erfassen und daraus die kognitive Last abzuleiten. Aus den Ergebnissen wurden Designentscheidung für eine intelligente adaptive Umgebung abgeleitet [4]. In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass leistungsgeminderte Arbeiter mit Hilfe projektionsbasierter Montageanleitungen sehr

gut in den Montagearbeitsprozess integriert werden können [5] (siehe Abbildung 3). Dies wird darauf zurückgeführt, dass motionEAP soweit unterstützt und assistiert,

dass eine Steigerung der Effizienz und eine Verringerung der Fehlerrate bei Montagearbeiten von leistungsgeminderten Arbeitern erzielt werden konnte [6]. Durch den Einsatz von begleitenden spielerischen Elementen konnten leistungsgeminderte Montagearbeiter weiter motiviert werden. Auf Basis der durchgeföhrten Studien konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Gamification in projektionsbasierten Montageanleitungen zu einer Steigerung der Effizienz führt [9, 10, 11].



Bild 3: Montagearbeiter setzt eine Schraubzwinge mit Hilfe von In-Situ Feedback zusammen.

### 3. Evaluierung verschiedener Anleitungsmodalitäten

Im Zuge des Projekts wurden alternative Feedbackmodalitäten gegenüber projiziertem Feedback verglichen. In einer Studie mit 16 TeilnehmerInnen wurden Montageanleitungen auf Papier, einer Augmented Reality Brille, einem Tablet und in Form von Projektion visualisiert (siehe Abbildung 4). Während der Studie wurden die Anzahl der Fehler, die benötigte Zeit zur Fertigstellung sowie die kognitive Last gemessen. Die Auswertung zeigt eine geringere Fehlerrate, kürzere Zeiten zur Fertigstellung sowie eine geringere kognitive Last mit projizierten Anleitung gegenüber der alternativen Feedbackmodalitäten [8].



Bild 4: Evaluierung verschiedener Feedbackmodalitäten hinsichtlich der benötigten Zeit für die Fertigstellung sowie der Anzahl der Fehler während der Verbauung. (a) Papieranleitung, (b) Augmented Reality Anleitung mit direkter Projektion auf eine Datenbrille, (c) Tabletanleitung, (d) Projektionsbasierte Anleitung.

#### 4. Evaluierung verschiedener Fehlerfeedbackmodalitäten

Während im Projekt motionEAP vorwiegend das Bereitstellen von Montageanleitungen im Vordergrund steht, ist die Kommunikation von Montagefehlern bezüglich der Qualitätssicherung von hoher Relevanz. Im Zuge einer Studie wurden drei verschiedene Fehlerfeedback-modalitäten evaluiert. Hierzu zählen haptisches Feedback in Form eines vibrierenden Handschuhs, auditives Feedback sowie visuelles Fehlerfeedback (siehe Abbildung 5). In einer Nutzerstudie, in welcher die Fehlerfeedbackmodalitäten subjektiv bewertet wurden, schnitten das haptische und visuelle Feedback hinsichtlich der Benutzererfahrung am besten ab. Bezuglich des auditiven Fehlerfeedbacks äußerten die TeilnehmerInnen Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre und fühlten sich zusätzlich durch den Fehlerton abgelenkt. Visuelles Fehlerfeedback wurde bei feinmotorischen Arbeiten bevorzugt [7].

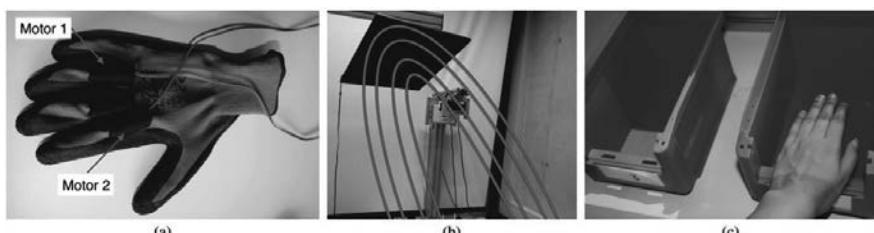


Bild 5: Repräsentation von drei möglichen Feedbackmodalitäten zur Kommunikation von Verbau- und Eingriffsfehler. (a) Haptisches Feedback mittels eines Vibrationshandschuh mit zwei Motoren, (b) Auditives Feedback mit Hilfe einer Sounddusche, (c) Visuelles Feedback durch die Projektion von rotem Licht.

Weiterhin wurde eine Studie mit kognitiv beeinträchtigten MontagearbeiterInnen durchgeführt, um die Effizienz der Feedbackmodalitäten während einer Montage zu evaluieren [12].

Während der Montage wurden die Anzahl der Fehler und die benötigte Zeit mit der jeweiligen Fehlerfeedbackmodalität gemessen. Anschließend bewertete die TeilnehmerInnen subjektiv die jeweilige Modalität. Hinsichtlich der Anzahl der Fehler sowie der benötigten Zeit bis zur Fertigstellung schnitt das visuelle Feedback am besten ab. Haptisches Fehlerfeedback mittels des Vibrationshandschuhs zeigte sich hingegen als schlechteste Modalität, da die TeilnehmerInnen die Vibration als unangenehm empfanden und während der Montage abgelenkt wurden. Auditives Feedback konnte mittelmäßige Ergebnisse erzielen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die zunehmende Variantenvielfalt und die hohen Lagerkosten erleben wir eine Veränderung in den Produktionsstätten und deren manuellen Montagearbeitsplätzen. Die Unternehmen gehen dazu über, immer mehr Produkte „on demand“ herzustellen. Dies führt dazu, dass kaum ein produziertes Teil zweimal nacheinander produziert wird (Losgröße 1). Der daraus resultierende kognitive Mehraufwand für MontagearbeiterInnen ist ein zentrales Problem, welches sich in Produktionsstätten bereits heute abzeichnet und bald allgegenwärtig sein wird. Darüber hinaus können durch die technologische Weiterentwicklung im Bereich Industrie 4.0, manuelle Montagearbeitsplätze durch Vernetzung intelligent gemacht werden. Das Projekt motionEAP evaluiert eine projektionsbasierte Mensch-Maschine Schnittstelle zur Bereitstellung von Montageanleitungen. Basierend auf der Kombination von Bewegungserkennung mittels einer hochauflösenden Kamera und dem Einsatz von adaptiven Feedbackvarianten mittels eines Projektors können Szenarien in denen ArbeiterInnen Hilfe benötigen erkannt werden und benutzerspezifisch mit projiziertem Feedback unterstützt werden. MotionEAP hat momentan drei Einsatzszenarien: Unterstützung bei Bedarf im Fehlerfall, Bereitstellung von Montageanleitungen für unerfahrene ArbeiterInnen und kontinuierliche Unterstützung von Menschen mit kognitiven Behinderungen.

Die Verbreitung komplexer Montagen von Bauteilen steigt im Zeitalter der Industrie 4.0 drastisch, sodass Produkte auf den Wunsch der Kunden zugeschnitten werden müssen. In den Montageprozess eingebettete und allgegenwärtige Assistenzsysteme werden daher in Zukunft von hoher Relevanz sein. Ziel dabei ist es die individuellen Fertigungen mit geringem Aufwand für Montagearbeiter bereitzustellen. Darüber hinaus ermöglichen eingebettete Assistenzsysteme Optimierungen im Bereich der Steigerung der Produktionseffizienz sowie im Qualitätsmanagement. In dem Projekt motionEAP werden somit zentrale wirtschaftliche Herausforderungen des heutigen und zukünftigen Arbeitsmarktes in den Fokus gestellt und gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern Lösungen ermittelt.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



Schnaithmann



University of Stuttgart  
Germany

Hochschule Esslingen  
University of Applied Sciences



## Literatur:

- [1] Behrendt, H., Funk, M., & Korn, O. (2015). Ethical Implications Regarding Assistive Technology at Workplaces. In *Collective Agency and Cooperation in Natural and Artificial Systems* (pp. 109-130). Springer International Publishing.
- [2] Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Cognitive assistance in the workplace. *IEEE Pervasive Computing*, 14(3), 53-55.
- [3] Funk, M., Bächler, A., Bächler, L., Korn, O., Krieger, C., Heidenreich, T., & Schmidt, A. (2015, July). Comparing projected in-situ feedback at the manual assembly workplace with impaired workers. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments* (p. 1). ACM.
- [4] Funk, M., Dingler, T., Cooper, J., & Schmidt, A. (2015, September). Stop helping me-I'm bored!: why assembly assistance needs to be adaptive. In *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 1269-1273). ACM.
- [5] Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Cognitive assistance in the workplace. *IEEE Pervasive Computing*, 14(3), 53-55.
- [6] Funk, M., Mayer, S., & Schmidt, A. (2015, October). Using In-Situ Projection to Support Cognitively Impaired Workers at the Workplace. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility* (pp. 185-192). ACM.

- [7] Funk, M., Heusler, J., Akcay, E., Weiland, K., & Schmidt, A. (2016). Haptic, Auditory, or Visual? Towards Optimal Error Feedback at Manual Assembly Workplaces. In *Proceedings of the 9th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA'16)*. ACM, New York, NY, USA.
- [8] Funk, M., Kosch, T., & Schmidt, A. (2016, September). Interactive worker assistance: Comparing the Effects of Head-Mounted Displays, In-Situ Projection, Tablet, and Paper Instructions. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp'16)*, 2016.
- [9] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015, June). Towards a gamification of industrial production: a comparative study in sheltered work environments. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems* (pp. 84-93). ACM.
- [10] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015, July). Design approaches for the gamification of production environments: a study focusing on acceptance. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments* (p. 6). ACM.
- [11] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Assistive Systems for the Workplace: Towards Context-Aware Assistance. *Assistive Technologies for Physical and Cognitive Disabilities*, 121-133.
- [12] Kosch, T., Kettner, R., Funk, M., & Schmidt, A. (2016, October). Comparing Tactile, Auditory, and Visual Assembly Error-Feedback for Workers with Cognitive Impairments. In: *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility (ASSETS'16)*, 2016.





ISBN 978-3-18-092271-3