

Bearbeitungsbeginn: 01.03.2016

Vorgelegt am: 28.06.2016

Thesis

zur Erlangung des Grades

Bachelor of Arts

im Studiengang Medienkonzeption

an der Fakultät Digitale Medien

der Hochschule Furtwangen

Lukas Flohr

Augmented Reality in der Industrie

Potenzial und Einsatzmöglichkeiten

zur Optimierung von Fehlerbehebungsprozessen

im Umfeld der vierten industriellen Revolution

Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Taube & Dipl.-Inf. Tobias Zapp

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Thesis selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe. Alle verwendeten Quellen und Hilfsmittel, sind angegeben.

Furtwangen, den 28. Juni 2016

Lukas Flohr

Abstract

Die zunehmende Vernetzung von Komponenten industriell-maschineller Fertigungsprozesse zu sogenannten cyber-physischen Systemen verändert vehement die Arbeitswelt des Menschen. Überwachung und Steuerung der automatisierten Maschinen rücken zunehmend in den Fokus der Bediener. Die Bachelorarbeit geht mithin der Frage nach, wie Prozesse im Zeitalter der vierten industriellen Revolution durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) optimiert und Maschinenbediener sinnvoll unterstützt werden können. Es wird also deren Potenzial sowie die Anforderungen an eine solche Anwendung im Kontext einer Großdruckerei analysiert und evaluiert. Gebündelt werden die gewonnenen Erkenntnisse im Design eines Systems für das Szenario eines potenziell auftretenden Fehlers und dessen Behebung. Dabei werden verschiedene Bedienkontexte in einem einheitlichen Konzept für diverse Geräte aufgegriffen. Der Benutzer wird sowohl am standortgebundenen Desktop im Leitstand als auch mobil in der Produktionshalle bei der Problemlösung unterstützt. Zur Prozessoptimierung steht hierbei der Einsatz eines Head-Mounted Displays im Fokus. Dieser wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit Hilfe eines Usability Tests evaluiert. Die Bachelorarbeit ist Teil des „Industry Showcase 2016“ der Ergosign GmbH, der gemeinsam mit dem Projektpartner Inosoft GmbH entwickelt wird. Der Showcase gibt Entscheidern aus der Industrie zukunftsweisende Einblicke in das Potenzial aktueller Technologien und wird im November 2016 auf der SPS IPC Drives vorgestellt.

Inhalt

1 Einleitung	1
1.1 Thematik und Fragestellung	2
1.2 Forschungskontext	3
1.3 Methodik und Vorgehen	5
2 Realität: Echt, vermischt oder virtuell	9
2.1 Allgemeines	10
2.2 Reality-Virtuality Continuum	11
2.3 Virtual Reality (VR)	12
2.4 Augmented Reality (AR)	13
2.5 Augmented Virtuality (AV)	15
2.6 Diskussion um Mixed Reality und Hybride Anwendungen	16
3 Augmented Reality (AR) im Detail	21
3.1 Meilensteine	22
3.2 Komponenten	24
3.3 Potenzial	33
3.4 Herausforderungen	39
4 Anwendung von AR in der Industrie 4.0	45
4.1 Industrie 4.0	46
4.2 Einsatzmöglichkeiten von AR	49
4.3 Anforderungen	52
4.4 Best Practices	54
5 Kontext: Großdruckerei	57
5.1 Ergosign Industry Showcase	58
5.2 Nutzungskontext	58
5.3 Szenarien	62

6 Bedienkonzept	67
6.1 Grundlegendes	68
6.2 Leitstand	71
6.3 Human-Machine Interface	73
6.4 Smartwatch	74
6.5 Head-Mounted Display	78
7 Usability Evaluation	87
7.1 Usability evaluieren	88
7.2 Prototyping	89
7.3 Testablauf	92
7.4 Vorbereitungen	95
7.5 Task Szenarien und Test-Ergebnisse	98
8 Visuelles Design	107
8.1 Allgemeines zum visuellen Design	108
8.2 Smartwatch	110
8.3 Head-Mounted Display	111
9 Fazit	115
9.1 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	116
9.2 Ausblick	118
I Anhang	I
I.1 Literaturverzeichnis	II
I.2 Internetquellen	VIII
I.3 Abbildungsverzeichnis	XIV

1

Einleitung

1.1 Thematik und Fragestellung

Augmented Reality (AR, dt. „Erweiterte Realität“) und Virtual Reality (VR, dt. „Virtuelle Realität“) bahnen sich derzeit den Weg in die breite Bevölkerung. An die Technologien werden bereits hohe Erwartungen gestellt. Meron Gribetz spricht davon mit Augmented Reality eine auf neurowissenschaftlichen Erkenntnissen basierende *natural machine* zu kreieren und zweidimensionale Monitore abzuschaffen. Gribetz folgt in diesem Zug: „The future of computers is not locked inside one of these screens“ (Gribetz 2016). Ebenso geht Heather Bellini von der Goldman Sachs Group davon aus, dass VR und AR die Computerplattform der Zukunft prägend formen werden, wenn technologische Hürden gemeistert werden (Bellini et al. 2016).

Gleichzeitig befindet sich derzeit die Industrie am Beginn einer vierten Phase der industriellen Revolution. Im Zuge des von der deutschen Bundesregierung initialisierten Projekts Industrie 4.0 kommt das Internet der Dinge in der industriellen Fertigung an, wodurch einzelne Komponenten ganzer Produktionsabläufe zu sogenannten cyber-physischen Systemen miteinander vernetzt werden (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013). Smart Factories (dt. „Intelligente Fabriken“) entstehen und automatisieren große Teile der Produktion. Der Faktor Mensch rückt dabei mehr und mehr aus dem aktiven, operativen Bereich und nimmt stattdessen zunehmend überwachende Funktionen ein. Das Problem dabei: Die Komplexität der Systeme nimmt durch die weitreichende Automatisierung zu. Simultan verliert der Mensch durch seine passive Rolle den direkten Bezug zu den Prozessen, wodurch es ihm erschwert wird, bei der Überwachung den Durchblick zu behalten und gegebenenfalls auftretende Probleme zu beheben (Hartmann 2014).

Im Rahmen der Bachelorarbeit wird vor diesem Kontext untersucht, wie das Potenzial der mit Augmented Reality aufkommenden, neuen technologischen Möglichkeiten dazu genutzt werden kann, die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine zu verbessern. Gartner prophezeit hierbei, dass AR in fünf bis zehn Jahren auch von der breiten Masse adaptiert wird und sich zu einem wichtigen Werkzeug am Arbeitsplatz entwickeln wird

(Gartner 2014; Gartner 2015). Die Bachelorarbeit geht daher konkret der folgenden Forschungsfrage nach:

Wie können Fehlerbehebungsprozesse im Umfeld der vierten industriellen Revolution durch den Einsatz von Augmented Reality optimiert werden und wie kann der Mensch in seiner Rolle als Maschinenbediener dadurch sinnvoll unterstützt werden?

Die Frage wird insbesondere am Beispiel des Einsatzes von AR zur Unterstützung bei der Fehlerbehebung in einer Großdruckerei verfolgt. Dabei steht in erster Linie die Verwendung eines Head-Mounted Displays (HMDs), über welches der Mensch mit der Maschine beziehungsweise dem cyber-physischen System kommunizieren kann, im Fokus.

1.2 Forschungskontext

Definitionen um Augmented Reality und Virtual Reality oder auch Mixed Reality (MR, dt. „Vermischte Realität“) und Augmented Virtuality (AV, dt. „Erweiterte Virtualität“) werden in zahlreichen Publikationen noch immer nicht klar voneinander abgegrenzt und zu Teilen miteinander vermischt. Die Arbeit schafft daher zunächst eine fundierte theoretische Grundlage für die weitere Ausarbeitung. Dabei wird in einem ersten Schritt das von Milgram et al. definierte Reality-Virtuality Continuum (Milgram et al. 1994) herangezogen, um die verschiedenen Ausprägungen zwischen Realität und Virtualität zu begreifen und voneinander abzugrenzen. Dies befähigt zu einer nüchternen Bewertung aktueller Anwendungen und Diskussionen.

Nachdem die ersten theoretischen Grundlagen anhand der Abgrenzung der Realitätsausprägungen gelegt wurden, fokussiert die Bachelorarbeit anschließend auf Augmented Reality. Nebst einem historischen Überblick zu den relevanten Meilensteinen werden elementare Komponenten sowie die Funktionsweise aktueller AR-Systemen erarbeitet, wobei insbesondere die Arbeiten von Azuma und Tönnis hinzugezogen werden (Azuma et al.

Einleitung

2001; Tönnis 2010). Dies erlaubt es, ein tiefergehendes Verständnis für die Möglichkeiten und Einschränkungen der Technologie zu entwickeln und den Forschungsstand abzustecken.

Des Weiteren werden im Speziellen Entwicklungen im Umfeld der vierten industriellen Revolution betrachtet und analysiert. Mit dem im Rahmen der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung gestarteten Projekt *Industrie 4.0* soll „[...] das Internet der Dinge und Dienste in die Fabrik [einziehen]“ (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013, 5). Fertigungsprozesse werden weitestgehend automatisiert und zunehmend komplexer. Sie bedürfen daher einer kompetenten Überwachung durch einen menschlichen Bediener, der im Fehlerfall oft nicht befähigt ist, das Problem aufgrund seiner Komplexität zu lösen. Daher ist es erforderlich, dass der Bediener und das cyber-physische System als ein Mensch-Maschine Team zusammenarbeiten und kommunizieren (Lüdtke 2015). Dies ermöglicht es, den Bediener im Fehlerfall mit den benötigten Informationen zu versorgen und den Fehler zu lösen. Fehlerbehebungsprozesse sind kritische Vorgänge, wobei zumeist die Zeit ein heikler Faktor ist und daher schnell gehandelt werden muss um die Ausfallkosten zu minimieren.

Augmented Reality könnte hierbei die Lösung sein, um schnell und effizient am entsprechenden Ort die benötigten Informationen zur Verfügung zu stellen und so Fehlerbehebungsprozesse zu optimieren. Hierfür werden Projekte aus der Forschung und aktuelle *Best Practices* bei der Verwendung von Augmented Reality erfasst und bewertet. Eine erste Anwendung zur Nutzung von Augmented Reality bei der Optimierung von Bedienabläufen geht etwa auf Feiner, Macintyre, und Seligmann zurück, die mit dem Projekt KARMA (Knowledgebased Augmented Reality for Maintenance Assistance) ein erstes AR-System für Reparatur bzw. Wartung geschaffen haben (Feiner, Macintyre und Seligmann 1993).

1.3 Methodik und Vorgehen

Analyse von Potenzial und Herausforderungen

Auf Grundlage des theoretischen Wissens um Technologie und Forschungsstand werden Potenzial und Herausforderungen von Augmented Reality analysiert. Zunächst werden dabei allgemeine Einsatzmöglichkeiten identifiziert und das Potenzial von AR in Verbindung mit VR als generische Computerplattform der Zukunft bewertet, bevor schließlich spezifisch auf die Verwendung der Technologie in der Industrie eingegangen wird. Neben dem immensen Potenzial geht die Bachelorarbeit dabei auf Best Practices und Richtlinien, wie auch auf Probleme und Herausforderungen ein.

Konzeption und Design

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird, unter Berücksichtigung der bereits gewonnenen Erkenntnisse, ein System konzipiert, das versucht die Forschungsfrage am Beispiel eines Fehlerbehebungsprozesses in einer Großdruckerei zu beantworten.

Zunächst wird hierfür ein konkreter Anwendungskontext mit Persona und Szenario erarbeitet, welcher das Auftreten und Beheben eines Fehlers in einer weitestgehend automatisierten Großdruckerei beschreibt. Um der großen Komplexität des Systems zu begegnen und den Maschinenbediener optimal zu unterstützen, wird ein Bedienkonzept erarbeitet, welches eine optimale Kommunikation zwischen Mensch und dem cyber-physischen System ermöglichen soll.

Augmented Reality dient in dem geräteübergreifenden Gesamtsystem als Schlüsseltechnologie, um dem Nutzer zur gegebenen Zeit das richtige Maß an Informationen direkt vor Ort zur Verfügung zu stellen. Mit Hilfe der Anwendung sollen sowohl gelernte Facharbeiter, als auch eher unerfahrene Maschinenbediener, wie Leih- oder Saisonarbeiter, unterstützt werden sowie dazu befähigt werden, die komplexen Prozesse zu überwachen und gegebenenfalls Fehler zu lösen.

Einleitung

Usability Evaluation

Ziel der Bachelorarbeit sowie des Industry Showcases ist es, mit einem nutzerzentrierten Designprozess ein System mit einem positiven Nutzungserlebnis zu konzipieren. Das erstellte Bedienkonzept wurde daher am 1. Juni 2016 mit einem Usability Test auf Benutzbarkeit sowie Stärken und Schwächen hin empirisch evaluiert, um daraus Erkenntnisse zur Verbesserung des Systems zu erhalten.

Hierzu wurde ein *High Fidelity Prototyp* verwendet, der die zu testenden Hauptfunktionalitäten des konzipierten Systems abbildete. Die acht Probanden wurden anhand von Arbeitsaufgaben, sogenannten Task Scenarios, von einem Moderator durch den Test geleitet.

Die Evaluationsergebnisse bestätigen das große Potenzial von AR-Systemen zur Optimierung von Fehlerbehebungsprozessen. In allen nachgestellten Szenarien konnte der Nutzer durch das implementierte System intuitiv unterstützt werden. Weiterhin halfen die Ergebnisse mögliche Optimierungsansätze zu identifizieren.



Realität:
Echt, vermischt oder virtuell

2.1 Allgemeines

Vor wenigen Jahren noch brachten die meisten Menschen die Begriffe um virtuelle oder vermischte Realität höchstens mit Actionfilmen wie *Minority Report*, *Matrix* oder *Avatar* in Bezug. Mit dem breiten Einzug von *Virtual Reality (VR)* (dt. „Virtuelle Realität“) Geräten, wie etwa *Samsung Gear VR* oder *Oculus Rift*, in den Entwickler- und Konsumentenbereich steigt neben der Bekanntheit auch das Interesse der Bevölkerung. Längst handelt es sich dabei nicht mehr um eine Spielerei von Computer-Nerds, sondern um eine vielversprechende und lukrative Technologie, nicht nur für den Gaming-Sektor.

Die am Kopf befestigten *Head-Mounted Displays (HMDs)* ermöglichen es dem Nutzer nun in virtuelle Welten einzutauchen oder erweitern dessen physische Realität mit virtuellen Informationen oder Objekten. Bei letzterem spricht man von *Augmented Reality (AR)* (dt. „Erweiterte Realität“). Eine der bekanntesten und zugleich unscheinbarsten Anwendungen von AR ist die in Echtzeit eingeblendete Abseitslinie bei der Übertragung eines Fußballspiels. *Augmented Reality*, ist nach Milgram et al. Teil der so genannten *Mixed Reality (MR)* (dt. „Vermischte Realität“), dem Bereich zwischen realer und virtueller Welt (Milgram et al. 1994). Aktuelle Technologien in diesem Bereich werden von einschlägigen Medien und namhaften Unternehmen bereits als nächster Meilenstein in der Computerindustrie gefeiert.

Heather Bellini, Unit Leader bei Goldman Sachs Research, geht davon aus, dass die Technologien um AR und VR dazu in der Lage sind, Interaktionsparadigmen in nahezu jeder Industrie zu verändern und sich sowohl auf Konsumentenseite, als auch auf Unternehmensseite prägend auswirken werden (Bellini 2016).

Die Begrifflichkeiten um die Ausprägungen der Realität werden zum aktuellen Zeitpunkt noch immer sowohl von der Fachpresse, als auch von den großen Konzernen wild durcheinander geworfen, was zu allgemeiner Verwirrung um die Abgrenzung der Technologien führt. Die Termini *Augmented Reality*, *Mixed Reality*, *Virtual Reality* oder auch *Aug-*

mented Virtuality (AV) (dt. „Erweiterte Virtualität“) werden öfters unklar beschrieben, zu Teilen sogar synonym verwendet oder schlicht falsch definiert. Im Nachfolgenden geht diese Arbeit auf die unterschiedlichen Ausprägungen ein, um für die weitere Ausarbeitung eine fundierte Wissensgrundlage zu schaffen.

2.2 Reality-Virtuality Continuum

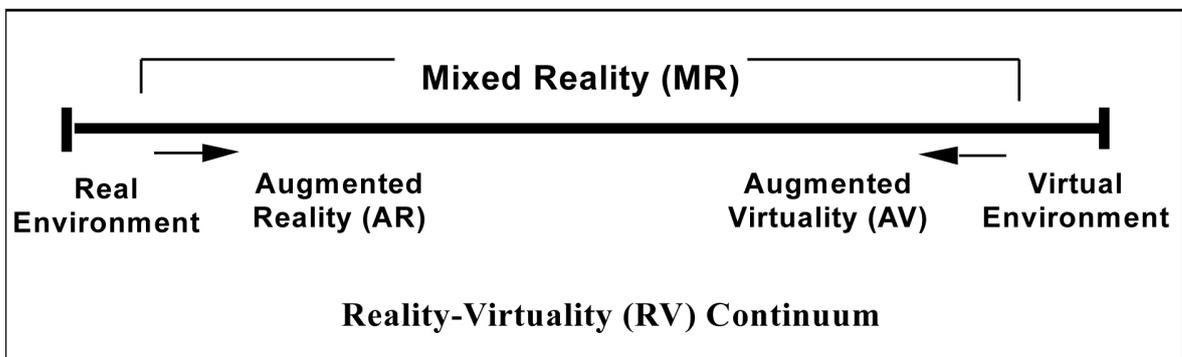


Abb. 2-1 Reality-Virtuality Continuum (Milgram et al. 1994)

Paul Milgram hat sich, mit einigen Kollegen, bereits 1994 dem Problem der Abgrenzung der unterschiedlichen Realitätsausprägungen gewidmet. Das Team um Milgram definiert das *Reality-Virtuality Continuum*, in welchem sich Realität und Virtualität in einem Kontinuum gegenüber stehen und somit miteinander zusammenhängen (siehe Abb. 2-1). Während *Real Environment* eine den physikalischen Regeln folgende Umgebung definiert, beschreibt der gegenüberliegende Pol *Virtual Environment* eine virtuelle Umgebung, die losgelöst von der realen Welt und deren Regeln der Physik existiert, aber genauso auch die Eigenschaften der Realität nachahmen kann. Den Bereich zwischen den beiden Extremen definieren die Forscher als *Mixed Reality*, also Mischformen der beiden Welten. Zu diesem Bereich gehört neben der eher bekannten *Augmented Reality* auch *Augmented Virtuality*. (Milgram et al. 1994)

2.3 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality (dt. „Virtuelle Realität“) bezeichnet ein aus Computersimulationen bestehendes Medium, welches dem Nutzer das Gefühl gibt, in eine virtuelle Welt einzutauchen (Sherman und Craig 2003). Dies wird als Immersion bezeichnet. Virtual Reality kann Eigenschaften aus der Realität nachahmen und den physikalischen Regeln folgen, ist ihnen aber im Gegensatz zu der realen Welt nicht unterworfen (Milgram et al. 1994). Der Nutzer kann dabei mit dem System interagieren und multisensorisches Feedback erhalten (Sherman und Craig 2003).

Den ersten Höhepunkt erlebte Virtual Reality als Technologie bereits in den 1990ern, als sie vor allem im Videospiele-Bereich eingesetzt wurde. Zu diesem Zeitpunkt waren die Anwendungen jedoch durch technologische Gegebenheiten, wie Rechen- und Grafikleistung, stark limitiert. Die Hardwarekomponenten wurden im Lauf der Zeit zunehmend verbessert. Mit dem Einzug von Head-Mounted Displays (HMDs), wie der Oculus Rift, der HTC Vive oder der Samsung Gear VR, in den Konsumentenbereich erlebt die Technologie nun eine Art Renaissance.

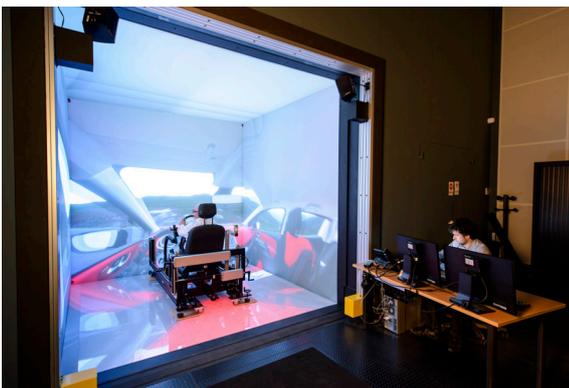


Abb. 2-2 Cave Automatic Virtual Environment als Fahrsimulator (Get It In Writing 2014)

So genannte *Cave Automatic Virtual Environments* (CAVE) werden ebenfalls zunehmend performanter. Bei CAVE handelt es sich nach Creagh um ein interaktives projektionsbasiertes VR-System, bei welchem sich der Nutzer in einem physischen Raum befindet, während an die Wände virtuelle Elemente projiziert werden. Dazu etwa in Abhängigkeit seiner getrackten Kopfausrichtung reagieren und dabei durch den Blick durch eine Shutter-Brille als drei-

dimensional empfunden werden, wodurch sich der Nutzer in einer virtuellen Umgebung fühlt (Creagh 2003). Diese Technologie kann beispielsweise als Fahrsimulator genutzt werden (siehe Abb. 2-2).

Neben Gaming, Entertainment und Installationen, den derzeitigen Hauptanwendungsbereichen der VR-Technologien, ermöglichen es 360°-Kameras mittlerweile reale Umgebungen aufzunehmen und in einem virtuellen Raum zu rekonstruieren. Nutzer können so reale Orte beispielsweise trotz physischer Distanz immersiv virtuell erkunden, etwa über eine CAVE oder ein HMD. 360°-Videos bieten in Kombination mit Head-Mounted-Displays neue Möglichkeiten, um etwa Dokumentarfilme zu betrachten oder Trainings und Meetings in virtuellen Umgebungen durchzuführen. Genauso können auch Events wie Konzerte mit- oder nacherlebt werden. Die Aufnahmen können dabei mit weiteren virtuellen Informationen angereichert werden. Mit dem Projekt Orchestra VR (siehe Abb. 2-3) veröffentlichte die Los Angeles Philharmonic Association beispielsweise eine nachträglich mit virtuellen Effekten erweiterte Aufführung von Beethovens 5. Sinfonie als 360°-Video (Los Angeles Philharmonic Association 2015).



Abb. 2-3 Orchestra VR - Mit virtuellen Elementen erweiterte 360°-Videaufnahme der Los Angeles Philharmonic Association (2015)

2.4 Augmented Reality (AR)

Ein Augmented Reality System kombiniert reale und virtuelle Objekte in Echtzeit in einer realen Umgebung und setzt diese Objekte interaktiv zueinander in Bezug (Azuma et al. 2001). Im Gegensatz zur VR bleibt der Nutzer in seiner realen Umgebung während virtuelle Überlagerungen in die physische Welt integriert werden. Der Nutzer fühlt sich dabei in einer erweiterten realen Umgebung verankert und nicht, wie bei VR, in eine virtuelle Welt hineingezogen. Augmented Reality lehnt also auch an den von Mark Weiser geprägten Begriff Ubiquitous Computing an, indem virtuelle Informationen in die alltägliche reale Welt allgegenwärtig integriert werden (Weiser 1993). Grundsätzlich wird bei Augmented Reality zwar ein geringerer Aufwand zum Rendering der

Realität: Echt, vermischt oder virtuell

virtuellen Objekte benötigt, da die Anzahl der Objekte geringer ist, jedoch müssen diese Renderings in Echtzeit unter Berücksichtigung der erfassten Umgebung erfolgen.

Während der Großteil der aktuellen Anwendungen von AR derzeit auf die optische Erweiterung der Realität fokussiert, ist die Technologie generell weder bei der Wahrnehmung auf einen bestimmten Sinn beschränkt, noch durch technologische Aspekte limitiert. Wie die visuelle Wahrnehmung, können ebenso akustische, olfaktorische, taktile und gustatorische Sinne angesprochen werden, um die Realität des Menschen mit weiteren Informationen anzureichern (Azuma et al. 2001). Beispielsweise kann die akustische Wahrnehmung mit Stereo- und Surround-Sound-Systemen erweitert werden, um einen räumlichen Eindruck zu simulieren (Tönnis 2010). Das britische Unternehmen Ultrahaptics arbeitet derzeit an der Verwendung von Ultraschall, um haptisches Feedback zu Gesten oder zur Interaktion mit virtuellen Objekten zu generieren. Dabei könne laut der Unternehmenswebsite eine Art Tast- bzw. Berührgefühl auf die Haut projiziert werden (Ultrahaptics 2016). Eine solche Technologie könnte sowohl für Augmented Reality, als auch für Virtual Reality verwendet werden, um die Immersion des Nutzers zu steigern. Ziel des Unternehmens ist es, die User Experience so intuitiv wie mit Touch-Oberflächen zu gestalten.

In der weiteren Ausarbeitung setzt diese Arbeit primär den Fokus auf die Erweiterung der Realität mit visuellen Elementen.

2.5 Augmented Virtuality (AV)

Wie bei Augmented Reality wird auch bei Augmented Virtuality die virtuelle und die reale Welt kombiniert. Im Gegensatz zu Augmented Reality wird bei Augmented Virtuality jedoch die virtuelle Welt mit Elementen oder Informationen aus der Realität erweitert. Der Nutzer ist dabei in eine virtuelle Umgebung eingetaucht. (Milgram et al. 1994)

Augmented Virtuality ist wohl der am schwersten fassbare Begriff auf Milgrams Reality-Virtuality-Continuum. Im Nachfolgenden werden zur Konkretisierung des Terminus beispielhaft einige Projekte hinzugezogen, auf welche die Bezeichnung Augmented Virtuality System angewendet werden kann.

Regenbrecht et al. (2003) zeigen mit dem Projekt *cAR/PE* einen Ansatz Augmented Virtuality für dreidimensionale Videokonferenzen zu nutzen, um ein persönliches Meeting zu simulieren. Die Teilnehmer wurden dabei jeweils durch ein zweidimensionales Live-Kamerabild repräsentiert und um einen Tisch in einem virtuellen Konferenzzimmer angeordnet. Im virtuellen Raum befinden sich laut den Forschern weiterhin ein zweidimensionaler Präsentationscreen zum Teilen von Dokumenten, sowie die Möglichkeit dreidimensionale Modelle im Raum oder auf dem Tisch zu teilen.

Eine eher bekanntere Anwendung, auf welche der Begriff AV zutrifft, war 2003 auf der Sony Playstation 2 verfügbar: *EyeToy: Play* (siehe Abb. 2-4). Bei dem Spiel wird der Nutzer über die EyeToy-Kamera aufgenommen und in eine virtuelle Welt hineinversetzt. Indem der Spieler eine Art Spiegelbild von sich auf dem Bildschirm sieht, fühlt er sich in die virtuelle Umgebung



Abb. 2-4 Augmented Virtuality bei EyeToy: Play auf der Sony Playstation 2 (Sony 2003)

Realität: Echt, vermischt oder virtuell

hineingezogen. Diese wird durch das reale Abbild des Nutzers und dessen Interaktionen erweitert.

Ein aktuelles Beispiel zur Nutzung von AV zeigte Google auf seiner Entwicklerkonferenz Google I/O 2016 im Rahmen einer Präsentation der Fortschritte von *Project Tango* (siehe Abb. 2-5). Die Entwickler überlagern hier die virtuelle Welt mit einem Live-Kamerabild des Devices und nutzen Augmented Virtuality um wieder zur Realität bzw. erweiterten Realität zurückzukehren (Google Developers 2016). Auf Google's Project Tango wird unter 2.6 Diskussion im Abschnitt Hybride Anwendungen genauer eingegangen.

2.6 Diskussion um Mixed Reality und Hybride Anwendungen

Wie bereits erwähnt werden bei vielen (Fach-)Publikationen und vermarkteten Produkten oft unklare oder schwammige Formulierungen verwendet. Mitunter ein Grund dafür ist die Kombination verschiedener Ausprägungen zu *Hybriden Anwendungen* oder die Nutzung verwandter Begriffe. Nachfolgend werden solche Fälle beispielhaft den oben erarbeiteten Definitionen gegenübergestellt.

2.6.1 Mixed Reality

Microsoft proklamiert seine 2015 vorgestellte *HoloLens* als ein Mixed Reality System (Microsoft 2016 a). Sie soll sowohl Augmented Reality als auch Virtual Reality umfassen. Laut dem Unternehmen könne AR nur die Welt mit hilfreichen Informationen erweitern, während Mixed Reality in der Lage sei, dreidimensionale Hologramme in der realen Welt darzustellen und den Nutzer in eine virtuelle Welt zu transportieren. Die HoloLens würde jedoch nach Angaben von Microsoft nicht die reale Welt ersetzen, wie es bei Virtual Reality der Fall ist.

Der Nutzer interagiert also während der Nutzung immer in einer realen Umgebung. Wie oben beschrieben, umfasst Mixed Reality nach Milgram et al. (1994) jedoch den gesamten Bereich zwischen Realität und Virtualität und somit auch Augmented Reality, zu welcher die Brille nicht in der Lage ist. Augmented Reality ist weiterhin nach Azuma et al. (2001) die grundsätzliche Überlagerung der realen Welt mit virtuellen Objekten, welches dreidimensionale Hologramme ebenfalls einschließt. Auf Grundlage dieser Definitionen handelt es sich bei der HoloLens zwar um ein Mixed Reality System, da AR ein Teil von MR ist, jedoch trifft der Begriff Augmented Reality System hier konkreter zu.

2.6.2 Hybride Anwendungen

Mit dem Begriff *Hybride Anwendungen* werden im Rahmen dieser Arbeit Anwendungen behandelt, die verschiedene Ausprägungen zwischen Virtualität und Realität kombinieren, beziehungsweise fließend von einer Ausprägung in eine Andere übergehen.

Sulon Technologies (2016) kündigte für den Frühling 2016 die Sulon Q an, ein *video see-through Head-Mounted Display*, welches sowohl für Augmented Reality, als auch für Virtual Reality verwendet werden soll. Zunächst ist das zwar keine bahnbrechende Neuheit, allerdings zeigt das Unternehmen mit dem auf der Youtube veröffentlichten *Magic Beans Demo* eine Applikation, bei welcher zunächst die Realität des Nutzers mit einigen wenigen Elementen erweitert wird, bevor dieser fließend in eine Virtuelle Umgebung hineingezogen wird (Sulon Tech 2016). Eine solche hybride Anwendung hat das Potenzial die Immersion bei der Verwendung zu steigern, indem sie den Nutzer in seiner realen Umgebung abholt und in die virtuelle Welt hineinzieht.

Ähnliche Anwendungen werden derzeit auch von Google angedacht. Das Unternehmen nutzt hierbei statt hybride Anwendung den Begriff *Transmogrified Reality*, um das Zusammenspiel von AR, VR, HMDs und schnellen Prozessoren zu beschreiben (Mason 2015).

Google bezieht sich dabei vor allem auf das unternehmenseigene Forschungsprojekt Project Tango. Das System kombiniert verschiedene Tech-

Realität: Echt, vermischt oder virtuell

nologien aus den Bereichen Motion Tracking, Depth Perception und Area Learning (Google's Project Tango 2016). Auf der Google I/O 2016 gibt das Unternehmen beeindruckende Einblicke in die Neuheiten des Projekts. Über Tiefensensoren erstellt Tango in Echtzeit eine „Point Cloud“ von der Umgebung, woraus ein 3D Model erstellt wird (Google Developers 2016).

Die von Tango erfasste Umgebung kann mit virtuellen Elementen erweitert (Augmented Reality) werden und davon ausgehend, wie bei der bereits genannten Sulon Magic Beans Demo, in eine virtuelle Umgebung eingetaucht werden (Virtual Reality). In dieser kann wiederum ein Ausschnitt aus der realen Umgebung platziert werden, welches die Kamera des genutzten Device live aufnimmt (Augmented Virtuality).

Im auf der Konferenz gezeigten Beispiel dient das Live-Bild als eine Art Portal, welches den Nutzer beim Hindurchschreiten wieder in die Realität zurückholt (siehe Abb. 2-5).



Abb. 2-5 Hybride Anwendungen und Augmented Virtuality mit Google's Project Tango (Google Developers 2016)

*We believe VR/AR could be the next computing platform
if technology barriers are overcome*

Bellini et al. 2016



Augmented Reality (AR)
im Detail

3.1 Meilensteine

Obwohl AR-Systeme erst in den letzten Jahren deutlich an Bekanntheit gewonnen haben, ist die Technologie bereits deutlich älter. Im Nachfolgenden folgt ein kurzer Überblick zu den bedeutendsten Entwicklungen bis hin zur heutigen erweiterten Realität.

Die erste optische Augmented Reality Anwendung wurde 1968 von dem Harvard University Professor Ivan Sutherland entwickelt. Sein *Head-Mounted Three Dimensional Display* bestand aus einer an der Decke befestigten

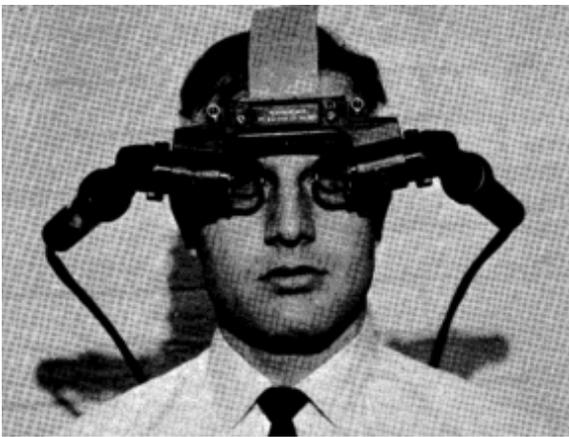


Abb. 3-1 Sutherlands Head-Mounted Three Dimensional Display (Sutherland 1968, 759)

Apparatur (auch „Sword of Damocles“ genannt) mit einem see-through HMD (siehe Abb. 3-1). Das System legte virtuelle Bilder über die reale Umgebung, die sich in Abhängigkeit der Blickrichtung des Nutzers perspektivisch veränderten und entsprechend physikalischer Objekte verhielten (Sutherland 1968). Realisiert hat Sutherland dies durch Tracking von Position und Ausrichtung des am Kopf des Nutzers befestigten Displays über mechanische Gelenke.

Der Begriff *Augmented Reality* wurde allerdings erstmals 1992 von Tom Caudell verwendet. Caudell, ein Ingenieur beim Flugzeugbauer Boeing, entwickelte mit seinem Kollegen David Mizell ein ebenfalls am Kopf befestigtes, see-through Head-Mounted Display mit welchem zusätzliche Informationen im Fertigungsprozess bei Boeing visualisiert werden konnten. Durch die Anwendung konnten teure Diagramme und Bedienungsanleitungen bei Boeing ersetzt werden (siehe Caudell und Mizell 1992).

Louis Rosenberg arbeitete, ebenfalls 1992, an der Universität Stanford für die US Air Force an einer Augmented Reality Anwendung zur Optimierung der Leistungsfähigkeit von Arbeitern sowie bei der Steuerung von Robotern oder eines Exoskeletts. Rosenberg definiert dabei die von ihm entwickelte *Virtual Fixtures* Metapher. Virtual Fixtures seien dabei virtuelle Objekte, die

laut Rosenberg die Interaktion mit der Umgebung verbessern sollen. Diese könnten für den Nutzer sowohl sichtbar, als auch unsichtbar sein, indem beispielsweise Ablenkungen gezielt von dem System ausgeblendet werden (siehe Rosenberg 1992).

Ein Jahr später entwickelten Feiner, MacIntyre und Seligmann (1993) eine Anwendung zur Wartung und Reparatur von Laserdruckern mit Hilfe eines see-through Head-Mounted Displays. Der Prototyp mit dem Namen *KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance)* zeigte dem Nutzer in Echtzeit die Position der Toner-Patrone und des Papierfachs sowie Anleitungen zur Reparatur.

Ein erster mobiler AR-Prototyp wurde 1997 von Steven Feiner und Blair MacIntyre sowie Tobias Höllerer mit der *Touring Machine* entwickelt. Dabei wurde ein see-through Head-Mounted Display von einem im Rucksack verstauten Computer mit Informationen zur Umgebung des Nutzers auf dem Universitätscampus versorgt. Der Nutzer konnte zudem über ein weiteres Device in seiner Hand mit dem System interagieren (siehe Feiner et al. 1997).

Szalavari et al. arbeiteten 1998 mit dem Projekt *Studierstube* an einer Umgebung zur kollaborativen Arbeit mit Augmented Reality. Dabei konnten mehrere Nutzer über stereoskopische see-through HMDs gleichzeitig dreidimensionale Elemente betrachten und jeweils die eigene Ansicht der visualisierten Informationen individualisieren (siehe Szalavari et al. 1998).

Massentauglich wurde AR erstmals mit dem im Jahre 1999 von Hirokazu Kato entwickelten *ARToolKit*. Mit dem „Werkzeugkasten“ konnten Entwickler unabhängig vom verwendeten Betriebssystem musterbasierte Marker erstellen, welche in herkömmlichen Kamerabildern erkannt werden konnten, um die Realität mit dreidimensionalen Objekten zu erweitern.

Mit der zunehmenden Forschung im Bereich Augmented Reality fand 2000 erstmals das *International Symposium on Augmented Reality (ISAR)* in München statt, welches 2002 in *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* umbenannt wurde. Die Konferenz findet seitdem jährlich in einer anderen Metropole statt.

Augmented Reality (AR) im Detail

Wayne Piekarski und Bruce Thomas entwickelten 2002 mit *ARQuake* eine Augmented Reality Variante des beliebten Ego-Shooter-Spiels Quake und damit das erste Outdoor Geländespiel mit erweiterter Realität. Der Nutzer trägt dabei ähnlich wie bei der Touring Machine von Feiner et al. (1997) einen Computer im Rucksack, an welches ein see-through HMD angeschlossen ist. Für das System wurden zudem Tracking-Technologien wie GPS sowie Orientierungssensoren genutzt (siehe Piekarski und Thomas 2002).

Seit der Einführung des iPhones 2007 haben intelligente Geräte mit zahlreichen Sensoren und Funktionalitäten in Form von Smartphones den Weg in die breite Gesellschaft gefunden und sind mittlerweile quasi ubiquitär. Davon begünstigt werden Augmented Reality Anwendungen für Endkunden möglich. Standortbasierte Informationen können mit Augmented Reality direkt über das Smartphone visualisiert werden. Die Plattform *Wikitude*, vormals *Mobilizy*, war hierbei 2009 einer der Vorreiter der Verwendung von AR auf Smartphones (Breuss-Schneeweis 2009).

In den vergangenen Jahren kamen zunehmend weitere AR-Technologien in Form von Head-Mounted Displays auf, mit dem Ziel ihren Weg in den Konsumentenbereich zu finden. Der Hauptvorteil des am Kopf befestigten Displays: Die Hände sind frei zur Interaktion mit anderen Objekten. Google veröffentlichte hierbei schon 2012 mit *Glass* ein HMD zur Anwendung von Endkunden. Neben technischen Aspekten zu Vor- und Nachteilen des Prototyps, kamen dabei auch vermehrt Bedenken zu Datenschutz und Alltagsakzeptanz solcher Devices auf.

3.2 Komponenten

Eine optisch überzeugende Kombination von virtueller und realer Welt erfordert das präzise Zusammenspiel verschiedener Komponenten. Tönnis (2010) teilt diese in die drei Bereiche Darstellung, Tracking und Interaktion ein.

3.2.1 Darstellung

Zur Darstellung von virtuellen Elementen in der realen Welt wird ein Anzeigegerät benötigt. Grundsätzlich können aktuell gängige visuelle Technologien in *Optical See-Through Displays*, *Video See-Through Displays* und Projektionsgeräte gruppiert werden.

Optical See-Through Displays

Bei *Optical See-Through Displays*, kann der Nutzer, wie in Abb. 3-2 verdeutlicht, durch das Display hindurch direkt die reale Welt sehen, während ihm über das Display virtuelle Informationen angezeigt werden (Azuma et al. 2001). Die Technologie kommt zumeist bei am Kopf getragenen *Head-Mounted Displays (HMDs)* zum Einsatz. Aktuelle Beispiele hierfür sind unter anderem Google Glass, Microsoft HoloLens oder Meta 2. Während bei der Google Glass lediglich an einer fixierten Position Overlays über die Realität gelegt werden, können mit der HoloLens oder der Meta 2 auch dreidimensionale Objekte im Raum platziert werden, mit welchen der Nutzer interagieren kann. Hierfür ist ein präzises Tracking des Nutzers und dessen Umgebung erforderlich. Stereoskopische Darstellungen ermöglichen bei Devices wie der HoloLens oder der Meta 2 auch die Wahrnehmung von Tiefe und Entfernung virtueller Objekte.

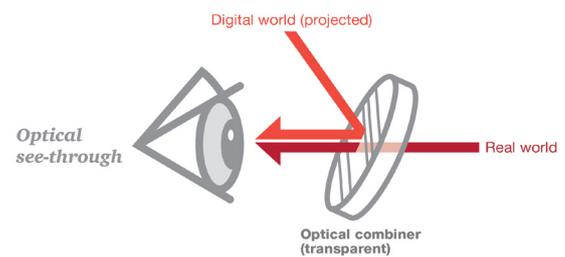


Abb. 3-2 Optical See-Through Display Schema (PricewaterhouseCoopers 2016)

Eine an Verbreitung gewinnende Art von Optical See-Through Displays ist das so genannte *Head-up Display (HUD)*. Dabei handelt es sich um ein Display das relativ zu einem anderen beweglichen Objekt feststeht (Tönnis 2010, 26). In der Vergangenheit fanden HUDs vor allem in Flugzeug-Cockpits Verwendung. Mittlerweile werden sie auch vermehrt in der Automobilbranche eingesetzt. Das Display ermöglicht dem Anwender im Auto dabei seine Blickrichtung beizubehalten und somit weniger von dem Geschehen auf der Straße abgelenkt zu werden (siehe Abb. 3-3).

Augmented Reality (AR) im Detail



Abb. 3-3 Head-up Display im Cockpit eines Autos (Continental 2016)

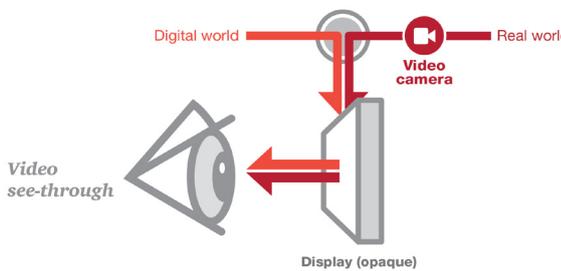


Abb. 3-4 Video See-Through Display Schema (PricewaterhouseCoopers 2016)

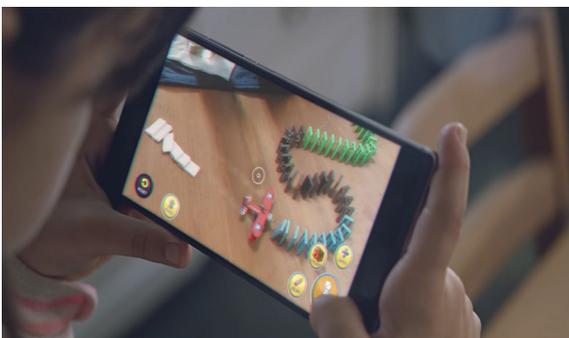


Abb. 3-5 Augmented Reality auf einem als Video See-Through Display genutzten Smartphone mit Google Tango (Google 2016)

Video See-Through Displays

Video See-Through Displays kombinieren reale und virtuelle Welt hingegen in einer digitalen Darstellung, wie in Abb. 3-4 gezeigt. Nach Azuma et al. (2001) wird dabei die reale Welt von einer Kamera aufgenommen und mit der virtuellen Information auf einen undurchsichtigen Spiegel projiziert, auf welchen der Nutzer blickt. Genauso kann der Begriff Video See-Through Display allerdings auch auf konventionelle Displays, wie sie bei Desktop-Monitoren, Tablets oder Smartphones (siehe Abb. 3-5) Verwendung finden, angewendet werden. Das Bild muss dabei nicht zunächst auf einen Spiegel projiziert werden. Video See-Through Displays können als HMD am Kopf fixiert sein, in der Hand gehalten werden oder eine (relativ) feste Position im Raum haben.

Smartphones können mit Halterungen wie Google Cardboard oder Samsung Gear VR zu Video See-Through Head-Mounted Displays erweitert werden. Primär werden diese Halterungen dazu genutzt, um aus dem mittlerweile ubiquitären und mit einer Fülle von Sensoren ausgestatteten Smartphone ein voll funktionsfähiges VR-HMD wie

etwa die Oculus Rift zu machen. Um einen räumlichen Tiefeneindruck zu schaffen, stellen Video See-Through Head-Mounted Displays die Inhalte in zwei stereoskopischen Teilbildern dar und lassen den Nutzer durch ein bikonvexes Linsensystem blicken.

Projektionsgeräte

Mit Projektionsgeräten kann die Realität durch direkte Projektion von virtuellen Elementen auf physikalische Objekte erweitert werden (Azuma et al. 2001), was auch als *Projection Mapping* oder nach Raskar, Welch, und Fuchs (1998) als *Spatially Augmented Reality* beschrieben wird. Es ist dabei auf der Seite des Betrachters kein zusätzliches Equipment wie Brillen oder ähnliches nötig, da die virtuellen Objekte direkt in der realen Umgebung des Nutzers dargestellt werden und sichtbar sind. Projektoren können allerdings ebenfalls am Kopf getragen werden, sodass lediglich die unmittelbare Umgebung des Nutzers augmentiert wird (Azuma et al. 2001). Projektionsgeräte können des Weiteren dazu verwendet werden, immaterielle Displays wie FogScreens zu erstellen (Rakkolainen und Palovuori 2004).

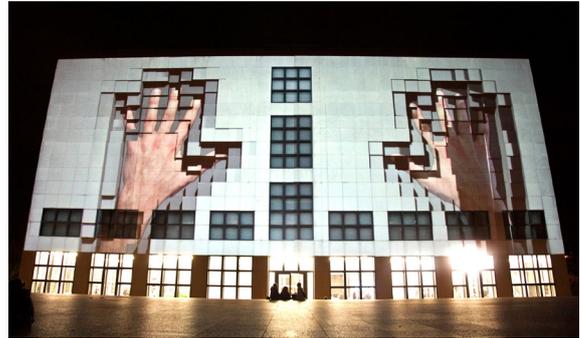


Abb. 3-6 555 KUBIK - Projection Mapping
Installation an der Kunsthalle Hamburg
(Urbanscreen 2009)

3.2.2 Tracking

Trackingsysteme ermöglichen Parameter wie Position, Bewegung und Orientierung von Objekten zu bestimmen und vorherzusehen. Grundsätzlich kommen solche Systeme in vielen Bereichen zum Einsatz. Das bekannteste Beispiel findet sich wohl bei der Navigation eines Autos mittels des lauffzeitbasierten *Global Positioning Systems (GPS)*.

Bei AR-Anwendungen werden die vom Tracking-System erhaltenen Informationen, wie etwa der Standort des Nutzers und dessen Blickrichtung, dazu genutzt, um virtuelle Objekte in der realen Umgebung entsprechend zu verankern und realistisch darzustellen. Um die Objekte perspektivisch korrekt abzubilden, müssen die unterschiedlichen Koordinatensysteme der Trackingsysteme registriert, also aufeinander abgebildet werden (Tönnis 2010). Kamerabasierte Systeme müssen zudem kalibriert werden, um Abweichungen einzelner Komponenten aufeinander abzustimmen.

Augmented Reality (AR) im Detail

Tracking-Verfahren werden nebst für Augmented Reality auch in zahlreiche anderen Branchen genutzt. *Motion-Tracking*-Systeme werden beispielsweise dazu verwendet, menschliche Bewegungen zu digitalisieren, um dreidimensionale Charaktere realistisch zu animieren oder auch um Avatare im Umfeld von Virtual Reality steuern zu können. *Eye-Tracking*-Technologien verfolgen die Augenbewegung von Nutzern und werden etwa in der Marktforschung und bei Usability Evaluationen verwendet um Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeitslenkung des Nutzers zu ziehen. Denkbar wäre hierbei auch Eye-Tracking als Interaktionsmöglichkeit in VR und AR zu nutzen oder um in Abhängigkeit der getrackten Augenposition des Nutzers virtuelle Objekte zu rendern bzw. unscharf zu maskieren.

Heutzutage kombinieren Tracking Systeme meist mehrere Sensor-Technologien und komplexe Algorithmen, um präzisere Werte zu erhalten und die Fehleranfälligkeit zu minimieren. Objekte können prinzipiell auf unterschiedliche Arten verfolgt werden. Je nach System werden dafür beispielsweise mechanische, akustische, magnetische, laufzeitbasierte oder optische Verfahren genutzt. Die Herausforderung liegt dabei allerdings in der Fusion der Sensoren.

Optisches Tracking

Optische Tracking-Systeme nutzen zum Beispiel Bilddaten von Kameras, um Objekte zu erkennen und zu verfolgen. Tönnis, auf dessen Ausführungen im Folgenden Bezug genommen wird, teilt die Systeme hierbei in markerbasiertes und markerloses Tracking ein.

Beim *markerbasierten Tracking* gibt es grundsätzlich reflektierende Marker und Marker mit Mustern. *Reflektierende* Marker werfen das Licht in Richtung des Ursprungs zurück und können so unter Verwendung von zwei Kameras, deren Lage zueinander bekannt ist, bzw. einer Stereokamera dazu genutzt werden, um die Position des Markers im Raum zu bestimmen. Eine solche Technologie wird etwa bei den oben erwähnten Motion-Tracking-Systemen angewandt. Bei *musterbasierten* Markern (siehe Abb. 3-7) reicht nach Tönnis hingegen eine Kamera, welche das Setting mit dem Marker aufnimmt und anhand Kontrastunterschieden im Muster Kanten erkennt. Mit Hilfe der Kanten werden die Eckpunkte des Markers bestimmt, womit die Neigung des Objekts relativ zur Kameraposition ermittelt werden kann.

Beim *markerlosen Tracking* werden physikalische Objekte anhand vorhandener Merkmale erkannt und getrackt, ohne dass weitere Marker benötigt werden. Damit dies möglich ist, muss das System zuvor allerdings wissen, wonach es suchen muss. Es können dafür entweder 3-D-Modelle des Objekts hinterlegt oder weitere Bildverarbeitungsmethoden, etwa zur Erkennung von Mustern oder Silhouetten, verwendet werden, um so genannte *Feature-Points*, zu erkennen und anhand dieser Merkmale die relative Position des Objekts zu bestimmen (Tönnis 2010).



Abb. 3-7 Musterbasierter Marker in einem Schaltschrank

Wie das in Kapitel 2.6 bereits erwähnte Project Tango von Google, entwickelt auch Microsoft ein System zur Umgebungserfassung. Das Unternehmen arbeitet an *Spatial Mapping* (dt. „Räumliche Darstellung“), eine markerlose Tracking-Technologie zur Umgebungserfassung mit der HoloLens. Mit Hilfe des verbauten Tiefensensors erzeugt das HMD ein Mesh (dt. „Gitter“) aus Dreiecken von der umgebenden realen Welt mit Informationen zu Position und Größe von Objekten in einem kartesischen Koordinatensystem. Das Mesh wird während der Nutzung mit weiteren Details erweitert und so kontinuierlich verbessert. Es ermöglicht die Platzierung von virtuellen Objekten auf, hinter oder vor realen Objekten und der Lokalisierung des Nutzers in Relation zur erfassten Umgebung. (Microsoft Developers 2016)

Weitere Trackingsysteme

Neben optischen Systemen werden handelt es sich bei den für Augmented Reality meist eingesetzten Tracking-Verfahren um sog. *inertiale Systeme*, die Sensoren zur Beschleunigungs- oder Neigungsmessung nutzen und diese Informationen in Translationen und Rotationen umrechnen (Tönnis 2010). Im Gegensatz zu optischen Systemen erhält man durch inertielle Trackingsysteme laut Tönnis Position und Lage von Objekten relativ zu ihrem eigenen Startpunkt statt zu einem Ursprung, was aufgrund der Unabhängigkeit von anderen Hardwarekomponenten ein Vorteil, aber auch

Augmented Reality (AR) im Detail

zugleich ein Nachteil ist, da kein Nullpunkt bekannt ist, um die Informationen in Relation zu setzen (Tönnis 2010).

Weitere nennenswerte Tracking-Technologien sind *Laufzeitbasierte Systeme* wie das über ein Satelliten-Netz arbeitende GPS oder das Impulsradar, *Magnetische Systeme* wie etwa ein Kompass, der anhand des Magnetfelds der Erde einen Richtungsvektor zum Nordpol bestimmt und *Mechanische Systeme*, bei welchen ein Objekt mit beweglichen Gelenken getrackt wird. Letzteres wurde bereits von Sutherland bei der Entwicklung der ersten AR-Anwendung benutzt (siehe Kapitel 3.1).

3.2.3 Interaktion

Interaktion bezeichnet in der Informationstechnologie die Wechselwirkung der „Kommunikation zwischen Mensch und Maschine“ (Quiring und Schweiger 2006, 7). Menschen können in ein interaktives System Informationen eingeben und wiederum Ausgaben von diesem System erhalten (Deutsches Institut für Normung 2011).

Mit einem AR-System kann im Gegensatz zu Systemen auf PCs, Laptops oder Smartphones in einem realen dreidimensionalen Raum interagiert werden. Bowman et al. (2005) teilen Interaktionstechniken bei dreidimensionalen Interfaces in *Selektion und Manipulation*, *System Control* (Systemsteuerung), *Travel* (Bewegung), *Wayfinding* (Orientierung und Navigation) und *Symbolische Eingabe* ein. Im Nachfolgenden wird insbesondere auf Selektion, Manipulation, Systemsteuerung und Symbolische Eingaben eingegangen sowie auf *Tangible Interfaces*.

Selektion

Zweidimensionale Benutzeroberflächen, wie sie von den zuvor genannten Devices gewohnt sind, können nicht direkt auf AR übertragen werden, da unter anderem die konventionellen Eingabegeräte nicht zur Verfügung stehen (Tönnis 2010). Dies erfordert es, andere Wege zur Selektion und Manipulation von Objekten zu verwenden.

Bei AR-Systemen kann der Nutzer beispielsweise anhand einer getrackten Hand virtuelle Objekte in Reichweite direkt durch eine Greif-Bewegung

auswählen oder aber auch weiter entfernte Objekte über so genannte *Raypicking*-Methoden, bei denen die Zeigerichtung eines Elements genutzt wird einen virtuellen Strahl auszusenden, um ein Objekt zu selektieren (Tönnis 2010, 108f). Microsoft nutzt eine Variante von Raypicking mit der Bezeichnung *Gaze* (dt. „Blick“) als grundlegende Selektionsvariante bei der HoloLens (siehe Abb. 3-8). Hier wird die Kopf-

richtung des Nutzers dazu genutzt, einen Richtungsvektor zu erhalten, welcher als Overlay visualisiert wird. Weiterhin ist es denkbar, dass hierfür früher oder später die Blickrichtung der Augen statt der Kopfrichtung genutzt wird, was eine präzisere Selektion ermöglichen würde.



Abb. 3-8 Gaze auf der HoloLens - Selektion mit dem Blick (Microsoft HoloLens 2016)

Manipulation und Systemsteuerung

Ein ausgewähltes Objekt kann durch weitere Eingaben, wie beispielsweise Gesten, Sprache, Bewegung von getrackten Objekten oder Markern oder durch *Hard-Buttons* bzw. Eingabe in andere Devices manipuliert werden. Das Objekt kann dadurch unter anderem ausgeblendet, skaliert, rotiert oder im Raum bewegt werden. Ebenso kann mit den genannten Eingabemöglichkeiten auch das System selbst gesteuert werden.

Während Sprach- und Gestensteuerung deutlich intuitivere Interaktionen bieten als Eingabegeräte wie Tastatur, Maus oder *Hard-Buttons*, bringen sie allerdings große Herausforderungen mit sich. Für die Eingabe von Befehlen mittels Sprache oder Gesten ist es nötig, dass auf der einen Seite der Nutzer zuvor weiß was er wie tun kann und auf was das System reagiert und auf der anderen Seite, dass keine unbeabsichtigte Gesten oder Sätze vom System fälschlicherweise als Eingabe erkannt werden (Tönnis 2010). Letzteres Problem kann beispielsweise durch eine zuvor eindeutige Aktivierungsgeste oder eine sog. *Hotword*-Aktivierung behoben werden. Google nutzt etwa bei Glass und Android-Devices das Hotword „Ok, Google“ um die Spracheingabe zu starten.

Augmented Reality (AR) im Detail



Abb. 3-9 Projektionsbasierte virtuelle Tastatur (CTX Technologies 2016)

Symbolische Eingaben

In der Möglichkeit zur Eingabe von Symbolen wie Text oder Zahlen sieht Tönnis (2010) eine Grundvoraussetzung für die Adaption von AR im Alltag der Menschen. Abgesehen von der Verwendung von Sprache, Gesten oder externer Geräte wie physikalische Tastaturen oder ähnliches, könnten die Eingabelemente auch virtuell dargestellt oder projiziert, sowie Nut-

zereingaben über Tracking und Bildverarbeitung erkannt werden. Solche projektionsbasierte Tastaturen sind bereits im Handel erhältlich und können über Bluetooth an Geräte wie Smartphone oder Tablet gekoppelt werden (siehe Abb. 3-9).

Tangible User Interfaces und weitere Interaktionsmöglichkeiten

2001 zeichneten sich nach Azuma et al. (2001) zwei Trends zur Interaktion mit AR-Systemen ab: Tangible User Interfaces und die Nutzung der Vorteile unterschiedlicher Geräte. Bei Letzterem werden verschiedene Displays und Eingabemöglichkeiten kombiniert, sodass für jede Interaktion ein passendes Gerät genutzt werden kann (Azuma et al. 2001, 38). So kann etwa die Anzeige virtueller Elemente auf einem Display über ein anderes Device gesteuert und Daten ausgetauscht werden. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass das System sehr komplex wird.

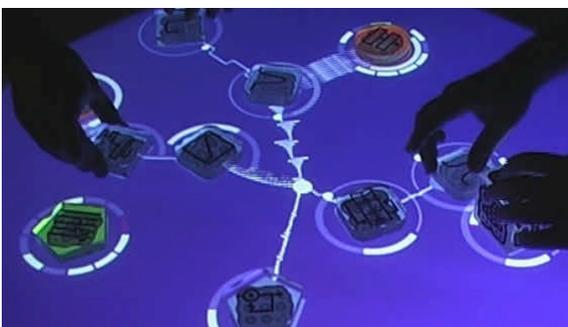


Abb. 3-10 reacTable: Tangible User Interface zur Live Musik Performance (Jordà et al. 2007)

Tangible User Interfaces (TUIs) nutzen dagegen verstärkt die Vorteile von Augmented Reality als System mit Interaktionsmöglichkeiten in einer dreidimensionalen Umgebung. TUIs koppeln virtuelle Elemente an physikalische Objekte in der Realität (siehe Abb. 3-10), welche dadurch sowohl als Ausgabe- wie auch als Eingabemöglichkeit genutzt werden können (Shaer und Hornecker 2009). Shaer und Hornecker

beschreiben weiterhin, dass TUIs dabei haptisches Feedback über das physikalische Objekt geben können sowie visuelles oder auditives Feedback anhand virtueller Informationen.

3.3 Potenzial

Die Goldman Sachs Group sammelt in einem Trendreport Anfang 2016 das eindrucksvolle Potenzial von VR und AR. Die Analysten geben an, dass in den vergangenen zwei Jahren etwa 3,5 Milliarden US-Dollar in die Branche investiert wurden. Das Team um Heather Bellini prophezeit drei mögliche Zukunftsszenarien der Technologie, die im Folgenden betrachtet werden (Bellini et al. 2016). Im *base case* Szenario soll die Branche bis zum Jahr 2025 ein Umsatzvolumen von etwa 80 Milliarden US-Dollar erreichen (im *accelerated uptake* sogar etwa 182 Milliarden US-Dollar, im *delayed uptake* nur etwa 23 Milliarden US-Dollar). Von den 80 Milliarden im base case sollen etwa 45 Milliarden von der Hardware und 35 Milliarden von der Software erwirtschaftet werden. Im Vergleich zu den 111 Milliarden US-Dollar des derzeitigen Hardware-Markts für Notebooks zeigt sich das enorme Wachstumspotenzial von Mixed Reality.

Die großen Geldbeträge sind im auch im Entertainment- bzw. Gaming-Bereich spürbar. Beim World Drone Prix 2016 in Dubai gewann ein 15-jähriger Teenager ein Preisgeld von \$250,000, indem er über ein Head-Mounted Display seine Drohne durch einen Parkour steuerte (Futurezone 2016).

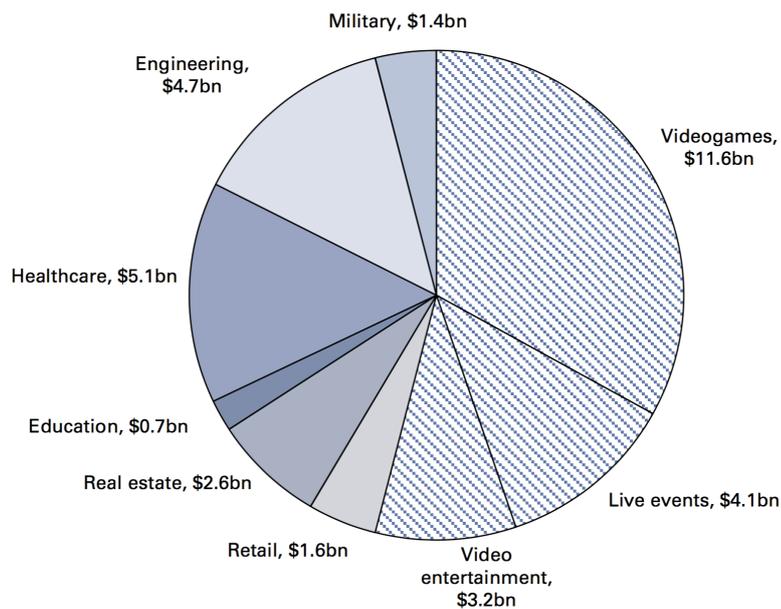
Die Technologie wird sich allerdings weder auf die Bereiche Gaming und Entertainment noch auf einige wenige Anwendungsmöglichkeiten beschränken sonder laut Bellini et al. nahezu jede Industrie beeinflussen wird.

We think that this technology has the potential to transform how we interact with almost every industry

(Bellini 2016)

Augmented Reality (AR) im Detail

Abb. 3-11 veranschaulicht die Wachstumsprognose für VR- und AR-Software der Goldman Sachs Group für das Jahr 2025. Während die Spieleindustrie zwar Spitzenreiter bleibt, prophezeit das Unternehmen neben Entertainment und Live Events vor allem im Gesundheitsbereich, Ingenieurswesen und Immobilienbereich starke Umsätze.



Source: Goldman Sachs Global Investment Research.

Abb. 3-11 Prognose für die Branchen-Verteilung von VR/AR-Software im Jahr 2025 nach dem base case Szenario der Goldman Sachs Group (Bellini et al. 2016, 8)

3.3.1 Einsatzmöglichkeiten

Das Potenzial von AR scheint branchenübergreifend nahezu grenzenlos. Anhand der Gruppierung von Krevelen und Poelman (2010) werden nachfolgend beispielhaft einige aktuelle und potenzielle Einsatzmöglichkeiten in den Bereichen persönliche Informationssysteme, Industrie und Militär, Medizin, Entertainment, (Team-)Kollaboration sowie in Bildung und Training einbezogen, um die Spannweite und das Potenzial von AR aufzuzeigen.

Persönliche Informationssysteme

Mit AR kann nahezu jede Art von Handbuch oder (Bedienungs-)Anleitung ersetzt werden. Durch die direkte Anzeige der Informationen am Objekt kann der Nutzer Zeit sparen und vor Frustration bewahrt werden. Audi Deutschland (2014) hat beispielsweise eine Smartphone-App veröffentlicht, welche zusätzliche Informationen zu den Bedienelementen im Auto-Cockpit anzeigt.

In der Automobilindustrie werden bereits erste Head-up Displays in Serie verbaut. Die Geräte ermöglichen die Anzeige von Verkehrsinformationen wie Abstand zum Vordermann, erlaubte Geschwindigkeit, Verkehrszeichen, Fahrbahnbegrenzungen oder Ideallinie, ohne dass der Fahrer den Blick von der Straße nehmen muss. Ebenso kann AR im Head-Mounted Display oder über ein anderes Device zur Anzeige von Navigationselementen genutzt werden.

Auch bei der Auswahl oder Konfiguration neuer Produkte bietet AR zahlreiche Einsatzmöglichkeiten. Mit dem IKEA Katalog 2014 konnte man etwa die Einrichtungsgegenstände über eine Smartphone-App vor dem Kauf virtuell probestellen (siehe Abb. 3-12).

Weiterhin können beispielsweise fremdsprachige Texte an Ort und Stelle übersetzt und der übersetzte Text über das Original gelegt werden wie es die Google Übersetzer App bereits ermöglicht (siehe Abb. 3-13).

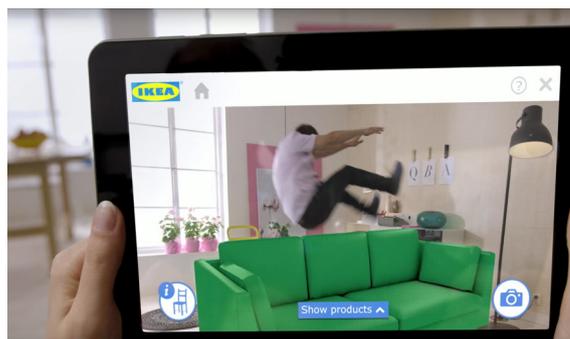


Abb. 3-12 Probestellen von Möbeln mit der IKEA Katalog App (IKEA 2013)

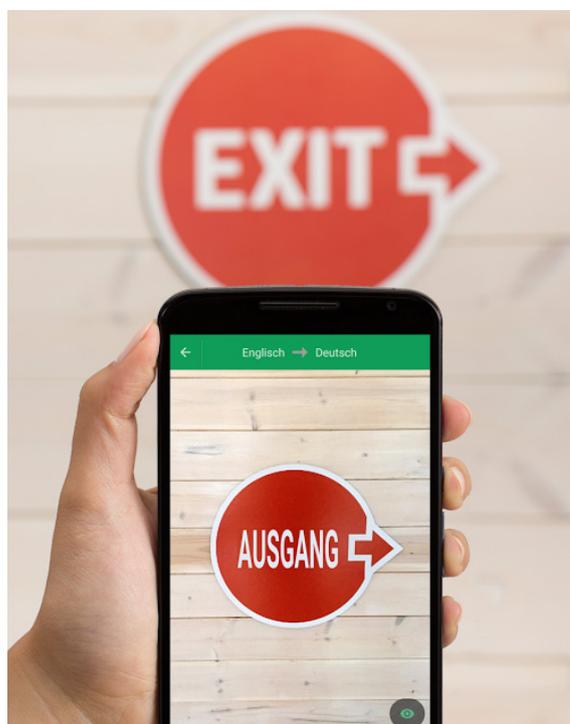


Abb. 3-13 Google Übersetzer (Google Play 2016)

Augmented Reality (AR) im Detail

Industrie und Militär

AR-Systeme können Nutzer direkt am entsprechenden Ort bei Prozessen wie Überprüfung, Wartung oder Installation von (neuen) Maschinen oder Geräten mit Schritt-für-Schritt-Anleitungen unterstützen. Ein zeitaufwendiger Blick in das Handbuch wird überflüssig. In Kapitel 6 wird konkret ein solches Szenario im Kontext einer Großdruckerei erarbeitet.

Head-Up Displays werden bereits seit vielen Jahren in Cockpits von Flugzeugen und Jets eingesetzt, um Informationen wie Neigung oder Höhenmeter im Sichtfeld des Piloten anzuzeigen. Kampfsituationen können beispielsweise mit Systemen wie dem Shooter-Spiel AR-Quake simuliert werden.

Medizin

In der Medizin können dem Arzt bei der Durchführung von Operationen über ein Head-Mounted-Display relevante Patienten-Informationen oder Handlungsempfehlungen an Ort und Stelle eingeblendet werden, ohne eine Interaktion mit den Händen tätigen zu müssen, während der Arzt gleichzeitig die Hände frei und die Realität im Blick hat.

Entertainment

Neben Spielen, wie dem bereits genannte AR-Quake, findet sich Augmented Reality unter anderem auch bei der Übertragung von Sportveranstaltungen wieder. In Echtzeit kann zum Beispiel bei der Übertragung



Abb. 3-14 Augmented Reality bei einer Sportübertragung (Olympic 2012)

eines Fußballspiels eine Abseitslinie angezeigt werden oder bei der Übertragung von Schwimm-Wettbewerben die Namen und Nationalitäten der Schwimmer der jeweiligen Bahn (siehe Abb 3-14). Dabei handelt es sich wie bei der Abseitslinie um eine Anwendung, welche die meisten Zuschauer nicht bewusst als Augmented Reality wahrnehmen.

Kollaboration

Meetings könnten mit Avataren von zugeschalteten Mitarbeitern oder virtuellen Elementen wie Pläne und Konstruktionen im Ingenieurwesen oder Ideen und Entwürfe in den Bereichen Architektur und Design erweitert werden und die Teamarbeit (auch über den physikalischen Standort hinweg) verbessern. Der Computer Aided Design (CAD) Softwarehersteller Autodesk arbeitet hierbei beispielsweise zusammen mit Microsoft an einer kollaborativen Anwendung auf der HoloLens (siehe Abb. 3-15).



Abb. 3-15 Teamarbeit mit Augmented Reality (Microsoft 2016 b)

Bildung und Training

Lehrende könnten mit AR einen interaktiveren Unterricht gestalten und Inhalte anhand dreidimensionaler Visualisierungen erklären. Chemische Reaktionen von Elementen können beispielsweise mit Tangible Interfaces greifbar gemacht werden (DAQRI Elements 4D 2016).

Kritische Situationen, wie etwa ein Fehlerfall in der Industrie, können zuvor anhand von Simulationen in der virtuellen Umgebung oder in einer realen Umgebung mit AR trainiert werden, um so im Ernstfall Fehler zu minimieren und die Problemlösungsfähigkeit der Anwender durch Erfahrung zu bestärken.

3.3.2 Computerplattform der Zukunft?

We believe VR/AR could be the next computing platform if technology barriers are overcome

Bellini et al. 2016

Genauso wie Bellini et al. scheinen sich auch Technologieriesen wie Google, Microsoft oder Facebook einig zu sein, dass AR und VR die Computerplattform der Zukunft maßgeblich prägen werden. Microsoft bezeichnet Hologramme als die anstehende Computer-Evolution (Microsoft 2016 c) und verschickt derzeit die ersten Entwicklerversionen der HoloLens in

Augmented Reality (AR) im Detail

den USA und Kanada. Google hat bereits 2012 mit der Glass einen ersten größeren Feldversuch gestartet. Aktuell hat das Unternehmen zwar kein eigenes Device auf dem Markt, entwickelt aber intensiv die Umgebungserfassungsplattform Tango, welche vielversprechende Möglichkeiten für neue AR-Anwendungen mit sich bringt. Des Weiteren hat Google bereits mehrere hundert Millionen US-Dollar in das AR-Startup Magic Leap investiert. Facebook übernahm 2014 Oculus VR für 2 Milliarden US-Dollar. Chef Mark Zuckerberg prophezeit auf der unternehmenseigenen Entwicklerkonferenz F8 2016, dass HMDs in den kommenden 10 Jahren deutlich kleiner werden und schließlich die Form von gewöhnlichen Brillen annehmen könnten, während sie dem Nutzer sowohl AR als auch VR bieten sollen (Facebook for Developers 2016).

Meron Gribetz, Gründer des erfolgreichen AR-Startups Meta Vision kündigte Anfang 2016 in einem TED Talk an, dass sein gesamtes Unternehmen bis 2017 die externen Monitore durch HMDs ersetzen wird (Gribetz 2016). Auch wenn dieser Schritt derzeit etwas radikal erscheint, könnten die am Kopf getragenen Displays auf kurz oder lang so allgegenwärtig werden, wie derzeit das Smartphone und somit schließlich tatsächlich den Großteil der konventionellen Anzeigegeräte ersetzen.

*But these massive opportunities won't come easy. [...]
It won't happen fast, and it won't be easy [...]*

Mainelli 2016

Wie Mainelli folgert, gilt es für Hardware und Software bis zur Massentauglichkeit noch einige Herausforderungen zu meistern, auf welche in Abschnitt 3.4 genauer eingegangen wird.

3.4 Herausforderungen

3.4.1 Alltagstauglichkeit

Nach Krevelen und Poelman bestehen Herausforderungen zur Alltagstauglichkeit von AR in der intuitiven Bedienbarkeit der Produkte, im Preis, im Gewicht, Energiebedarf, der ergonomischen Bedienbarkeit sowie in der Erscheinung (Krevelen und Poelman 2010). Zudem besteht eine große Herausforderung der Technologie darin, sich aus dem fiktionalen Bereich hin zu einer von der Bevölkerung angenommenen Technologie zu bewegen (Bellini et al. 2016). Hierfür müssen zunächst vor allem brauchbare Inhalte und Anwendungen entwickelt werden.

AR ist für den Großteil der breiten Bevölkerung derzeit noch eine gänzlich neue Form eines Computersystems. Um die Nutzer damit vertraut zu machen, muss daher zunächst eine Brücke zwischen bewährten Interaktionsparadigmen bekannter Systeme und der neuen Technologie geschaffen werden. Die Anwender müssen bei etablierten Methoden, Gestaltungsgrundsätzen und Standards, wie auch bei ihrem angeeignetem Wissen wie beispielsweise die Bedienung von Maus und Tastatur oder erlernter Gesteneingabe bei Touch-Interfaces abgeholt werden. Zugleich sollten die Möglichkeiten der neuen Technik ausgereizt werden, um Effizienz, Effektivität und Nutzungsfreude zu steigern. Tönnis (2010) folgert, dass für eine breite Adaption symbolische Eingabemöglichkeiten vorhanden sein müssen. Diese könnten den Nutzer, wie oben bereits erwähnt bei bewährten Interaktionsparadigmen abholen. Es gilt daher, den Nutzer nicht mit gänzlich neuen Interaktionsmöglichkeiten zu überfordern, sondern ihn an die Neuheiten heranzuführen und mit diesen zu überzeugen.

Gleichzeitig sollten die Geräte bei der Nutzung und beim Tragen unaufdringlich und angenehm sein, um auch im Alltag akzeptiert zu werden. Der Preis ist hinsichtlich Massenadaption ein weiterer Faktor. Während derzeitige HMD-Systeme zwar noch sehr teuer sind, vergleicht Goldman Sachs die Preisentwicklung der Technologie mit der von Notebooks oder Smartphones und geht davon aus, dass der Verkaufspreis ähnlich wie bei diesen sinken wird (Bellini et al. 2016).

Augmented Reality (AR) im Detail

Mit dem verstärkten Aufkommen von Head-Mounted Displays treten allerdings Sicherheitsbedenken auf den Plan. Nutzer und Datenschützer haben Sorgen um den Schutz der Privatsphäre von Anwendern sowie von unbeteiligten Dritten.

Damit Augmented Reality von der breiten Masse adaptiert wird, müssten die Systeme mindestens so sicher, intuitiv, effizient und angenehm zu bedienen sein wie bisher eingesetzte Technologien oder besser sein und gleichzeitig die Produktivität und Nutzungsfreude steigern. Um dies zu erreichen, müssten unter anderem die nachfolgend beschriebenen Probleme gelöst werden.

3.4.2 Technische Aspekte

Setzt man eine nahtlose, natürlich wirkende Erweiterung der Realität mit virtuellen Elementen als Ziel, ergeben sich vor allem Anforderungen an die Verarbeitung der erfassten Umgebung, sowie die darauf berechnete Anzeige der virtuellen Elemente in Echtzeit. Registrierung und Tracking mit präziser Sensorik und aufwendigen Algorithmen zur genauen Erfassung der Nutzer sowie der Umgebung sind dabei elementar. Krevelen und Poelman (2010) sehen dabei in der Tiefenwahrnehmung des Nutzers ein schwerwiegendes Problem.

Zur mobilen Verwendung müssen zudem die Display- und Tracking-Technologien klein genug sein, um beispielsweise in HMDs verbaut zu werden. Gleichzeitig muss das System genug Energiekapazität und Rechenleistung zur Verarbeitung der aufwendigen Prozesse mit sich bringen, damit die Wahrnehmung des Nutzers nicht durch die System-Latenz beeinträchtigt wird. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, verwendet beispielsweise Microsoft den Ansatz neben einer *Central Processing Unit (CPU)* und einer *Graphics Processing Unit (GPU)* auch einen *Holographics Processing Unit (HPU)* in der HoloLens zu verbauen. Während ein CPU generell die Befehle und Eingaben von Anwendungen ausführt, ist der Grafikprozessor spezialisiert auf die Verarbeitung von Grafiken. Der HPU soll hingegen in erster Linie die Prozesse ausführen, die nötig sind um die Integration der virtuellen Objekte in die Realität zu ermöglichen und verarbeitet also die Infor-

mationen von den in der HoloLens verbauten Sensoren sowie Nutzereingaben wie Gesten oder Sprache (Haughn 2015).

3.4.3 Cybersickness

Cybersickness, oder auch *Virtual Reality Sickness*, kann während oder nach der Nutzung von Virtual Reality Systemen auftreten. Die Symptome wie Schwindelgefühl, Unwohlsein, Desorientierung, Übelkeit oder Kopfschmerzen sind ähnlich zur *Motionsickness* (dt. „Reisekrankheit“) oder *Simulator Sickness*. LaViola (2000) beschreibt mehrere Theorien, die das Auftreten der Krankheit beantworten. Er nennt dabei unter anderem Auswirkungen der Nutzung auf den Gleichgewichtssinn des Menschen, da die vestibuläre Wahrnehmung nicht mit der visuellen Wahrnehmung übereinstimmt und so in einen Konflikt gerät.

Cybersickness kann auch bei Augmented Reality Anwendungen, vor allem durch die Nutzung von Video See-Through Head-Mounted Displays auftreten. Es ist derzeit noch eines der größten Probleme bei der Nutzung von VR und AR Anwendungen. Aktuelle Forschungen versuchen daher effiziente Lösungen zu finden. Xiao und Benko (2016) entwickelten beispielsweise zwei Display-Prototypen mit dem Namen SparseLightVR und SparseLightAR. Die Prototypen sollen das Blickfeld des Betrachters durch zusätzliche periphere Displays erweitern und somit die Gefahr von Cybersickness reduzieren. Erste Nutzertests haben laut Xiao und Benko (2016) bereits Verbesserungen verzeichnen können. Die Prototypen wurden von den Nutzern gegenüber Displays ohne periphere Anzeige bevorzugt.

3.4.4 Gefahr von Hyper-Reality

Werden die genannten Herausforderungen allerdings überwunden und die Technologie von der breiten Bevölkerung angenommen und regelmäßig oder sogar ständig benutzt, entwickelt sich die Gefahr der Entstehung einer *Hyper-Reality*. In einer solchen wird die gesamte reale Umgebung des Nutzers mit einer virtuellen Welt vermischt (Matsuda 2016). Der Nutzer kann dabei kaum mehr zwischen real und virtuell unterscheiden.

Augmented Reality (AR) im Detail

Die Kurzfilme *Hyper-Reality* von Keiichi Matsuda (siehe Abb. 3-16) und *Sight* von Robot Genius (siehe Abb. 3-17) veranschaulichen eine solche Form der vermischten Realität. Ständig ist dabei die physikalische Realität durch virtuelle Inhalte angereichert.



Abb. 3-16 Ausschnitt aus dem Kurzfilm ‚Hyper-Reality‘ (Matsuda 2016)



Abb. 3-17 Ausschnitt aus dem Kurzfilm ‚Sight‘ (Robot Genius 2012)

Für die Nutzer scheint die ubiquitäre Erweiterung mit personalisierten Elementen dabei fast normal. Eigentlich kahle Räume oder Umgebungen sind mit virtuellen Objekten dekoriert und ausgestaltet. Die Filme zeigen sowohl das eindrucksvolle Potenzial einer solchen Welt, beleuchten aber auch insbesondere deren Schattenseiten. Beide Filme werfen unter anderem den Blick auf die Manipulierbarkeit der Wahrnehmung. Matsudas *Hyper-Reality* betrachtet im Speziellen auch die Überforderung der Nutzer.

A large, bold, light gray number '4' is positioned in the upper right quadrant of the slide. The background is dark gray with a pattern of lighter gray hexagons.

Anwendung von AR
in der Industrie 4.0

4.1 Industrie 4.0

Mit dem von der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung geprägten Begriff *Industrie 4.0* wird die zunehmende digitale Vernetzung und Automatisierung von industriellen Herstellungsprozessen beschrieben. Damit soll die „Informatisierung der klassischen Industrien [...] vorangetrieben werden“ (Botthof 2014), „die heimische Produktion in Europa wieder [gestärkt werden]“ (Ramsauer 2013) und eine vierte industrielle Revolution durch den „Einzug des Internets der Dinge und Dienste in die Fabrik“ (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013) eingeläutet werden.

4.1.1 Internet der Dinge in der Industrie

Kaum eine Technologie hat das Leben der Menschheit in den vergangenen 20 Jahren so sehr geprägt wie das Internet. Sowohl im privaten Umfeld als auch im Geschäftsbereich ist es kaum mehr wegzudenken. Mit der zunehmenden Vernetzung von Objekten aus dem Alltag ist der Begriff *Internet der Dinge* (engl. „Internet of Things“) derzeit in aller Munde. Über das Internet kommunizieren nun nicht mehr nur Menschen miteinander, sondern ebenso Menschen und Objekte sowie Objekte untereinander (Tan und Wang 2010). Dadurch findet ein Paradigmenwechsel statt. Für den Nutzer steht alsbald nicht mehr nur ein Personal Computer (PC) im Zentrum, sondern vielmehr eine intelligente Umgebung von miteinander kommunizierenden Objekten und Geräten (Kargermann, Wahlster und Helbig 2012). Im Jahr 2008 hat die Anzahl der vernetzten Dinge die Zahl der Erdbewohner bereits überschritten und soll bis 2020 auf 50 Milliarden anwachsen (Cisco 2011). Kaum ein neu vorgestelltes Produkt, sei es Fernseher, Toaster oder Zahnbürste, lässt mehr die Verbindung mit dem Internet aus.

Ziel der deutschen Bundesregierung ist es, mit dem Projekt Industrie 4.0 die Wettbewerbsfähigkeit durch den Erhalt der Produktionsstandorte und den dazugehörigen Arbeitsplätzen zu stärken, um auf lange Sicht den Lebensstandard zu halten (Ramsauer 2013).

Die industrielle Revolution (siehe Abb. 4-1) begann Ende des 18. Jahrhunderts. Wasserkraft, Dampfkraft und mechanischer Webstuhl führten von

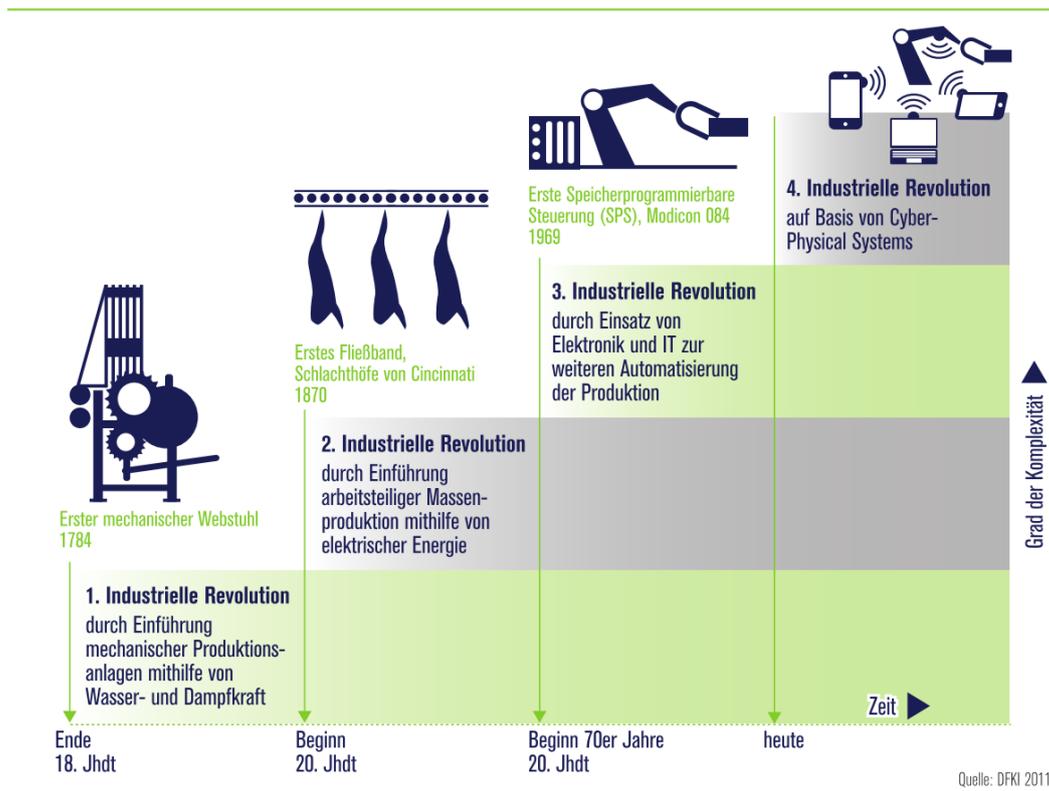


Abb. 4-1 Die vier Phasen der Industriellen Revolution
(Henning Kargermann, Wolfgang Wahlster 2013, 17)

England ausgehend zur globalen Entstehung mechanischer Fertigungsanlagen und somit zur ersten Phase der Industriellen Revolution. Mit den Kenntnissen um die Nutzung elektrischer Energie und der Entwicklung des Fließbandes, formten zu Beginn des 20. Jahrhunderts Arbeitsteilung und Massenproduktion die zweite Phase. Der Einzug von Informationstechnik und Elektronik in die industrielle Fertigung ab den 1970ern markiert den Beginn der dritten Phase der industriellen Revolution (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013). Jede dieser Entwicklungen prägte die Gesellschaft signifikant. Nun stehen wir an der Schwelle zu einer vierten Phase der Industriellen Revolution.

Mehr und mehr wird das Internet der Dinge mit der industriellen Fertigung verflochten. Man spricht dabei von so genannten cyber-physischen Systemen (CPS). Der Begriff beschreibt ein System aus physischen und computerbasierten Elementen, mit welchen über mehrere Modalitäten kommuniziert werden kann (Baheti und Gill 2011).

Anwendung von AR in der Industrie 4.0

In Industrie 4.0 werden intelligente Maschinen, Lager und Betriebsmaterialien über diese cyber-physischen Systeme vernetzt. Mithin entsteht eine sogenannten Smart Factory (dt. „intelligente Fabrik“), in welcher die miteinander vernetzten Komponenten untereinander kommunizieren, sich gegenseitig autonom steuern und organisieren können (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013). Das Smart Product (dt. „intelligentes Produkt“) ist während des gesamten Fertigungsprozesses lokalisierbar und kann dem cyber-physischen System des Weiteren Auskunft über seine Identität und Eigenschaften, wie zum Beispiel derzeitiger Zustand oder Zielzustand, geben (Kargermann, Wahlster, und Helbig 2013).

Dadurch wird eine kundenindividuelle Massenproduktion möglich (Bott-hof 2014), wobei zugleich die Ressourceneffizienz gesteigert wird. Markus Lorenz veranschaulicht in einem TED Talk, am Beispiel der Produktion von Joghurt-Varianten wie intelligente Maschinen den durch Produktionsfehler entstehenden Kosten entgegenwirken können, indem die Fehler von der Maschine selbst erkannt und behoben werden. In der Lebensmittelindustrie belaufen sich die dadurch anfallenden Kosten pro Jahr auf etwa 15 Milliarden Dollar (Lorenz 2015). Hier wird anschaulich deutlich, auf welches enorme Optimierungspotenzial Industrie 4.0 trifft.

4.1.2 Veränderungen der Arbeitswelt

Die weitreichende Automatisierung der Produktionsprozesse erhöht zunehmend die Komplexität des Systems (siehe Abb. 4-1) und verändert das Aufgabenspektrum von Maschinenbedienern. War der Arbeiter beispielsweise zuvor nur für eine bestimmte Aufgabe an einer Maschine verantwortlich, steht mittlerweile oft Wartung und Überwachung mehrerer automatisierter Prozesse ggf. an mehreren Maschinen im Fokus seiner Aufgaben.

Daraus ergibt sich allerdings das Dilemma der „Ironie“ der Automatisierung“ (Hartmann 2014). Der Mensch überwacht automatisierte Prozesse und greift im eher seltenen Fall ein, wenn das System überfordert ist. Das Problem dabei ist, dass sich der Mensch in diesem Fall nicht in einer guten Lage befindet, die Aufgabe zu lösen. Für Hartmann (2014) hat dies die drei im Folgenden geschilderten Ursachen: Erstens wohnt der Situation selbst

ein besonderes Maß an Komplexität bei, da die Maschine dann überfordert ist, wenn ein anspruchsvolles Problem vorliegt. Zweitens kann der Nutzer das komplexe System nicht schnell auf mögliche Ursachen untersuchen, da er nicht über ausreichende Informationen zum aktuellen Prozess verfügt. Drittens nimmt das Verständnis des Bedieners hinsichtlich des Systems durch seine passive Rolle im Prozess ab. Hartmann folgert daher, dass es dem Bediener ermöglicht werden muss, den Überblick zu behalten (Hartmann 2014).

Um dies zu erreichen bietet sich nach Lüdtkke (2015) eine teamorientierte Lösung an, bei der Mensch und Maschine als *Mensch-Maschine Team (MMT)* zusammenarbeiten, um Aufgaben zu erledigen und dabei auch effizient zu kommunizieren. Mensch und Maschine müssen also zunehmend miteinander verschmelzen, um den Anforderungen der komplexen Systeme gerecht zu werden. Idealerweise weiß in einem Team jedes Mitglied über die Eigenschaften und Fähigkeiten der Anderen Bescheid. Die Parteien tauschen sich untereinander über ihre Aktivitäten aus, sodass Verhalten nachvollziehbar und vorhersehbar ist (Lüdtkke 2015). Durch den in Echtzeit stattfindenden Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine bzw. dem cyber-physischen System werden Unsicherheiten vermieden und der Mensch wird in die Lage versetzt, die komplexen Prozesse zu überwachen und gegebenenfalls zu optimieren oder wenn erforderlich, Kontrolleingriffe vorzunehmen (Lüdtkke 2015). Im Fokus eines MMTs sollten nach Lüdtkke (2015) nicht die einzelnen Komponenten stehen, sondern das gesamte System als Einheit.

4.2 Einsatzmöglichkeiten von AR

„Augmented reality (AR) may be the application that serves as the pivot point for IoT adoption because of its proven applicability and readiness for core industrial activities such as quality inspection, work instructions and training.“

Greenfield 2016

Anwendung von AR in der Industrie 4.0

Die denkbaren Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality im Umfeld von Industrie 4.0 sind enorm. Die Technologie könnte, wie auch Greenfield folgert, als Schlüsseltechnologie dienen, um die komplexen Maschinen und Prozesse zu überblicken. Mit der Einblendung und Positionierung von virtuellen Informationen im Raum, an Ort und Stelle oder display-locked, also an einer relativ zum Display fixierten Position, im Sichtbereich zum geeigneten Zeitpunkt, können zahllose Prozesse optimiert werden. Der Einsatz von Head-Mounted Displays mit Steuerung über Gesten oder Spracheingabe ermöglicht es, etwa während der Interaktion mit dem System, die Hände für Arbeitsaufgaben freizuhaben. Es wird dabei, wie Lüdtker vorschlägt, ein Mensch-Maschine Team etabliert (Lüdtker 2015), wobei ein HMD hier eine ideale Schnittstelle zum mobilen Informationsaustausch bieten kann. Gleichzeitig kann durch die Unterstützung mit AR die Anwendungssicherheit des Nutzers hinsichtlich Prozessabläufen, Maschinenbedienung und Systemsteuerung und letztlich auch die Arbeitssicherheit erhöht werden.

Im Folgenden werden einige der zahlreichen industriellen Einsatzmöglichkeiten in den Kategorien Monitoring und Kontrolle, Navigation, Bedienabläufe sowie Training und Schulung veranschaulicht.

Monitoring und Kontrolle

Aktuelle Statusinformationen, Leistungskennzahlen, Fehler oder Schäden können direkt am Objekt visualisiert und im Vorbeigehen abgelesen werden. Relevante Informationen können direkt in das Sichtfeld des mobilen Nutzers eingeblendet werden, um diesen zum Beispiel auf Fehler aufmerksam zu machen oder vor nicht offensichtlichen Gefahren zu warnen und dadurch das Risiko von Fehlbedienungen oder Verletzungen zu senken. Intelligente Maschinen können den Maschinenbediener im Umfeld von Industrie 4.0 über aktuelle Abläufe informieren. Ist beispielsweise ein Fehler aufgetreten, den die Maschine selbst beheben kann, so leitet sie etwa eine erneute Kalibrierung ein. Der mobile Nutzer erhält eine Benachrichtigung über das Head-Mounted Display (oder über ein anderes Device), kann Details aufrufen und entweder nicht eingreifen oder den Vorgang stoppen.

Navigation

Über ein Head-Mounted Display könnten auf dem Boden Leitlinien eingeblendet oder gewöhnliche Navigationselemente, wie eine Karte der Umgebung oder Anweisungen zum Abbiegen, angezeigt werden. Der Nutzer könnte so, auch innerhalb des Gebäudes, zu einem bestimmten Ort beziehungsweise zu einer bestimmten Komponente navigiert oder in einem Notfall über den sichersten Weg aus dem Gebäude geleitet werden, ohne dabei ein Device in der Hand halten zu müssen.

Bedienabläufe

Unterstützende und relevante Informationen oder (Bedienungs-)Anleitungen könnten bei Inspektion, Wartung, Instandsetzung oder Fehlerbehebung eingeblendet werden. Ebenso bei Auf-, Ab- und Einbau sowie Austausch von Komponenten in der Fertigung oder bei Reparaturen. Unhandliche Bedienungsanleitungen und Dokumentationen könnten dabei durch Einblendung von Schritt-für-Schritt-Anleitungen oder Hilfe-Informationen direkt am Objekt im Sichtfeld ersetzt werden.

Using AR as an instructional medium can reduce the overhead of attention switching between the instructional medium and the task.

Tang et al. 2003

Tang et al. konnten etwa bei einer Montageaufgabe die Fehlerrate um über 80 Prozent senken (Tang et al. 2003). Auch unerfahrenes Personal, wie Leih- oder Saisonarbeiter, könnten damit komplexere Probleme lösen. Die Fehler könnten also schneller behoben werden, wodurch die Ausfallzeiten der Maschine reduziert und Kosten gespart werden.

Ein zuverlässiges System könnte dem Anwender zusätzliche Sicherheit bei seiner Tätigkeit geben und ihn gegebenenfalls auf potenzielle Fehlbedienungen aufmerksam machen, noch bevor diese ausgeführt werden. Diese Systeme sind zudem einfach zu aktualisieren: Verbesserungen, Änderungen oder neue Best Practices werden direkt ins System eingespeist und sind sofort aktualisiert.

Training und Schulung

Die Verwendung von AR bei Schulungen könnten in bestimmten Bereichen die Effizienz der Maßnahme und das Verständnis der Mitarbeiter steigern. Weiterhin könnten die Kosten beim Einlernen gesenkt werden, da keine erfahrenen Vorarbeiter nötig sind. Kritische Situationen könnten außerdem mit VR und AR simuliert werden, um für den Ernstfall einen erfahrenen und anwendungssicheren Bediener auszubilden.

4.3 Anforderungen

Bei der Entwicklung eines Augmented Reality Systems zur Anwendung in der Industrie sehen sich Designer und Entwickler einer Reihe von Anforderungen gegenüber gestellt. Im Nachfolgend wird dabei insbesondere auf die Gebrauchstauglichkeit und die menschliche Wahrnehmung eingegangen.

4.3.1 Menschliche Wahrnehmung

Augmented Reality bringt ein hohes Maß an Anforderungen und Problembereichen mit sich, die berücksichtigt werden sollten, um den Nutzer nicht zu verwirren oder zu überfordern. Nach Kruijff, Swan und Feiner (2010) kann sowohl die reale Umgebung (Environment), deren Erfassung (Capturing), die Erweiterung (Augmentation) durch das virtuelle Element an sich sowie das verwendete Anzeigegerät (Display device) und der Nutzer (User) selbst Einfluss auf die Wahrnehmung von Augmented Reality haben. Dabei hat zudem in erster Linie auch die Aufgabe bzw. das Ziel an sich Auswirkungen darauf, in welchem Grad Probleme vom Nutzer wahrgenommen werden (Kruijff, Swan und Feiner 2010).

Weiterhin ist zu beachten, dass die visuelle Wahrnehmung des Menschen selektiv ist und daher aus einer Szene nur das verarbeitet wird, was nötig ist, um effizient agieren zu können (Rimey und Brown 1994). Es gilt daher, die Erweiterung der Realität zu nutzen, um die Aufmerksamkeit des Nutzers gezielt auf die wirklich wichtigen Informationen zu lenken, aber auf

keinen Fall die Wahrnehmung des Nutzers mit unnötigen Inhalten anzureichern und den Nutzer so zu überfordern.

4.3.2 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt das „Ausmaß, in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um festgelegte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (Deutsches Institut für Normung 2011, 7).

Zur Gestaltung eines gebrauchstauglichen Systems ist es daher erforderlich, zunächst die Ziele und den Nutzungskontext zu erfassen. Für das im Rahmen dieser Arbeit erarbeitete Bedienkonzept erfolgt dies in Kapitel 5 am Beispiel einer Großdruckerei. Weiterhin ist es für eine effektive, effiziente und zufriedenstellende Nutzung einer AR-Anwendung nötig, die im Abschnitt 3.4 beschriebenen Probleme und Herausforderungen zu minimieren beziehungsweise weitestgehend zu bewältigen. Die Latenz sollte so gering wie möglich gehalten, die Gefahr von Cybersickness quasi nicht vorhanden sein und insbesondere bei kritischen Prozessen dürfte das Mapping der virtuellen Elemente nur minimal von der Zielposition abweichen. Des Weiteren sollte die Gefahr von Fehlbedienungen und Fehlinterpretation von Nutzereingaben durch das System minimiert werden.

4.3.3 Industrielle Standards und Normen

Für die Anwendung von Augmented Reality in der Industrie ist es erforderlich, dass das System geltende Standards der Branche erfüllt und somit „Bei bestimmungsgemäßer Verwendung [...] Belästigung, Ermüdung sowie körperliche und psychische Belastung auf das mögliche Mindestmaß reduziert [werden]“ (Europäisches Parlament 2006). Die Maschinenrichtlinie des Europäischen Parlaments schlägt im Weiteren dazu die Berücksichtigung von ergonomischen Prinzipien vor, wie etwa die „Anpassung der Schnittstelle Mensch-Maschine an die voraussiehenden Eigenschaften des Bedienpersonals“ (Europäisches Parlament 2006). Hierfür kann die EN ISO 9241 (Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) herangezogen werden. Ne-

ben dem Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher Systeme aus Teil 210 (Deutsches Institut für Normung 2011) können insbesondere die in Teil 110 beschriebenen Grundsätze der Dialoggestaltung dazu genutzt werden, ein gebrauchstaugliches System zu entwickeln. Diese Grundsätze sind Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Individualisierbarkeit und Fehlertoleranz (Deutsches Institut für Normung 2008). Diese sollten bei der Erstellung von Produktivitätsanwendungen stets im Hinterkopf behalten werden.

4.4 Best Practices

Bislang gibt es für das Design von Augmented Reality Anwendungen keine allgemeingültigen Regeln oder Normen. Grundsätzlich können allerdings auch hier gängige Gestaltungsansätze und *Best Practices* analysiert und entsprechend adaptiert werden.

4.4.1 Kontext und Situation

Die aktuellen *Design Principles for Android Wear* beschreiben Wearables als prädestiniert zur kontext- und situationsbasierten Anzeige der richtigen Informationen zur richtigen Zeit (Android 2016 b). Ganapathy (2013) folgert zudem, dass es bei AR essentiell ist, den von den Geräten erfassten Kontext zu verstehen und unterscheidet dabei zwei Formen: *Self supported context awareness* und *supported context awareness*. Bei Letzterem würde das Gerät Informationen zum Kontext über die externe Infrastruktur erhalten. Im konkreten Umfeld von Industrie 4.0 wäre dies das cyber-physische System der Smart Factory. Das Gerät könnte Informationen in Form von Benachrichtigungen oder Statusmeldungen erhalten. *Self supported context awareness* beschreibt dahingegen die Fähigkeit des Geräts den Kontext selbst zu erfassen und gegebenenfalls darauf basierend auch das Verhalten anzupassen (Ganapathy 2013). Mittels Mustererkennung über das Gerät könnten in der Industrie etwa defekte Komponenten an einer Maschine erkannt werden und dementsprechend neue Informationen zum Beispiel in Form von Overlays zur Verfügung gestellt werden.

4.4.2 Interaktion

Gribetz möchte mit Augmented Reality auf der Meta 2 eine natural machine schaffen, deren Interaktionstechniken auf neurowissenschaftlichen Erkenntnissen basieren und somit intuitiv zu bedienen sind (Gribetz 2016). Microsoft versucht hingegen mit der Interaktion auf der HoloLens die Brücke zwischen bewährten Interaktionsparadigmen um Maus, Tastatur und Touch sowie dem Potenzial neuerer Technologien, wie zum Beispiel Gesten und Sprache zu schaffen. Das Unternehmen sieht den Nutzer der HoloLens als Kamera und nutzt daher die, auch von der Entwicklungsplattform Vuforia gegebene, Raypicking-Methode *Gaze* (Microsoft HoloLens 2016; Vuforia 2016). Aus der Blickrichtung des Nutzers resultiert dabei eine Art Pointer im Zentrum des Sichtfelds, quasi als Ersatz für den Mauszeiger, um Objekte anzuvisieren. Ausgewählt wird das anvisierte Objekt auf der HoloLens mit Hilfe einer sog. Air-tap Geste, bei welcher der Zeigefinger ausgestreckt und einen Art Tap in der Luft ausführt (siehe Abb. 4-2).

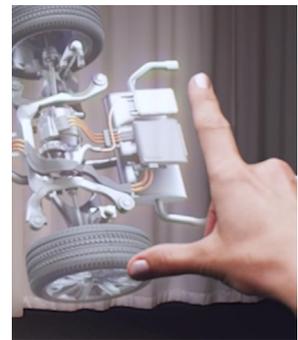


Abb. 4-2 Air-Tap Geste
(Microsoft 2016 b)

4.4.3 Anzeige und Platzierung

Für die Platzierung von virtuellen Elementen in der realen Welt nennt Microsoft drei Darstellungsvarianten: 1) Bei World-locked werden die Objekte an einem bestimmten physikalischen Ort in der Umgebung verankert. 2) Display-locked positioniert die Elemente an eine bestimmte Position im Display. Die Elemente sind dabei also am Display fixiert und somit immer im Sichtfeld des Nutzers. Microsoft sieht diese Variante als „tricky“ und „clingy“ an und befürwortet alternativ eher die 3) body-locked Variante (Microsoft Developers 2016 b). Die Elemente sind dabei im Raum um den Nutzer platziert und folgen dessen Blick (*Gaze*) oder Bewegungen. Microsoft bezeichnet diese Variante als angenehmer und empfiehlt ein leichtes Nachziehen (*Delay*) und einen negativen Schatten auf die Elemente zu legen (Microsoft Developers 2016 b). Bei der Wahl der Anzeigevariante sollte stets im Hinterkopf behalten werden, dass bei Augmented Reality in erster Linie die Realität im Vordergrund steht. Je nach Anwendungsfall könnte allerdings eine andere Variante für den Nutzer zielführender und angenehmer zu benutzen sein. In manchen Fällen könnte es zudem durchaus eine gute Option sein, den User selbst bestimmen zu lassen, wie die virtuellen Elemente platziert werden.

A large, bold, grey number '5' is centered in the upper half of the page. The background is dark grey with a pattern of lighter grey hexagons.

Kontext:
Großdruckerei

5.1 Ergosign Industry Showcase

Die Ergosign GmbH erstellt in den Bereichen Enterprise, Industrie und Medizin jährlich Showcases, um Potenzial und Einsatzmöglichkeiten neuer Technologien aufzuzeigen und Unternehmensexpertise zu beweisen.

Der Industry Showcase 2016 wird in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Inosoft GmbH entwickelt und behandelt im Speziellen die Herausforderungen von Industrie 4.0 und die Notwendigkeit der Entwicklung von ganzheitlichen Bedienkonzepten. Insbesondere steht hierbei die Nutzung von mobilen Endgeräten sowie die Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality im Fokus, welches beispielhaft im Szenario für eine Großdruckerei gezeigt wird. Der Showcase soll Entscheidern aus der Industrie zukunftsweisende Einblicke in das Potenzial aktueller Technologien geben und wird im November 2016 auf der SPS IPC Drives vorgestellt.

Die Bachelorarbeit ist dabei Teil dieses Showcases und behandelt davon insbesondere Konzeption und Design sowie eine erste Usability Evaluation des Konzepts.

Projektleiter von Seiten der Ergosign GmbH sind Natalie Oster, Senior User Experience Designer und Lead Industry Solutions sowie Tobias Zapp, Senior User Experience Designer und Lead Mobile Solutions. Der Student Tobias Walter betreut die technische Umsetzung des Showcases im Rahmen seiner Masterarbeit.

5.2 Nutzungskontext

Der Nutzungskontext umfasst „Die Benutzer, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmittel (Hardware, Software und Materialien) sowie die physische und soziale Umgebung, in der das Produkt genutzt wird.“ (Deutsches Institut für Normung 1999)

Idealerweise basieren die Informationen zum Nutzungskontext auf einer für den konkreten Anwendungsfall erstellten Kontextanalyse. Eine solche wurde im Rahmen des Showcases jedoch nicht speziell durchgeführt, weshalb die folgende Beschreibung von Benutzer und Arbeitsaufgaben sowie von Arbeitsmitteln und Umgebung auf früheren Analysen der Ergosign GmbH im industriellen Bereich basiert (siehe Anhang auf CD).

5.2.1 Benutzer und Arbeitsaufgaben

Um die Benutzer eines Systems einzugrenzen, werden beim nutzerzentrierten Design-Ansatz aus der Zielgruppen so genannte Personas entwickelt um anhand deren Bedürfnisse Funktionalität und Design abzustimmen.

Bei einer *Persona* handelt es sich um einen fiktiven archetypischen Nutzer eines Systems mit bestimmten Eigenschaften, Verhaltenszügen und Zielen. Es handelt sich dabei um ein mächtiges Werkzeug, um potenzielle Nutzer des zu konzipierenden Systems besser zu verstehen und Ziele und Funktionen zu definieren. Des Weiteren ermöglichen es Personas laut Alan Cooper effizienter im Team oder mit Entscheidern zu kommunizieren, ein konsistentes Design zu schaffen und die Effektivität eines Systems zu messen (Cooper et al. 2007). Personas können des Weiteren genutzt werden, um Szenarios konkreter zu Beschreiben und ein einheitliches mentales Modell der Projektbeteiligten zu formen.

Durch die Auswirkungen von Industrie 4.0 verschmelzen herkömmliche Nutzerrollen und verändern das Aufgabenspektrum der Arbeiter. Der Maschinenbediener steht, wie bereits erwähnt, viel mehr in der Rolle der überwachenden Instanz. Die folgende Persona beschreibt einen Druckmeister und wurde vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen erstellt. Sie kombiniert dabei Eigenschaften verschiedener konventioneller Nutzerprofile wie Schichtleiter und Maschinenbediener und ist auf den konkreten Kontext einer Großdruckerei angepasst. Die Persona basiert auf der im Rahmen von früheren Projekten erstellten Personas der Ergosign GmbH in vergleichbaren Bereichen aus der Industrie (siehe Anhang).

Florian Hummel

Druckmeister, 43 Jahre, wohnhaft in Bern, verheiratet, 2 Kinder



Abb. 5-1 Druckmeister (Rurtalwerkstätten 2016)



Abb. 5-2 Druckzentrum Bern (Tamedia 2016)

Tägliche Arbeitsaufgaben

- Abarbeitung und Überwachung der Aufträge
- Bedienung und Wartung mehrerer Druckpressen und Sortieranlagen
- Fehlerbehebung
- Qualitätskontrolle der Druckerzeugnisse

Frustpunkte

- Im Fehlerfall die Maschine nicht selbst reparieren zu können

Ziele

- Die Maschinen sollen möglichst nicht still stehen
- Schnelle Behebung von Fehlern und Warnungen
- Arbeit selbstsicher erledigen

Anmerkung

- Technisch versiert im Umgang mit Konsumer-Produkten

Die Persona wurde in Anlehnung an bestehende Industrie-Personas der Ergosign GmbH erstellt (siehe Anhang auf CD).

Arbeitsmittel und Umgebung

In der Großdruckerei wird über einen Desktop-PC im Leitstand die Druckhalle mit den Druckpressen und Sortieranlagen, sowie die aktuellen Aufträge überwacht. In der Maschinenhalle selbst befindet sich an der jeweiligen Maschine ein über Touch-Interaktion bedienbares Human-Machine Interface um Einstellungen zu ändern oder Aufträge abzurechnen.

Im Zuge von Industrie 4.0 arbeiten die Komponenten der Maschinen intelligent in einer *Smart Factory* zusammen. Bei kleinen Fehlern oder Warnungen sind die Druckpressen in der Lage, sich etwa selbst neu zu kalibrieren

und mangelhafte Druckerzeugnisse auszusortieren bzw. den Druckmeister über den Fehler zu informieren. Dieser prüft entweder die Erzeugnisse und bestätigt ggf. einen vom System vorgeschlagenen Prozess zur Korrektur oder er entscheidet manuell, wie der Fehler behoben werden soll.

Während die Maschinen arbeiten, kann es in Teilbereichen der Druckhalle sehr laut werden. Bei der Halle handelt es sich um eine klassische Lagerhalle. Natürliches Licht tritt durch einige wenige Fenster ein, während die Halle hauptsächlich mit künstlichem Licht ausgeleuchtet wird (siehe Abb. 5-2).

5.3 Szenarien

Szenarien ordnen die Bedienung einer (geplanten) Anwendung mit einer Art Geschichte in einen Kontext. Sie beschreiben, wie ein bestimmter Nutzer bzw. Typ von Nutzer in einer bestimmten Situation mit einem System optimal interagieren könnte, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (Cooper, Reinmann, und Cronin 2007, 109). Auf Grundlage dieses Wissens können Funktionen und Anforderungen an das Konzept abgeleitet werden.

Im Allgemeinen gibt ein Szenario Antwort auf die W-Fragen: *Wer macht was? Wo? Wie? Wann? Und warum?* Auf dieser Wissensbasis können unter anderem notwendige Funktionalitäten und weitere Anforderungen an das Konzept abgeleitet werden.

Die erstellten Szenarien beschreiben das Auftreten eines Fehlers und dessen Behebung in einer Großdruckerei. Im Folgenden werden sie anhand von Scribbles veranschaulicht und beschrieben. Bei der Beschreibung wird Bezug auf die Persona Florian Hummel genommen, um das mentale Modell des Lesers zu festigen und den Anwendungskontext greifbarer zu machen.



Abb. 5-3 Szenario Scribble #1

Florian Hummel registriert einen aufgetretenen Fehler auf dem Monitor im Leitstand der Druckerei. Eine Druckpresse steht still, da ein Motorschutzschalter ausgelöst wurde. Er möchte den Fehler schnellstmöglich beheben, da mit jeder Minute Stillstand die Kosten steigen.

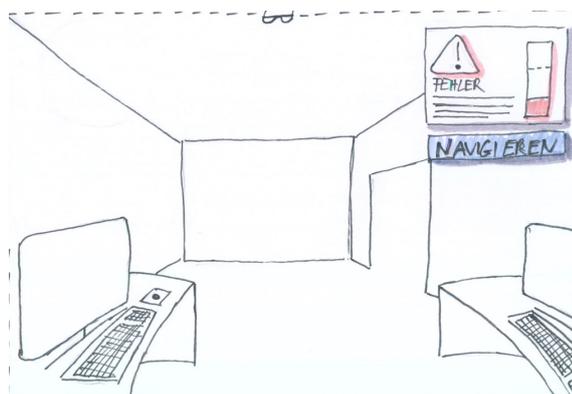


Abb. 5-4 Szenario Scribble #2

Statt wertvolle Zeit mit Nachblättern in Raumplänen und endlosen Bedienungsanleitungen zu verschwenden, setzt Florian ein Head-Mounted-Display auf ...

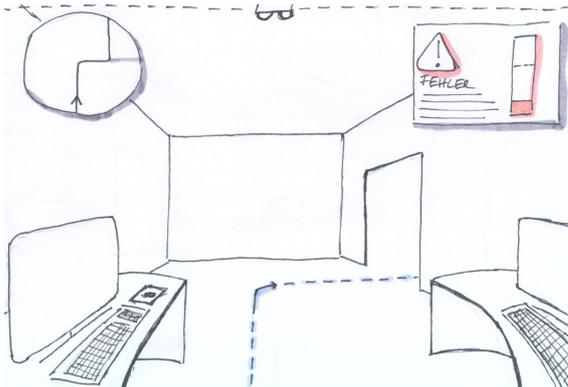


Abb. 5-5 Szenario Scribble #3
 ... und lässt sich damit über AR-Overlays zur defekten Komponente navigieren, ...

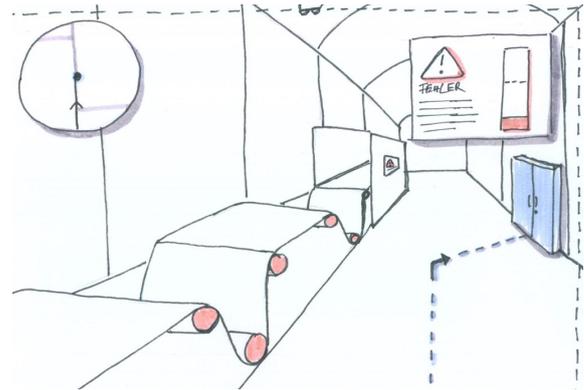


Abb. 5-6 Szenario Scribble #4
 ... während er bei Bedarf wichtige Maschinenwerte und seine Umgebung jederzeit im Blick hat.

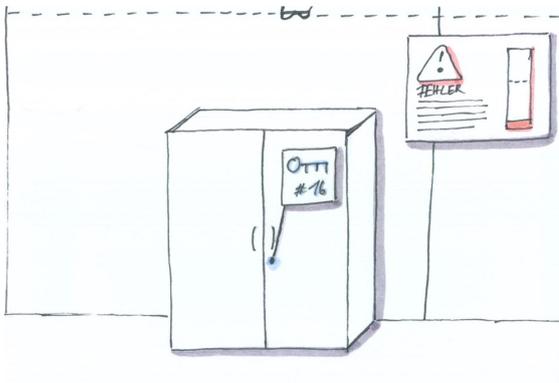


Abb. 5-7 Szenario Scribble #5
 Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung blendet sich kontextabhängig am entsprechenden Ort ein ...
 (Hier: Schrank mit bestimmten Schlüssel öffnen)

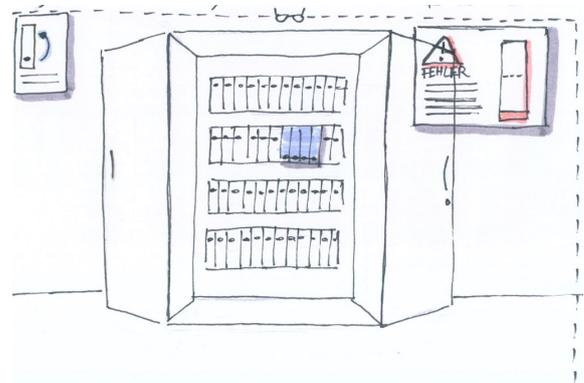


Abb. 5-8 Szenario Scribble #6
 ... und hilft Florian den Fehler (ggf. auch ohne Vorwissen) selbstbewusst zu beheben.
 (Hier: Schutzschalter zurücksetzen)

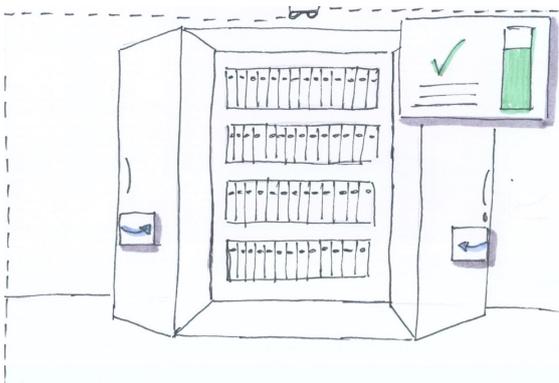


Abb. 5-9 Szenario Scribble #7
 Florian wird über die erfolgreiche Behebung informiert und angeleitet das System wieder in den Ursprungszustand zurückzusetzen.
 (Hier: Schrank schließen)

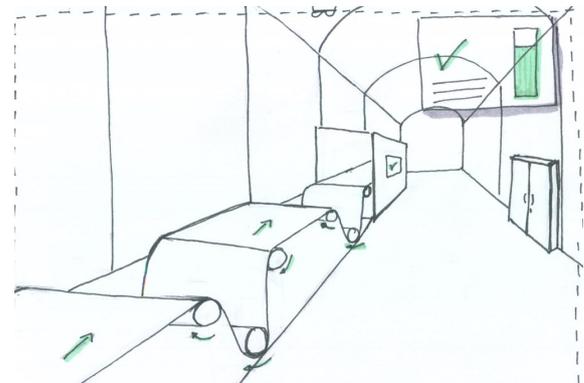


Abb. 5-10 Szenario Scribble #8
 Nachdem der Fehler behoben wurde, verrichtet die Maschine wieder Ihren Dienst. Florian kann sich wieder aktuelle Daten wie Leistungskennzahlen über das HMD anzeigen lassen.

Kontext: Großdruckerei

Alternativ kann sich der Druckmeister Florian Hummel wenn der Fehler auftritt bereits mit dem Head-Mounted Display in der Produktionshalle befinden. Er erhält dabei wie auf dem Leitstand-Interface auch eine Benachrichtigung (siehe Abb. 5-4) und kann direkt über das HMD die Navigation und Fehlerbehebung starten.

Ebenso kann der Florian statt des HMDs seine Smartwatch nutzen um die Fehlerquelle zu lokalisieren und zu beheben. Im Folgenden wird kurz das Szenario zur Anwendung der Smartwatch beschrieben.

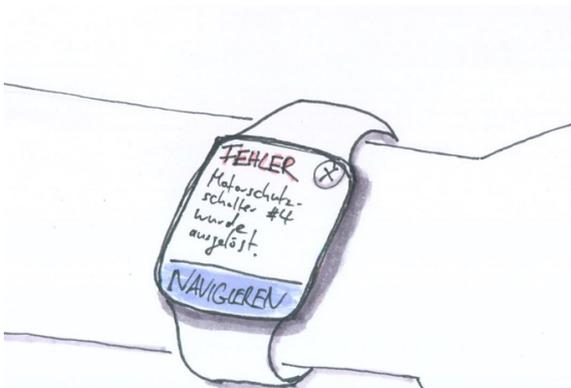


Abb. 5-11 Szenario Scribble #9
Florian erhält auf der Smartwatch eine Benachrichtigung, ...

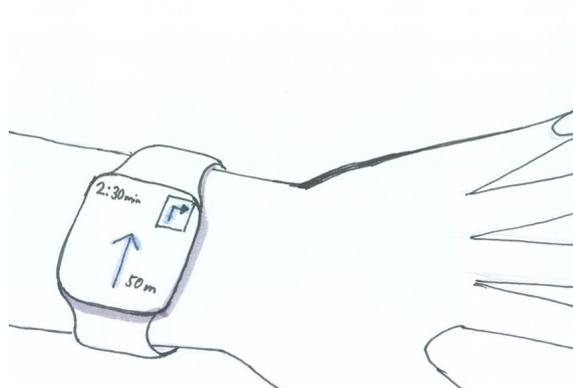


Abb. 5-12 Szenario Scribble #10
... kann sich damit ebenfalls zur defekten Komponente navigieren lassen...

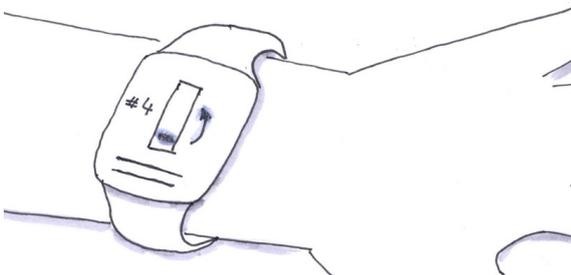


Abb. 5-13 Szenario Scribble #11
... und den Fehler mit Hilfe einer Schritt-basierten Anleitung beheben.



Abb. 5-14 Szenario Scribble #12
Sobald der Fehler behoben ist wird Florian eine Bestätigung angezeigt.

A large, light gray, stylized number '6' is positioned in the upper right quadrant of the page. The background is dark gray with a pattern of lighter gray hexagons, some of which are partially visible on the left and bottom edges.

6

Bedienkonzept

6.1 Grundlegendes

Im Nachfolgenden wird das erarbeitete Konzept vorgestellt. Dieses umfasst neben dem Design der AR-Applikation für ein Head-Mounted Display auch das Interface-Design für ein Desktop-System im Leitstand, ein durch Touch-Gesten gesteuertes Human Machine Interface (HMI) an der Druckpresse sowie eine am Arm des Maschinenbedieners getragene Smartwatch ein. Das Konzept deckt somit alle im Szenario angedachten Use Cases ab. Da eine losgelöste Erarbeitung des Designs für das HMD ohne Abstimmung der Anwendung mit den anderen Devices im Rahmen von Industrie 4.0 nicht funktional wäre, werden diese zur Vollständigkeit ebenfalls erarbeitet, obgleich der Fokus dieser Arbeit auf der Anwendung von Augmented Reality liegt.

Aufgrund des zeitlichen Rahmens wurden jedoch für den Ergosign Showcase und für diese Bachelorarbeit nur die wesentlichen Screens der weiteren Bedienoberflächen ausgearbeitet und entwickelt, sodass der Fokus auf dem Design für das Interface des Head-Mounted Displays liegt.

6.1.1 Intention und Ziel

Die Intention dieser Arbeit ist es, Anwendungsmöglichkeiten von Augmented Reality zur Prozessoptimierung im industriellen Umfeld aufzuzeigen. Im Rahmen der Ausarbeitung wurde exemplarisch ein Bedienkonzept für eine solche Anwendung erarbeitet. Die Arbeit verfolgt, wie die Ergosign GmbH, einen nutzerzentrierten Prozessansatz um eine gute User Experience zu schaffen. Das erstellte Konzept knüpft daher insbesondere an das oben beschriebene Anwendungsszenario und den Nutzungskontext zur Fehlerbehebung an und wird in Kapitel 7 mit einem empirischen Usability Test evaluiert. Die Arbeit ist dabei auf das im Szenario angedachte Beispiel zur Anwendung in einer Großdruckerei fokussiert. Ziel ist es, genauso Experten wie auch Laien oder Erstanwender bei der Fehlerbehebung mit einem Gesamtkonzept zu unterstützen.

Im Allgemeinen wurde bei der Konzeption versucht ein Bedienkonzept zu schaffen, das eine gute User Experience bietet und trotzdem eher generisch

bleibt, um es gegebenenfalls auch in anderen Bereichen zur Optimierung von Bedienabläufen anwenden bzw. übertragen zu können.

„User Experience umfasst sämtliche Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, physiologische und psychologische Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung ergeben“ (Deutsches Institut für Normung 2011, 7). Ziel der konzipierten Anwendung ist es, insgesamt ein positives Benutzererlebnis (User Experience) zu schaffen. Dafür wurden insbesondere die in Kapitel 4 erarbeiteten Anforderungen und Best Practices genutzt.

Weiterhin soll eine positive User Experience mitunter dadurch erreicht werden, dass die Nutzer die Anwendung effizient nutzen können, um beispielsweise zu einer fehlerhaften Komponente navigiert zu werden und bei der Lösung von Problemen durch die Nutzung der Anwendung intuitiv unterstützt zu werden. Weiterhin sollen durch das System Möglichkeiten von Fehlbedienung minimiert und den Anwendern vor, während und nach der Interaktion mit dem System das Gefühl von Sicherheit gegeben werden.

6.1.2 Multimodale Interaktion

Eine Anwendung für den industriellen Bereich muss gewährleisten, dass der Nutzer diese auch in kritischen Situationen bedienen kann und durch die Bedienung seine Umwelt nicht aus dem Blick verliert.

Es ist daher erforderlich, Kontext und Situation des Nutzers zu berücksichtigen. Informationen sollten immer genau dann zur Verfügung stehen, wenn sie benötigt werden und den Nutzer nicht behindern, ablenken oder überfordern. Die Anwendung hat daher keine komplexe Navigationsstruktur, sondern ermöglicht vor allem kontextbasierte Interaktionen.

Bei der nachfolgend konzipierten Anwendung handelt es sich um ein multimodales System. Mit einem solchen kann über mehrere Ein- und Ausgabewege kommuniziert und interagiert werden. Diese werden Modalitäten genannt und können nach Tzovaras (2008) die klassischen fünf Sinne des Menschen (Sehen, Hören, Tasten, Riechen, Schmecken) ansprechen sowie

Bedienkonzept

auch die Propriozeption, also die Wahrnehmung des eigenen Körpers im Raum (Tzovaras 2008).

Im konkreten Szenario stehen den Nutzern des Systems verschiedene Devices und Modalitäten für die Interaktion zur Verfügung. Der Desktop-Computer im Leitstand mit Tastatur, Maus und Spracheingabe, ein Touch-Interface an der Maschine, die Smartwatch am Handgelenk mit Touch- und Spracheingabe sowie das Head-Mounted Display mit Sprach- und vor allem Gesteneingabe sowie Hardbuttons als Fallback. Die Smart-Devices nutzen und liefern zudem weitere Informationen zu Situation und Kontext über die verbaute Sensorik.

In Abhängigkeit von Kontext und Aufgabe können die Stärken der einzelnen Devices genutzt werden. In der lauten Umgebung einer Maschinenhalle können zum Beispiel Gesten genutzt werden um mit dem Head-Mounted Display zu interagieren.

Die Devices arbeiten in dem nachfolgend erstellten Gesamtkonzept zusammen und werden über ein Webinterface synchronisiert.

6.1.3 Initialisierung des Fehlerbehebungsprozesses

Tritt ein Fehler auf, kann der Nutzer den Fehlerbehebungsprozess über das jeweilige Interface im Leitstand, an der Maschine, auf der Smartwatch oder auf dem Head-Mounted Display starten. Das System bietet dem Nutzer dadurch volle Flexibilität und passt sich an seine Situation an. Durch starten des Prozesses wird dieser im System der Fehlerbehebung zugeordnet und die Anzeige der auf ihn registrierten Devices entsprechend getriggert. Ein anderer Mitarbeiter, der den Fehler gegebenenfalls auf einem anderen Gerät registriert, weiß dadurch zudem, dass dieser bereits von einem Kollegen behoben wird.

6.2 Leitstand

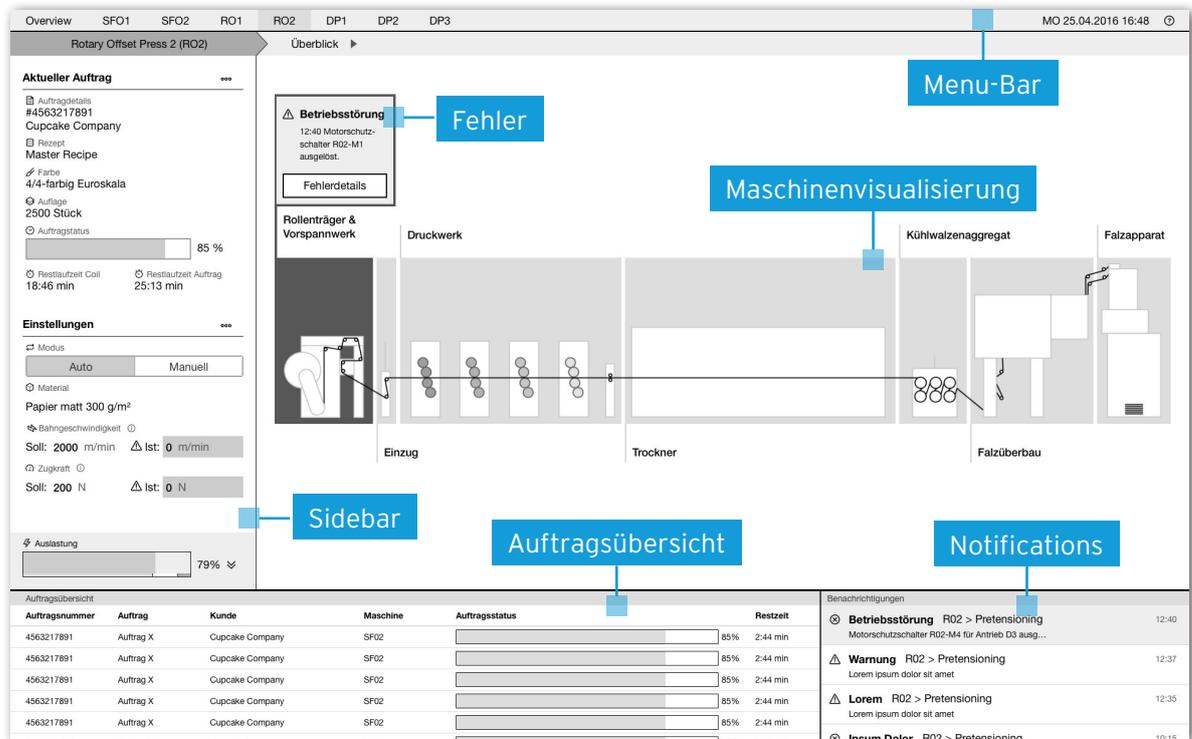


Abb. 6-1 Wireframe: Interface am Leitstand mit Fehler-Benachrichtigung

Über das Interface am Leitstand (siehe Abb. 6-1) werden alle Maschinen der Produktionshalle sowie weitere relevante Daten, wie etwa aktuelle und anstehende **Aufträge**, überwacht. Leistungskennzahlen (engl. „key performance indicators“, KPIs) werden in Echtzeit von den Maschinen geliefert und ausgewertet. Kritische Ist-Werte werden hervorgehoben, Fehler im Betriebsablauf über **Notifications** erkannt und verwaltet sowie zusätzlich an der vereinfachten grafischen Maschinen-Darstellung angezeigt.

Über die Navigationspunkte der **Menu Bar** kann zwischen den einzelnen Maschinen-Detailansichten gewechselt werden. Des Weiteren kann rechts oben Datum und Uhrzeit abgelesen und eine Hilfe-Funktion aufgerufen werden.

An der **Sidebar** können relevante KPIs und Informationen zur ausgewählten Maschine (hier RO2) abgelesen und überwacht werden. Der Hauptbereich beinhaltet die zweidimensionale **Maschinenvisualisierung**. Hierbei

Bedienkonzept

werden die einzelnen Komponenten der Maschine dargestellt sowie die Relation dieser untereinander. Des Weiteren dient die Visualisierung als Navigationselement: Per Klick auf ein Element werden weitere Details zu der jeweiligen Komponente angezeigt (Drill-Down).

Im unteren Bereich des Leitstand-Interfaces befindet sich eine globale Übersicht zu den aktuellen Aufträgen sowie ein Notifications-Panel. Beide beziehen sich auf alle mit dem Leitstand synchronisierten Maschinen.

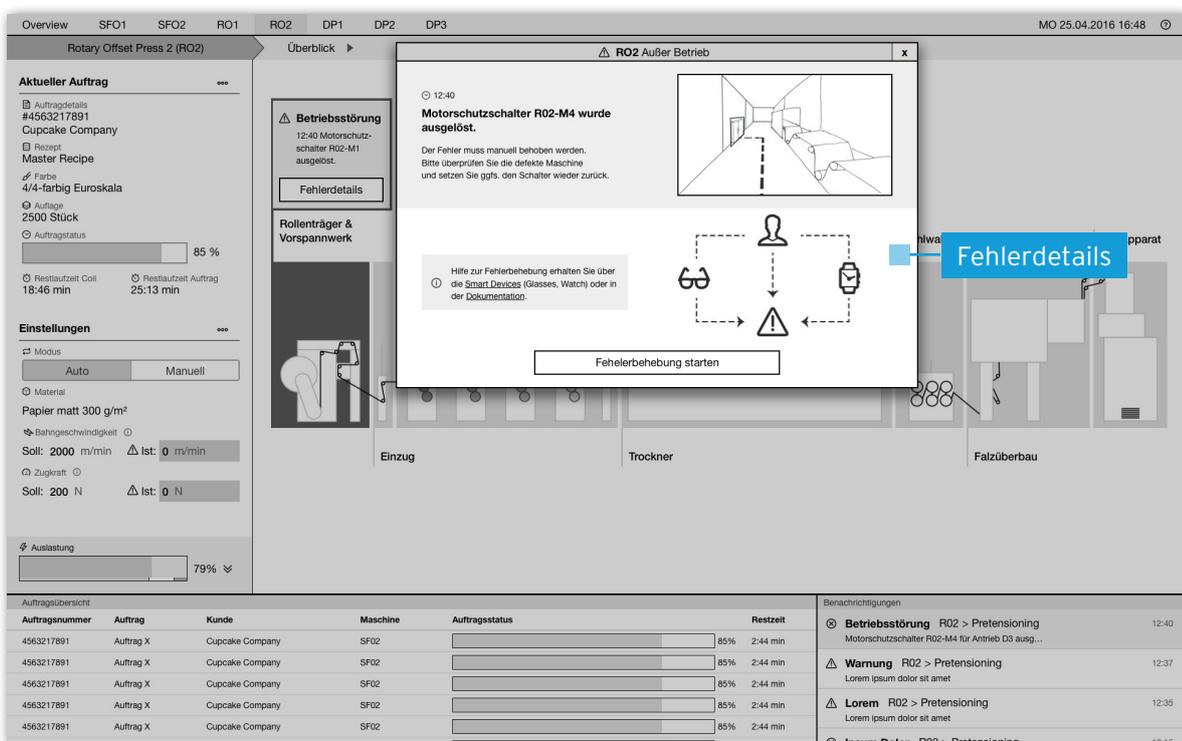


Abb. 6-2 Wireframe: Interface am Leitstand mit modalem Fehlerdetails-Dialog

Per Klick auf den Button „Fehlerdetails“ wird ein modaler Dialog mit **Fehlerdetails** geöffnet (siehe Abb. 6-2). Hier findet der Nutzer des Weiteren Informationen zur Problemlösung und kann den Fehlerbehebungsprozess starten. Durch letzteres wird der Mitarbeiter dem Fehler zugeordnet und die Navigation bzw. Fehlerbehebungsanleitung auf den Smart Devices (Head-Mounted Display und Smartwatch) getriggert.

6.3 Human-Machine Interface

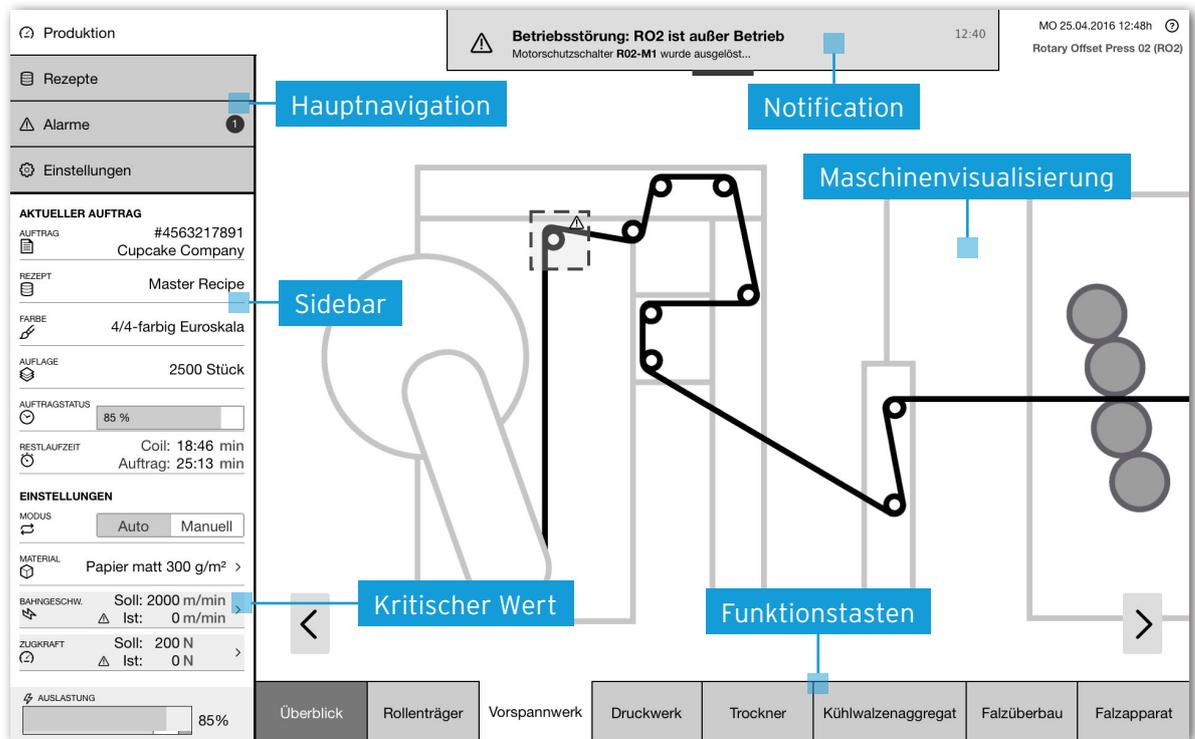


Abb. 6-3 Wireframe: HMI mit Fehler-Benachrichtigung und -Visualisierung im Vorspannwerk

Das Human-Machine Interface (HMI) ist eine über Touch-Eingabe gesteuertes Benutzerschnittstelle zur Maschine (siehe Abb. 6-3 und Abb. 6-4). Daher muss beim Design auf ausreichend große Treffer-Flächen geachtet werden. Das Display befindet sich in unmittelbarer Nähe zur jeweiligen Maschine (hier RO2). Für das Interface wurden im Allgemeinen in der Industrie bewährte HMI-Patterns verwendet, die im Folgenden beschrieben werden.

Die **Hauptnavigation** besteht aus einer eindimensionalen Liste mit 4 Elementen um schnell zwischen Produktion, Rezepten (Produktzusammensetzungen bzw. -Konfigurationen), Alarmen und Einstellungen wechseln zu können. Über die **Sidebar** kann der Maschinenbediener mit einem schnellen Blick die relevanten Leistungskennzahlen erfassen und ggf. Einstellungen ändern. **Kritische Werte** sind visuell hervorgehoben.

Ähnlich wie die Detailansicht der Maschinen im Leitstand bietet das HMI dem Nutzer eine Produktionsübersicht mit einer **Maschinenvisualisierung**.

Bedienkonzept

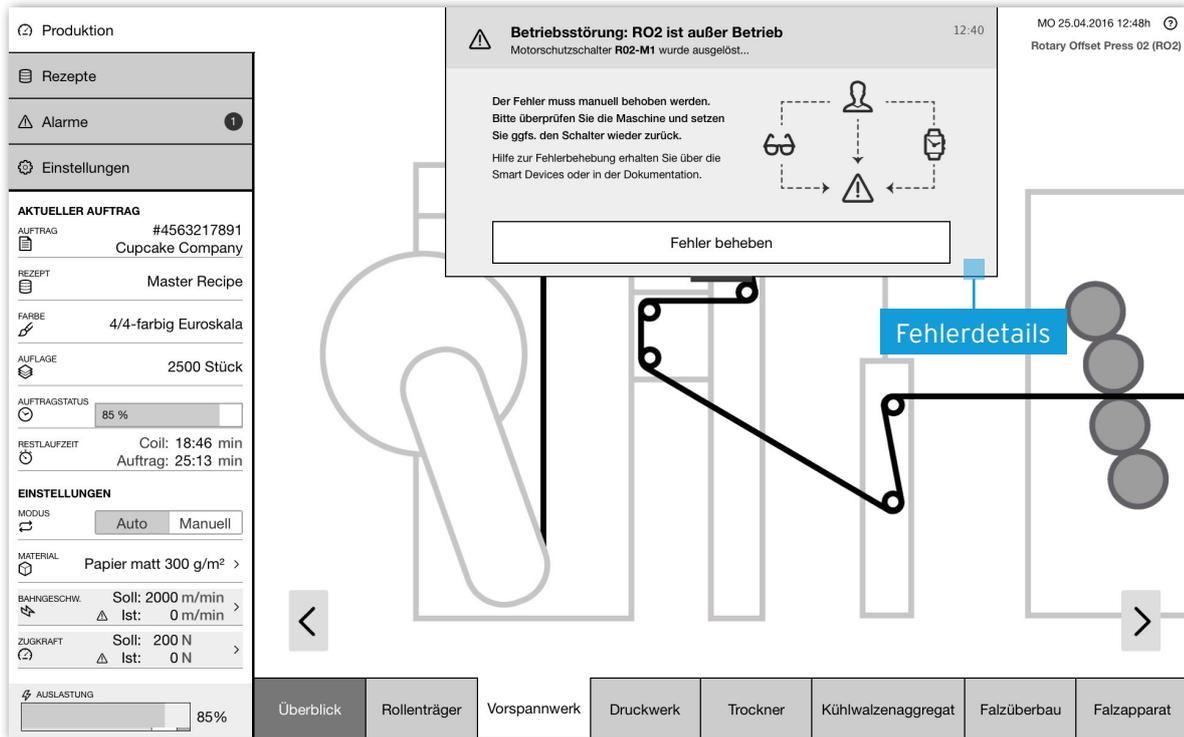


Abb. 6-4 Wireframe: HMI mit Fehler-Benachrichtigung und Fehlerdetails

Zwischen einem Überblick zur gesamten Maschine und der Detailansicht einzelner Aggregate kann über die **Funktionstasten** bzw. über die Pfeil-Buttons navigiert werden.

Benachrichtigungen zu Warnungen oder Fehlern werden im Kopfbereich des Interface eingeblendet. Bei Tap auf die **Notification** wird das Element um eine Warnung- oder **Fehlerdetails**-Ansicht erweitert mit zusätzlichen Informationen zur Behebung. Entsprechend dem Leitstand-Interface kann auch hier der Fehlerbehebungsprozess gestartet werden.

6.4 Smartwatch

Für die Nutzung im Ergosign Showcase wurde nach einer firmeneigenen Analyse der verfügbaren Uhren die *Asus Zen Watch 2* als Smartwatch ausgewählt. Die Uhr basiert auf Android Wear und ist daher nebst der technischen Ausstattung auch von der Software-Seite sehr gut zur Anwendung im industriellen Szenario geeignet. Im Gegensatz zu Systemen anderer Wearables sind Uhren mit Android Wear nicht an einem starren App-System orientiert. Android Wear legt den Fokus hingegen auf den so genann-

ten *Context Stream*. Bei diesem Prinzip können dem Anwender in einer vertikalen Liste kontext- und situationsabhängig Informationen verschiedener Apps in einzelnen Karten zur Verfügung gestellt werden, ohne dass zuvor eine spezifische App vom Nutzer gestartet werden muss (Android 2016 c). Die Apps kommunizieren also direkt mit dem Content Stream in einer Form von Notifications.

Google beschreibt in den *Design Principles for Android Wear* eine Smartwatch als ideales Gerät, das während anderen Aktivitäten genutzt werden kann und somit dem Nutzer schon durch einen kurzen Blick wesentliche Informationen vermitteln kann (Android 2016 b). Laut Google sollte der Nutzer dabei nicht in seiner ursprünglichen Tätigkeit gestoppt werden, weshalb die Anwendung den Nutzer nicht ständig mit neuen Signalen wie Vibration oder ähnliches stören sollte (Android 2016 b).

6.4.1 Normalbetrieb und Fehlerbenachrichtigung

Die Smartwatch befindet sich im Normalbetrieb am Handgelenk des Nutzers während sie, abgesehen von der Uhrzeit, keine weiteren Informationen anzeigt (siehe Abb. 6-5). Tritt ein Fehler auf vibriert die Uhr einmal und eine Benachrichtigung wird in Form einer **Stream Card** dem Context Stream hinzugefügt (siehe Abb. 6-6). Durch Swipe-Gesten nach links bzw. nach rechts kann der Nutzer zwischen zwei Screens mit sog. *Action Buttons* zwischen Navigation und Reparatur wählen (siehe Abb. 6-7 und Abb. 6-8), welche mit Tap den jeweiligen Prozess starten. Der User-Flow ist zusätzlich zur nachfolgenden Beschreibung in Abb. 6-11 visualisiert.

6.4.2 Navigation

Startet der Nutzer die Navigation wird ihm eine Umgebungskarte mit der Route zum Ziel und der jeweils aktuellen Navigationsanweisung angezeigt sowie der geschätzten Zeit bis zum Ziel. Über eine scrollbare vertikale Liste kann der Nutzer auch die weiteren **Navigationsanweisungen**

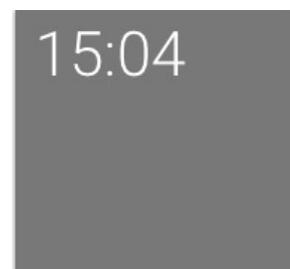


Abb. 6-5 Wireframe: Smartwatch im Normalbetrieb

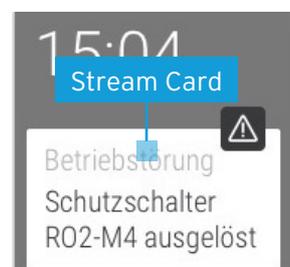


Abb. 6-6 Wireframe: Smartwatch mit Fehlerbenachrichtigung

Bedienkonzept

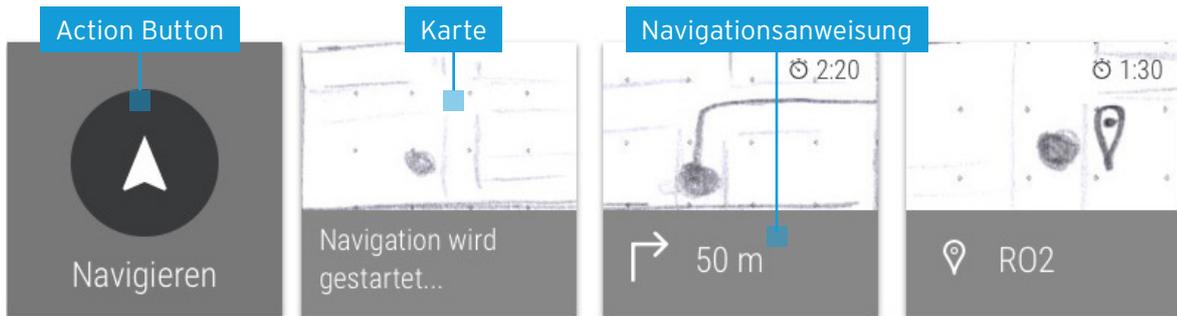


Abb. 6-7 Wireframes: Smartwatch mit Navigation

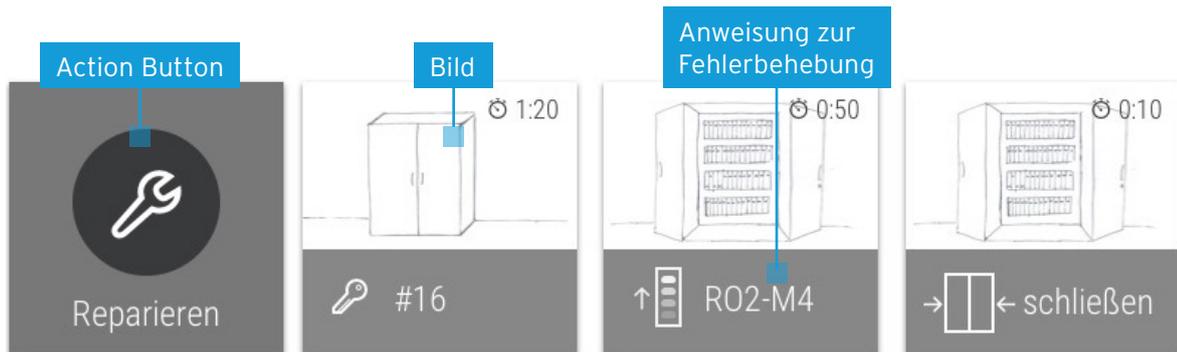


Abb. 6-8 Wireframes: Smartwatch mit Fehlerbehebung

einsehen (siehe Abb. 6-11). Hat der Nutzer sein Ziel erreicht wechselt die App zum Reparatur-Prozess. Die App kann zu jeder Zeit mit einem Longpress und anschließendem Tap auf den angezeigten Action Button beendet werden (siehe Abb. 6-9). Die Benachrichtigung im Content Stream bleibt allerdings bis der Fehler behoben wurde bestehen.

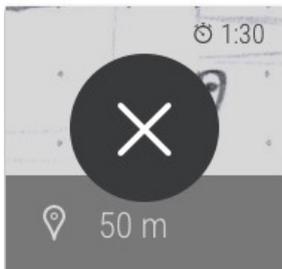


Abb. 6-9 Wireframe:
Smartwatch Action
Button zum Beenden



Abb. 6-10 Wireframe:
Smartwatch mit Bestä-
tigungsanimation

6.4.3 Fehlerbehebung

Der Fehlerbehebungsprozess kann über den Action Button direkt gestartet werden (siehe Abb. 6-8). In diesem Fall wird die Navigation nicht aktiviert und der Nutzer muss gegebenenfalls selbst den Weg zur Fehlerquelle finden. Andernfalls wird die Fehlerbehebung automatisch, nachdem die Navigation abgeschlossen ist, gestartet (siehe Abb. 6-11). Die Smartwatch zeigt in beiden Fällen Schritt-basierte textliche **Anweisungen** und ein **Bild** der entsprechenden Komponente. Nachdem der Fehler behoben wurde, erscheint eine Bestätigungsanimation auf dem Display (siehe Abb. 6-10).

Der Nutzer kann in der Fehlerbehebung mit horizontalen Swipe-Gesten die Anweisungen durchgehen (siehe Abb. 6-11). Ist die Watch gleichzeitig mit dem HMD in Gebrauch, wird die Anzeige auf der Smartwatch entsprechend der vom HMD erkannten Situation synchronisiert.

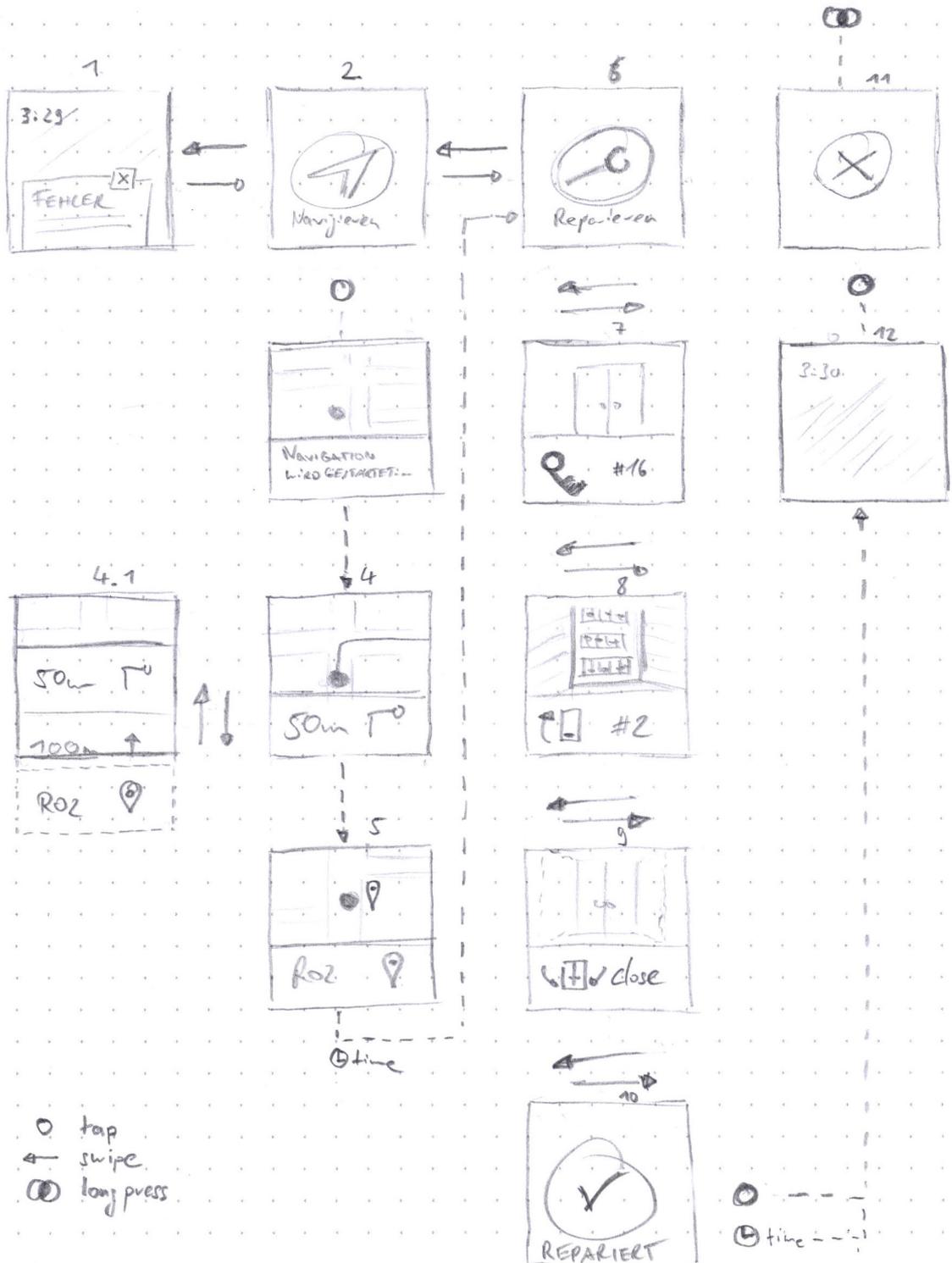


Abb. 6-11 Scribbles: User-Flow auf der androidbasierten Smartwatch

6.5 Head-Mounted Display

Mit dem Head-Mounted Display (HMD) kann der Arbeiter Informationen zu den Druckmaschinen erhalten, diese überwachen (siehe Abb. 6-12) und mit Notifications über aktuelle Vorgänge oder das Auftreten von Warnungen oder Fehlern informiert werden (siehe Abb. 6-13). Des Weiteren ermöglicht ihm das Interface im konkreten Anwendungsfall die Maschine zu lokalisieren und schritt-basiert bei der Fehlerbehebung unterstützt zu werden.

Augmented Reality wird damit also zur Unterstützung bei Überwachung, Navigation und Fehlerbehebung verwendet.

Das Bedienkonzept für das HMD wurde für ein Optical See-Through Head-Mounted Display erstellt. Durch den direkten Blick auf die Realität ist, wie oben erwähnt, bei dieser Art von Geräten die Gefahr von Cybersickness geringer als bei Video See-Through Displays. Die Wahrnehmung des Nutzers ist in diesem Zug nicht so sehr durch technische Faktoren wie Auflösung oder Schärfereich des Displays beeinträchtigt.

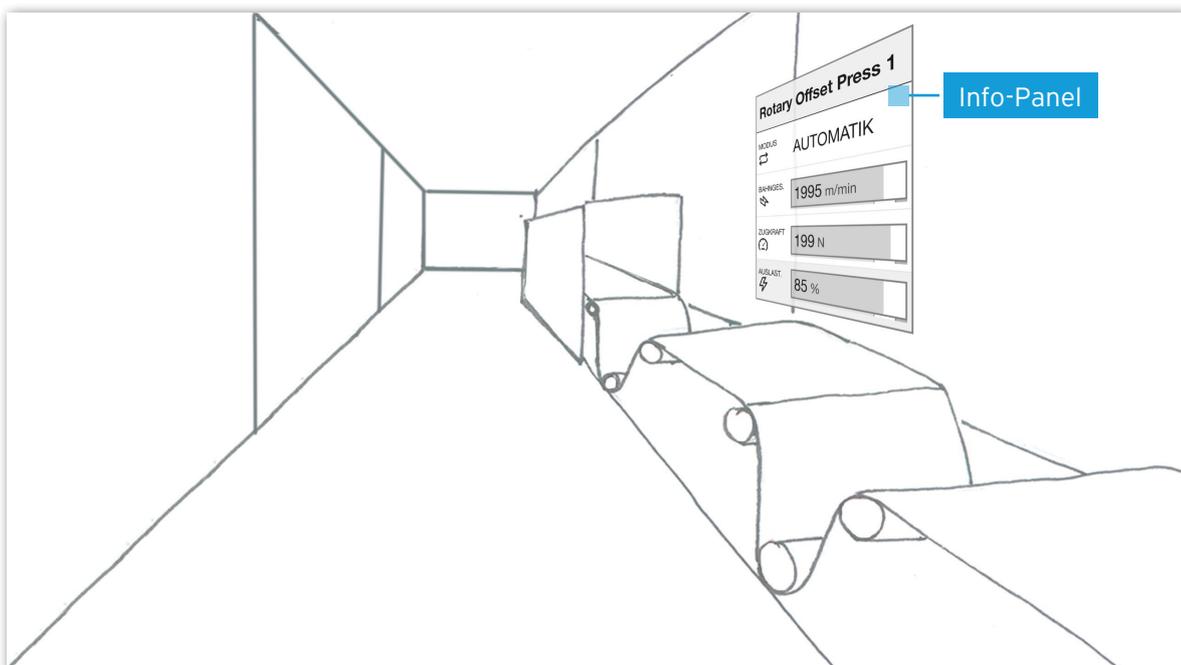


Abb. 6-12 Wireframe: Blick durch das HMD in der Maschinenhalle

Der Nutzer wird bei der konzipierten Anwendung in erster Linie in Abhängigkeit von Kontext und Situation unterstützt. Das bedeutet, dass relevante Informationen genau dann am entsprechenden Objekt angezeigt werden, wann sie tatsächlich gebraucht werden. Die Notwendigkeit der Benutzereingabe soll dadurch auf ein Mindestmaß reduziert werden.

6.5.1 Normalbetrieb und Fehlerbenachrichtigung

Wird das Head-Mounted Display während des normalen Betriebsablaufs genutzt, werden dem Nutzer direkt an entsprechenden Objekten, wie zum Beispiel an einer Druckpresse, *Info-Panels* angezeigt (siehe Abb. 6-12). Diese enthalten relevante Informationen wie beispielsweise Leistungskennzahlen (KPIs).

Tritt ein Fehler auf, wird der Nutzer über eine **Notification** benachrichtigt (siehe Abb. 6-8), die von einem Off-Canvas-Bereich in das zentrale Sicht-

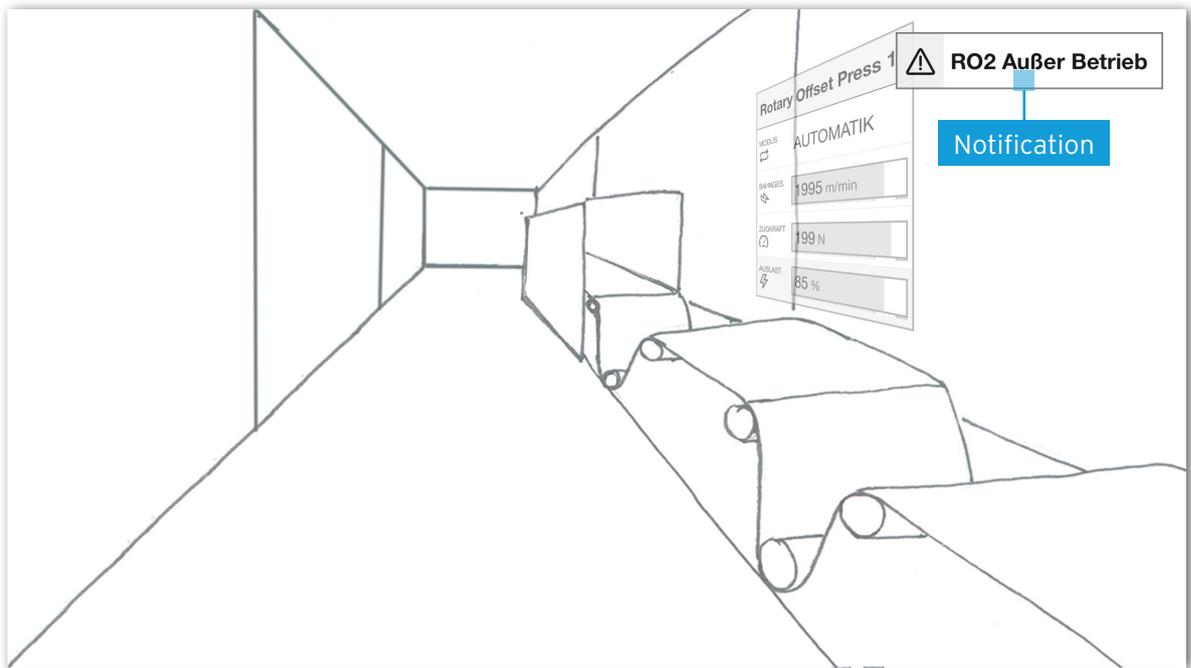


Abb. 6-13 Wireframe: Blick durch das HMD mit Notification

feld des Nutzers slidet. Mit einer großen Wisch-Geste von rechts außen nach innen (zur Mitte des Sichtfeldes) wird die Detailansicht des Fehlers (**Fehlerdetails-Panel**) als Overlay im Sichtfeld geöffnet (siehe Abb. 6-14). Diese kann entsprechend einer Wischgeste in die entgegengesetzte Rich-

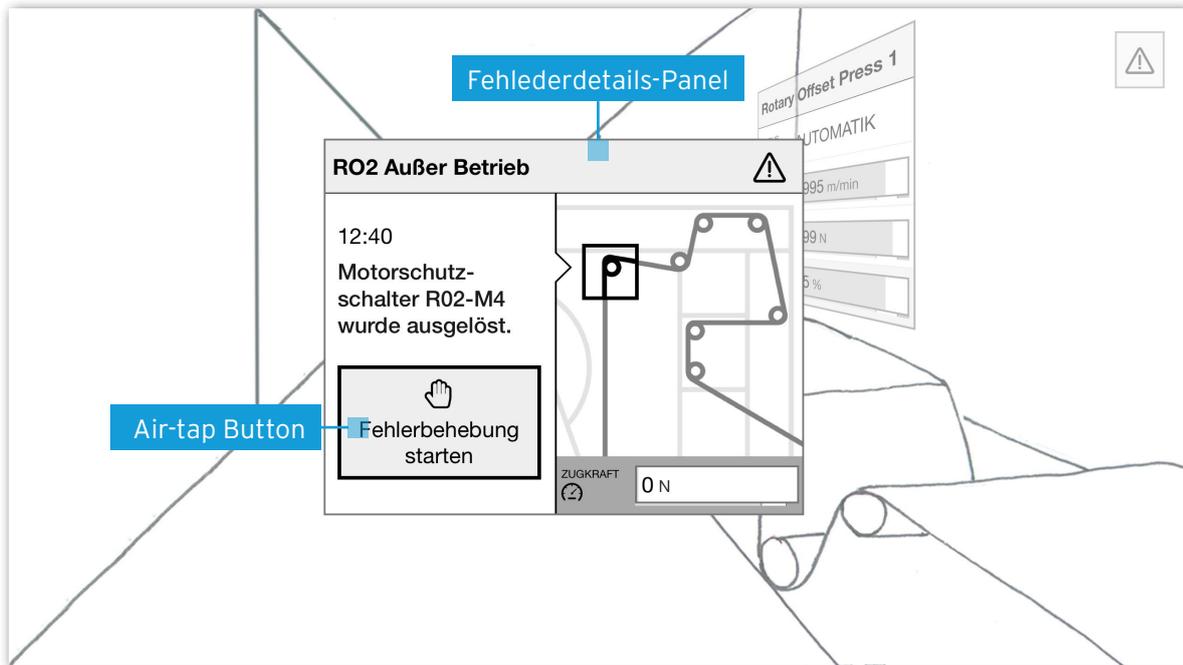


Abb. 6-14 Wireframe: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails-Panel

tung geschlossen und die Notification minimiert werden werden (siehe Abb. 6-15). Komplette ausgeblendet wird die Benachrichtigung allerdings erst, wenn der Fehler behoben wurde.

Über das Fehlerdetails-Panel erhält der Nutzer eine prägnante Fehlerbeschreibung sowie eine Maschinenvisualisierung mit Hervorhebung der defekten Komponente. Des Weiteren kann über einen *air-tap-Geste* (siehe Kapitel 4.4 Richtlinien und Best Practices) auf den *air-tap Button* der Fehlerbehebungsprozess gestartet werden. Hierbei ist es wichtig zu evaluieren, dass diese Geste auch mit Handschuhen ausgeführt und vom System erkannt werden kann.

6.5.2 Navigation

Nachdem der Fehlerbehebungsprozess gestartet wurde, werden mehrere Interface-Elemente zur Lokalisierung der Fehlerquelle eingeblendet. Andere nicht relevante Elemente, wie etwa das Info-Panel an der funktions-tüchtigen Maschine, werden ausgeblendet.

Das **Kombi-Panel** (siehe Abb. 6-15) erscheint display-locked im zentralen Sichtfeld des Nutzers links oben. Die Positionen des Kombi-Panels sowie

der Notification sind Display-locked und ist somit unabhängig von der Blickrichtung verfügbar. Befindet sich der Nutzer nicht in unmittelbare Nähe zum Ziel, zeigt die Navigations-Ansicht des Kombi-Panels eine Karte der Umgebung des Nutzers mit eingezeichnete Route und Navigationsanweisung sowie die geschätzte Zeit bis das Ziel erreicht wird.

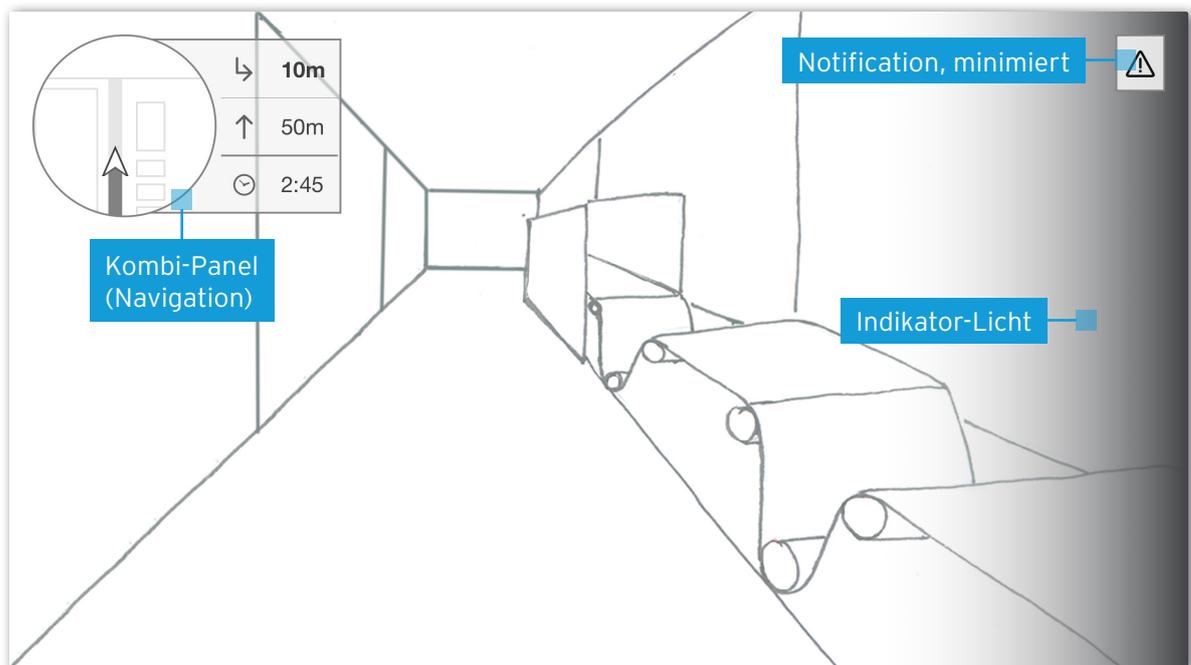


Abb. 6-15 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 1

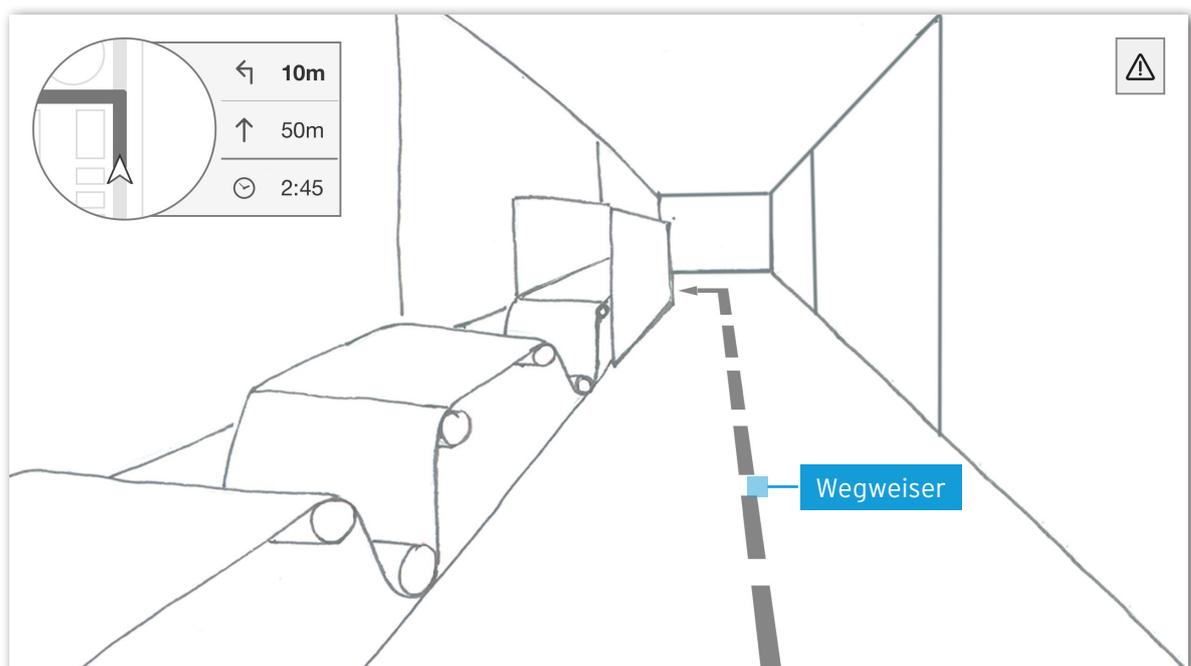


Abb. 6-16 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 2

Bedienkonzept

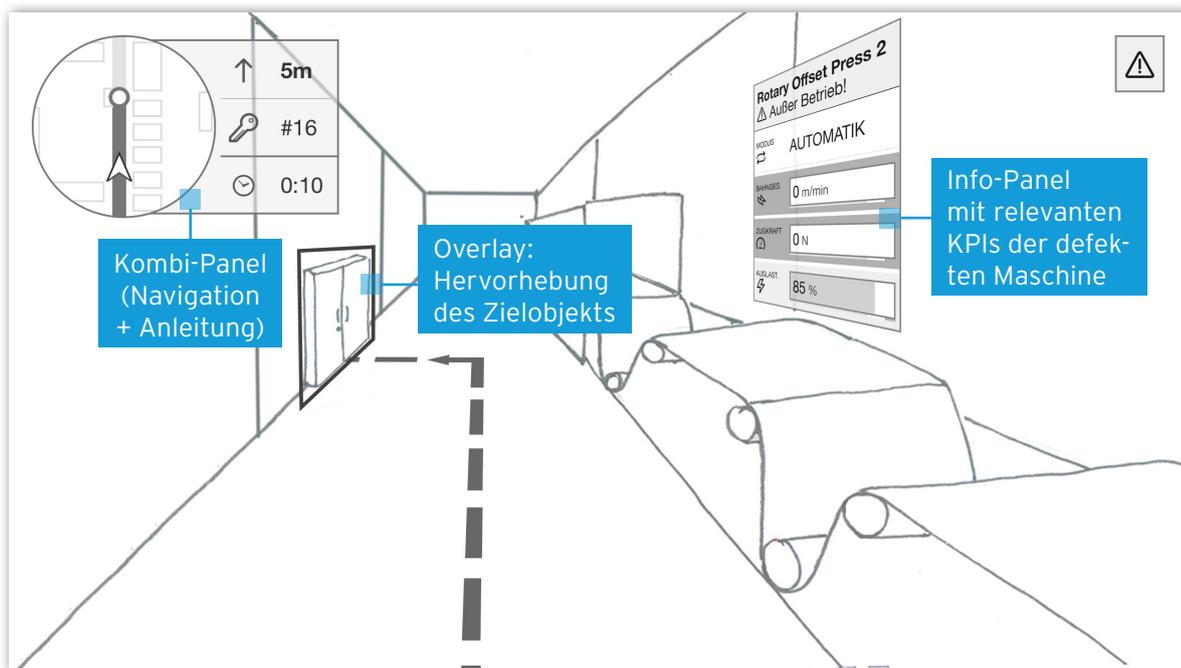


Abb. 6-17 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 3

Auf dem Boden des Raums wird ein virtueller **Wegweiser** in Form einer Leitlinie ausgehend von der Position des Nutzers platziert. Folgt der Nutzer dieser Linie, erreicht er ohne Umwege das Ziel (hier die Fehlerquelle).

Overlays wie der Wegweiser und später die Anweisungen bei der Fehlerbehebung befinden sich an festen Positionen im Raum. Sind diese nicht im Sichtfeld des Nutzers, wird er über ein dezentes **Indikator-Licht** (siehe Abb. 6-15), das aus einem transparenten Verlauf besteht, angewiesen, die Blickrichtung zu ändern. Folgt er dem Verlauf, wird dieser entsprechend kleiner und verschwindet sobald sich die relevanten Overlays im zentralen Sichtfeld befinden.

6.5.3 Fehlerbehebung

Befindet sich die defekte Komponente bzw. die Fehlerquelle (hier ein Schutzschalter im Schaltschrank) im Sichtfeld, wird diese über ein **Overlay** hervorgehoben (siehe Abb. 6-17). Für die Fehlerbehebung relevante bzw. kritische KPIs der defekten Maschine werden über ein Info-Panel an der Maschine angezeigt (siehe Abb. 6-17).

Das **Kombi-Panel** geht von den Navigations-Anweisungen nahtlos zu den Fehlerbehebungs-Anweisungen über (siehe Abb. 6-17). Sobald das Ziel erreicht ist, zeigt es keine Karte mehr an, sondern nur noch den aktuellen Anleitungs-Schritt (siehe Abb. 6-18). Dies bietet eine redundante Information zu den Overlays am Objekt und ermöglicht so eine Art Absicherung, falls das System ein Objekt nicht korrekt registriert, getrackt oder gemappt hat, oder sich das Overlay gerade nicht im Sichtfeld befindet.

Im konkreten Szenario befindet sich die Fehlerquelle in Form eines Motorschutzschalters in einem Schaltschrank. Das AR-System zeigt dem Nutzer über ein **Overlay** am Objekt und redundant im **Kombi-Panel** an, welchen Schlüssel er zum Öffnen des Schaltschranks braucht (siehe Abb. 6-18) und welcher Schutzschalter wie betätigt werden muss (siehe Abb. 6-19).

Sobald der Fehler behoben ist, wird der Nutzer über eine **Notification** benachrichtigt. Das System erinnert ihn zudem daran, den Ursprungszustand wiederherzustellen, also hier die Türen des Schaltschranks zu schließen (siehe Abb. 6-20).

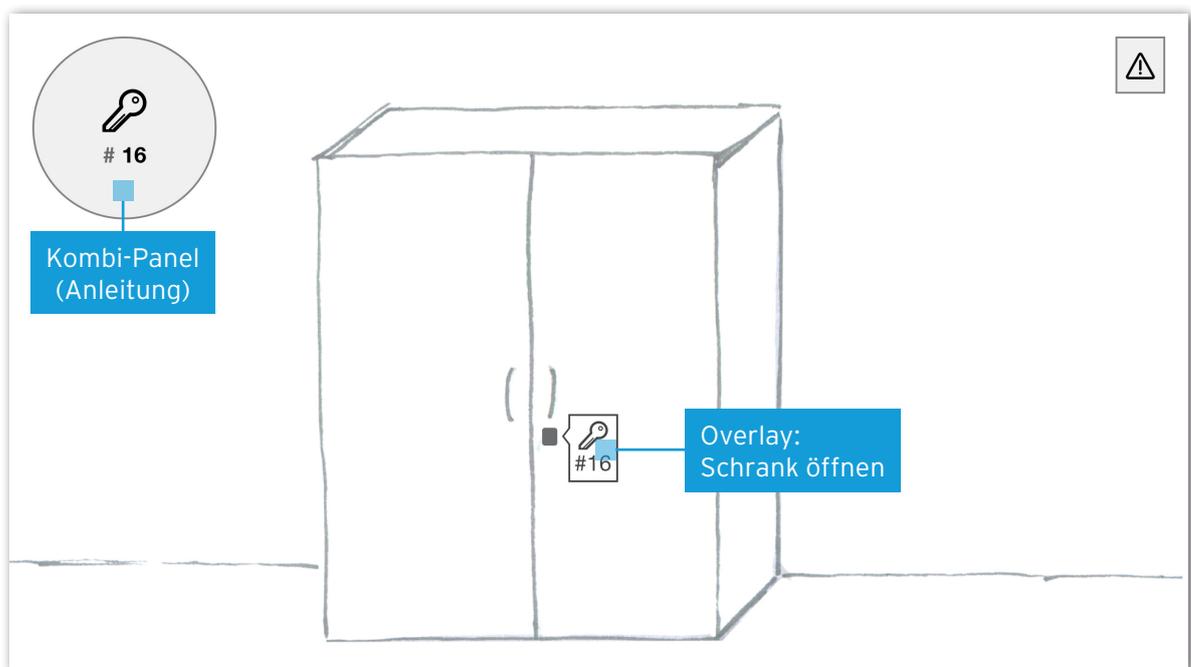


Abb. 6-18 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 1

Bedienkonzept

Das AR-System analysiert Muster und Objekte und erkennt abgesehen von den im System bereits zum Fehler hinterlegten Informationen weitere Merkmale. In Abhängig davon kann das System das Verhalten ändern. Macht der Nutzer einen Fehler und legt zum Beispiel einen falschen Schalter um, weist das System ihn zunächst an, diesen wieder zurückzusetzen. Im Idealfall erkennt das System bereits eine beabsichtigte Fehlbedienung rechtzeitig und warnt den Nutzer noch bevor sie ausgeführt wird.

6.5.4 Anmerkungen zur Interaktion

Wie bereits erwähnt, soll die Anzahl der Interaktion des Nutzers so gering wie möglich gehalten werden und Informationen vor allem abhängig vom Kontext angezeigt werden können. Dennoch werden einige Interaktionen elementar benötigt. Etwa beim Ein- oder Ausblenden des Fehlerdetails-Panels, welchem oben eine Wisch-Gesten-Interaktion zugewiesen wurde, oder beim Starten des Fehlerbehebungsprozesses, welche im beschriebenen Konzept mit einem *Air-tap* ausgeführt wird.

Im Bedienkonzept werden in erster Linie gestenbasierte Eingabemöglichkeiten beschrieben, welche direkt über eine eingebaute Kamera des HMDs erkannt werden. Spracheingabe sowie eine Absicherung durch die Verwendung von Hardbuttons ist ebenfalls eine Option. Spracheingabe stellt sich allerdings für den mobilen Maschinenbediener in der lauten Maschinenhalle als eher ungeeignet dar. Die zur Interaktion angedachten Gesten sollten insbesondere im konkreten Anwendungskontext mit repräsentativen Endnutzern hinsichtlich Benutzbarkeit evaluiert werden.

Weiterhin bringen verschiedene Devices bereits definierte Gesten zur Interaktion mit. Es sollte hierbei mit dem finalen Gerät, welches zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit noch nicht definitiv feststand, evaluiert werden, ob die User Experience durch Verwendung von für das entsprechende Device optimierten Gesten gesteigert werden kann.

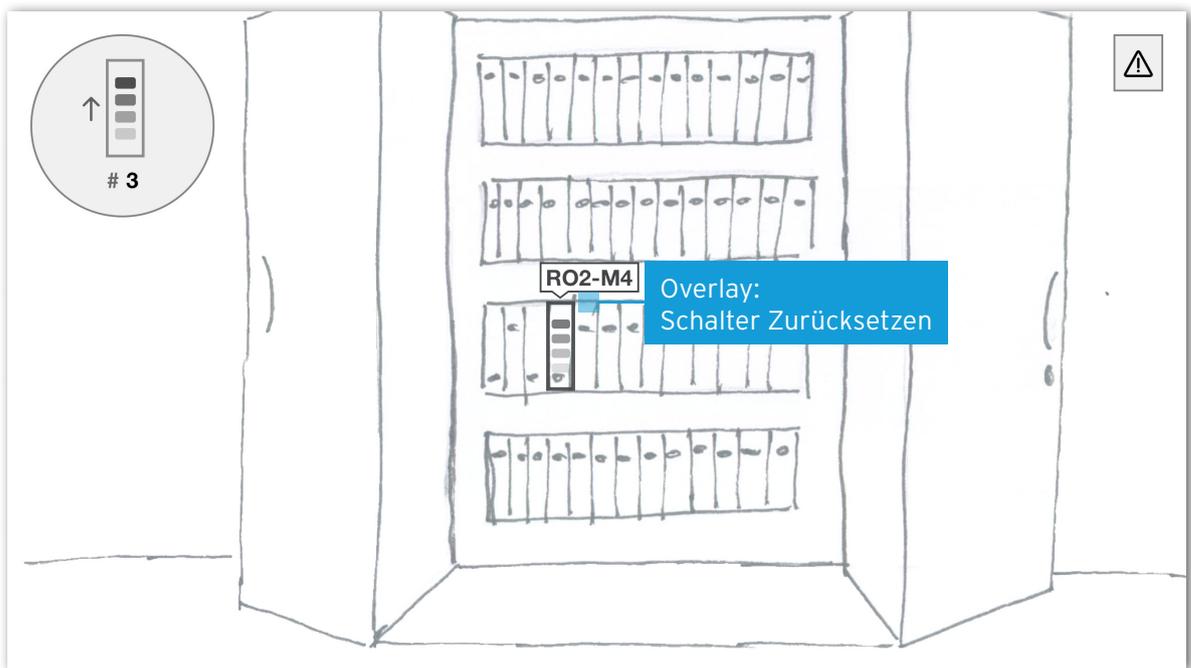


Abb. 6-19 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 2

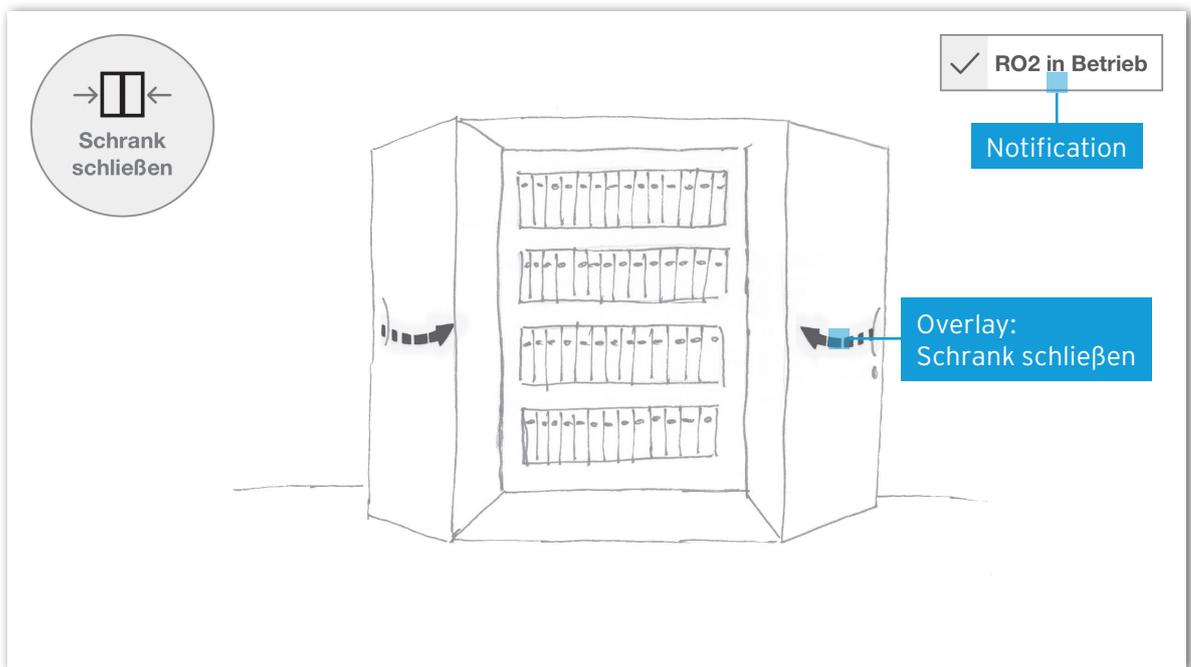


Abb. 6-20 Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 3

*[...] remember that your system will be tested for usability
even if you don't do it yourself.*

Nielsen 1995



Usability Evaluation

7.1 Usability evaluieren

Der beste Weg herauszufinden, was an einem System funktioniert und was nicht, ist es, Nutzer bei der Verwendung des Produkts zu beobachten. Dies ist nach der Nielsen Norman Group (2014) die Kernessenz von Usability Evaluationen. Es ermöglicht Probleme zu identifizieren sowie qualitatives Feedback zu erhalten, um das Design zu optimieren (Nielsen Norman Group 2014). Dabei sollte man allerdings in erster Linie nicht darauf achten, was die Nutzer aussagen, sondern auf das, was sie tatsächlich tun, um Erkenntnisse zur Optimierung zu erhalten (Nielsen 2001).

[...] remember that your system will be tested for usability even if you don't do it yourself.

Nielsen 1995

Wie Nielsen folgert, testen die Nutzer das Produkt am Ende auf jeden Fall, auch wenn man es selbst nicht tut (Nielsen 1995). Da die Kosten für die Änderungen von Produkten immens zum Fortschritt des Projekts steigen, sollte deshalb schon in frühen Phasen so oft wie möglich evaluiert werden. Nutzertests können in den unterschiedlichen Projektphasen helfen, konzeptionelle oder gestalterische Probleme zu erkennen und frühzeitig zu beheben. Dabei können Scribbles, Entwürfe, Wireframes oder bereits visuell ausgestaltete Screens mit einem Prototyp evaluiert werden.

Bei Prototypen unterscheidet man zwischen Low Fidelity und High Fidelity, also den Grad der Ähnlichkeit bzw. Wiedergabetreue, den der Prototyp im Vergleich zum Endprodukt hat. Ein High Fidelity Prototyp stellt die Hauptfunktionalitäten eines Systems interaktiv dar, während ein Low Fidelity Prototyp wenig bis keine Funktionalität bietet (Rudd, Stern, und Isensee 1996).

Die empirische Usability Evaluation wurde mit einem auf Wireframes basierenden High Fidelity Prototype durchgeführt und fand am Mittwoch, den 1. Juni 2016 im Usability Labor der Ergosign GmbH in Saarbrücken statt. Die insgesamt acht Sitzungen dauerten mit Einführung, Vorabinterview, dem Usability Test sowie einer Abschlussbefragung jeweils zwischen 20 und 25 Minuten.

Im Fokus des Tests stand die Evaluation des Bedienkonzeptes für das Head-Mounted Display sowie das Zusammenspiels von eben diesem mit dem Leitstand-Interface. Die Evaluation ging dabei der konkreten Frage nach, ob mit der konzipierten Anwendung die Nutzer sinnvoll bei der Behebung eines konkreten Fehlers unterstützt werden können.

Nach Nielsen ist die Erfolgsrate beim Erfüllen von Tasks die einfachste Möglichkeit um die Usability eines Systems zu messen (Nielsen 2001). Im stattgefundenen Test konnten alle 8 Probanden den ersten Task und 7 Probanden den zweiten Task ohne Hilfe des Test-Moderators lösen und somit den vorhandenen Fehler erfolgreich beheben. Weiterhin wurde das Testing genutzt um Stärken und Schwächen des Interfaces zu identifizieren und qualitatives Feedback von den Probanden zu erhalten. Die Ergebnisse wurden in 8.3 zusammengefasst und ausgewertet. Darauf basierend wurden konzeptionelle und visuelle Empfehlungen abgeleitet welche in 8.4 sowie in Kapitel 9 eingearbeitet wurden.

7.2 Prototyping

*If a picture is worth a thousand words,
then a prototype is worth 10,000. Prototypes go beyond the
power of show and tell – they let you experience the design*

Warfel 2009

7.2.1 Testszenario

Mit der Usability Evaluation wurden mit einer prototypischen Implementierung wesentliche Bestandteile des Bedienkonzeptes evaluiert. Dabei wurde auf Basis des in Kapitel 5 beschriebenen Szenarios ein Testszenario erstellt. Der Anwender analysiert dabei einen aufgetretenen Fehler am Leitstand-Interface, startet die Fehlerbehebung, lokalisiert die defekte Komponente mit Hilfe des HMDs und behebt das Problem anhand der eingeblendeten Schritt-für-Schritt-Anleitungen. Hierbei wurde insbesondere das Zusammenspiel von Leitstand und HMD evaluiert, sowie die

Usability Evaluation

Unterstützung des Nutzers anhand der eingeblendeten Elemente. Das Human-Machine Interface und die Smartwatch-App wurden zunächst nicht evaluiert.

De Sá und Churchill (2013) beschreiben drei Prototyp-Varianten, von Low Fidelity bis High Fidelity, um AR-Systeme zu evaluieren: Paper Prototyping (Low-Fidelity), Nachbearbeitete Videos (Mixed-Fidelity) und eine Implementierung mit dem finalen Device, bei De Sá und Churchill eine Android App (High-Fidelity). Die beiden Forscher folgern, dass die Evaluation von AR-Anwendungen aufgrund der Reichhaltigkeit an Erfahrungen sehr komplex ist. Daher ist es erforderlich, das Design möglichst nah am Endprodukt zu testen, um es möglichst effizient evaluieren und optimieren zu können. Für den Usability Test wurde daher ein High Fidelity Prototyp entwickelt.

7.2.2 Komponenten

Zum Zeitpunkt der Usability Evaluation waren die finalen Komponenten, wie ein optical see-through HMD, der finale Schaltschrank sowie der verwendete Leitstand-Computer noch nicht verfügbar. Daher wurde für den Usability Test ein High-Fidelity Prototyp mit den folgenden Komponenten entwickelt.

Leitstand

Device: Mac-Book Pro (Retina 15 Zoll, Anfang 2013)

Der Leitstand-Prototyp wurde mit dem Interface Design Tool *Antetype* auf Basis der damit bereits erstellten Wireframes (siehe Kapitel 6) angelegt. Für den Test wurde der Fehler rot hervorgehoben, damit die Probanden sich vor allem auf diesen fokussieren und nicht zu lange von der Komplexität des gesamten Interfaces aufhalten lassen, welches nicht im Fokus der Evaluation stand.

Head-Mounted Display

Device: Samsung Gear VR mit Galaxy S6 (video see-through HMD)

Der High Fidelity Prototyp für das HMD wurde von dem seitens der Ergosign GmbH verantwortlichen Entwickler, Tobias Walter, auf Basis der im Bedienkonzept erarbeiteten Wireframes entwickelt.

Schaltschrank

Der Schaltschrank-Prototyp bestand aus einem Serverschrank, welcher mit 10 handelsüblichen Leitungsschutzschaltern sowie 2 musterbasierten Markern bestückt wurde.

7.2.3 Technische Probleme

Da zum Zeitpunkt des Tests noch nicht das finale Equipment verfügbar war, wurde der Prototyp, wie im vorigen Abschnitt erwähnt, mit einem video see-through HMD, bestehend aus einem Samsung Galaxy S6 und einer Gear VR, umgesetzt. Dabei ergaben sich technische Probleme und Einschränkungen. Im Nachfolgenden werden die während Prototyping und Durchführung des Tests aufgetretenen Probleme kurz geschildert.

Unschärfe

Das S6 bringt zwar eine relativ hohe Displayauflösung von 2560 x 1440 Pixel mit sich. Allerdings kann bei der stereoskopischen Anzeige des Kamera-Streams nur ein relativ kleiner Teil davon genutzt werden (siehe Abb. 7-1). Dies hat zur Folge, dass Elemente unscharf gezeichnet werden und daher relativ groß im Verhältnis zur Bildgröße dargestellt werden müssen, was vor allem die Anzeige von Text betrifft. Die Schärfe nimmt beim Blick durch die Gear VR zudem von der Mitte zum Rand ab, was die Elemente am Rand schwerer erkennbar macht. Des Weiteren ergaben sich bei der Überlagerung des Kamera-Streams mit virtuellen Elementen sog. Chromatische Aberrationen, die sich als Regenbogenverzeichnungen an den Kanten der Elemente zeigten.



Abb. 7-1 Stereoskopische Anzeige des Kamera-Streams auf dem Galaxy S6

Cybersickness

Da es sich bei dem verwendeten HMD um ein video see-through Device handelte, war hier durch den Blick auf den digitalen Bildschirm die Gefahr von Cybersickness erhöht. Ein Proband merkte während des Usability Tests wörtlich an: „Da wird es einem echt schwindelig.“

Mapping

Die Samsung Gear bringt keine Tiefensensorik zur Umgebungserfassung mit sich, weshalb ein markerbasiertes Mapping verwendet wurde. Das Mapping variierte jedoch je nach Blickwinkel und Position des Nutzers. Des Weiteren war dadurch keine Erfassung des Raumes möglich, sodass, wie im Konzept angedacht, Navigationselemente auf dem Boden nicht eingeblendet werden konnten. Die Navigation wurde daher im Rahmen des Tests auf das Indikator-Licht reduziert.

Tiefenwahrnehmung und peripheres Sichtfeld

Störungen in der Tiefenwahrnehmung sind das am häufigsten Auftretende Problem bei der Interaktion mit AR (Kruijff, Swan und Feiner 2010). Beim konkreten Prototyp hat die verbaute Kamera des Galaxy S6 eine relativ kleine Brennweite, was in einen Weitwinkel resultiert. Dadurch hat der Anwender beim Blick auf das video see-through Display das Gefühl weiter von den Objekten in seiner Umgebung entfernt zu sein, als er tatsächlich ist. Zudem ist sein peripheres Sichtfeld stark eingeschränkt, was das Fassen von Objekten und die Wahrnehmung des eigenen Körpers im Raum (Propriozeption) erschwert. Diese Störung wurde von mehreren Probanden während des Tests negativ angemerkt.

7.3 Testablauf

Beim Herangehen an Usability Evaluationen beschreibt die Fachliteratur verschiedene Vorgehensweisen. Grundsätzlich kann zwischen formalen und informalen Tests unterschieden werden.

Bei sehr formalen Tests folgt der Moderator einem streng strukturierten Ablauf. Oft befindet sich der Proband allein in einem Usability Labor oder ähnlichen Raum, während der Moderator von einem anderen Raum aus beobachtet und mit ihm aus der Entfernung kommuniziert. Damit sollt der Test möglichst wenig vom Moderator, wie etwa durch dessen Anwesenheit oder variierende Wortwahl beeinflusst werden. Kann der Teilnehmer eine Aufgabe nicht lösen, wird dies vermerkt und der Task

abgebrochen. Diese Variante bietet sich daher an, um eher ein quantitatives Feedback zu erhalten.

Bei dem mit dieser Arbeit durchgeführten Test handelt es sich stattdessen um eine eher informale Variante eines Usability Tests, wobei sich der Moderator mit dem Proband im Raum befindet, was Rubin und Chisnell (2008) als *sit-by session* bezeichnen. Der Moderator kann dabei die Reaktionen des Nutzers besser beobachten und direkt im Anschluss mit dem Nutzer in einen kooperativen Dialog treten, was besonders Vorteile bei exploratorischen Tests bietet (Rubin und Chisnell 2008). Dabei kann in erster Linie ein qualitatives erhalten werden.

Der Ablauf wurde vorab in dem bereits erwähnten Moderator-Leitfaden (siehe Anhang auf CD) strukturiert. Anhand eines Pilot-Tests, einer Art Probelauf, wurde dieser vor dem eigentlichen Test mit den Probanden, hinsichtlich Zeitplanung und Machbarkeit evaluiert. Während das Skript bei formalen Testmethoden möglichst exakt eingehalten werden sollte, diente es im stattgefundenen Test eher als roter Faden, von dem zu Teilen abgewichen wurde. Nachfolgend wird ein grober Überblick zu den Abschnitten der einzelnen Tests gegeben.

7.3.1 Einleitung

Der Proband wurde zunächst vom Testmoderator begrüßt und über den Sinn und das Ziel des Tests aufgeklärt. Es wurde zudem erläutert, dass dies kein Test ist, um den Proband als Nutzer zu testen, sondern viel mehr das System und es daher kein richtiges oder falsches Vorgehen von Seiten der Testperson gibt. Der Proband wurde ermutigt laut zu denken, bei Unklarheiten Fragen zu stellen und offen Feedback zu negativen wie auch zu positiven Aspekten zu geben. Abschließend wurde die Testperson über die Aufzeichnung des Tests aufgeklärt und gebeten die Teilnahmeerklärung zu unterschreiben.

7.3.2 Vorabinterview

Vor Beginn des eigentlichen Tests mit dem Prototyp wurden vom Moderator demographische Daten abgefragt. Diese wurden bewusst in

Usability Evaluation

Interviews erfragt um die Sitzung zu Beginn etwas aufzulockern und zwischenmenschlich eine positive Atmosphäre zu schaffen, da ein selbständiges Ausfüllen des Fragebogens durch den Probanden auf Papier oder digital für eine unangenehme Stille gesorgt hätte.

7.3.3 Task Szenarios

Anhand der beiden vorab definierten Task Szenarios (siehe Abschnitt 7.5) wurden die Probanden aufgefordert mit dem Prototyp zu interagieren und dabei laut zu denken beziehungsweise zu versuchen ihre Wahrnehmung und ihr Handeln in Worte zu fassen. Nach Ende eines jeden Tasks wurden dem Proband zunächst spezifische Fragen zum Task gestellt.

7.3.4 Post-Szenario Interview

Um nach Beendigung der Arbeitsaufgaben ein qualitatives Feedback zu erheben, wurden dem Testteilnehmer gezielt Fragen zur generellen Bewertung der Anwendung sowie zum Konzept gestellt. Auch hier sollte die Qualität des Feedbacks durch das direkte Interview gesteigert werden und die Möglichkeit gegeben sein, um gegebenenfalls bei interessanten Punkten in die Tiefe zu gehen.

7.3.5 Abschluss

Der Proband wurde ein letztes Mal gefragt, ob er noch etwas zu ergänzen hätte, um an eventuell vergessene Punkte zu erinnern. Abschließend wird er mit einem kleinen Präsent belohnt und verabschiedet. Das System wurde dann wieder in seinen Ursprungszustand versetzt und für den nächsten Test vorbereitet.

7.4 Vorbereitungen

7.4.1 Dokumente

Bei der Vorbereitung des Tests wurde ein *Moderatorleitfaden* erstellt (siehe Anhang). Ein solches Skript dient dem Testleiter als Werkzeug, um bei der Evaluation den Überblick zu behalten und den Test zu strukturieren. In diesem Fall enthielt der Leitfaden zudem Fragen für ein Vorabinterview um demographische Daten der Probanden abzufragen, zwei Task Szenarien, also Arbeitsaufgaben für den Test des Prototypen, sowie vorbereitete Fragen für ein *Post-Szenario Interview*, um am Ende des Tests gezielt Feedback zum gezeigten System zu erhalten.

Da die Test-Sitzungen zu Dokumentations- und Analysezwecken aufgezeichnet wurden, musste die Zustimmung der Probanden dafür eingeholt werden. Die Details zu Datennutzung und -sicherheit wurden im Rahmen einer Teilnahmeerklärung [siehe Anhang] festgehalten, welche von dem Probanden bei Zustimmung unterschrieben wurde.

7.4.2 Probanden

Um ein System auf Benutzbarkeit zu testen werden unbeteiligte Probanden, die mit dem Testsystem nicht vertraut sind, benötigt. Idealerweise sollten diese Teil der tatsächlichen Endnutzer-Gruppe der Anwendung sein oder auf Basis der mit Zielgruppe und Personas definierten Kriterien ausgewählt werden. Da es sich bei dem Showcase um ein internes Projekt der Ergosign GmbH handelt, welches bislang ohne einen konkreten Kundenkontakt entwickelt wurde, konnten hierfür keine Endanwender aus einer Großdruckerei rekrutiert werden. Allerdings handelt es sich beim Großteil der zu evaluierenden konzeptionellen Ideen um allgemeine Ansätze, die prinzipiell nicht an den Kontext der Anwendung in einer Großdruckerei gebunden sind. Es wurde daher versucht eine möglichst heterogene Probandengruppe zu rekrutieren.

Usability Evaluation

After you have seen several people make the same mistake, you don't need to see it a 10th or 20th or 50th time. You know that you've uncovered a problem.

Dumas und Redish 1994

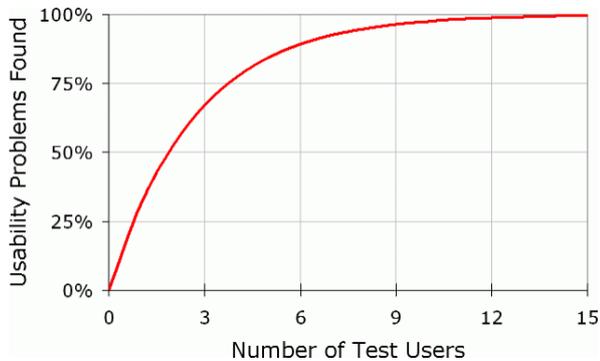


Abb. 7-2 Anzahl der Probanden in Relation zur Anzahl gefundener Usability Probleme (Nielsen 2000)

Wie Dumas und Redish erklärt auch Jakob Nielsen, dass eine bestimmte Anzahl an Testpersonen ausreicht um qualitatives Feedback zu erhalten und die meisten Usability Probleme zu entdecken (siehe Abb. 7-2). Nielsen empfiehlt dabei mit fünf Probanden zu testen, weist aber darauf hin, dass es je nach Art der Evaluation Abweichungen geben wird (Nielsen 2012). Da mit dem Test zwar der Erhalt von qualitativem Feedback im Vordergrund steht,

es sich bei dem Test-Szenario aber nur um ein relativ Kurzes handelt und sich der zeitliche Mehraufwand einer höheren Testanzahl in Grenzen hält, wurden schließlich acht geeignete Personen rekrutiert.

Für die Usability Evaluation am 1. Juni 2016 konnten fünf männliche Probanden, wovon zwei im Alter von 21-30 Jahren und drei im Alter von 31-40 Jahren waren, sowie drei weibliche Probanden im Alter von 21-30 Jahren rekrutiert werden. Die Testpersonen hatten alle eine abgeschlossene Berufsausbildung in den Bereichen Betriebswirtschaft, Medien, Informatik oder Psychologie. Alle Teilnehmer benutzen regelmäßig einen PC oder Laptop sowie Smartphones, vier Teilnehmer auch Spielekonsolen. Die Hälfte der Probanden beschreibt sich als enthusiastisch gegenüber neuen Technologi-

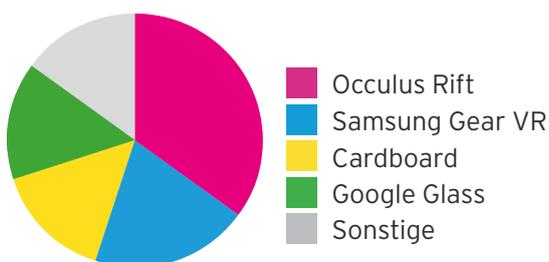


Abb. 7-3 Erfahrung der Probanden mit VR/AR Systemen

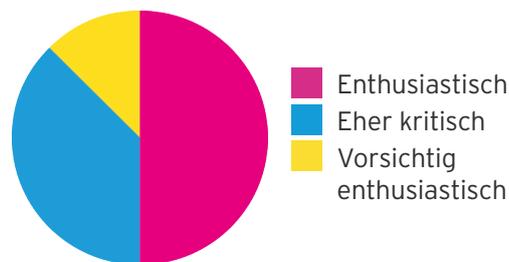


Abb. 7-4 Einstellung der Probanden gegenüber neuer Technik

en, während die andere Hälfte eher kritisch dazu steht oder abwartet, bis die Technik überzeugt oder sich etabliert hat (siehe Abb. 7-4). Sieben der acht Teilnehmer hatten schon erste Erfahrungen mit VR und AR Systemen gesammelt (siehe Abb. 7-3). Alle Probanden konnten sich bereits vor dem Test sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten für die Technologie vorstellen. Genannt wurde dabei unter anderem Wartung, Reparatur, Bedienungsanleitungen, Schulungen im Industrie- und Endkundenbereich wie auch Therapieunterstützung oder Anleitungen für Ärzte bei Operationen in der Medizin. (Details siehe Anhang auf CD)

7.4.3 Setting

Vor der Durchführung des Tests wurde ein Test-Setting eingerichtet (siehe Abb. 7-5). Darin ist festgelegt wie einzelne Elemente während des Tests angeordnet sind. Der Test wurde über eine Bildschirmaufnahme am Leitstand-Interface (L) und an einem Rechner des Observators (O), auf welchen der Bildschirm des Galaxy S6 gestreamt wurde, aufgezeichnet. Des Weiteren filmten zwei Kameras (K1, K2) den Nutzer während der Interaktion. Der Moderator (M) führte den Proband (P) durch

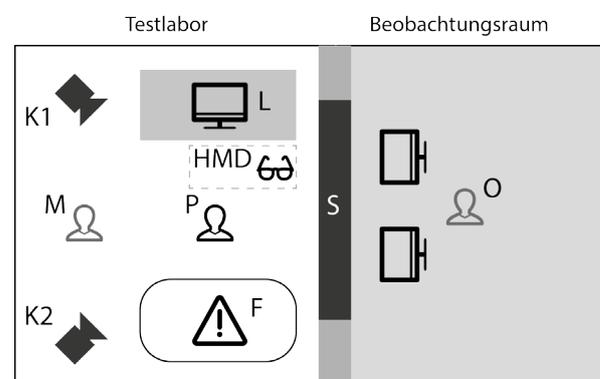


Abb. 7-5 Schematischer Aufbau des Test-Settings



Abb. 7-6 Zusammenschnitt der Aufnahmen im Testlabor (Videos siehe Anhang auf CD)

den Test. Dieser startet zunächst mit Task Szenario 1 am Leitstand (L) und bewegt sich dann anhand der Informationen des Head-Mounted Displays (HMD) durch das Testlabor hin zum Schaltschrank und behebt die Quelle des Fehlers (F). Der Observator kann durch einen von einer Seite durchsichtigen Venezianischen Spiegel (S) sowie über den gestreamten Bildschirm des HMDs das Geschehen beobachten und den Prototyp steuern bzw. zur geeigneten Zeit das nächste Event über ein Webinterface triggern.

7.5 Task Szenarien und Test-Ergebnisse

Auf Basis der erstellten Anwendungsszenarien wurden für den Usability Test zwei Arbeitsaufgaben, so genannte *Task Szenarien*, entworfen. Task Szenarien sollten klare Zielkriterien enthalten und mit dem erstellten Testsystem durchführbar sein, wobei sie die gestellten Aufgaben in einem Kontext verorten und den Proband dazu motivieren die Aufgaben zu lösen (Nielsen Norman Group 2014).

Anhand den Task Szenarios werden in diesem Abschnitt auch die Ergebnisse der Evaluation ausgewertet. Diese sind je nach Art anhand von Farben in vier Kategorien eingeordnet. Bei gefundenen Problemen oder Verbesserungsmöglichkeiten wurde zudem ein Optimierungsansatz erarbeitet.

 Gute Lösung bzw. Positives Ergebnis

 Untergeordnetes Problem, Optimierung möglich

 Schweres Problem, Optimierung nötig

 Beobachtung, Ergänzung, Anmerkung oder Wunsch

7.5.1 Kontext

Mit den Task Szenarios wurden die Probanden direkt angesprochen und in die Situation hineinversetzt, in einer Großdruckerei verantwortlich für die Wartung und Instandhaltung der Maschinen zu sein.

Sie sind als Druckmeister in einer großen Druckerei angestellt. Zu Ihren Aufgaben gehört es, für die Instandhaltung und Fehlerbehebung der Maschinen zu sorgen. Gerade befinden Sie sich im Leitstand der Druckerei und überwachen die Funktionstüchtigkeit der Maschinen. Im Leitstand ist auf dem Interface vor Ihnen ein Fehler erschienen.

7.5.2 Task 1 - Fehlerbehebungsprozess starten

Sie möchten den aufgetretenen Fehler beheben und zunächst die Fehlerbehebung starten.

Subtasks

- 1) Sehen Sie sich den Fehler genauer an.
- 2) Identifizieren Sie Möglichkeiten zur Unterstützung bei der Fehlerbehebung.
- 3) Starten Sie die Fehlerbehebung

Erforderliche Schritte

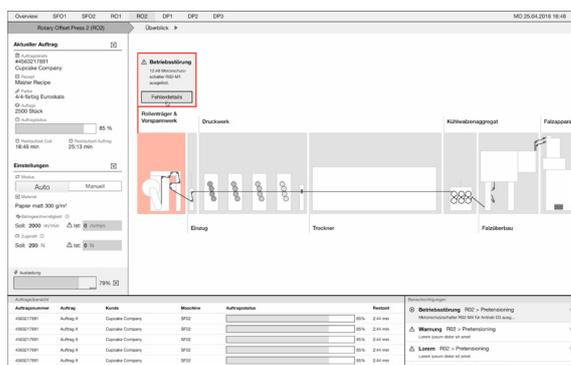


Abb. 7-7 Schritt 1: Fehler im Leitstand-Interface erkennen und Details öffnen

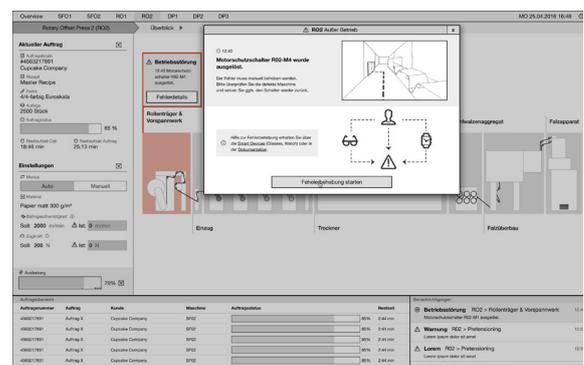


Abb. 7-8 Schritt 2: Fehlerdetails analysieren, Möglichkeiten zur Unterstützung identifizieren und Fehlerbehebungsprozess starten

Zielerreichung

Alle Probanden beendeten Task 1 – Fehlerbehebungsprozess starten erfolgreich ohne Hilfe des Moderators.

Startscreen und Modaler Dialog

Die **Information zur Fehlerbehebungs-Hilfe** im modalen Dialog (siehe Abb. 7-8) war für 3 Probanden nicht prägnant genug und wurde zu Teilen zunächst überlesen bzw. übersprungen.

Optimierungsansatz: Sichtbarkeit und Aufforderungscharakter der Informationen könnte über Anordnung und im visuellen Design (Farbe, Größe, visuelle Ausgestaltung der Info-Grafik etc.) optimiert werden.

2 Probanden merkten an, dass nachdem die Fehlerbehebung gestartet wurde eine **prägnantere Feedback- bzw. Status-Meldung** sinnvoll wäre, die eventuell den nächsten Schritt beschreibt.

Optimierungsansatz: Integration einer Status-Meldung mit Fortschrittsanzeige um präsenten Feedback zu geben.

1 Proband empfand das Label des Buttons *Fehlerbehebung starten* nicht klar und fragte sich, ob die Maschine damit nach Interaktion etwa selbst den Fehler behebt.

Optimierungsansatz: Präzisere Wortwahl bzw. eine genauere Beschreibung kann das Verständnis verbessern.

7.5.3 Task 2 - Fehler mit HMD beheben

Sie möchten nun den Ihnen unbekanntem Fehler mit Hilfe der Brille beheben.

Subtasks

- 1) Finden Sie die Fehlerquelle.
- 2) Folgen Sie den Anleitungen der Brille um den Fehler zu beheben.

Erforderliche Schritte



Abb. 7-9 Schritt 1.1: Lokalisierung der Fehlerquelle im Raum mit Indikator-Licht



Abb. 7-10 Schritt 1.2: Lokalisation der Fehlerquelle anhand von Overlays



Abb. 7-11 Schritt 2: Schaltschrank öffnen



Abb. 7-12 Schritt 3: Schutzschalter zurücksetzen

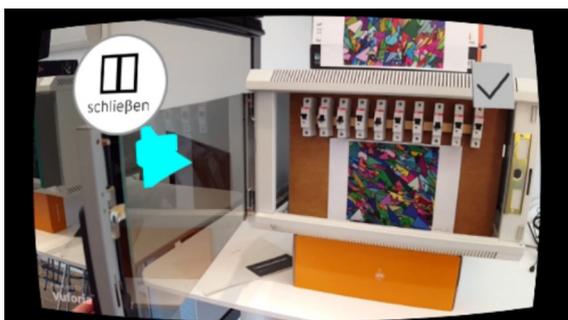


Abb. 7-13 Schritt 5: Schaltschrank schließen

Zielerreichung



7 der 8 Probanden beendeten Task 2 – Fehler mit HMD beheben erfolgreich ohne Hilfe des Moderators

Anweisungen

Die **eingblendeten Anweisungen** als Overlay und in den Panels waren für 7 der 8 Probanden **eindeutig** und wurden von diesen überwiegend positiv bewertet. Exemplarische Aussagen der Probanden: „Die direkte Anzeige der Schritte [im Sichtfeld] ist intuitiv.“ (Proband #2) „Art der Unterstützung ist ziemlich cool [...] gut für unerfahrene Arbeiter, wie Hilfs-/Leih-/Saisonarbeiter.“ (Proband #4)

1 Proband war nachdem der Fehler bereits behoben war durch die **Schaltschrank-Schließen-Anweisung** (siehe Abb. 7-13) nach dem Umlegen des Schalters verwirrt, da der Pfeil an der Tür nicht in seinem Sichtfeld war. Er erzeugte unbewusst erneut denselben Fehler indem er den Schutzschalter wieder deaktivierte. Die Fehlbedienung ist ihm jedoch nicht klar geworden. Daher bewertete der Proband die Anweisungen im anschließenden Interview als klar.

Optimierungsansatz: Um die Gefahr solcher Fehlbedienungen zu minimieren sollte für jeden Anweisungsschritt ein eindeutiges Icon mit Label verwendet werden. Zudem könnte das System das Vorhaben des Nutzers frühzeitig erkennen und gegebenenfalls Informationen einblenden, die den Nutzer vor einem Fehler bewahren.

2 Probanden wünschten sich **detailliertere Informationen** in Form von Text zu jedem Arbeitsschritt.

Optimierungsansatz: Es sollte konsistent zu jedem Arbeitsschritt ein Icon bzw. eine Animation und ein Label im Kombi-Panel angezeigt werden.

User Interface Panels

Der Großteil der Probanden nutzte intuitiv die im **Kombi-Panel** angezeigten Anweisungen (Proband #3: „Ah ja, oben links sehe ich ja auch was ich tun soll.“), wenn keine Overlays im Sichtfeld angezeigt wurden, etwa da der Marker nicht korrekt erkannt wurde oder die Overlays sich

nicht im Blickfeld befanden. Die Panels wurden von keinem Teilnehmer als Störung oder Beeinträchtigung des Sichtfelds empfunden.

Für 3 Probanden war allerdings der **(Platzhalter-)Icon** im Kombi-Panel für die Anweisung *Schalter-Zurücksetzen* (siehe Abb. 7-12) unklar bzw. nicht aussagekräftig genug, während das Overlay am Schalter nicht zusätzlich im Sichtfeld war.

Optimierungsansatz: Der Icon im Kombi-Panel könnte durch die Animation eines realistischer gestaltetem Schalters (visuelles Design) ersetzt und zusätzlich durch textuelle Informationen ergänzt werden.

4 Teilnehmer beschwerten sich, darüber dass die **UI-Panels** generell **zu weit am Rand des Displays** platziert sind und so nicht in einem angenehmen Sichtfeld liegen. „Da muss ich sehr hinschie-len.“ (Proband #4)

Optimierungsansatz: Es sollte evaluiert werden, wie weit die Panels in das zentrale Sichtfeld des Betrachters gerückt werden können, sodass sie ohne große Umstände gelesen werden könnten, aber trotzdem nicht die Sicht des Nutzers auf die Umgebung behindern. Dies kann allerdings je nach verwendetem Display variieren und sollte daher unbedingt auf dem finalen Device getestet und evaluiert werden.

Das eingeblendete **Indikator-Licht** (siehe Abb. 7-9) zur Lokalisierung der Fehlerquelle (siehe Abb. 7-10) wurde von 4 der Probanden nicht bewusst wahrgenommen bzw. nicht beachtet. Probanden, die es bewusst wahrgenommen haben, fanden die transportierte Information nach kurzem Ausprobieren bzw. Eingewöhnen klar und sinnvoll. Die Funktionsweise muss allerdings zunächst gelernt werden.

Optimierungsansatz: Mit Hilfe eines Onboarding-Overlays bei erstmaliger Benutzung könnte der Nutzer mit der unbekanntem Funktion vertraut gemacht werden.

System-Status

3 Probanden wünschten sich zudem ein **präsenderes Feedback** vom System sobald der Fehler behoben ist.

Optimierungsansatz: Kurzes Aufleuchten des *Erfolg-Häkchens* im zentralen Sichtfeld des Nutzers mit anschließender Animation nach rechts oben in das Notification-Panel, bevor es nach rechts aus dem Display verschwindet.

1 Proband schlug vor, eine **Fortschrittsanzeige** hinzuzufügen, damit der Nutzer besser einschätzen kann was noch auf ihn zukommt.

Optimierungsansatz: Es könnte evaluiert werden, ob eine relativ dezente und einfache Fortschrittsanzeige, etwa am oberen oder unteren Bildschirmrand sinnvoll implementiert werden kann, ohne den Nutzer abzulenken.

7.5.4 Weitere Einsatzmöglichkeiten

Die Probanden sahen weitere Einsatzmöglichkeiten des konkret vorgestellten Konzepts vor allem in Heimanwendungen, wie Überprüfen von Sicherungen in der eigenen Wohnung, Reparatur, Nachfüllen oder Austauschen von Systemkomponenten zum Beispiel im Auto oder am Fahrrad und im Anschließen und Einrichten von Geräten wie WLAN-Routern. Ein Proband sah das Potenzial der Anwendung vor allem darin, Anleitung bei Prozessen zu erhalten, die man eigentlich selbst machen könnte, wenn man nur wüsste wie es geht.

Weiterhin wurden als potenzielle Anwendungsmöglichkeiten allgemein die Ersetzung von Bedienungsanleitungen mit schritt-basierten Anleitungen zur Inbetriebnahme neuer Geräte, zum Aufbau neuer Möbel oder zur Reparatur komplexerer Systeme, sowie dessen Einsatz in der Logistik und im medizinischen Bereich etwa zur Einblendung von Informationen oder Anleitungen während Operationen genannt.

Abgesehen von der Verwendung eines optical see-through HMD merken die Probanden an, dass das Mapping bei sicherheitskritischen Anwendungen, bei welchen es auf Präzision ankommt, verbessert werden und bei komplexeren Systemen eventuell ein Navigationskonzept hinzugefügt werden müsste.

Hinweis

Im Anhang auf der beigelegten CD befinden sich zu diesem Kapitel die Aufnahmen der Tests, eine Tabelle mit der Auswertung der Ergebnisse sowie alle weiteren erwähnten Dokumente.



Visuelles Design

8.1 Allgemeines zum visuellen Design

Im Zuge der Bachelorarbeit wurden erste visuelle Designs für das Interface auf dem Head-Mounted Display sowie für die Applikation auf der Smartwatch ausgearbeitet. Basierend auf dem im Rahmen der Arbeit erstellten Bedienkonzept und dem visuellen Design wird die Ausarbeitung für die Desktop-Applikation im Leitstand sowie für das Human-Machine Interface von Seiten der Ergosign GmbH übernommen. Das visuelle Design soll geräteübergreifend ein einheitliches Gesamtkonzept kommunizieren. Gleichmaßen soll eine Identifikation mit der Marke Ergosign geschaffen werden. Im Nachfolgenden werden die grundlegenden Gestaltungselemente erarbeitet und in einem sogenannten *Style Tile* (siehe Abb. 8-1) kombiniert visualisiert.

8.1.1 Farben

Es finden sich daher die von der Ergosign GmbH verwendeten Farben Cyan, Magenta und Gelb sowie diverse Graphit-Töne und Weis wieder. Die Farben bieten sich passenderweise sehr gut zur Verwendung im industriellen Kontext an. Üblicherweise werden Maschinenvisualisierungen in Graustufen gehalten, wofür sich die Graphit-Töne sehr gut eignen. Die Signalfarbe Magenta wird zur Hervorhebung von Fehlern und die Signalfarbe Gelb für Warnungen verwendet. Weiterhin wird die Farbpalette mit einem passenden Grün für Bestätigungen oder zur Hervorhebung von optimalen Zuständen erweitert. Das Cyan-Blau ist eine relativ unaufdringliche Farbe, wird also vom Betrachter nicht als störend empfunden und ist nicht als Signalfarbe vorbelastet. Daher wird das Cyan in erster Linie dazu genutzt, um Nutzeraktionen, Anweisungen und Interaktionsmöglichkeiten zu visualisieren.

8.1.2 Schrift

Ebenso wird die von Ergosign benutzte Schrift *Interstate* in den Schnitten *Light* und *Bold* verwendet. Die serifenlose Schrift von Tobias Frere-Jones wird in den USA für die Gestaltung von Verkehrsschildern genutzt. Durch ihre große x-Höhe und ausladenden Punzen ist die Schrift sehr gut lesbar,

wodurch der Text schnell vom Betrachter erfasst werden kann. Sie eignet sich daher hervorragend zur Nutzung im Industriellen Kontext.

8.1.3 Designsprache

Resultierend aus der Anforderung ein einheitliches visuelles Gesamtkonzept zu erstellen, musste eine einheitliche Designsprache definiert bzw. gewählt werden. Da eine androidbasierte Smartwatch verwendet wurde, erstarkte der Gedanke, die auf Android verwendete Designsprache von Google mit dem Namen *Material Design* (Google Design 2016) zu verwenden. Laut Google Design (2016) wurde Material Design als grundlegendes System entwickelt, um geräteübergreifend eine einheitliche Erfahrung zu ermöglichen. Dabei werden Interface-Elemente metaphorisch als Material betrachtet, bei deren Gestaltung Licht und Schatten eine elementare Rolle spielen, um Zusammenhänge zwischen einzelnen Elementen oder Hierarchie darzustellen. Im Allgemeinen werden die Elemente ansonsten sehr schlicht und plastisch gehalten, was in einem modernen und minimalistischen Design resultiert.



Abb. 8-1 Style Tile mit Elementen und Farben des visuellen Designs

8.2 Smartwatch

Bei dem visuellen Design des Interface für die Smartwatch (siehe Abb. 8.2) wurden weitestgehend die Design Patterns von Android Wear (Android 2016 b) angewendet. Daher wird hierbei auch die Schrift *Roboto Condensed* mit dem Schnitt *Light* statt der Interstate verwendet. Die Bilder in der Fehlerbehebung sind derzeit noch Platzhalter-Elemente.

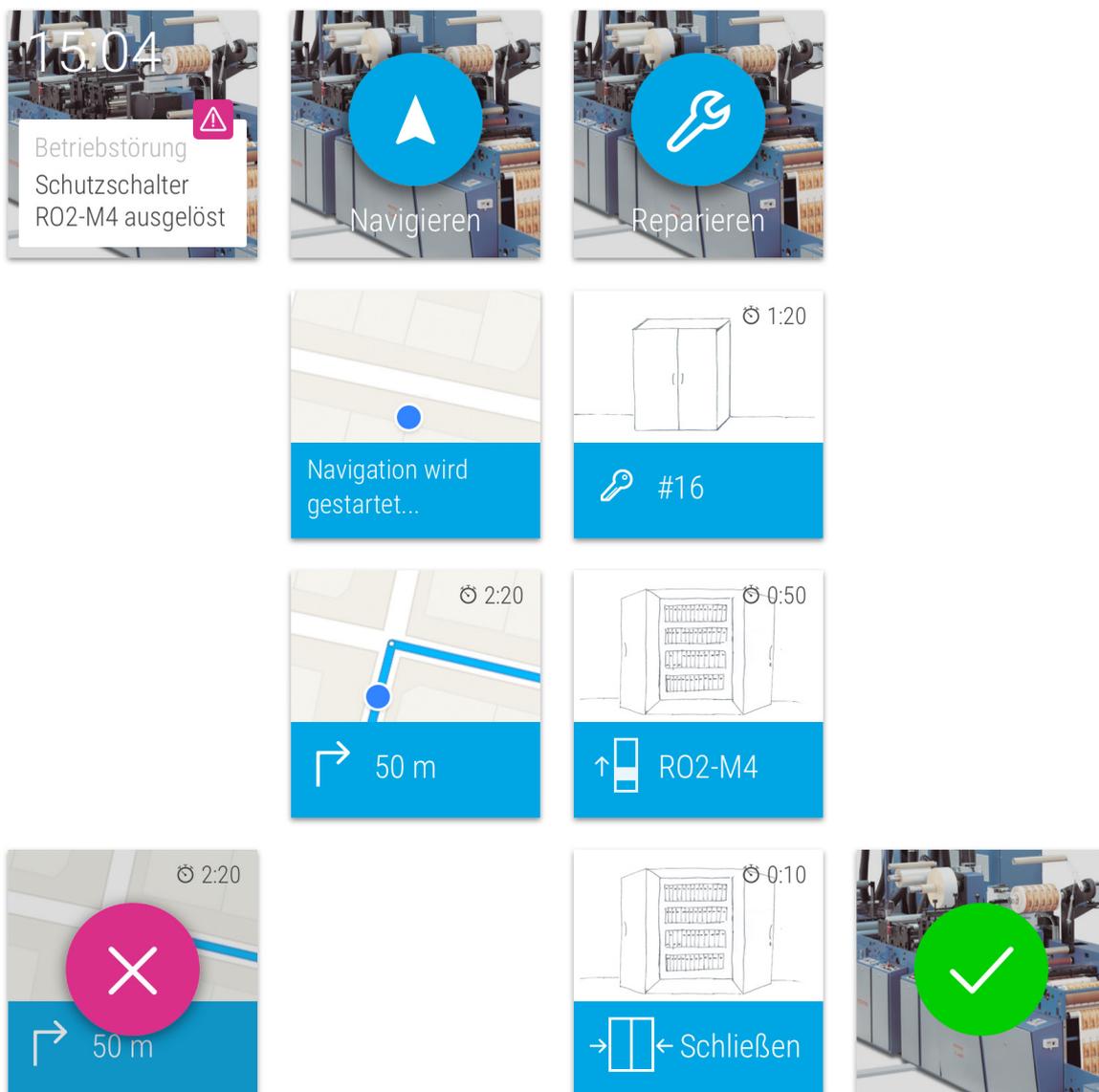


Abb. 8-2 Visuelles Design: Diverse Smartwatch-Screens mit Navigation und Fehlerbehebung

8.3 Head-Mounted Display

Für das Interface auf dem Head-Mounted Display (siehe Abb. 8-3, Abb. 8-4, Abb. 8-5, Abb. 8-6 und Abb. 8-7) wurde mit dem *Material Design* Ansatz eine einfache und doch klare Struktur und Hierarchie der Elemente visuell unterstützt. Übergeordnete Elemente sind mit einem Schatten leicht abgesetzt. Ebenso zeigt ein dezenter Schatten interaktive Elemente, wie etwa den Air-tap Button „Fehler beheben“ an.

Weiterhin erfordert es die Darstellung bei optical see-through HMDs, dass die Elemente ein ausreichend hohes Kontrastverhältnis mit sich bringen. Bei einem optical see-through HMD sind die überlagerten Elemente zum Teil durchsichtig. In den folgenden Screen Designs wurde den Panels daher eine gewisse Transparenz gegeben. Sollte die Anwendung letztlich trotzdem über ein video see-through HMD genutzt werden, könnte ebenso hier eine Transparenz bei den virtuellen Overlays und Panels verwendet werden, dahinter liegenden Objekte trotzdem noch zu erkennen. Dieses sollte ggf. in weiteren Nutzertests evaluiert werden.



Hintergrundbild: Deutscher Fachverlag 2016

Abb. 8-3 Visuelles Design: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails mit Fehler-Benachrichtigung

Visuelles Design



Abb. 8-4 Visuelles Design: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails-Panel



Abb. 8-5 Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation



Hintergrundbild: Deutscher Fachverlag 2016

Abb. 8-6 Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 2

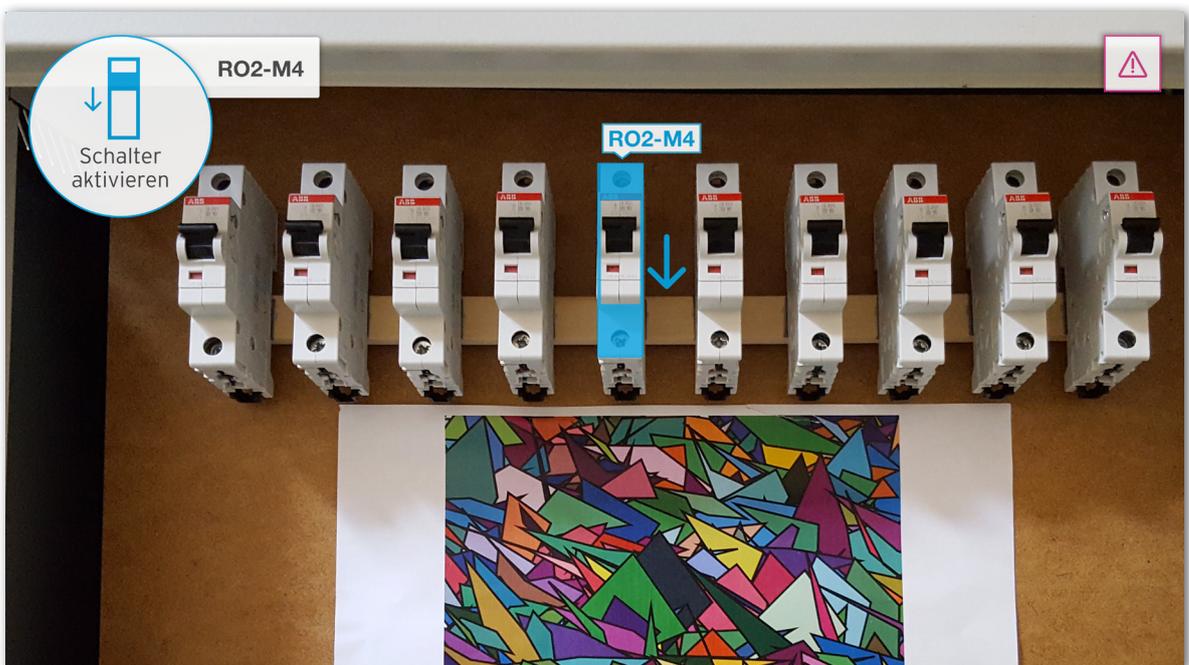


Abb. 8-7 Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung

A large, light gray, stylized number '9' is positioned on the right side of the page. The background is dark gray with a pattern of lighter gray hexagons.

Fazit

9.1 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit dem Beginn der vierten industriellen Revolution steht die Industrie vor einem gravierenden Wandel. Komponenten konventioneller Fertigungsprozesse werden intelligent und miteinander zu cyber-physischen Systemen vernetzt, wodurch Smart Factories entstehen. Trotz der weitgehend automatisierten Fertigung, bleibt der Faktor Mensch unabdingbar und ein zentrales Element bei der Überwachung der Produktion. Die Komplexität der Systeme beansprucht allerdings effiziente Assistenzsysteme, um die Prozesse beherrschbar zu machen.

Zur selben Zeit schimmern Augmented Reality und Virtual Reality am Horizont der Computerindustrie. Erste Head-Mounted Displays haben bereits den Konsumentenmarkt erreicht. Aktuell stehen jedoch noch einige Probleme und Herausforderungen an, die es zu meistern gilt, bevor sich die Technik zur nächsten generischen Computerplattform aufschwingen kann.

Augmented Reality könnte in der vierten industriellen Revolution eine zentrale Rolle einnehmen und die Etablierung von effizienten Mensch-Maschine Teams ermöglichen. Schon mit aktuell gängigen Technologien könnten eine Vielzahl an Prozessen verbessert werden. Insbesondere die Bereiche Montage und Fehlerbehebung bieten dabei sinnvolle Einsatzmöglichkeiten und könnten maßgeblich optimiert werden.

Am Beispiel einer Großdruckerei wurde in dieser Arbeit ein solcher Anwendungsfall genauer betrachtet und ein Bedienkonzept ausgearbeitet. Konkret wurde dabei die Behebung eines auftretenden Fehlers mit Hilfe eines Head-Mounted Displays fokussiert. Das System benachrichtigt zunächst den Nutzer und hilft ihm über eingeblendete Leitlinien und Navigationsanweisungen die fehlerhafte Komponente zu lokalisieren. Anschließend wird ihm Schritt für Schritt eine Anleitung zur Behebung des Fehlers an die Hand gegeben. Neben Fehlerbehebung wurden dabei zudem weitere Anwendungsmöglichkeiten des Systems, wie beispielsweise für Monitoring

im Normalbetrieb, angedacht und im Zusammenspiel von anderen Benutzerschnittstellen, wie Leitstand, HMI und Smartwatch verortet.

Noch gibt es keine etablierten Regeln, Normen oder Guidelines zur Gestaltung der erweiterten Realität. Daher wurde bei der Erstellung des geräteübergreifenden Bedienkonzepts in erster Linie verwandte Applikationen analysiert und bewährte Best Practices genutzt, um ein möglichst positives Nutzererlebnis zu schaffen. Insbesondere wurden dabei die gerätespezifischen Vorteile der Wearables betrachtet. Diese ermöglichen so, kontext- und situationsabhängige Informationen in Echtzeit zur Verfügung zu stellen.

Mit einem ersten empirischen Usability Test wurden die wesentlichen Konzepte der Anwendung auf dem Head-Mounted Display in Kombination mit dem Leitstand-Interface evaluiert. Insgesamt wurden dafür acht Probanden rekrutiert, welche im Rahmen des Tests mit einem High-Fidelity-Prototyp einen simulierten Fehler behoben. Der größte Teil der Test-Sitzungen brachte äußerst positive Ergebnisse hervor. So lösten sieben der acht Probanden beide Teilaufgaben des Tests erfolgreich und interagierten nach anfänglichen Unsicherheiten größtenteils intuitiv mit der Anwendung. Lediglich ein Proband führte eine Fehlbedienung aus, die allerdings auf eine Schwäche des Prototyps zurückgeführt werden kann. Die überwiegende Mehrheit der Testprobanden empfand die Unterstützung durch das Head-Mounted Display als hilfreich und kann sich die Anwendung des Systems auch zur Optimierung von anderen Prozessen vorstellen.

Weiterhin wurde bereits im Rahmen dieser Arbeit mit der Ausarbeitung des visuellen Design begonnen, welches von der Ergosign GmbH bis November 2016 auf der Basis dieser Bachelorarbeit weiter ausgearbeitet wird.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde also mit dem entwickelten Bedienkonzept ein sinnvoller und realitätsnaher Anwendungsfall von Augmented Reality in der Industrie zur Optimierung von Fehlerbehebungsprozessen am konkreten Beispiel aufgezeigt. Durch die Usability Evaluation konnte das enorme Potenzial einer solchen Anwendung, insbesondere bei Unterstützung von unerfahrenen Anwendern, veranschaulicht werden.

9.2 Ausblick

9.2.1 Ergosign Industry Showcase

Im November 2016 wird die konzipierte Anwendung im Rahmen des Ergosign Industry Showcase auf der SPS IPC Drives in Nürnberg vorgestellt. Bis dahin sollten alle wesentlichen Optimierungsansätze und Erkenntnisse aus der Evaluation geprüft und gegebenenfalls eingearbeitet sowie das visuelle Design der Anwendung auf allen Geräte fertig ausgearbeitet sein. Das Gesamtsystem sollte nach Vervollständigung des visuellen Designs erneut mit einem High-Fidelity Prototyp und den finalen Endgeräten evaluiert werden.

9.2.2 Erweiterungsmöglichkeiten

Im Laufe des Projekts entstanden in den unterschiedlichsten Phasen zahlreiche Ideen und Ansätze für alternative Bedienkonzepte oder zur Erweiterung der Anwendung. Im Folgenden werden abschließend einige davon kurz vorgestellt, um gegebenenfalls Anstoß zur Projektfortführung oder für andere Projekte zu geben.

Multiple Benachrichtigungen und Kollaboration

Treten mehrere Systemmeldungen zum gleichen Zeitpunkt auf, muss das Interface dem Nutzer eine effiziente Möglichkeit bereitstellen diese zu verarbeiten. Das Interaktionskonzept sollte daher auf diese Anforderung hin angepasst werden. Gleichzeitig sollte das System selbst eine Priorisierung der Benachrichtigungen vornehmen können. Hierbei könnte der Schweregrad eines aufgetretenen Fehlers oder die Entfernung des Nutzers zur defekten Komponente eine Rolle spielen.

Je nach Größe des Betriebs und Häufigkeit von Störungen kann es durchaus sein, dass mehrere Maschinenbediener dieselben oder ähnliche Tätigkeitsbereiche haben. Das System sollte daher zudem Möglichkeiten zur Kollaboration der Arbeiter sowie zur effizienten Distribution von Aufgaben bereitstellen und aufeinander abstimmen können. Dabei könnten die Arbeiter auch untereinander effektiver kommunizie-

ren und beispielsweise virtuelle Panels und Informationen miteinander austauschen.

Interface-Elemente

Alternativ zu den display-locked Panels im oberen Bereich des Sichtfelds könnte evaluiert werden, ob die Benutzbarkeit der AR-Anwendung durch eine andere Art der Platzierung erhöht werden könnte. Die Panels könnten etwa jeweils an eine Hand des Nutzers verankert werden und nur angezeigt werden, wenn sich diese im Sichtfeld befindet. Das Tracking der Ankerpunkte könnte idealerweise über Objekterkennung realisiert werden, alternativ jedoch auch über Marker oder andere Objekte. Der Ansatz würde das Sichtfeld vergrößern und es dem Nutzer ermöglichen die Panels im Zentrum seines Sichtfeldes zu betrachten. Während die Probanden im Usability Test zwar nicht von den Panels im oberen Bereich des Displays gestört wurden, bemerkten allerdings einige Teilnehmer, dass es beim Prototyp teilweise schwierig war, den Content in den äußeren Bereichen des Displays zu lesen.

Mobiler Leitstand

Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Devices hinsichtlich detaillierterer Auflösung, verbesserter Gestenerkennung und genaueren Trackingsystemen könnten in Zukunft auch die Komplexität von Interfaces und Interaktionen erhöht werden, um den Funktionsumfang der Anwendungen deutlich zu erhöhen. Im konkreten Anwendungsfall könnte über das Head-Mounted Display eine Steuerung für eine Art mobilen Leitstand entwickelt werden, mit welchem bei Bedarf auch unterwegs sämtliche Maschinen und KPIs genau überwacht werden könnten. Für eine solche Anwendung müsste allerdings, abgesehen von der technischen Umsetzbarkeit, auch ein detailliertes Navigationskonzept erarbeitet werden und die Anwendung mit ihrer stark erhöhten Komplexität ausführlich mit Nutzer-tests, hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit, evaluiert werden.



10

Anhang

1.1 Literaturverzeichnis

- Azuma, Ronald, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, und Blair MacIntyre. 2001. „Recent advances in augmented reality“. *IEEE Computer Graphics and Applications* 21 (6): 34–47.
- Baheti, Radhakisan, und Helen Gill. 2011. „Cyber-physical Systems“. *The Impact of Control Technology*, Nr. 1: 161–66.
- Bellini, Heather, Wei Chen, Masaru Sugiyama, Marcus Shin, Shateel Alam, und Daiki Takayama. 2016. „Profiles in Innovation: Virtual & Augmented Reality: Understanding the race for the next computing platform“. New York.
- Bothof, Alfons. 2014. „Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0“. *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, 4–6.
- Bowman, Doug, Ernst Kruijff, Joseph LaViola, und Ivan Poupyrev. 2005. *3D user interfaces: theory and practice*. Westford: Pearson Education.
- Caudell, Tom und David Mizell. 1992. „Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes“. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*: 659–69 vol.2.
- Cooper, Alan, Robert Reinmann, und David Cronin. 2007. *About Face 3.0: The essentials of interaction design*. Information Visualization. Bd. 3.
- Cooper, Alan, Robert Reitmann, David Cronin, und Christopher Noessel. 2014. *About Face: The Essentials of Interaction Design*. 4th Aufl. Indianapolis: John Wiley & Sons.
- Creagh, Heather. 2003. „CAVE Automatic Virtual Environment“. *Proceedings of the 2003 IEEE Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Technology Conferenc.*: 499–504.

- De Sá, Marco, und Elizabeth Churchill. 2013. „Mobile Augmented Reality: A Design Perspective“. In *Human Factors in Augmented Reality Environments*, herausgegeben von Weidong Huang, Leila Alem, und Mark A. Livingston, 139–63. New York: Springer Science+Business Media.
- Deutsches Institut für Normung. 1999. „ISO 9241-15: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten“, Nr. 2314.
- Deutsches Institut für Normung. 2008. „DIN EN ISO 9241-110, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006) Englische Fassung DIN EN ISO 9241-110:2008-09“.
- Deutsches Institut für Normung. 2011. „DIN EN ISO 9241-210, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010)“.
- Dumas, Joseph S., und Janice C. Redish. 1999. *A Practical Guide to Usability Testing. Handbook of Human Factors Testing and Evaluation*. Portland: Intellect Books.
- Europäisches Parlament. 2006. „Richtlinie 2006/42/EG“. *Amtsblatt der Europäischen Union*, 24–86.
- Feiner, Steven, Blair MacIntyre, Tobias Hollerer, und Anthony Webster. 1997. „A Touring Machine: Prototyping {3D} Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment“. *Proceedings of International Symposium on Wearable Computers 1997*: 74–81.
- Feiner, Steven, Blair Macintyre, und Dorée Seligmann. 1993. „Knowledge-based augmented reality“. *Communications of the ACM* 36 (7): 53–62.
- Flatt, Holger, Nils Koch, Carsten Röcker, Andrei Günter, und Jürgen Jasperneite. 2015. „A context-aware assistance system for maintenance applications in smart factories based on augmented reality and in-

Anhang

door localization". IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2015-Octob: 0-3.

Ganapathy, Subhashini. 2013. „Design Guidelines for Mobile Augmented Reality: User Experience“. In *Human Factors in Augmented Reality Environments*, herausgegeben von Weidong Huang, Leila Alem, und Mark A. Livingston, 165-180. New York: Springer Science+Business Media.

Hartmann, Ernst. 2014. „Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen“. *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, 7-14.

Heilig, Morton L. 1962. *Sensorama Simulator*. United States Patent, issued 1962.

Jordà, Sergi, Günter Geiger, Marcos Alonso, und Martin Kaltenbrunner. 2007. „The reacTable : Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces“. *TEI '07 Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, 139-146.

Kagermann, Henning, Wolfgang Wahlster, und Johannes Helbig. 2012. „Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Bericht der Promotorengruppe Kommunikation“. *Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft*. Berlin.

Kagermann, Henning, Wolfgang Wahlster, und Johannes Helbig. 2013. „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“. *Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*.

Krevelen, Rick van, und Ronald Poelman. 2010. „A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations“. *The International Journal of Virtual Reality* 9 (2): 1-20.

Kruijff, Ernst, J. Edward Swan, und Steven Feiner. 2010. „Perceptual issues in augmented reality revisited“. *9th IEEE International Symposium*

- on Mixed and Augmented Reality 2010: Science and Technology, ISMAR 2010 - Proceedings, 3–12.
- Lüdtke, Andreas. 2015. „Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung“. *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, 58–71.
- Milgram, Paul, Haruo Takemura, Akira Utsumi, und Fumio Kishino. 1994. „Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum“. *Telemanipulator and Telepresence Technologies 2351*: 282–292.
- Nielsen, Jakob. 1994. „Usability Engineering“. Cambridge: Academic Press, 362.
- Piekarski, Wayne, und Bruce Thomas. 2002. „ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system“. *Communications of the ACM* 45 (1): 36–38.
- Porter, Michael und James Heppelmann. 2014. „How Smart, Connected Products Are Transforming Companies“. *Harvard Business Review*.
- Quiring, Oliver, und Wolfgang Schweiger. 2006. „Interaktivität ten years after. Bestandsaufnahme und Analyserahmen“. *M&K*, 5–24.
- Rakkolainen, Ismo, und Karri Palovuori. 2004. „Interactive Digital Fog-Screen“. *Proceedings of the Third Nordic Conference on Human-computer Interaction*, 459–460.
- Ramsauer, Christian. 2013. „Industrie 4.0 – Die Produktion der Zukunft“. WINGbusiness.
- Raskar, Ramesh, Greg Welch, und Henry Fuchs. 1998. „Spatially Augmented Reality“. *Methods*, Nr. 919: 1–7.
- Regenbrecht, H., C. Ott, M. Wagner, T. Lum, P. Kohler, W. Wilke, und E. Mueller. 2003. „An augmented virtuality approach to 3D videoconferencing“. *Proceedings - 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2003*, 290–291.

Anhang

- Rimey, Raymond D. und Christopher M. Brown. 1994. „Control of selective perception using bayes nets and decision theory“. *International Journal of Computer Vision* 12 (2-3): 173–207.
- Rosenberg, Louis B. 1992. „The use of virtual fixtures as perceptual overlays to enhance operator performance in remote environments“. Stanford.
- Rubin, Jeffrey und Dan Chisnell. 2008. *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. 2. Aufl. Indianapolis: Wiley Publishing.
- Rudd, Jim, Ken Stern, und Scott Isensee. 1996. „Low vs. high-fidelity prototyping debate“. *Interactions* 3 (1): 76–85.
- Shaer, Orit und Eva Hornecker. 2009. „Tangible User Interfaces: Past, present, and future directions“. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 3 (1-2): 1–137.
- Sherman, William R., und Alan B. Craig. 2003. *Understanding Virtual Reality*. Herausgegeben von Morgan Kaufmann. San Francisco: Elsevier Science.
- Sutherland, Ivan E. 1968. „A head-mounted three dimensional display“. *Proceedings of the AFIPS '68 (Fall, part I)*, 757.
- Szalavari, Z., D. Schmalstieg, A. Fuhrmann, und M. Gervautz. 1998. „„Studierstube‘: An environment for collaboration in augmented reality“. *Virtual Reality* 3 (1): 37–48.
- Tan, Lu, und Neng Wang. 2010. „Future internet: The Internet of Things“. *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*, V5–376 – V5–380.
- Tang, Arthur, Charles Owen, Frank Biocca, und Weimin Mou. 2003. „Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly“. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Nr. 5: 73–80.

- Tönnis, Markus. 2010. *Augmented Reality: Einblicke in die Erweiterte Realität*. Herausgegeben von O. P. Günther, W. Karl, R. L. Lienhardt, und K. Zeppenfeld. *Informatik im Fokus*. Berlin & Heidelberg: Springer.
- Tzovaras, Dimitrios. 2008. *Multimodal User Interfaces: From Signals to Interaction*. Springer. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Warfel, Todd Zaki. 2009. *Prototyping: A Practitioner's Guide*. Brooklyn: Rosenfeld Media.
- Weiser, Mark. 1993. „Ubiquitous computing“. *IEEE Computer* 26 (10): 71–72.
- Xiao, Robert, und Hrvoje Benko. 2016. „Augmenting the Field-of-View of Head-Mounted Displays with Sparse Peripheral Displays“. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1221–1232.

1.2 Internetquellen

Android. 2016 a. Creative Vision for Android Wear. Android Developers. <https://developer.android.com/design/wear/creative-vision.html> (Zugegriffen: 5. Mai 2016).

Android. 2016 b. Design Principles for Android Wear. Android Developers. <https://developer.android.com/design/wear/principles.html> (Zugegriffen: 6. Mai 2016).

Android. 2016 c. Android Wear. Android Developers. <https://developer.android.com/design/wear/index.html> (Zugegriffen: 12. Mai 2016).

Audi Deutschland. 2014. Augmented Reality bei Audi. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=q1OaMLux9kg> (Zugegriffen: 12. April 2016).

Bellini, Heather. 2016. Goldman Sachs | Our Thinking - The Real Deal with Virtual and Augmented Reality. Goldman Sachs. <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/virtual-and-augmented-reality.html> (Zugegriffen: 16. April 2016).

Breuss-Schneeweis, Philipp. 2009. Wikitude – Eine Handysoftware aus Salzburg erregt weltweit Aufmerksamkeit - Wikitude. Wikitude. <http://www.wikitude.com/wikitude---eine-handyssoftware-aus-salzburg-erregt-weltweit-aufmerksamkeit-2/> (Zugegriffen: 11. Juni 2016).

Cisco. 2011. Cisconnect | Cisco Newsletter Plattform. Cisco.com. <http://www.cisco.com/web/DE/cisconnect/2011-11/artikel03.html> (Zugegriffen: 8. April 2016).

Continental. 2016. Head-up Display im Cockpit eines Autos. Abbildung. http://continental-head-up-display.com/wp-content/uploads/2014/08/01.1_hud_2.jpg (Zugegriffen: 30. Mai 2016).

- CTX Technologies. 2016. The VK200 Keyfob Virtual Keyboard. Abbildung. <http://www.ctxtechnologies.com/products/vk-200-keyfob-virtual-keyboard/> (Zugegriffen: 16. Juni 2016).
- DAQRI Elements 4D. 2016. Augmented Reality Chemistry Blocks. Elements4d.daqri.com. <http://elements4d.daqri.com> (Zugegriffen: 17. Juni 2016).
- Deutscher Fachverlag. 2016. Produktionshalle. Abbildung. <http://www.fleischwirtschaft.de/news/media/2/Produktionshalle-Maschinenbau-11562.jpeg> (Zugegriffen: 5. Juni 2016).
- Ergosign. 2016. Prozessübersicht. Ergosign. <http://www.ergosign.de/de/service/leistungen> (Zugegriffen: 5. Juni 2016).
- Facebook for Developers. 2016. F8 2016 Day 1 Keynote. Video. <https://developers.facebook.com/videos/f8-2016/keynote/> (Zugegriffen: 15. Mai 2016).
- Futurezone. 2016 a. 250.000 Dollar: 15-Jähriger gewinnt ersten World Drone Prix. Futurezone. <http://futurezone.at/digital-life/250-000-dollar-15-jaehriger-gewinnt-ersten-world-drone-prix/186.818.418> (Zugegriffen: 6. April 2016).
- Futurezone. 2016 b. Forscher überwinden Hürde zum Kontaktlinsen-Bildschirm. Futurezone.at. <http://futurezone.at/science/forscher-ueberwinden-huerde-zum-kontaktlinsen-bildschirm/179.078.887> (Zugegriffen: 10. Mai 2016).
- Gartner. 2014. Gartner Says Augmented Reality Will Become an Important Workplace Tool. Gartner.com. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2649315> (Zugegriffen: 21. April 2016).
- Get It In Writing. 2014. Renault's CAVE Raises the Bar for Virtual Reality Design. Getitinwriting. <http://www.getitinwriting.net/you-say-you-want-more-resolution-renaults-cave-raises-the-bar-for-virtual-reality-design/> (Zugegriffen: 14. Juni 2016).

Anhang

- Google. 2016. Turn your world into a Playground. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=KxTLOXzhqzA> (Zugegriffen: 16. Juni 2016).
- Google Design. 2016. Introduction - Material design - Google design guidelines. Google design guidelines. <https://material.google.com/> (Zugegriffen: 10. Juni 2016).
- Google Developers. 2016. What's New with Project Tango - Google I/O 2016. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=yvgPrZNP4So&feature=youtu.be&t=12m55s> (Zugegriffen: 8. Juni 2016).
- Google Play. 2016. Google Übersetzer App. Google Play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.translate&hl=de> (Zugegriffen: 18. Mai 2016).
- Google's Project Tango. 2016. About Project Tango. Project Tango. <https://www.google.com/atap/project-tango/about-project-tango/> (Zugegriffen: 8. Juni 2016).
- Greenfield, David. 2016. Augmented Reality for Industry. Automation World. <http://www.automationworld.com/all/augmented-reality-industry> (Zugegriffen: 9. Juni 2016).
- Gribetz, Meron. 2016. Transcript of „A glimpse of the future through an augmented reality headset“. Ted.com. https://www.ted.com/talks/meron_gribetz_a_glimpse_of_the_future_through_an_augmented_reality_headset/transcript?language=en (Zugegriffen: 10. Mai 2016).
- Haughn, Matthew. 2015. What is holographic processing unit (HPU)? - Definition from WhatIs.com. WhatIs. <http://whatis.techtarget.com/definition/holographic-processing-unit-HPU> (Zugegriffen: 18. Mai 2016).
- IKEA. 2013. Place IKEA furniture in your home with augmented reality. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=vDNzTasuYEw> (Zugegriffen: 11. April 2016).

- Lorenz, Markus. 2015. Industry 4.0 - how intelligent machines will transform everything we know. Video. <https://www.ted.com/watch/ted-institute/ted-bcg/markus-lorenz-industry-4-0> (Zugegriffen: 5. Mai 2016).
- Los Angeles Philharmonic Association. 2015. Orchestra VR. Video. https://www.youtube.com/watch?v=j-vtJYmia_o (Zugegriffen: 13. April 2016).
- Mainelli, Tom. 2016. The challenge and opportunity of augmented reality. Recode. <http://www.recode.net/2016/5/8/11635348/the-challenge-and-opportunity-of-augmented-reality> (Zugegriffen: 24. Mai 2016).
- Mason, Will. 2015. You've heard of AR and VR, but Google is talking TR, Transmogrified Reality - UploadVR. UploadVR. <http://uploadvr.com/youve-heard-of-ar-and-vr-but-google-is-talking-tr-transmogrified-reality/> (Zugegriffen: 8. Juni 2016).
- Matsuda, Keiichi. 2016. Hyper-Reality. Hyper-Reality. <http://hyper-reality.co/> (Zugegriffen: 25. Mai 2016).
- Microsoft. 2016 a. Why HoloLens. Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/why-hololens> (Zugegriffen: 26. Mai 2016).
- Microsoft. 2016 b. Commercial. Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/commercial> (Zugegriffen: 17. Juni 2016).
- Microsoft. 2016 c. Microsoft HoloLens. Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/hardware> (Zugegriffen: 16. Juni 2016).
- Microsoft Developers. 2016. Spatial mapping. Windows Dev Center. https://developer.microsoft.com/en-us/windows/holographic/spatial_mapping (Zugegriffen: 12. Juni 2016).

Anhang

- Microsoft Developers. 2016 b. Designing for mixed reality. Windows Dev Center. https://developer.microsoft.com/en-us/windows/holographic/designing_for_mixed_reality (Zugegriffen: 16. Mai 2016).
- Microsoft HoloLens. 2016. Microsoft HoloLens: Gaze Input. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=zCPiZIWdVws&feature=youtu.be> (Zugegriffen: 16. Mai 2016).
- Nielsen, Jakob. 2000. Anzahl der Probanden in Relation zur Anzahl gefundener Usability Probleme. Abbildung. <https://media.nngroup.com/media/editor/alertbox/20000319-user-testing-diminshing-returns-curve.gif> (Zugegriffen: 15. Mai 2016).
- Nielsen, Jakob. 2001. First Rule of Usability? Don't Listen to Users. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/first-rule-of-usability-dont-listen-to-users/> (Zugegriffen: 5. Juni 2016).
- Nielsen, Jakob. 2001. Success Rate: The Simplest Usability Metric. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/success-rate-the-simplest-usability-metric/> (Zugegriffen: 7. Juni 2016).
- Nielsen, Jakob. 2012. How Many Test Users in a Usability Study?. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/> (Zugegriffen: 4. Juni 2016).
- Nielsen Norman Group. 2014. Task Szenarios for Usability Testing. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/task-Szenarios-usability-testing/> (Zugegriffen: 5. Juni 2016).
- Olympic. 2012. Michael Phelps Wins Gold - Men's 100m Butterfly Full Event | London 2012 Olympics. Video. https://www.youtube.com/watch?v=X7bj_LUIY7Y (Zugegriffen: 18. Juni 2016).
- PricewaterhouseCoopers. 2016. See-Through Displays Schema. Abbildung. <http://www.pwc.com/us/en/risk-assurance/publications/assets/optic-ar-graphic-1-open.png> (Zugegriffen: 6. Juni 2016).

- Robot Genius. 2012. Sight. Video. <https://vimeo.com/46304267> (Zugegriffen: 9. April 2016).
- Rurtalwerkstätten,. 2016. Maschinenbediener. Abbildung. http://www.rurtalwerkstaetten.de/rtw-wAssets/img/dienstleistung/CTW_8114.jpg (Zugegriffen: 17. Mai 2016).
- Sony. 2003. Augmented Virtuality bei EyeToy: Play auf der Sony Playstation 2. Abbildung. http://de.playstation.com/media/27085/10008/eyetoplay_sc001_vf1.jpg (Zugegriffen: 7. Juni 2016).
- Sulon Technologies. 2016. Enhancing the human experience. Sulon. <http://www.sulon.com> (Zugegriffen: 26. April 2016).
- Sulon Tech. 2016. SULON Magic Beans Demo. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=pp90zGjydwI> (Zugegriffen: 26. April 2016).
- Tamedia,. 2016. Druckzentrum Bern. Abbildung. <http://www.tamedia.ch/de/pressekontakt/bilddatenbank/druckzentrum-bern-zentweg/> (Zugegriffen: 17. Mai 2016).
- Urbanscreen. 2009. „555 KUBIK“ – Projection Mapping Installation an der Kunsthalle Hamburg. Abbildung. http://www.urbanscreen.com/wp-content/uploads/2014/12/slider_intro_kubik.jpg (Zugegriffen: 6. Juni 2016).
- Vuforia. 2016. Best Practices for mixed reality VR/AR experiences. Vuforia Library Prod. https://developer.vuforia.com/library/articles/Best_Practices/Best-practices-for-hybrid-VRAR-experiences (Zugegriffen: 24. April 2016).

1.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Reality-Virtuality Continuum (Milgram et al. 1994)	11
Abb. 2-2	Cave Automatic Virtual Environment als Fahr Simulator (Get It In Writing 2014)	12
Abb. 2-3	Orchestra VR - Mit virtuellen Elementen erweiterte 360°-Videaufnahme der Los Angeles Philharmonic Association (2015)	13
Abb. 2-4	Augmented Virtuality bei EyeToy: Play auf der Sony Playstation 2 (Sony 2003)	15
Abb. 2-5	Hybride Anwendungen und Augmented Virtuality mit Google's Project Tango (Google Developers 2016)	18
Abb. 3-1	Sutherlands Head-Mounted Three Dimensional Display (Sutherland 1968, 759)	22
Abb. 3-2	Optical See-Through Display Schema (PricewaterhouseCoopers 2016)	25
Abb. 3-3	Head-up Display im Cockpit eines Autos (Continental 2016)	26
Abb. 3-4	Video See-Through Display Schema (PricewaterhouseCoopers 2016)	26
Abb. 3-5	Augmented Reality auf einem als Video See-Through Display genutzten Smartphone mit Google Tango (Google 2016)	26
Abb. 3-6	555 KUBIK - Projection Mapping Installation an der Kunsthalle Hamburg (Urbanscreen 2009)	27
Abb. 3-7	Musterbasierter Marker in einem Schaltschrank	29
Abb. 3-8	Gaze auf der HoloLens - Selektion mit dem Blick (Microsoft HoloLens 2016)	31
Abb. 3-9	Projektionsbasierte virtuelle Tastatur (CTX Technologies 2016)	32
Abb. 3-10	reactTable: Tangible User Interface zur Live Musik Performance (Jordà et al. 2007)	32
Abb. 3-11	Prognose für die Branchen-Verteilung von VR/AR-Software im Jahr 2025 nach dem base case Szenario der Goldman Sachs Group (Bellini et al. 2016, 8)	34

Abb. 3-12	Probestellen von Möbeln mit der IKEA Katalog App (IKEA 2013)	35
Abb. 3-13	Google Übersetzer (Google Play 2016)	35
Abb. 3-14	Augmented Reality bei einer Sportübertragung (Olympic 2012)	36
Abb. 3-15	Teamarbeit mit Augmented Reality (Microsoft 2016 b)	37
Abb. 3-16	Ausschnitt aus dem Kurzfilm ‚Hyper-Reality‘ (Matsuda 2016)	42
Abb. 3-17	Ausschnitt aus dem Kurzfilm ‚Sight‘ (Robot Genius 2012)	42
Abb. 4-1	Die vier Phasen der Industriellen Revolution (Henning Karger mann, Wolfgang Wahlster 2013, 17)	47
Abb. 4-2	Air-Tap Geste (Microsoft 2016 b)	55
Abb. 5-1	Druckmeister (Rurtalwerkstätten 2016)	60
Abb. 5-2	Druckzentrum Bern (Tamedia 2016)	60
Abb. 5-3	Szenario Scribble #1	62
Abb. 5-4	Szenario Scribble #2	62
Abb. 5-5	Szenario Scribble #3	63
Abb. 5-7	Szenario Scribble #5	63
Abb. 5-9	Szenario Scribble #7	63
Abb. 5-6	Szenario Scribble #4	63
Abb. 5-8	Szenario Scribble #6	63
Abb. 5-10	Szenario Scribble #8	63
Abb. 5-11	Szenario Scribble #9	64
Abb. 5-13	Szenario Scribble #11	64
Abb. 5-12	Szenario Scribble #10	64
Abb. 5-14	Szenario Scribble #12	64
Abb. 6-1	Wireframe: Interface am Leitstand mit Fehler-Benachrichtigung	71
Abb. 6-2	Wireframe: Interface am Leitstand mit modalem Fehlerdetails-Dialog	72
Abb. 6-3	Wireframe: HMI mit Fehler-Benachrichtigung und -Visualisierung im Vorspannwerk	73
Abb. 6-4	Wireframe: HMI mit Fehler-Benachrichtigung und Fehlerdetails	74
Abb. 6-5	Wireframe: Smartwatch im Normalbetrieb	75
Abb. 6-6	Wireframe: Smartwatch mit Fehlerbenachrichtigung	75
Abb. 6-7	Wireframes: Smartwatch mit Navigation	76

Anhang

Abb. 6-8	Wireframes: Smartwatch mit Fehlerbehebung	76
Abb. 6-9	Wireframe: Smartwatch Action Button zum Beenden	76
Abb. 6-10	Wireframe: Smartwatch mit Bestätigungsanimation	76
Abb. 6-11	Scribbles: User-Flow auf der androidbasierten Smartwatch	77
Abb. 6-12	Wireframe: Blick durch das HMD in der Maschinenhalle	78
Abb. 6-13	Wireframe: Blick durch das HMD mit Notification	79
Abb. 6-14	Wireframe: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails-Panel	80
Abb. 6-15	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 1	81
Abb. 6-16	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 2	81
Abb. 6-17	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 3	82
Abb. 6-18	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 1	83
Abb. 6-19	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 2	85
Abb. 6-20	Wireframe: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung 3	85
Abb. 7-1	Stereoskopische Anzeige des Kamera-Streams auf dem Galaxy S6	91
Abb. 7-2	Anzahl der Probanden in Relation zur Anzahl gefundener Usability Probleme (Nielsen 2000)	96
Abb. 7-3	Erfahrung der Probanden mit VR/AR Systemen	96
Abb. 7-4	Einstellung der Probanden gegenüber neuer Technik	96
Abb. 7-6	Zuschnitt der Aufnahmen im Testlabor (Videos siehe Anhang auf CD)	97
Abb. 7-5	Schematischer Aufbau des Test-Settings	97
Abb. 7-7	Schritt 1: Fehler im Leitstand-Interface erkennen und Details öffnen	99
Abb. 7-8	Schritt 2: Fehlerdetails analysieren, Möglichkeiten zur Unterstützung identifizieren und Fehlerbehebungsprozess starten	99

Abb. 7-9	Schritt 1.1: Lokalisierung der Fehlerquelle im Raum mit Indikator-Licht	101
Abb. 7-11	Schritt 2: Schaltschrank öffnen	101
Abb. 7-13	Schritt 5: Schaltschrank schließen	101
Abb. 7-10	Schritt 1.2: Lokalisation der Fehlerquelle anhand von Overlays	101
Abb. 7-12	Schritt 3: Schutzschalter zurücksetzen	101
Abb. 8-1	Style Tile mit Elementen und Farben des visuellen Designs	109
Abb. 8-2	Visuelles Design: Diverse Smartwatch-Screens mit Navigation und Fehlerbehebung	110
Abb. 8-3	Visuelles Design: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails mit Fehler-Benachrichtigung	111
Abb. 8-4	Visuelles Design: Blick durch das HMD mit Fehlerdetails-Panel	112
Abb. 8-5	Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation	112
Abb. 8-6	Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Navigation 2	113
Abb. 8-7	Visuelles Design: Blick durch das HMD mit aktiver Fehlerbehebung	113