



## Videoaufnahmen in Leitwarten: Belastungs- und Beanspruchungsanalyse

baua: Bericht

**Forschung  
Projekt F 2359**

F. Ries  
B. Deml

**Videoaufnahmen in Leitwarten:  
Belastungs- und Beanspruchungsanalyse**

1. Auflage 2019  
Dortmund/Berlin/Dresden

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt F 2359 „Belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung in Leitwarten beim Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien“, Teilprojekt 2.2 „Belastungs- und Beanspruchungsanalyse zu den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten von Videoaufnahmen“ im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Autorinnen/Autoren: M. Sc. Fabian Ries  
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml, Dipl.-Psych.  
Institut für Arbeitswissenschaft und  
Betriebsorganisation (ifab)  
Karlsruher Institut für Technologie  
Engler-Bunte-Ring 4, 76131 Karlsruhe

Titelbild: Laila Tkotz/Karlsruher Institut für Technologie

Umschlaggestaltung: Milena Marano  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)  
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund  
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund  
Telefon 0231 9071-2071  
Telefax 0231 9071-2070  
E-Mail [info-zentrum@buaa.bund.de](mailto:info-zentrum@buaa.bund.de)  
Internet [www.buaa.de](http://www.buaa.de)

Berlin: Nöldnerstraße 40 – 42, 10317 Berlin  
Telefon 030 51548-0  
Telefax 030 51548-4170

Dresden: Fabricestraße 8, 01099 Dresden  
Telefon 0351 5639-50  
Telefax 0351 5639-5210

Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.



doi:10.21934/buaa:bericht20190111 (online)

[www.buaa.de/dok/8811026](http://www.buaa.de/dok/8811026)

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
Abstract	6
1 Einleitung	7
2 Anwendungshintergrund	10
2.1 Branchenüberblick	10
2.2 Arbeitsplatzgestaltung und -organisation	12
3 Theoretischer Hintergrund	15
3.1 Mentale Beanspruchung	15
3.1.1 Erfassung von mentaler Beanspruchung	17
3.2 Darstellungsmöglichkeiten von Videos in Leitwarten	21
3.2.1 Wechselbilder	21
3.2.2 Spiegelungen und Zerrungen	22
3.2.3 Augmented Reality	22
3.2.4 Perspektivische 3D-Darstellungen	23
3.2.5 LED-Wall	24
4 Laborstudie	26
4.1 Methode	26
4.1.1 Stichprobe	26
4.1.2 Versuchsaufbau	27
4.1.3 Fragebögen	28
4.1.4 Messgeräte	28
4.2 Versuchsdurchführung	29
4.2.1 Nebenaufgabe	31
4.2.2 Wechselbilder	32
4.2.3 Spiegelung und Zerrung	34
4.2.4 Augmented Reality	36
4.2.5 Perspektivische 3D-Darstellungen	38
4.2.6 Datenanalyse und Auswertung	39
4.3 Ergebnisse	39
4.3.1 Versuchsteil Wechselbilder	40
4.3.2 Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	50
4.3.3 Versuchsteil Augmented Reality	58
4.3.4 Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	65
4.4 Diskussion	73
4.4.1 Versuchsteil Wechselbilder	73
4.4.2 Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	76
4.4.3 Versuchsteil Augmented Reality	78
4.4.4 Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	79
5 Feldstudie	81
6 Fokusgruppen	82

6.1	Methode	82
6.1.1	Auswahl der Leitwarten	82
6.1.2	Stichprobe	82
6.1.3	Ablauf und Durchführung	83
6.2	Ergebnisse	85
6.2.1	Wechselbilder	86
6.2.2	Spiegelung	87
6.2.3	Zerrung	88
6.2.4	Augmented Reality	88
6.2.5	3D-Darstellungen	89
6.2.6	LED-Wall	90
6.3	Diskussion	91
7	Online-Studie	92
7.1	Methode	92
7.1.1	Stichprobe	92
7.1.2	Material	92
7.1.3	Ablauf und Durchführung	97
7.2	Ergebnisse	98
7.2.1	Vertrautheit mit der Technologie	98
7.2.2	Relevanz der Technologie	99
7.2.3	Anwendungsfälle der Technologien	100
7.2.4	Regression	115
7.3	Diskussion	115
8	Gestaltungsempfehlungen	119
8.1	Wechselbilder	119
8.2	Spiegelung	121
8.3	Zerrung	122
8.4	Augmented Reality	123
8.5	3D-Darstellungen	125
8.6	LED-Wall	126
9	Zusammenfassung und Ausblick	128
9.1	Wechselbilder	128
9.2	Spiegelung	130
9.3	Zerrung	131
9.4	Augmented Reality	132
9.5	3D-Darstellungen	133
9.6	LED-Wall	134
	Literaturverzeichnis	135
	Abbildungsverzeichnis	149
	Tabellenverzeichnis	152
	Anhang	157
	Anhang 1 Gesammelte Ergebnisse der Fokusgruppen	157

# **Videoaufnahmen in Leitwarten: Belastungs- und Beanspruchungsanalyse**

## **Kurzreferat**

Der vorliegende Bericht fasst die Arbeiten zusammen, die im Rahmen des Forschungsprojektes zu modernen Informations- und Kommunikationstechnologien und Darstellungsmöglichkeiten von Videoaufnahmen in Leitwarten durchgeführt wurden. In dem Projekt wurde untersucht, inwieweit Technologien und Darstellungsmöglichkeiten von Videos zum Einsatz in Leitwarten geeignet sind und wie sich diese auf die mentale Beanspruchung von Operateuren auswirken. Dazu wurde sowohl eine unter stark kontrollierten Bedingungen durchgeführten Laborstudie sowie eine Feldstudie genutzt, um möglichst umfassende Erkenntnisse über die Beanspruchungen sowie Anforderungen der Nutzer zu gewinnen. Thematisiert werden in dieser Arbeit die Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten Wechselbilder, Spiegelung und Zerrung, Augmented Reality, 3D-Darstellungen sowie LED-Walls. Der Bericht gibt hierzu Überblick über die gewonnenen Ergebnisse und leitet aus diesen Gestaltungsempfehlungen ab, die insbesondere bei der Neu- oder Umgestaltung von Leitwarten oder Leitstellen hilfreich sein können. Diese werden in Kapitel 8 dieses Berichtes aufgeführt.

## **Schlagwörter:**

Leitwarten, Leitstellen, neue Technologien, Videoaufnahmen, mentale Beanspruchung, Augmented Reality, 3D, Wechselbilder, Spiegelung, Zerrung, LED-Wall

# Video in control rooms: Mental workload analysis

## Abstract

This report summarises the work carried out within the framework of the research project focussing on modern information communication technologies and display options of videos in control rooms. Within this project, we examined to what extent technologies and display options of videos are suitable for the use in control rooms and affect the mental workload of operators. For this purpose, we conducted both a highly controlled laboratory study as well as a field study in order to gain most comprehensive insights regarding the workload as well as the demands of the users. This work focusses on the technologies and display options autocycling, mirror reflections, distortions, 3D-depictions and LED-Walls. This report provides an overview of the findings and derives design recommendations from them, which can be particularly helpful for the design and redesign of control rooms. These are presented in chapter 8 of this report.

## Key words:

Control rooms, new technologies, videos, mental workload, augmented reality, 3D, autocycling, mirror reflections, distortions, LED-wall

# 1 Einleitung

Durch die voranschreitende Entwicklung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien finden diese nach und nach auch Einzug in die Arbeitswelt, wo Funktionalitäten der Technologie für bestimmte Arbeitsschritte vorteilhaft genutzt werden können. Als anschauliches Beispiel dafür kann insbesondere die Technologie Augmented Reality aufgeführt werden. Diese wurde von Apple-CEO Tim Cook in Interviews als eine besonders große und tiefgreifende Entwicklung bezeichnet (THE GUARDIAN, 2017). Sie kann für vielfältige Zwecke genutzt werden und steht Millionen von Menschen, die beispielsweise ein Smartphone besitzen, in verschiedenen Anwendungen bereits zur Verfügung. Dazu zählt neben Spielen auch etwa die Unterstützung bei der Navigation sowie Unterhaltungs- und Weiterbildungsanwendungen (CARMIGNIANI et al., 2011). Auch in der Arbeitswelt findet sie immer mehr Einzug, etwa im Rahmen von Anwendungen in der Montage (WANG, ONG & NEE, 2016), Medizin (BARSOM et al., 2016) oder Luftfahrt (ELLEJIMI et al., 2018).

Neben dem Voranschreiten bei der Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien nimmt auch der Einsatz von Videotechnologien stetig zu. Dies betrifft neben der Nutzung im persönlichen Kontext (PETERS, GREENFIELD, MAJEED & HAYHOE, 2018) insbesondere den professionellen Kontext, wo Videos für verschiedenste Steuerungs- und Überwachungstätigkeiten eingesetzt werden. GILL und SPRIGS stellen bereits 2005 eine Zunahme der Anzahl an Kameras für Überwachungstätigkeiten fest. Durch die vereinfachte Überwachung und Steuerung von Prozessen aus der Ferne, welche durch zunehmend schnellere Internetverbindungen begünstigt wird, wird es so immer leichter, Arbeit zu zentralisieren. So können beispielsweise eine Vielzahl an weit verteilten Produktionsanlagen gleichzeitig von einem Ort gesteuert werden. Die Nutzung von Videoübertragungen kann dabei trotz der räumlichen Entfernung zu einer realistischen Wahrnehmung der Situation beitragen. Technische Aspekte stellen dabei oftmals nicht den limitierenden Faktor dar, sondern vielmehr die Grenzen der menschlichen Verarbeitungsfähigkeit und der Informationsmenge, etwas was die Anzahl an zu überwachenden Monitoren oder Kamerabildder betreffen (PIKAAR et al., 2015).

Die aufgeführten Punkte machen deutlich, dass technologische Entwicklungen, sowohl in Bezug auf die Nutzung neuer Technologien als auch von Videodarstellungen, beträchtlichen Einfluss auf die Arbeitswelt haben. Dies betrifft in besonderem Maße Leitwarten oder Leitstellen<sup>1</sup>. In diesen werden vielfältige Arten von Dienstleistungs- und Produktionsprozessen überwacht und gesteuert. Durch das Aufkommen neuer Technologien und Darstellungsmöglichkeiten entstehen auch hier vielfältige neue Einsatzmöglichkeiten, insbesondere, wenn diese das Potential bieten, bestimmte Arbeitsvorgänge bedeutend zu erleichtern. Dies wurde auch im Rahmen einer telefonischen Befragung sowie eines Delphi-Workshops festgestellt, in der die Potentiale neuer Technologien durch Mitarbeiter von Leitwarten beurteilt wurden (LAFRENZ & JESCHKE, 2017). Hier zeigten sich hohe Erwartungen hinsichtlich zukünftiger visueller Darstellungsmöglichkeiten insbesondere an 3D- sowie Virtual/Augmented-Reality Darstellungen. Der Einsatz verschiedener neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ist im Nutzungskontext von Leitwarten und Leitstellen jedoch mit

---

<sup>1</sup> Leitwarten und Leitstellen unterscheiden sich durch den Aufgabenfokus. Während dieser in Leitwarten in der Prozesssteuerung liegt, leiten Leitstellen den Einsatzbetrieb einer Organisation, etwa durch die Entgegennahme und Weiterleitung von Information und Koordination der Dienste.

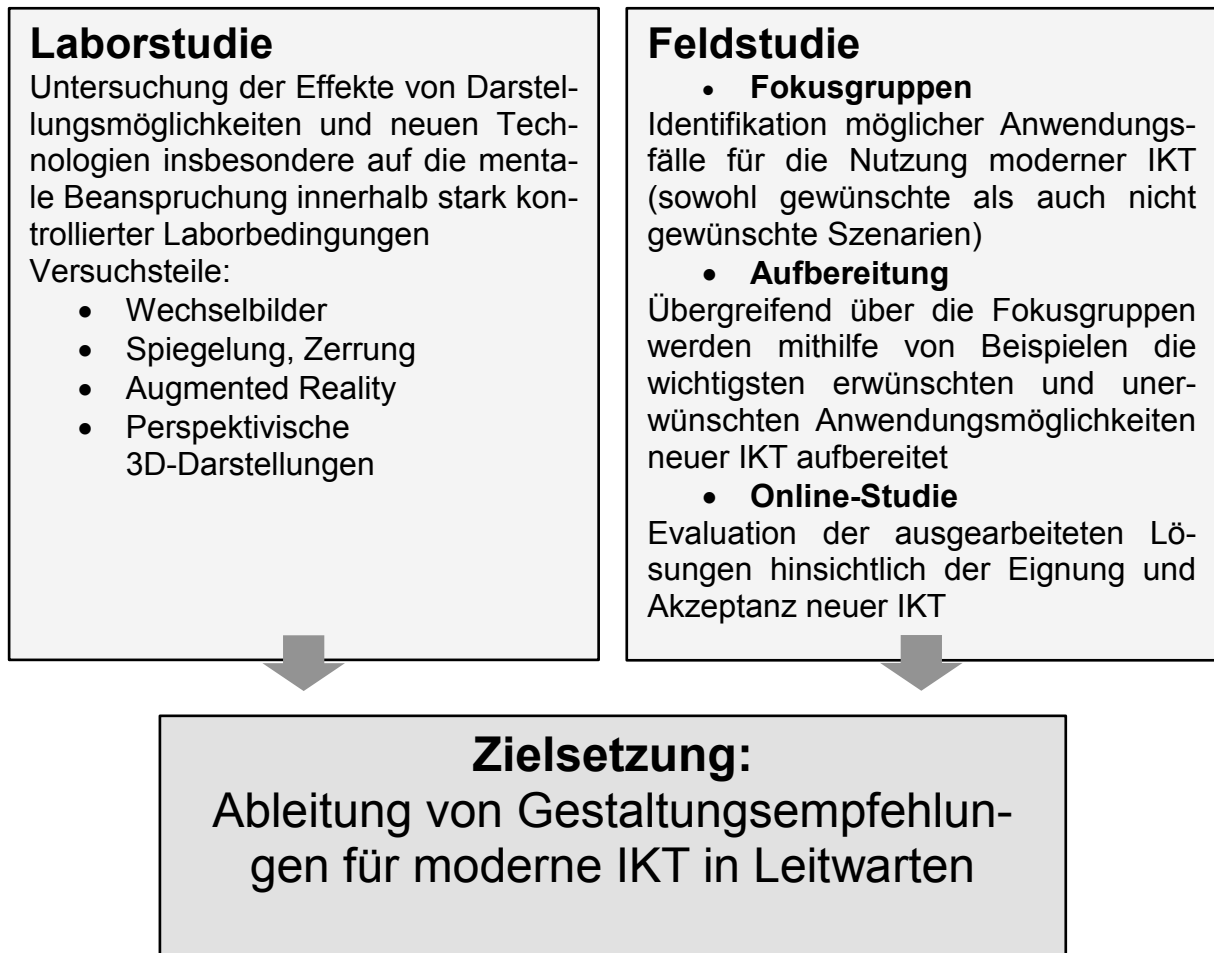


besonderen Anforderungen verbunden. So erfordert die Arbeit von LeitwartenoperateurInnen, insbesondere um Vorteile durch die Automatisierung bestimmter Prozesse optimal nutzen zu können, oftmals eine parallele Ausführung mehrerer Tätigkeiten (JESCHKE et al., 2014). Daneben können technische Entwicklungen und neue Kommunikationswege auch zu einer erhöhten Informationsmenge und damit einer Arbeitsverdichtung sowie höheren Erwartungen an Arbeitstempo und -pensum des Einzelnen führen (BAuA, 2018). Entsprechend entstehen mit der Einführung technischer Neuerungen in Leitwarten und Leitstellen auch veränderte Anforderungen an das Personal, insbesondere hinsichtlich der mentalen Ressourcen. Durch diese Anforderungen entwickelt sich die Gebrauchstauglichkeit der genutzten Systeme und IKT zu einem zentralen Aspekt der Arbeitsgestaltung in Leitwarten. Das Ziel kann dabei in erster Linie in einer belastungsoptimierten Arbeitsgestaltung bestehen, welche sich wiederum positiv auf die Sicherheit und Gesundheit von Beschäftigten in Leitwarten auswirken kann. Insbesondere der Einsatz neuer Technologien und bisher noch nicht untersuchter Darstellungsmöglichkeiten ist also mit Herausforderungen verbunden, da diese zum einen das Potential bieten, Abläufe zu erleichtern und so Beschäftigte in Ihrer Tätigkeit zu unterstützen. Zugleich birgt die Nutzung teilweise auch das Risiko, dass durch eine gleichzeitige Arbeitsverdichtung die Belastungen zunehmen. Dies gilt ebenso für die Nutzung von Videodarstellungen, welche auf der einen Seite für eine Vielzahl von Tätigkeiten das Potential bieten, Vorgänge und Prozesse zu erleichtern, etwa indem unterstützende Informationen zur Verfügung gestellt werden oder detailgetreue Ansichten ermöglicht werden. Andererseits kann beispielsweise die Überwachung vieler Kamerabilder mit hoher Informationsmenge auch zusätzliche Beanspruchungen hervorrufen.

Die Anforderungen an die Operateure, die mit der Nutzung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Videodarstellungen in Leitwarten einhergehen, wurden in der Forschung jedoch bisher noch nicht ausreichend adressiert. Dabei spielen gerade die Aspekte der Arbeitsgestaltung eine entscheidende Rolle sowohl für die Zuverlässigkeit und Gesundheit der Operateure sowie für die Sicherheit des Systems. In diesem Spannungsfeld sind insbesondere Erkenntnisse darüber von großer Bedeutung, welche Technologien und bildlichen Darstellungsmöglichkeiten für welche Einsatzzwecke tatsächlich die Möglichkeit bieten, Vorgänge zu erleichtern und die damit zu einer Entlastung der Operateure in Leitwarten führen können.

Um diesem Ziel des Forschungsprojektes durch die Ableitung von Gestaltungsempfehlungen in Bezug auf die Nutzung neuer Technologien und bildlicher Darstellungsmöglichkeiten in Leitwarten gerecht zu werden, wurden im Rahmen mehrerer empirischer Untersuchungen Daten generiert, anhand derer stichhaltige Aussagen getroffen werden können. Neben der Begehung verschiedener Leitwarten sowie einer umfassenden, kontrollierten Laborstudie wurde insbesondere im Hinblick auf anwendungsnahe Erkenntnisse auch eine Feldstudie durchgeführt. In dieser konnten zunächst in einer Reihe von Fokusgruppen verschiedene Anwendungsfälle für die Nutzung neuer Technologien und Darstellungsmöglichkeiten identifiziert werden, welche in einer abschließenden Online-Studie evaluiert wurden, um die gewonnenen Erkenntnisse zu validieren. Dieser Abschlussbericht fasst die im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnisse zusammen und leitet aus diesen Gestaltungsempfehlungen ab, die für die Neu- oder Umgestaltung von Leitwarten und Leitstellen hilfreiche Hinweise geben können.

Das gesamte Vorgehen ist in Abbildung 1.1 zur besseren Übersicht visualisiert.



**Abb. 1.1** Übersicht über durchgeführte Arbeiten in der Labor- und Feldstudie

## 2 Anwendungshintergrund

Für ein vertieftes Verständnis des Einsatzes und Anwendung von Videodarstellungen in verschiedenen Branchen wurden deutschlandweit Begehungen von insgesamt zwölf Leitwarten oder Leitstellen durchgeführt. Diese dienten dazu, mithilfe von Arbeitsbeobachtungen vor Ort sowohl Aspekte der Arbeitsorganisation als auch vor allem der Arbeitsgestaltung in Leitwarten und Leitstellen aus verschiedenen Bereichen zu erfassen und so Kriterien für möglichst aufgabenadäquate Gestaltungsempfehlungen zu erarbeiten.

Die beteiligten Leitwarten lassen sich drei verschiedenen Bereichen zuordnen. Dies sind die Bereiche Verkehr, Sicherheit sowie Anlagensteuerung. Die folgenden Absätze geben einen Überblick über Aspekte der Arbeitsgestaltung sowie der Arbeitsorganisation an typischen Arbeitsplätzen der Leitwarten des jeweiligen Bereichs.

### 2.1 Branchenüberblick

#### Bereich Verkehr

Unter dem Bereich Verkehr werden Leitwarten von Verkehrsbetrieben etwa des Schienen- oder Busverkehrs sowie Leitwarten zur Steuerung von Schiffsschleusen zusammengefasst. Häufige Tätigkeiten des Leitwartenpersonals aus diesem Bereich umfassen unter anderem die Steuerung von Anlagen, wie beispielsweise Weichen oder Schleusen sowie die Überwachung von Verkehrswegen. Dazu zählen aber auch die Disposition von Fahrzeugen und Personal oder die Information von und Kommunikation mit Fahrgästen, etwa mithilfe elektronischer Anzeigetafeln. Darüber hinaus können aber noch diverse weitere Aufgaben wie etwa Dokumentations-tätigkeiten ausgeführt werden. Exemplarisch für diesen Bereich ist in Abbildung 2.1 ein Arbeitsplatz der Leitstelle eines Verkehrsbetriebes des öffentlichen Nahverkehrs abgebildet.

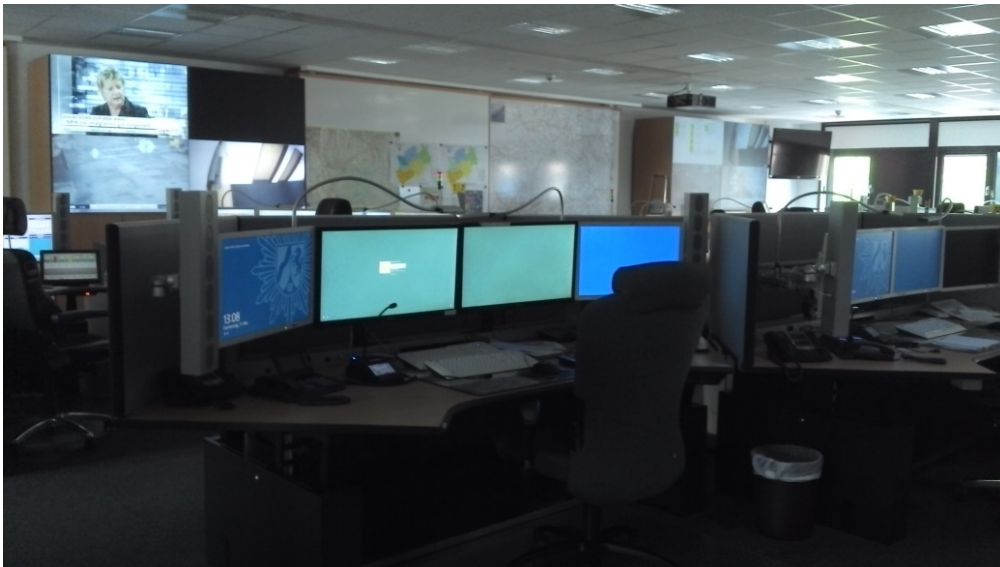


**Abb. 2.1** Leitstelle eines Verkehrsbetriebes des öffentlichen Nahverkehrs

Während die Darstellung von Videobildern in Leitwarten von Schiffsschleusen eine sehr zentrale Rolle spielen, um verschiedene Bereiche der Schleuse einsehen zu können und somit die Schleuse korrekt steuern zu können, sind diese im Bereich der Leitstelle eines Verkehrsbetriebes des öffentlichen Nahverkehrs nur bei Bedarf einsehbar, etwa um das Fahrgastaufkommen an bestimmten Haltestellen beurteilen zu können.

### Bereich Sicherheit

Zum Bereich Sicherheit werden sowohl Leitstellen und -zentralen von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), also etwa Rettungsdienste, Feuerwehr und Polizei, sowie privater Sicherheitsbetriebe zusammengefasst. In diesen Leitwarten wird primär sicherheitsrelevanten Tätigkeiten nachgegangen, wie etwa die Annahme und Bearbeitung von Notrufen und Alarmen sowie die Koordination von Einsätzen. Hinzu kommt mitunter die Beobachtung bzw. Überwachung bestimmter Bereiche mithilfe von Videos. In einer Leitstelle der Polizei werden beispielsweise an einem Arbeitsplatz Videobilder von Überwachungskameras öffentlicher Plätze permanent überwacht, während in einer Leitstelle eines privaten Sicherheitsunternehmens primär Videobilder etwa aus Privathaushalten oder Firmen automatisch aufgeschaltet werden, wenn durch einen Bewegungsmelder ein Alarm ausgelöst wurde. Die Videodarstellungen dienen in beiden Fällen dazu, das weitere Vorgehen zu planen und so bei unregelmäßigen Vorkommnissen weitere Handlungen einzuleiten. Exemplarisch für diesen Bereich ist in Abbildung 2.2 der Arbeitsplatz einer Leitstelle der Polizei abgebildet.



**Abb. 2.2** Leitstelle der Polizei

### Bereich Anlagensteuerung

Schließlich zählen zum Bereich der Anlagensteuerung Leitwarten aus industriellen Produktionsbereich, in denen die Produktion bestimmter Produkte überwacht oder gesteuert werden sowie solche aus dem Bereich der Netzleittechnik, in denen die Versorgung etwa mit Strom, Wasser, Gas oder Wärme gesteuert wird. In diesen erfolgt zumeist die Steuerung und Überwachung von Anlagen hinsichtlich des Betriebszustandes. Dabei werden beispielsweise Messwerte wie Betriebsdrücke oder -spannungen und Steuervorgänge überprüft, um den störungsfreien Betrieb und

damit die Produktion oder Versorgung zu gewährleisten. Teilweise werden hier auch Videobilder genutzt, etwa um unerwartete Ereignisse beispielsweise im Fertigungsprozess oder im Umfeld, wie etwa Fackelaktivität, zu erkennen und daraufhin geeignete Entscheidungen treffen und entsprechende Handlungen einleiten zu können.

## 2.2 Arbeitsplatzgestaltung und -organisation

Die Arbeitsabläufe in den besuchten Leitwarten zeigen sich durch die soeben genannten verschiedenen Branchenbereiche und damit verbundenen Tätigkeiten recht vielseitig. Unter Berücksichtigung dessen wird im Folgenden ein Überblick über relevante Aspekte der Arbeitsplatzgestaltung, aber auch der Arbeitsorganisation in den besuchten Leitwarten gegeben.

Hinsichtlich der Arbeitsorganisation variiert die Anzahl an Arbeitsplätzen in den besuchten Leitwarten zwischen 2 und 20. Dabei ist die Besetzung der einzelnen Arbeitsplätze oft stark abhängig von der Tageszeit. So werden in einigen Leitwarten etwa im Verkehrsbereich während der betriebsärmeren Nachtschicht Arbeitsplätze zusammengelegt, sodass ein Operateur über ein breiteres Aufgabenspektrum verfügt als am Tag, indem etwa mehrere Anlagen an einem Arbeitsplatz aufgeschaltet werden. In anderen Leitwarten wie etwa im Sicherheitsbereich hingegen werden insbesondere für betriebsreiche Nächte wie Freitag und Samstag zusätzliche Arbeitsplätze besetzt.

Hinsichtlich der Arbeitsgestaltung werden je Arbeitsplatz in Abhängigkeit der jeweiligen Tätigkeit zwischen drei bis hin zu zehn Monitoren genutzt, welche teils in einer Reihe und teils zweireihig angeordnet sind. Der Anteil des darauf dargestellten Videomaterials unterscheidet sich ebenfalls je nach Tätigkeitsbereich. Während in einer Leitwarte der Anlagensteuerung kein Videomaterial genutzt wird, stellen in einer Leitwarte zur Schleusensteuerung sieben der insgesamt zehn Monitore Videos dar. Dieses spielt hier eine essentielle Rolle, um den gesamten Bereich der Schleuse, welcher für den Schleusenvorgang von Interesse ist, abzubilden. Während hier das Videobild jeder Kamera auf einem eigenen Monitor dargestellt wird, wird in einigen Leitwarten Videomaterial auf einem Monitor dargestellt, welcher oft nochmals in mehrere Fenster unterteilt ist, um beispielsweise Bilder von vier Kameras gleichzeitig zu zeigen. In einigen Leitwarten kann die Anordnung der Monitore sowie der Videodarstellungen auch individuell angepasst werden, sodass etwa die Anordnung der Darstellung verschiedener Anlagen verändert und auch die Benutzeroberflächen zu einem gewissen Grad angepasst werden können.

In einigen der besuchten Leitwarten und Leitstellen werden zusätzlich zu den individuellen Bildschirmen auch größere Videowalls eingesetzt, auf denen für alle Arbeitsplätze relevante Video- oder auch anderweitige Darstellungen gezeigt werden.

In Bezug auf die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten von Videos wurde in einigen der besuchten Leitwarten angegeben, dass Videomaterial mit Fischaugenzerung genutzt wird, etwa um einen größeren Sichtbereich abbilden zu können. Diese Beobachtungen decken sich mit Erkenntnissen aus Fallstudien, in denen bereits auf mögliche negative Effekte von Verzerrungen durch die Nutzung von Weitwinkel-Objektiven hingewiesen wurde (PIKAAR et al., 2015). Auch wurde in einer der besuchten Leitwarte aus dem Bereich der Schleusenanlagen angegeben, dass die gespiegelte Darstellung von Videomaterial genutzt wird, um eine baulich bedingt entgegen-

gesetzte Kameraposition auszugleichen. In einer weiteren Leitwarte wird insbesondere nach Auftreten oder Auslösung eines Alarmes Videomaterial von einer Kamera gezeigt. Als weitere Darstellungsmöglichkeit für Videos spielen insbesondere auch Wechselbilder, also der automatische Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungen oder Kameras, in Leitwarten mitunter eine wichtige Rolle, beispielsweise zur Beobachtung verschiedener Bereiche (WOOD, 2014). Hierbei kann insbesondere die Betrachtung der Auswirkungen auf die Beanspruchung der Nutzer interessant für eine angemessene und belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung sein.

Die Auswahl sowie die Steuerung bestimmter Videokameras sind in einigen der besuchten Leitwarten mithilfe von Touchscreen-Eingaben möglich, sofern die Kamera hardwareseitig Bewegungen und Zoom-Vorgänge ermöglicht.

Hinsichtlich der Nutzung neuer Technologien werden in den besuchten Leitwarten bisher weder Augmented oder Virtual-Reality noch dauerhaft implementierte 3D-Darstellungen perspektivischer noch stereoskopischer Art genutzt. Diese Beobachtungen weisen in dieselbe Richtung wie die Arbeit von LAFRENZ und JESCHKE (2017), die zeigen konnten, dass großes Potential für die zukünftige Nutzung insbesondere von Virtual/Augmented Reality sowie 3D-Darstellungen in Leitwarten gesehen wird, während diese Technologien in der Praxis aktuell bisher kaum genutzt werden. Gerade unter diesem Gesichtspunkt erscheint die genauere Untersuchung dieser Technologien hinsichtlich der Auswirkungen auf die Nutzer, insbesondere auf die mentale Beanspruchung, als äußerst relevant. Auf die einzelnen Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die allgemeine Arbeitsgestaltung wie auch im Speziellen die Nutzung von Videomaterial sowie verschiedener Darstellungsmöglichkeiten in Abhängigkeit der Branche sowie des Tätigkeitsbereiches der jeweiligen Leitwarte variieren. Dabei spielen insbesondere die verschiedenen Tätigkeits- und Aufgabenanforderungen sowie zahlreiche weitere Umgebungsvariablen eine bedeutende Rolle. Über die Branchen hinweg wird jedoch Videotechnologie für verschiedenste Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten eingesetzt, da dieses ein Abbild der Realität liefert, das für den Arbeitsablauf oft beträchtliche Vorteile mit sich bringt. So lassen sich viele Tätigkeiten mithilfe detailgetreuer, hochauflösender und echtzeitfähiger Videodarstellungen auch problemlos aus der Ferne ausführen. Darüber hinaus können Videodarstellungen oftmals als zusätzliche Informationsquelle dienen, etwa um für die Lagebewältigung ein besseres Verständnis der Situation vor Ort zu gewinnen. Anpassungen der Videodarstellungen, etwa verzerrte oder gespiegelte Darstellungen sowie automatisierte Bildwechsel können dabei mitunter Anforderungen (erhöhte Sehaufgabe, Umkodierung der Informationen) an den Operateur stellen, die bisher jedoch noch nicht umfassend untersucht worden sind. Daneben ist es absehbar, dass auch neue Technologien wie Virtual/Augmented Reality sowie 3D-Darstellungen zukünftig Einzug in Leitwarten finden werden. Auch hier sind sowohl mögliche positive als auch negative Auswirkungen auf Operateure auf der einen (z. B. durch potentielle Arbeitserleichterungen wie eine verbesserte räumliche Darstellung oder adaptive Einblendung relevanter Informationen) sowie erhöhte Anforderungen auf der anderen Seite (z. B. durch eine Zunahme an vermittelten Informationen) noch nicht ausreichend erforscht. Dies hängt mitunter auch mit der bisher geringen Verbreitung dieser Technologien in Leitwarten zusammen, welche auch von LAFRENZ und JESCHKE (2017) gezeigt wurde. Um jedoch qualifizierte Aussagen zu machen sowie Empfehlungen für die Nutzung auszusprechen, sind empirisch be-

legte Ergebnisse nötig. Diesem Ziel widmen sich die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Arbeiten, über die nachfolgend berichtet wird. Zunächst werden jedoch auf den folgenden Seiten die relevanten Konzepte sowie bisherige arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu den Technologien und Darstellungsmöglichkeiten besprochen, um einen theoretischen Grundstein für die nachfolgenden Arbeiten zu legen.

### 3 Theoretischer Hintergrund

Die mit der Nutzung von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie verschiedene Darstellungsmöglichkeiten von Videos verbundenen Anforderungen an Leitwarten-Operateure wurden bisher noch wenig erforscht. Insbesondere zu den damit einhergehenden Belastungen und Beanspruchungen gibt es noch viele offene Fragen, welche gerade in empirischen Forschungsarbeiten bisher kaum adressiert wurden. So wurde in Arbeiten zu diesem Themenkomplex bisher meist eher auf allgemeine Merkmale der Videodarstellung in Leitwarten, etwa im Hinblick auf die Videoqualität (BENNIS, LANDMAN & LENIOR, 2014), die Anzahl an gleichzeitig dargebotenen Kamerabildern (WALLACE, DIFFLEY & ALDRIDGE, 1997) oder die Bildwiederholfrequenz (KEVAL & SASSE, 2008) eingegangen, während bei anderen der Fokus eher auf spezifischen wahrnehmungspsychologischen Phänomenen lag (SCOTT-BROWN & CRONIN, 2007), die in diesem Kontext relevant erscheinen. Dazu zählt etwa die sogenannte Unaufmerksamkeitsblindheit, welche die Nichtwahrnehmung von Sinneseindrücken auf die eingeschränkte Verarbeitungskapazität des menschlichen Gehirns zurückführt (inattentional blindness, MACK & ROCK, 1998). Besonders im Kontext von sicherheitsrelevanten Überwachungstätigkeiten, bei denen mitunter sehr viele Kameras zur gleichen Zeit beobachtet werden müssen und diese automatisch durchwechseln, erwächst die Frage, inwieweit die **Frequenz der Bildwechsel** die mentale Beanspruchung des Operateurs beeinflusst – was bisher noch nicht experimentell erforscht wurde und im Rahmen dieses Projektes näher untersucht wird. Auch der Einfluss von **Zerrungen und Spiegelungen des Videobildes** auf die Beanspruchung des Operateurs wurden nach Wissenstand aus der Literatur bisher nicht näher untersucht und wird hier erstmalig experimentell näher beleuchtet. Des Weiteren werden die Auswirkungen neuer Technologien **Augmented Reality-Darstellungen** sowie **perspektivischen 3D-Darstellungen** in Videoaufnahmen in diesem Forschungsprojekt untersucht.

Zunächst soll auf die für das Forschungsprojekt relevanten theoretischen Konzepte eingegangen werden. Dazu zählen in erster Linie die mentale Beanspruchung und das damit zusammenhängende Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Im weiteren Verlauf wird auf relevante bisherige Forschungsarbeiten zu den einzelnen Technologien und Darstellungsmöglichkeiten näher eingegangen.

#### 3.1 Mentale Beanspruchung

Das Konzept der mentalen Beanspruchung kennzeichnet ein Gefühl der Anstrengung, das mit der Aktivierung verschiedener Leistungsfunktionen des menschlichen Informationsverarbeitungssystems zusammenhängt (GOPHER & DONCHIN, 1986; MANZEY, 1998). In ähnlicher Weise beschreibt KAHNEMAN (1973) mentale Beanspruchung als Intensität der menschlichen Informationsverarbeitung, welche etwa durch die Komplexität oder Schwierigkeit der Aufgabe sowie die Leistungsvoraussetzungen der Person, wie etwa Fähigkeiten und Motivation, bestimmt wird. Abgegrenzt werden kann die mentale Beanspruchung damit etwa von physischen Beanspruchungsreaktionen, die infolge von körperlich-muskulären Belastungen auftreten, sich etwa in einem erhöhten Energieverbrauch in den beanspruchten Muskeln und damit auch einer erhöhten Sauerstoffaufnahme und Aktivität des Herz-Kreislauf-Systems äußern (MANZEY, 1998).



Im oben beschriebenen Kontext der mentalen Beanspruchung spielt die Unterscheidung zwischen Belastungen und Beanspruchungen eine entscheidende Rolle. Der Begriff Belastung wird von VALENTIN et al. (1970) wie folgt definiert: „Unter Belastung ist jede Einflussgröße zu verstehen, die am menschlichen Organismus eine Wirkung hervorrufen kann.“ Belastungen bezeichnen also die von außen auf den Menschen einwirkenden Größen. Durch diese können Veränderungen am Organismus hervorgerufen werden, die man als Beanspruchungen bezeichnet. In ähnlicher Weise wird auch in DIN EN ISO 6385 zwischen Belastungen und Beanspruchungen unterschieden:

*„Arbeitsbelastung ist die Gesamtheit der äußeren Bedingungen und Anforderungen im Arbeitssystem, die auf den physiologischen und/oder psychologischen Zustand einer Person einwirken.“*

*„Arbeitsbeanspruchung ist die innere Reaktion des Arbeitenden auf die Arbeitsbelastung, der er ausgesetzt ist und die von seinen individuellen Merkmalen (z. B. Größe, Alter, Fähigkeiten, Begabungen, Fertigkeiten usw.) abhängig ist.“*

Basierend auf dieser Unterscheidung wurde von ROHMERT (1984) das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept vorgeschlagen. Dieses besagt, dass sowohl der Faktor Mensch durch seine Eigenschaften mit Belastung umzugehen, als auch die Belastung selbst Einfluss auf die entstehende Beanspruchung haben. Dies bedeutet, dass einerseits die Belastung durch Wahl der Anforderungen oder der Aufgabe beeinflusst werden kann, jedoch jeder Mensch individuell auf diese Belastung reagiert. Eine Person reagiert auf eine Belastung womöglich mit geringerer Beanspruchung, da sie mit den Anforderungen gut umgehen kann, während eine andere Person auf dieselbe Belastung mit einer höheren Beanspruchung reagiert. Eine wichtige Folgerung daraus ist, dass die Belastungen und Anforderungen bei einer Tätigkeit nicht gleichzusetzen sind mit den daraus resultierenden mentalen Beanspruchungen, da diese eine für jeden Menschen individuelle Größe darstellen. Objektive Belastungsfaktoren werden somit in Abhängigkeit der individuellen Eigenschaften eines Menschen (z. B. Fähigkeiten, Fertigkeiten, Motivation) als subjektiv unterschiedlich beanspruchend erlebt. Hierbei ist es wichtig anzumerken, dass geringere Belastungen nicht in allen Fällen wünschenswert sind. Vielmehr sollten sich die aus den Belastungen erwachsenden Beanspruchungen in einem optimalen Bereich bewegen. Andernfalls kann es neben dem Überlastungszustand auch zu einem Unterforderungszustand kommen, da ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und Leistung besteht. (JESCHKE, ADOLPH & WISCHNIEWSKI, 2014; NEERINCX & GRIFFIOEN, 1996).

Eine besondere Rolle kann insbesondere im Kontext von Überwachungstätigkeiten das Konzept der visuellen Beanspruchung (CASTRO, COOPER & STRAYER, 2016; SCHLAG & WELLER, 2015) spielen. Dieses bezeichnet insbesondere Beanspruchungen des visuellen Kanals. Dieser spielt bei vielen Szenarien im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion eine wichtige Rolle. Dabei kann auch die visuelle Komplexität von Anzeigen, Benutzeroberflächen sowie Videodarstellungen von großer Bedeutung sein und womöglich auch als Maß für die (visuelle) Beanspruchung genutzt werden (HARPER, MICHAILIDOU & STEVENS, 2009).

Für die Arbeitsgestaltung von Leitwarten spielt das Konzept der mentalen Beanspruchung insbesondere aufgrund der hohen Anforderungen sowie mitunter zeitgleich auszuführende Tätigkeiten (JESCHKE, ADOLPH, WISCHNIEWSKI, 2014) eine entscheidende Rolle. Dabei genügt es oftmals nicht, lediglich potentielle Belastungs-

faktoren einzuschätzen. Stattdessen sind die Auswirkungen auf die Beanspruchung der Operateure von besonderem Interesse, da diese beispielsweise auch mit Leistungsparametern zusammenhängen können (YEH & WICKENS, 1988). Aus diesem Grund steht die mentale Beanspruchung bei der Untersuchung von Effekten der Nutzung neuer Technologien und bildlicher Darstellungsmöglichkeiten im Fokus der Arbeiten. Somit beziehen sich auch die Forschungsfragen, auf welche im weiteren Verlauf unter den einzelnen Technologien und Darstellungsmöglichkeiten näher eingegangen wird, primär auf dieses Konzept.

### **3.1.1 Erfassung von mentaler Beanspruchung**

Mentale Beanspruchung kann auf drei unterschiedlichen Ebenen erfasst werden (O'DONNELL & EGGEMEIER, 1986). Darunter fallen zunächst subjektive Bewertungsmethoden. Darüber hinaus können anhand von Leistungsparametern Rückschlüsse auf die Beanspruchung gezogen werden. Schließlich können auch diverse physiologische Parameter genutzt werden, um Zusammenhänge mit der mentalen Beanspruchung aufzudecken. Im Folgenden soll näher auf diese Punkte eingegangen werden.

#### Subjektive Erfassung von mentaler Beanspruchung

Subjektive Maße von mentaler Beanspruchung gehen zurück auf die Annahme, dass eine Person selbst recht gut das eigene Niveau von mentaler Beanspruchung einschätzen kann (JOHANNSEN, 1979). Der große Vorteil von subjektiven Verfahren besteht in ihrer Einfachheit und praktischen Anwendbarkeit. Darüber hinaus können diese flexibel angewendet werden und sind relativ zeit- und kosteneffizient (YEH & WICKENS, 1988). Nachteile von subjektiven Erfassungsmethoden werden darin gesehen, dass diese keine kontinuierliche Erfassung sondern nur eine punktuelle Abfrage ermöglichen und die Bewertungen von Versuchspersonen womöglich durch Bekanntheitseffekte (HICKS & WIERWILLE, 1979) oder unterschiedliche Skalierungen verzerrt werden können. So zeigten COLLE und REID (1998), dass sich die subjektiven Angaben der mentalen Beanspruchung bei unterschiedlichen Spannbreiten von Aufgabenschwierigkeiten stark voneinander unterscheiden. Allgemein lassen sich die subjektiven Verfahren untergliedern in ein- und mehrdimensionale Erfassungsmethoden, wobei beide für unterschiedliche Untersuchungszwecke relevant sein können. Eindimensionale Skalen sind generell sehr leicht nutzbar, schnell durchführbar und sensitiv (WAARD, 1996), während mehrdimensionale Skalen etwas mehr Zeit bei der Durchführung benötigen, dafür jedoch höheren diagnostischen Nutzen besitzen (WAARD, 1996). Beispiele für eindimensionale Verfahren stellen etwa die Modified Cooper-Harper-Scale (MCH; Wierwille & Casali, 1983), die Rating Scale of Mental Effort (RSME; ZIJLSTRA & VAN DOORN, 1985) oder die Overall Workload Scale (OW; VIDULICH & TSANG, 1987) dar. Unter den mehrdimensionalen Verfahren wird neben der Subjective Workload Assessment Technique (SWAT; REID & NYGREN, 1988) am häufigsten der NASA-TLX (HART & STAVELAND, 1988) genutzt, der als sehr gut geeignet für die Messung von mentaler Beanspruchung bewertet wurde und über eine hohe Diagnostizität und Sensitivität auch gegenüber kleinen Veränderungen verfügt sowie gegenüber der SWAT-Skala meist präferiert wird (HILL et al., 1992). Der NASA-TLX besteht aus den sechs Faktoren geistige Anforderungen, körperliche Anforderungen, zeitliche Anforderungen, Leistung, Anstrengung und Frustration. Zur Auswertung wird ein Verfahren genutzt, bei dem die einzelnen Faktoren gewichtet in einen Gesamtwert eingehen. Jedoch zeigte

sich, dass die Verwendung eines ungewichteten Gesamtmittelwertes (RNASA-TLX) zu nahezu äquivalenten Ergebnissen führt (BYERS, 1989), weshalb auch dieses Verfahren gleichermaßen für die Nutzung geeignet ist.

### Leistungsparameter

Die Idee der Nutzung von Leistungsparametern als Maße für mentale Beanspruchung beruht auf der Annahme, dass Menschen über begrenzte Verarbeitungsressourcen verfügen (YEH & WICKENS, 1988) und anhand von Leistungseinbußen auf die Aufgabenanforderungen geschlossen werden kann (O'DONNELL & EGGEMEIER, 1986). Hierbei kann weiter zwischen Haupt- und Nebenaufgabenleistung unterschieden werden. Die Hauptaufgabe, etwa das Lenken eines Autos im Simulator oder die Prozesssteuerung einer Anlage in einer Simulation hat dabei für die Versuchsperson Priorität, während die Nebenaufgabe nur im Rahmen der noch verfügbaren Ressourcen bearbeitet werden sollte. Als Nebenaufgaben dienen in Studien beispielsweise oftmals Kopfrechenaufgaben (YOUNG & REGAN, 2003) oder Gedächtnisaufgaben (CHANDLER & SWELLER, 1996). Hierbei sei zu vermerken, dass die Haupt- und Nebenaufgabe durch die Beanspruchung gleicher Ressourcen interferieren. Anhand der Leistung sowohl in der Haupt- als auch in der Nebenaufgabe können nun Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung infolge der Aufgaben gezogen werden. Während die Leistung in der Hauptaufgabe prinzipiell sehr gut als Indikator von mentaler Beanspruchung geeignet ist, da dafür sowohl die Leistung des Operateurs als auch des Systems eine Rolle spielen (SIREVAAG et al., 1993), besteht eine mögliche Einschränkung darin, dass individuelle Faktoren wie etwa Motivation (VIDULICH & WICKENS, 1986) diese stark mitbeeinflussen können. Zudem werden die noch verbleibenden mentalen Beanspruchungsreserven außer Acht gelassen (SIREVAAG et al., 1993), was bei der Nebenaufgabenleistung allerdings nicht der Fall ist. Die Idee hierbei ist hingegen, durch die Leistung in der Nebenaufgabe auf die mentale Kapazität zu schließen, die durch die Hauptaufgabe gebunden wird (MULDER, 1979).

### Physiologische Korrelate von mentaler Beanspruchung

Neben subjektiven Maßen und Leistungsparametern können auch mithilfe von physiologischen Parametern Erkenntnisse zur mentalen Beanspruchung von Operateuren gewonnen werden. Generell kann damit auf das globale Erregungs- bzw. Aktivierungsniveau einer Person geschlossen werden (WAARD, 1996). Dieses stellt einerseits ein objektives Maß von mentaler Beanspruchung dar, andererseits muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass das Aktivierungsniveau noch durch weitere Faktoren, wie etwa die physische Beanspruchung (WAARD, 1996) beeinflusst wird. In diesem Forschungsprojekt werden physiologische Korrelate von mentaler Beanspruchung aus drei Bereichen berücksichtigt. Dazu gehören die kardiovaskuläre und elektrodermale Aktivität sowie die Augenaktivität.

### **Kardiovaskuläre Aktivität**

Kardiovaskuläre Aktivität, die mithilfe des Elektrokardiogramms aufgezeichnet wird, wird relativ häufig als Indikator von mentaler Beanspruchung genutzt, da die Maße vergleichsweise einfach auszuwerten sind und die Messung relativ unaufdringlich und über einen kontinuierlichen Zeitraum möglich ist (ROSCOE, 1992, 1993; WILSON, 1992). Unterschieden wird hierbei primär zwischen Maßen für die Herzrate und die Herzratenvariabilität.

Die Herzrate wird üblicherweise in Schlägen pro Minute gemessen wird. In vielen Forschungsarbeiten zeigte sich, dass die Herzrate mit zunehmenden kognitiven oder psychomotorischen Anforderungen zunimmt (BACKS & SELJOS, 1994; CARROLL, RICK TURNER & HELLAWELL, 1986; COSTA, 1993; HANKINS & WILSON, 1998; JORNA, 1992; ROSCOE, 1993; SVENSSON, ANGELBORG-THANDERZ, SJOBERG & OLSSON, 1997; TATTERSALL & HOCKEY, 1995; VELTMAN & GAILLARD, 1996; WILSON, 1993; WILSON, FULLENKAMP & DAVIS, 1994), wobei einige Arbeiten auch keinen Zusammenhang zwischen der Herzrate und Leistungsanforderungen finden konnten (LEE & PARK, 1990; WIERWILLE, RAHIMI & CASALI, 1985).

Ein weiteres Maß für mentale Beanspruchung stellt die Herzratenvariabilität dar. Maße der Herzratenvariabilität berücksichtigen die Variation der Intervalle von aufeinanderfolgenden Herzschlägen (sog. Inter-Beat-Intervalle) über die Zeit. Wichtige Parameter hierzu stellen etwa die Standardabweichung mehrerer Inter-Beat-Intervalle (Standard Deviation of the NN interval series, SDNN) oder die Quadratwurzel der Standardabweichung aufeinanderfolgender Inter-Beat Intervalle (RMSSD) dar. KIM, SEO, CHO und CHO (2008) konnten zeigen, dass beide Indikatoren bei einer Gruppe mit hohem Stress geringere Ausprägungen aufwiesen als bei einer Gruppe mit niedrigem Stress. In die gleiche Richtung zeigen auch die Ergebnisse von CINAZ, LA MARCA, ARNRICH und TROSTER (2013). Darüber hinaus können mithilfe von Spektralanalysen der Inter-Beat-Intervalle noch für weitere Parameter der Herzratenvariabilität Zusammenhänge mit mentaler Beanspruchung gezeigt werden. Dabei wird meist zwischen drei Frequenzbereichen unterschieden. Dazu zählen die Bereiche von 0,003 bis 0,04 Hz (very low frequency – VLF), von 0,04 bis 0,15 Hz (low frequency – LF) und von 0,15 bis 0,4 Hz (high frequency – HF). Für die mentale Beanspruchung sind hauptsächlich die beiden Bereiche der niedrigen (LF) und hohen Frequenz (HF) interessant. So wurde in verschiedenen Forschungsarbeiten etwa eine Abnahme der Power in der LF-Komponente unter mentaler Beanspruchung gefunden (BOUCSEIN & OTTMANN, 1996; CINAZ et al., 2013; KIM et al., 2008; RICHTER, WAGNER, HEGER & WEISE, 1998; TATTERSALL & HOCKEY, 1995).

### **Elektrodermale Aktivität**

Elektrodermale Aktivität bezeichnet Veränderungen der elektrischen Eigenschaften der Haut, die sich durch die Aktivität von Schweißdrüsen aufgrund von sympathischer Aktivierung verändern. Allgemein lässt sich ein Hautleitfähigkeitssignal in eine tonische und eine phasische Komponente untergliedern. Während die phasische Komponente kurzfristige Veränderungen der elektrodermalen Aktivität bezeichnen, die meist in Reaktion auf einen spezifischen Reiz erfolgen, umfasst die tonische Komponente eher langfristige Zustände (ROTH, DAWSON & FILION, 2012). So konnte etwa gezeigt werden, dass das Hautleitfähigkeitsniveau bei höheren kognitiven Anforderungen höher ausgeprägt war als bei geringen Anforderungen (LINDHOLM & M CHEATHAM, 1983; RIBBACK, 2003; ZEIER, 1979) und insofern als Indikator von mentaler Beanspruchung dienen kann. Auch für die Häufigkeit unspezifischer Hautleitfähigkeitsreaktionen konnte in vergangenen Arbeiten ein Zusammenhang zur Aufgabenschwierigkeit (Richter et al., 1998) bzw. zur emotionalen Beanspruchung (BOUCSEIN & THUM, 1997; KUHMANN, BOUCSEIN, SCHAEFER & ALEXANDER, 1987; SCHAEFER, KUHMANN, BOUCSEIN & ALEXANDER, 1986) aufgezeigt werden. Weitere interessante Parameter sind in diesem Zusammenhang die Fläche unter der Kurve (Area Under the Curve – AUC) sowie die mittlere Amplitude unspezifischer Hautleitfähigkeitsreaktionen (BACH, FLANDIN, FRISTON &

DOLAN, 2009). Die Fläche unter der Kurve stellt dabei das niveauekorrigierte Zeitintegral der Hautleitfähigkeit dar und spiegelt neben der Anzahl auch die Amplitude von Hautleitfähigkeitsreaktionen. Sie wird somit als guter Indikator für die physiologische Erregung angesehen (BACH et al., 2009).

### **Augenaktivität**

Neben kardiovaskulären und elektrodermalen Parametern erlauben auch Merkmale des menschlichen Auges Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung. So macht das Auge Bewegungen, um die Umgebung zu erforschen und die Stelle des schärfsten Sehens, die Fovea, auf neue Objekte auszurichten sowie um die Bewegung des Objektes auszugleichen, falls dieses selbst in Bewegung ist (RÖTTING & LUCZAK, 2001). Die Bewegung der Augen lässt sich in verschiedene Arten einteilen. Dazu zählen zum einen Fixationen, die dazu dienen, dass das Auge in relativer Ruhe Informationen aufnehmen kann. Sakkaden dienen demgegenüber als schnelle und sprunghafte Bewegungen dazu, das Auge auf ein Blickobjekt auszurichten. Aus diesen beiden Augenbewegungen lassen sich Parameter ableiten, die Aufschluss über die mentale Beanspruchung geben können. So wurde in vielen Arbeiten etwa ein Zusammenhang zwischen der mentalen Beanspruchung und der Anzahl an Fixationen sowie der Fixationsdauer gefunden. Typischerweise geht eine höhere mentale Beanspruchung dabei mit einer höheren Fixationsdauer einher (MALTZ & SHINAR, 1999; MAY, KENNEDY, WILLIAMS, DUNLAP & BRANNAN, 1990; MIURA, 1990; RAYNER & MORRIS, 1992). Dies erscheint plausibel, da erhöhte Aufmerksamkeitsanforderungen, etwa bei Gefahren, dazu führen, dass für längere Zeit Informationen aus dem Blickpunkt extrahiert werden, was sich dann in der erhöhten Fixationsdauer widerspiegelt (REIMER, MEHLER, WANG & COUGHLIN, 2012). Auch für die Anzahl an Fixationen konnte im Kontext einer visuellen Suchaufgabe ein positiver Zusammenhang mit mentaler Beanspruchung gefunden werden (BACKS & WALRATH, 1992).

Neben den Augenbewegungen können auch noch weitere Maße Aufschluss über mentale Zustände geben. Dazu zählen zum einen Lidschlagreaktionen (FOGARTY & STERN, 1989) sowie die Pupillometrie. Dabei können hier wiederum verschiedene Arten von Lidschlagreaktionen unterschieden werden, von denen insbesondere endogene Reaktionen einen Hinweis auf Aufgabenanforderungen geben können (STERN, WALRATH & GOLDSTEIN, 1984). Neben der Blinzelfrequenz, -dauer und -latenz wird häufig der Parameter PERCLOS genutzt, der als Prozentsatz der Zeit definiert ist, in der das Augenlid 80 Prozent oder mehr von der Pupille bedeckt ist (MARQUART, CABRALL & WINTER, 2015). Dieser diente ursprünglich primär als Maß für Ermüdung (DINGES & GRACE, 1998), jedoch fanden HALVERSON, ESTEPP, CHRISTENSEN und MONNIN (2012) heraus, dass er auch genutzt werden kann, um zwischen verschiedenen Niveaus von mentaler Beanspruchung zu unterscheiden.

Darüber hinaus kann die Pupillometrie, also die Messung der Dilatation der Pupille, im Kontext der mentalen Beanspruchung ebenfalls von Interesse sein. Diverse Forschungsarbeiten zeigten hier, dass ein positiver Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und dem Durchmesser der Pupille besteht (PALINKO, KUN, SHYROKOV & HEEMAN, 2010; RECARTE & NUNES, 2000, 2003). Darüber hinaus lässt sich aus der Pupillengröße auch der Index of Cognitive Activity (ICA) (MARSHALL, 2000) berechnen. Dieser versucht mithilfe von Signalverarbeitungstechniken die Einflüsse von Beleuchtung und mentaler Beanspruchung auf die Pupillengröße zu separieren, um letzteres dadurch genauer erfassen zu können. Dieser

Parameter erscheint ebenfalls recht vielversprechend, da in verschiedenen Kontexten Zusammenhänge mit dem Niveau der mentalen Beanspruchung gezeigt werden konnten (DEMBERG, SAYEED, MAHR & MÜLLER, 2013; DLUGOSCH, CONTI & BENGLER, 2013; SCHWALM, 2009).

## **3.2 Darstellungsmöglichkeiten von Videos in Leitwarten**

Nachdem unter den vorigen Punkten näher auf die theoretischen Grundlagen und die Möglichkeiten der Erfassung von mentaler Beanspruchung eingegangen wurde, wird unter den folgenden Punkten der Fokus auf die Hintergründe zu den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten von Videos in Leitwarten gelegt. Dabei soll zunächst auf automatische Bildwechsel, anschließend auf die Zerrung und Spiegelung von Videobildern, daraufhin auf die Augmented-Reality-Darstellung und schließlich auf perspektivische 3D-Darstellungen eingegangen werden.

### **3.2.1 Wechselbilder**

Als Bildwechsel soll hier die nacheinander folgende Darstellung von Bildern verschiedener Kameras auf einem Bildschirm definiert werden. Diese werden mitunter genutzt, wenn mehr Videokameras abgebildet werden sollen, als Bildschirmfläche zur Verfügung steht. Zu der Fragestellung nach einer angemessenen Frequenz für Bildwechsel existieren bisher keine eindeutigen Forschungsergebnisse. Bisherige Arbeiten bezogen sich hier primär auf die Anzahl an Kamerabildern, die von Operateuren gleichzeitig beobachtet werden können, wobei hier häufig ein Richtwert von 12 - 16 Kameras bei geringer Aufgabenkomplexität genannt wird (PIKAAR, LENIOR, SCHREIBERS & DE BRUIJN, 2015). Bezogen auf Wechselbilder wird in der DIN-Norm DIN EN ISO 11064-5:2008-10 empfohlen, diese möglichst zu vermeiden (A.5.4.3). Dennoch werden teilweise Bildwechsel genutzt, etwa um eine größere Anzahl an Videokameras auf Auffälligkeiten hin zu überwachen, als dies ohne Bildwechsel möglich wäre. Eine wichtige Rolle kann hierbei auch die Komplexität des Videomaterials sowie der durchzuführenden Aufgabe oder Tätigkeit spielen (BRUIJN, JANSEN, LENIOR, SCHREIBERS & PIKAAR, 2016). Darauf hat etwa die Anzahl der zu überwachenden Szenen, also der logischen und bedeutungstragenden Einheiten von visueller Information (DE BRUIJN et al, 2016) einen Einfluss, wobei auch ein Zusammenhang zu dem Konstrukt der visuellen Komplexität hergestellt werden kann. Visuelle Komplexität bezeichnet nach BERLYNE (1960) die Menge an Vielfalt und Diversität in bestimmten Stimuli. Oft wird auch die Menge an Objekten in Zusammenhang mit deren Anzahl (OLIVA, SHRESTHA & PEEPER, 2004) gebracht, wobei Stimuli mit mehr Objekten als visuell komplexer wahrgenommen werden als Stimuli mit weniger.

Die Forschungsfrage, welche im Rahmen des Projektes untersucht werden soll ist, inwieweit die Frequenz eines automatisierten Bildwechsels Einfluss auf die mentale Beanspruchung sowie die Leistung von Operateuren hat. Diese Fragestellung wird im Rahmen der Laborstudie detailliert untersucht. Darüber hinaus ist eine weitere Fragestellung, für welche Tätigkeiten der Einsatz von automatischen Bildwechseln besonders vorteilhaft sein kann und für welche Tätigkeiten dies eher ungeeignet ist. Diese Fragestellung wurde in der Feldstudie näher überprüft. In der Kombination ermöglichen beide ein umfassendes und aussagekräftiges Bild sowie die Ableitung

stichhaltiger Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Wechselbildern in Leitwarten und Leitstellen.

### **3.2.2 Spiegelungen und Zerrungen**

Bildzerrungen oder auch Verzeichnungen bezeichnen geometrische Abbildungsfehler, die bei Foto- oder Videoaufnahmen zu einer lokalen Veränderung des Abbildungsmaßstabes führen und meist durch die Objektivblende verursacht werden.

Zur mentalen Beanspruchung bei der Betrachtung von gezerzten Videos gibt es bisher wenige Forschungsergebnisse. Eine Untersuchung von GUTWIN und FEDAK (2004), bei der Probanden eine Layout-Aufgabe auf einer interaktiven grafischen Oberfläche mit Fischaugenzerrungen unterschiedlicher Stärke bearbeiteten, zeigte, dass die Verzerrungen die Leistung in dieser Aufgabe, welche räumliche Einschätzungen, wie etwa die von Entfernungen, beinhaltete, deutlich beeinträchtigten. PIKAAR et al. (2015) beschreiben in ihrer Arbeit eine Fallstudie, in der das Problem von Fischaugen- bzw. Weitwinkel-Verzerrungen von Videoaufnahmen in Schiffsschleusen ebenfalls bereits identifiziert wurde. Die Empfehlung der Autoren lautet, auf Weitwinkelobjektive, die zu Verzerrungen des Bildes führen, insbesondere bei kurzen Distanzen, möglichst zu verzichten. Allerdings wurden hierzu über die Interviews mit Operateuren zweier Leitwarten für Schiffsschleusen hinaus keine quantitativen Daten im Hinblick auf die mentale Beanspruchung bei der Kodierung von verzerrtem Videomaterial erfasst. Deshalb wird diese Thematik in Forschungsarbeiten im Rahmen dieses Projektes näher untersucht. Dabei wird zusätzlich auf gespiegelte bzw. seitenverkehrte Darstellungen eines Videobildes eingegangen. Zu dieser konnten im Rahmen einer Literaturrecherche keine Forschungsergebnisse zu möglichen Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung der Operateure gefunden werden.

Die Forschungsfrage, auf die näher eingegangen werden soll, lautet, inwieweit Anpassungen von Videomaterial wie verzerrte oder gespiegelte Darstellungen Einfluss auf die mentale Beanspruchung sowie die Leistung von Operateuren haben können. Diese Fragestellung wird im Rahmen der Laborstudie detailliert untersucht. Darüber hinaus ist eine weitere Fragestellung, für welche Zwecke der Einsatz von gespiegelten sowie gezerzten Darstellungen besonders vorteilhaft sein kann und für welche er dagegen eher ungeeignet ist. Auf diese Fragestellung wurde in der Feldstudie näher eingegangen. Die aus beiden Forschungsarbeiten gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen die Ableitung fundierter Handlungsempfehlungen zur Nutzung dieser Darstellungsmöglichkeit von Videos in Leitwarten und Leitstellen.

### **3.2.3 Augmented Reality**

Augmented Reality (AR) bezeichnet die Darstellung der realen, physischen Welt, die durch computergenerierte Objekte erweitert und ergänzt wird (AZUMA, 1997; CARMIGNIANI & FURHT, 2011). Dabei verschmelzen Virtualität und Realität (DÖRNER, GEIGER, OPPERMANN & PAELKE, 2013) für den Anwender, was eine Abgrenzung zu dem populären Begriff der Virtual Reality (VR) darstellt. Während Virtual Reality dann vorliegt, wenn mithilfe computergenerierter Animationen eine für den Anwender gänzlich künstliche, virtuelle Umgebung geschaffen wird (VALLINO, 1998), sind Augmented Reality-Anwendungen in der Regel durch folgende drei Bedingungen gekennzeichnet (AZUMA, 1997): (1) die Kombination von realen und virtuellen Elementen, (2) die Interaktion in Echtzeit und (3) der Einbezug dreidimensionaler Komponenten. Da gerade bei mobilen Anwendungen die letztgenannte Bedin-

gung oft nicht erfüllt ist, wird von MEHLER-BICHLER et al. (2014) nochmals zwischen AR im engeren Sinne, bei dem alle drei Bedingungen gegeben sind und AR im weiteren Sinne, bei dem dreidimensionale Komponenten nicht vorhanden sein müssen, unterschieden. Im Forschungsprojekt wurde die AR im weiteren Sinne untersucht, welche womöglich auch im Kontext von Leitwarten eine größere Rolle spielen kann als die Definition im engeren Sinne. Ein potentieller Anwendungsbereich von Augmented Reality-Darstellungen bei Videoaufnahmen stellt insbesondere die Videoüberwachung dar, bei der die Zuverlässigkeit des menschlichen Betrachters einen großen Einfluss auf die Effektivität der Überwachungsaufgabe hat (DADASHI, STEDMON & PRIDMORE, 2013). Daraus ergeben sich einerseits hohe Anforderungen an die Aufmerksamkeit des Betrachters. Zum anderen sind (teil-)automatisierte Überwachungssysteme inzwischen zur Erkennung, zur Klassifizierung und zur Verfolgung von bewegten Objekten in der Lage (JAVED & SHAH, 2008). Daraus ergeben sich wiederum Potenziale für die Nutzung von teilautomatisierten Systemen, die mithilfe von AR-Darstellungen die Aufmerksamkeit des Betrachters auf bestimmte Ereignisse lenken können.

In einigen Arbeiten wurde bereits untersucht, wie sich die Nutzung eines AR-Systems auf die Leistung und die mentale Beanspruchung von Operateuren auswirkt. So zeigten DIBITONTO und MEDAGLIA (2015) in ihrer Arbeit, dass eine Steigerung des Automatisierungsgrades in einem Videosystem zur Personenüberwachung sowohl ein höheres Situationsbewusstsein als auch eine geringere mentale Beanspruchung der Probanden zur Folge hatte. Ein ähnliches System, in dem beispielsweise erkannte Personen hervorgehoben wurden, wurde auch von GIRGENSOHN et al. (2007) erforscht. DADASHI et al. (2013) konnten zeigen, dass die mentale Beanspruchung von Operateuren geringer war, wenn die zu verfolgende Person verlässlich markiert wurde, als wenn keine Markierung erfolgte. Darüber hinaus konnten sie zeigen, dass auch die Leistung der Probanden in einer Nebenaufgabe anstieg. Dies weist auf einen positiven Einfluss einer teilweise automatisierten Vorverarbeitung von Bildmaterial hin. Bei einer nicht verlässlichen Markierung sind die Ergebnisse jedoch weniger klar, was für die Relevanz einer Angabe über die Zuverlässigkeit des Systems spricht. Im Rahmen einer experimentellen Untersuchung in diesem Forschungsprojekt wurden die Einflüsse verschiedener Ausgestaltungen eines AR-Systems auf die mentale Beanspruchung der teilnehmenden Operateure näher untersucht.

Die Forschungsfrage zur Technologie Augmented Reality im Rahmen der Laborstudie ist, inwieweit und unter welchen Voraussetzungen Augmented Reality hilfreich sein kann, um die mentale Beanspruchung von Leitwarten-Operateuren zu optimieren. Darüber hinaus lautet die Fragestellung im Rahmen der Feldstudie, für welche Anwendungsfälle der Einsatz von Augmented Reality Darstellungen besonders vorteilhaft sein kann und für welche er dagegen eher ungeeignet ist. Die erzielten Erkenntnisse aus beiden Forschungsarbeiten schaffen die Grundlage für die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Augmented Reality in Leitwarten und Leitstellen.

### **3.2.4 Perspektivische 3D-Darstellungen**

Perspektivische 3D-Darstellungen nutzen Hinweise der Linearperspektive, um eine dreidimensionale Projektion von Objekten auf einem gewöhnlichen Bildschirm darzustellen (NAIKAR, 1998). Der Begriff perspektivisch bezieht sich dabei auf den Blickwinkel, der im Gegensatz zu einer planaren Ansicht üblicherweise 30 oder 45 Grad



beträgt. Die bisherige Forschung zur Verarbeitung von perspektivischem 3D-Material beschränkt sich zum Großteil auf statische, dreidimensionale Bilder. So untersuchte TODD (2004) in einer grundlagenorientierten Untersuchung die Wahrnehmung von dreidimensionalen Objekten und fand heraus, dass die Repräsentation von dreidimensionalen Objekten häufig systematisch verzerrt ist.

Generell hängen die Vorteile und der Nutzen von 3D-Darstellungen sehr von der spezifischen Anwendung ab (MCINTIRE, HAVIG & GEISELMAN, 2014). Bisher wurden in diesem Kontext etwa die Einschätzung von Positionen bzw. Distanzen, das Finden von Objekten, räumliche Manipulationen von Objekten, Navigation, räumliches Gedächtnis sowie Routenplanungen untersucht. DIXON, FITZHUGH und ALEVA (2009) identifizierten in einer Literaturstudie einige Vorteile von dreidimensionalen Darstellungen und folgerten, dass diese etwa bei der Routenplanung besonders von Vorteil sein könnten. In eine ähnliche Richtung weisen die Ergebnisse von SMALLMAN, COOK und MANES (2007). Sie konnten zeigen, dass die Leistung von Probanden bei der Routenplanung im Gelände in einer perspektivischen 3D-Darstellung mit einem Blickwinkel von 45 Grad besser war als bei einer 2D-Darstellung. In einer mobilen Navigationsaufgabe fanden OULASVIRTA, ESTLANDER und NURMINEN (2009) allerdings auch heraus, dass die perspektivische 3D-Darstellung zu einer höheren mentalen Beanspruchung bei den Probanden führte als eine 2D-Darstellung. Zu beachten ist in diesem Kontext auch das Phänomen des Naiven Realismus. SMALLMAN und ST. JOHN (2005) bezeichnen mit diesem Begriff die Tatsache, dass Nutzer oftmals realistisch wirkende Darstellungen bevorzugen, obwohl diese tatsächlich zu einer schlechteren Leistung führen. Insgesamt lassen sich aus den bisherigen Befunden zu perspektivischen 3D-Darstellungen keine eindeutigen Schlüsse im Hinblick auf die mentale Beanspruchung der Benutzer ziehen. Dabei ist festzuhalten, dass die jeweiligen Vorteile der Darstellungsmöglichkeit stets stark vom spezifischen Nutzungszweck sowie der Arbeitsaufgabe und weiteren Anforderungen an die OperateureIn abhängen. Insbesondere bei der Navigation, Routenplanung oder dem Suchen von Objekten scheint eine dreidimensionale Darstellung Vorteile gegenüber einer zweidimensionalen Darstellung zu bieten (DRAPER, HANDEL, HOOD & KRING, 1991; KIM, TENDICK & STARK, 1987; SMALLMAN et al., 2007). Im Rahmen der in diesem Forschungsprojekt durchgeführten Laborstudie wird experimentell untersucht, inwieweit die Darstellungsperspektive von Videos Einfluss auf die mentale Beanspruchung von Operateuren bei einer räumlichen Suchaufgabe hat.

Dabei wird zunächst im Rahmen der Laborstudie der Forschungsfrage nachgegangen, wie sich perspektivische 3D-Darstellungen in dynamischen Situationen im Vergleich zu 2D-Darstellungen auf die mentale Beanspruchung von Operateuren auswirken. Im Rahmen der Feldstudie soll darüber hinaus die Fragestellung näher adressiert werden, für welche Anwendungsfälle der Einsatz von 3D-Darstellungstechniken besonders vorteilhaft sein kann und für welche er dagegen eher ungeeignet erscheint. Die erzielten Erkenntnisse aus beiden Forschungsarbeiten können dazu dienen, ein umfassendes und aussagekräftiges Bild sowie die Ableitung stichhaltiger Handlungsempfehlungen zur Nutzung von 3D-Darstellungen in Leitwarten und Leitstellen zu ermöglichen.

### **3.2.5 LED-Wall**

Als LED-Wand oder Videowall bezeichnet man eine große Anzeigefläche zur Darstellung von bewegten Bildern oder Informationen. In Leitwarten werden diese oft

dazu verwendet, Videos an zentraler Position großformatig darzustellen, um mehrere Operateure mit einem Gesamtüberblick über die relevanten Informationen zu versorgen (GROOT & PIKAAR, 2006).

Entweder können dabei auf den unterschiedlichen Bildschirmen Einzelbilder dargestellt werden oder aber es wird aus mehreren Monitoren bildschirmübergreifend ein Gesamtbild erzeugt.

Obwohl LED-Walls in Leitwarten aktuell bereits häufig eingesetzt werden (LAFRENTZ & JESCHKE, 2017), sind die genaueren Auswirkungen auf die Beanspruchung der Operateure bislang noch recht wenig erforscht. DE GROOT und PIKAAR (2006) identifizierten in Fallstudien jedoch bereits einige Vorteile, welche Videowalls innerhalb von Leitwarten bieten können. Dazu zählt insbesondere, dass Informationen für alle Operateure dargestellt werden können. Diese können so etwa auch in der Gruppe diskutiert werden. Zudem kann auf die dort abgebildeten Informationen nicht nur vom einzelnen Arbeitsplatz aus, sondern auch von anderen Orten in der Leitwarte zugegriffen werden. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn häufig Aufgaben außerhalb des eigentlichen Arbeitsplatzes ausgeführt werden (HORI & SHIMIZU, 1999).

In der Feldstudie wird die Forschungsfrage näher adressiert, für welche Anwendungsfälle der Einsatz von LED-Walls besonders vorteilhaft sein kann und für welche er dagegen eher ungeeignet ist. Im Rahmen der Laborstudie wird die Darstellungsmöglichkeit nicht näher adressiert, da die mentale Beanspruchung der Operateure durch Aspekte der Aufgabe und Tätigkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit deutlich stärker beeinflusst wird als allein durch ein Darstellungsmedium wie etwa die Videowall. Dies würde die Ableitung verallgemeinerbarer Aussagen deutlich erschweren.

## 4 Laborstudie

Zur Untersuchung der identifizierten Forschungsfragen, die sich aus Vorarbeiten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) sowie durch die durchgeführten Besuche der Leitwarten und eine ausführliche Literaturrecherche zu den jeweiligen Technologien und Darstellungsmöglichkeiten abgeleitet wurden, wurde zunächst eine Laboruntersuchung geplant. Diese erlaubte es, auf experimentelle Art und unter stark kontrollierten Bedingungen verschiedene Ausprägungen und Gestaltungen von Darstellungsmöglichkeiten miteinander zu vergleichen. Dabei sollte die Konfundierung mit weiteren Einflussfaktoren, welche nicht auf die Darstellungsmöglichkeit zurückgehen, möglichst ausgeschlossen werden. Somit war es möglich, detaillierte Aussagen zur mentalen Beanspruchung der Teilnehmenden in Verbindung mit der Anpassung des Videomaterials zu treffen. Zugleich konnten, anders als im regulären Arbeitsablauf, neben subjektiven Befragungsmethoden auch Leistungs- und physiologische Parameter erfasst werden, welche zusätzliche, objektive Aussagen über die mentale Beanspruchung der Nutzer ermöglichen. Dazu wurden neben dem Elektrokardiogramm (EKG) und der elektrodermalen Aktivität auch die okuläre Aktivität aufgezeichnet, um auf Basis verschiedener Parameter ein möglichst umfassendes Bild verschiedener physiologischer Reaktionen abzubilden und somit Rückschlüsse auf die Beanspruchung ziehen zu können.

Im folgenden Teilkapitel wird nach der Beschreibung der Stichprobe der Laborstudie sowie des eingesetzten Materials auf das Versuchsdesign und die Studiendurchführung sowie schließlich die Datenanalyse und Auswertung der erhobenen Daten eingegangen. Anschließend werden die Ergebnisse der Studie dargelegt und kritisch diskutiert.

### 4.1 Methode

#### 4.1.1 Stichprobe

Der Stichprobenumfang der Laborstudie umfasste 34 Personen, die alle hauptberuflich in einer Leitwarte oder Leitstelle tätig waren. Die Personen wurden innerhalb der Leitwarten rekrutiert, die an dem Teilprojekt als Praxispartner beteiligt sind. Die Studie konnte während der regulären Arbeitszeit durchgeführt werden, dafür wurden die Teilnehmenden von ihrer Tätigkeit freigestellt. Unter den 34 Teilnehmenden an der Studie waren 28 Männer und 6 Frauen. Das durchschnittliche Alter betrug 43.62 Jahre ( $SD = 9.28$ ). Der jüngste Proband war zum Zeitpunkt der Studiendurchführung 28 Jahre alt, der Ältteste 60. Von den 34 Teilnehmenden waren 15 im Bereich Verkehr (Schleusensteuerung, S-Bahn und ÖPNV), 15 im Bereich Sicherheit (private Sicherheitsfirmen, Polizei und Badeaufsicht) und vier im Bereich der Anlagensteuerung (Industrie, Energie- und Wasserversorgung) tätig. Die durchschnittliche Berufserfahrung der Teilnehmenden betrug 6.43 Jahre ( $SD = 5.81$ ). Alle Teilnehmenden waren Rechtshänder. 32 Teilnehmende gaben an, die deutsche Sprache als Muttersprache zu beherrschen. Ein Teilnehmender verfügte nach eigener Angabe über konversationsichere und ein weiterer Teilnehmender über grundlegende Kenntnisse der deutschen Sprache. 14 der Teilnehmenden gaben an, regelmäßig Computer zu spielen, mit durchschnittlich 42.60 Stunden im Monat.

### 4.1.2 Versuchsaufbau

Für die Durchführung der Laborstudie wurde in einem abgetrennten und lärmgeschützten Raum an der jeweiligen Leitwarte eine eigens für die Laborstudie erstellte mobile Leitwarte aufgebaut. Diese bestand aus einem leistungsstarken PC sowie drei 24-Zoll Bildschirmen, die auf einer Monitorhalterung befestigt wurden. In Kooperation mit dem Fraunhofer IOSB, welches unter anderem durch das selbst entwickelte NEST-System zur automatisierten Überwachung (BAUER et al., 2008) über Expertise im Bereich der Videoüberwachung mithilfe neuer Technologien verfügt, wurde ebenfalls eigens für die Versuchsdurchführung eine Software entwickelt. Diese ermöglichte es, die Eingaben der Versuchspersonen mit hoher zeitlicher Genauigkeit aufzuzeichnen und den Versuch mit den physiologischen Messgeräten zu synchronisieren. Für die im Versuch gestellten Aufgaben stand zudem eine Tastatur zur Verfügung und für die Beantwortung der digitalen Fragebögen eine Computermaus. Direkt neben dem Probanden saßen die Versuchsleiter an zwei Laptops, deren Bildschirme für den Probanden nicht einsehbar waren. Auf dem einen konnte während des Versuchs die Funktion des Elektrokardiogramms sowie der Hautleitfähigkeitsmessung und auf dem anderen die des Eye-Trackers überprüft werden. Eine Übersicht über den exemplarischen Versuchsaufbau aus Sicht der Teilnehmenden ist in Abbildung 4.1 dargestellt.



**Abb. 4.1** Versuchsaufbau der Laborstudie. Die Versuchsperson bearbeitet den Versuchsteil Wechselbilder. Foto: Laila Tkotz/KIT

### 4.1.3 Fragebögen

Am Ende jedes Versuchsteils bearbeiteten die Teilnehmenden eine Reihe von Fragebögen. Ein zentrales Instrument stellt der NASA-Task Load Index dar (NASA-TLX; HART & STAVELAND, 1988), mit dessen Hilfe die mentale Beanspruchung der Teilnehmenden bei der genutzten Darstellungsmöglichkeit erfasst werden sollte. Dieser wurde ohne die Skala „körperliche Anforderungen“ durchgeführt, da diese im vorliegenden Kontext nicht relevant erschien. Als Gesamtwert für die mentale Beanspruchung diente, angelehnt an das NASA-Raw Task Load Index (RTLX)-Verfahren (BYERS, 1989), der Mittelwert über die fünf erfassten Skalen. Zur Erfassung der wahrgenommenen Gebrauchstauglichkeit der Darstellungsmöglichkeit wurde die System-Usability-Scale (SUS; BROOKE, 1996) verwendet, welche hier mithilfe einer 7-stufigen Likert-Skala durchgeführt wurde (FINSTAD, 2010). Darüber hinaus wurde mithilfe einzelner Items abgefragt, wie die Komplexität des Videomaterials und die Aufgabenkomplexität sowie die eingeschätzte Beanspruchung über den Zeitraum einer achtstündigen Schicht bei der jeweiligen Darstellungsmöglichkeit von den Versuchspersonen beurteilt wurde. Diese lauten wie folgt:

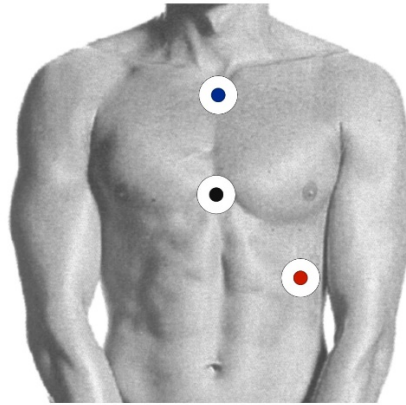
- Visuelle Komplexität: „Wie empfanden Sie die visuelle Komplexität des Videomaterials?“
- Komplexität der Aufgabe: „Wie empfanden Sie die Komplexität der Aufgabe?“
- Geschätzte Beanspruchung über den Zeitraum einer achtstündigen Schicht: „Wie schätzen Sie Ihre Beanspruchung bei der Arbeit mit dieser Darstellungsoption summiert über den Verlauf einer achtstündigen Schicht ein?“

### 4.1.4 Messgeräte

#### Physiologische Parameter

Zur Aufzeichnung des Elektrokardiogramms (EKG) und der elektrodermalen Aktivität (EDA) wurde der portable Biosignal-Rekorder Varioport-B der Firma Becker Meditec genutzt.

Mithilfe des EKG-Moduls kann mit einer Auflösung von 0,002 mV in einem Messbereich von  $\pm 5.4$  mV aufgezeichnet werden. Für die Laborstudie wurde eine Aufnahme­frequenz von 512 Hz gewählt. Insgesamt wurden drei Einmalelektroden auf der Brust der Versuchsperson angebracht. Dabei wurden die Positionen genutzt, die in der Varioport Gebrauchsanleitung (BECKER MEDITEC, 2016) empfohlen werden, welche auch in Abbildung 4.2 zu sehen ist. Aus dem EKG-Rohsignal wurden mithilfe einer eigenen Auswertungsprozedur zunächst die QRS-Komplexe detektiert und daraus schließlich die Parameter mittlere Herzrate (mHR) – Einheit: Herzschläge pro Minute, die Quadratwurzel des Mittelwerts über alle Quadrate der Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle (Root Mean Square of Successive Differences, RMSSD, Einheit: Millisekunden (ms)) und die Power im niedrigen Frequenz-Bereich (Einheit:  $\text{ms}^2$ ) nach der Welch-Fast Fourier Transformation (LF-Welch) berechnet.



**Abb. 4.2** Position der EKG-Elektroden (BECKER MEDITEC, 2016)

Das Messmodul für die Erfassung der elektrodermalen Aktivität (EDA) arbeitet mit einer Gleichspannung von 0,5 Volt. Die Messvariable ist dabei der aus der angelegten Spannung resultierende Strom. Parallel phasische und tonische Anteile werden von einem Wandler (16 Bit) registriert. Der Messbereich beträgt null bis fünfzig Mikrosiemens und die Auflösung 0,002 Mikrosiemens ( $\mu\text{S}$ ). Die Elektroden wurden für den Versuch in der Mitte des nicht-dominanten Fußes des Probanden angebracht, wie auch in ROTH et al. (2012) dargestellt. Diese besitzen einen Gesamtdurchmesser von 13 mm. Der Durchmesser der Messfläche ist dementsprechend kleiner und beträgt 5 mm. Für eine bessere Erfassung der Hautleitfähigkeit wurde eine 0,5 % NaCl-Leitpaste auf die Elektroden aufgetragen. Mit Hilfe des NaCl wird einer Wechselwirkung nach längerer Benutzung zwischen Paste und Hautleitfähigkeit entgegengewirkt (vgl. BECKER MEDITEC, 2016). Aus den EDA-Aufnahmen wurde mithilfe der Matlab-Toolbox PsPM (ehemals SCRalyze, BACH, FRISTON & DOLAN, 2010) das Hautleitfähigkeitsniveau (Skin Conductance Level, SCL), die Fläche unter der Kurve (Area Under the Curve, AUC), die Häufigkeit unspezifischer Hautleitfähigkeitsreaktionen (nonspecific skin Conductance Responses, NS.SCRs) sowie die mittlere Amplitude (mAmp) dieser berechnet.

### Eye-Tracking

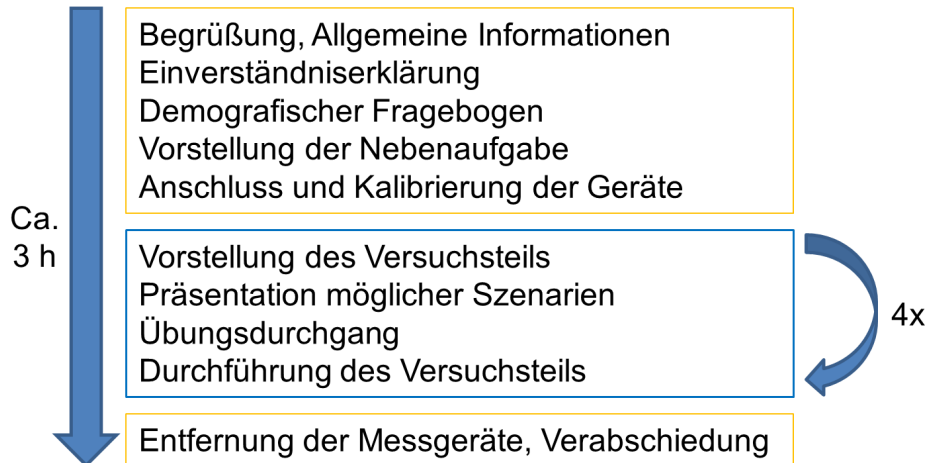
Während des gesamten Versuchs trugen die Probanden einen Dikablis Professional Eye-Tracker der Marke Ergoneers GmbH mit einer Aufzeichnungsrate von 60 Hz. Dieser erlaubt die Erfassung der Pupille mit einer Genauigkeit von  $0,05^\circ$  des Sehwinkels sowie eine Genauigkeit der Erfassung der Blickrichtung von  $0,1^\circ$ - $0,3^\circ$ . Die Feldkamera, welche das Sichtfeld der Versuchsperson aufzeichnet, verfügt über einen Aufnahmewinkel von  $40^\circ$ - $90^\circ$  und eine Auflösung von  $1920 \times 1080$  Pixeln, während die Augenkameras eine Auflösung von  $648 \times 488$  Pixel bieten. Für die Studie wurden mithilfe des Eyetrackers sowie auch mithilfe der Software D-Lab (Ergoneers GmbH) die Parameter Anzahl an Fixationen, Fixationsdauer, Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS) und Index of Cognitive Activity (ICA) berechnet und ausgewertet.

## 4.2 Versuchsdurchführung

Im Folgenden werden die Durchführung und der Ablauf des Versuchs beschrieben. Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter unterzeichneten die Versuchsperso-



nen zunächst eine Einverständniserklärung und füllten einen Fragebogen mit demografischen Angaben aus. Daraufhin wurde zunächst die Nebenaufgabe instruiert und die physiologischen Messgeräte angebracht und kalibriert, bevor die eigentliche Versuchsdurchführung beginnen konnte. Insgesamt umfasste die Laborstudie vier Versuchsteile, wobei zu jedem dieselbe Nebenaufgabe bearbeitet wurde. Eine Übersicht über den Gesamtablauf des Versuchs gibt Abbildung 4.3. Eine detailliertere Übersicht über die vier Versuchsteile zeigt Abbildung 4.4.



**Abb. 4.3** Versuchsablauf

Dauer	Bildschirm 1 Hauptaufgabe	Bildschirm 2 Hauptaufgabe	Bildschirm 3 Nebenaufgabe	Versuchsteil
60 min				Bildwechsel
45 min				Spiegelung oder Zerrung
30 min				Augmented Reality
15 min				Perspektivische 3D Darstellung

**Abb. 4.4** Versuchsteile der Laborstudie mit etwaiger Durchführungsdauer und Übersicht über die Monitore

Die Unterteilung der Laborstudie in vier Versuchsteile mit unterschiedlicher Dauer wurde gewählt, um möglichst detaillierte Aussagen angemessen zur jeweiligen Teilfragestellungen des Forschungsprojektes treffen zu können. So konnte die Komplexität des Versuchsdesigns reduziert und gleichzeitig eine noch angemessene Durchführungsdauer der Studie für die Versuchspersonen gewährleistet werden. Insgesamt dauerte die Studiendurchführung für einen Probanden mit allen vier Versuchsteilen sowie der Vor- und Nachbereitung etwa drei Stunden. Um Ermüdungs- und Reihenfolgeeffekte zu vermindern, wurden die Versuchsteile sowie die im Versuchsteil enthaltenen Videosequenzen, in rotierter Reihenfolge dargeboten bzw. bearbei-

tet. Erfasst wurden in allen Versuchsblöcken sowohl Verhaltensdaten und subjektive Bewertungen als auch psychophysiologische Maße, auf die in den vorigen Abschnitten bereits eingegangen wurde.

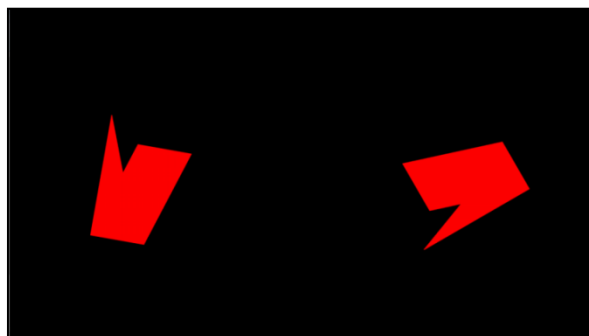
Im Folgenden wird zunächst die Nebenaufgabe vorgestellt und anschließend auf die vier Versuchsteile eingegangen.

#### 4.2.1 Nebenaufgabe

In allen Blöcken wurde neben der Hauptaufgabe auch ein Nebenaufgabenparadigma genutzt. Mit dessen Hilfe konnten, neben den oben genannten subjektiven und physiologischen Maßen, Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung durch die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten der Videos in der Hauptaufgabe anhand der verbleibenden mentalen Kapazität gezogen werden (MULDER, 1979).

Als Nebenaufgabe diente eine visuelle Aufgabe zur mentalen Rotation von Formen, die an die Aufgaben von SHEPARD und METZLER (1988) angelehnt ist und am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in dieser Form entwickelt und genutzt worden ist (SCHNEIDER & DEML, 2016). Darin wurden rote Formenpaare auf schwarzem Hintergrund gezeigt. Die Formenpaare zeigten jeweils zweimal dieselbe Figur, jedoch unterschiedlich gedreht (Abbildung 4.5) oder gedreht und gespiegelt (Abbildung 4.6) gezeigt wurden. Die Aufgabe der Teilnehmenden bestand darin, durch Betätigen einer farbig markierten Taste anzugeben, welcher Vorgang nötig wäre, um die beiden Figuren in einen deckungsgleichen Zustand zu überführen – entweder lediglich eine Drehung oder eine Spiegelung und eine Drehung. Dies wurde anhand des nachfolgenden Instruktionstextes erklärt:

„In der Nebenaufgabe werden Ihnen auf dem rechten Bildschirm nacheinander verschiedene geometrische Formen präsentiert. Zeitgleich erscheint je zweimal dieselbe Form. Manchmal unterscheiden sich die Darstellungen der Form darin, dass sie in unterschiedlichen Winkeln **gedreht** sind. Ein Beispiel für diesen Fall sehen Sie auf der nächsten Seite.“

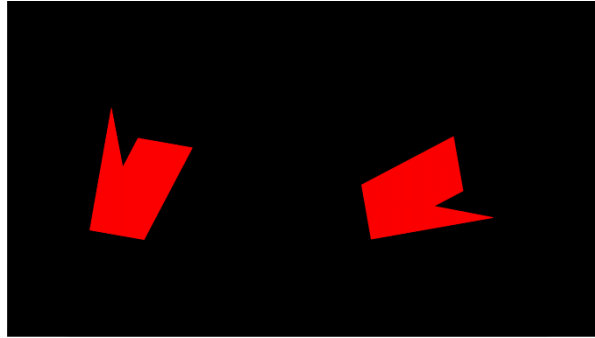


**Abb. 4.5** Gedrehtes Formenpaar

„Wenn Sie zwei Figuren sehen, die wie im vorigen Beispiel **lediglich gedreht**, aber nicht gespiegelt sind, drücken Sie bitte während der Präsentation die **blau** markierte Taste.“

„Manchmal sind sie neben der Drehung auch gespiegelt. Ein Beispiel für diesen Fall sehen Sie auf der nächsten Seite.“





**Abb. 4.6** Gedrehtes und gespiegeltes Formenpaar

„Wenn Sie zwei Figuren sehen, die wie im vorigen Beispiel gedreht **und gespiegelt** sind, drücken Sie bitte während der Präsentation die **rot** markierte Taste.“

Die Nebenaufgabe wurde bei jedem Versuchsblock parallel mit der Hauptaufgabe gestartet und sollte nur bearbeitet werden, wenn sich der Proband fähig fühlte, diese zusätzliche mentale Aufgabe zu bearbeiten. Jedes Paar wurde drei Sekunden gezeigt und der Proband wurde darauf hingewiesen, dass eine Eingabe in diesem Zeitintervall erfolgen muss, um die Aufgabe zu bearbeiten. Andernfalls könnte die Antwort nicht gewertet werden und die Aufgabe würde mit dem nächsten Formenpaar fortgesetzt. Anschließend wurde von den Teilnehmenden ein Übungsdurchgang absolviert, in dem sie sich mit der Nebenaufgabe vertraut machen konnten.

#### 4.2.2 Wechselbilder

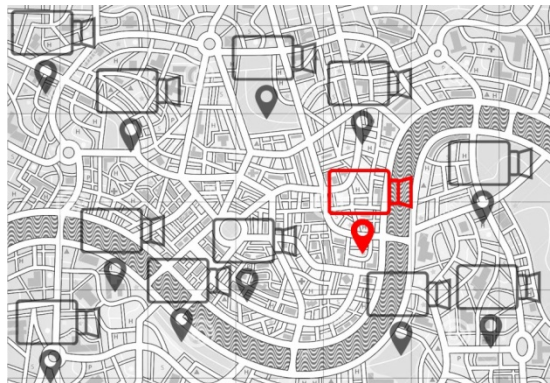
Im Versuchsblock Wechselbilder wird untersucht, welchen Effekt der automatische Bildwechsel zwischen verschiedenen Videokameras bei verschiedenen Frequenzen hat und welchen Einfluss darüber hinaus die unterschiedliche visuelle Komplexität des Videomaterials auf die mentale Beanspruchung des Operators hat.

Das Versuchsdesign hierzu stellt ein messwiederholtes 3 (Wechselfrequenz) x 2 (visuelle Komplexität)-Design dar, woraus eine Zahl von sechs Versuchsblöcken resultiert. Diese wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Insgesamt dauerte einer dieser Blöcke vier Minuten, wurde allerdings nach zwei Minuten durch einen Papierfragebogen unterbrochen. Diese Unterbrechung diente dazu, die Aufmerksamkeit des Probanden auf das Geschehen im Video sicherzustellen bzw. nicht überzustrapazieren. In dem Fragebogen sollte etwa die Anzahl an Personen im zuletzt gesehenen Bild geschätzt werden oder an die Umgebung erinnert werden.

In den Blöcken wurde als erster Faktor die Frequenz des automatischen Bildwechsels zwischen den Kameras in drei Stufen manipuliert, sodass das Bild entweder nach drei (schnelle Wechselfrequenz), sechs (mittlere Wechselfrequenz) oder neun Sekunden (langsame Wechselfrequenz) wechselte.

Als zweiter Faktor wurde die visuelle Komplexität des Videomaterials auf zwei Stufen manipuliert, indem sowohl wenig als auch hochkomplexes Videomaterial genutzt wurde. Das Videomaterial dafür wurde von frei zugänglichen Internetplattformen primär aus dem Bereich der Computer Vision, wie dem CUHK Crowd Dataset (SHAO, LOY & WANG, 2017) oder dem i-lids Dataset (AVSS, 2007) ausgewählt. Als Auswahlmerkmal wurde neben ausreichend langen Videoclips nur Material mit sehr vielen beziehungsweise sehr wenigen sichtbaren Personen ausgewählt, um Stimuli mit hoher oder geringer visueller Komplexität (vgl. OLIVA et al., 2004) zu generieren.

Zu Beginn erhielten die Teilnehmenden eine für den Versuchsteil spezifische, standardisierte Instruktion, in der der genaue Ablauf und die Aufgaben erklärt wurden. Diese wurden den Teilnehmenden mittels einer Powerpoint-Präsentation dargeboten, die diese selbstständig studieren konnten. Die Versuchsaufgabe wurde in eine Geschichte eingebettet, die dazu diente, dass die Teilnehmenden sich besser in die Studiensituation hineinversetzen konnten. Dazu sollten sie sich vorstellen, in einer Leitstelle der Polizei zu arbeiten, deren Aufgabe darin besteht, verschiedene Bereiche einer Stadt zu überwachen. Auf dem linken Bildschirm wurde den Probanden eine Übersicht der verschiedenen Standorte der Überwachungskameras präsentiert (vgl. Abbildung 4.7). Die Kamera, deren Bild auf dem mittleren Bildschirm zu sehen war, wurde dabei rot markiert.



**Abb. 4.7** Übersicht über die Überwachungskameras

Die Gesamtanordnung der Bildschirme im Versuchsteil Wechselbilder ist exemplarisch in Abbildung 4.8 dargestellt.



**Abb. 4.8** Versuchsteil Wechselbilder: Übersicht der Bildschirme

Die primäre Versuchsaufgabe bestand darin, während des Versuchs ein Video mit Menschen zu beobachten und darin auf kleine Alarmsymbole zu reagieren, die in unterschiedlichen Abständen und an zufälligen Orten im Video des mittleren Bildschirms für jeweils drei Sekunden gezeigt wurden. Insgesamt waren in jedem der sechs Blöcke 12 Alarmer zu sehen.

Sobald dieses Symbol erschien, sollten die Probanden auf die dafür gekennzeichnete Leertaste der Tastatur drücken. Diese Aufgabe ermöglichte die Erfassung von Leistungsdaten, so konnten sowohl die Reaktionszeiten als auch die Anzahl korrekter Reaktionen bei Erscheinen eines Warnsymbols ermittelt werden.

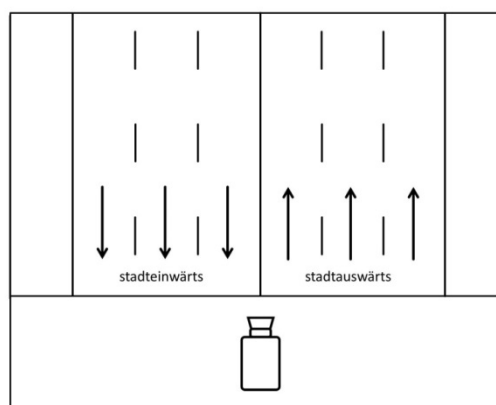
Die Versuchspersonen wurden weiterhin darauf hingewiesen, dass ein Kamerawechsel alle paar Sekunden stattfinden würde, da mehrere Gebiete zu überwachen wären. Die Länge der Videosequenzen würde dabei entweder drei, sechs oder neun

Sekunden betragen. Die Versuchspersonen wurden außerdem angewiesen, auf das Geschehen im Video zu achten. Ihnen wurde ein Papierfragebogen gezeigt, indem das beobachtete Geschehen aus der Videosequenz abgefragt wurde. Das Video wurde zu diesem Zweck nach zwei Minuten pausiert und die Versuchspersonen füllten den Papierfragebogen aus, bevor die zweite Hälfte des Versuchsblocks begann. Dieses Vorgehen sollte sicherstellen, dass die Probanden nicht nur auf das Alarmsymbol achteten, sondern auch die Gesamtsituation im Blick behielten.

### 4.2.3 Spiegelung und Zerrung

Im Versuchsteil Spiegelung und Zerrung wurden insbesondere Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung durch Anpassungen des Videos untersucht, etwa durch Weitwinkelobjektive (sogenannte Fischaugenobjektive) oder spiegelverkehrte Darstellungen. Weitwinkelobjektive werden eingesetzt, um einen größeren Bildausschnitt darzustellen, als dies mit anderen Objektiven möglich wäre (PIKAAR et al., 2015). Seitenverkehrte Darstellungen können beispielsweise auftreten, wenn eine Videokamera etwa aus baulichen Gründen nur entgegengesetzt zur üblichen Ausrichtung aufgestellt werden kann. Zur Untersuchung der Auswirkungen dieser Anpassungen von Videodarstellungen wurde ein messwiederholtes, einfaktorielles Versuchsdesign mit vier Faktorstufen genutzt. In diesem wurden sowohl Videomaterial ohne Anpassungen als auch mit schwacher und starker Fischaugenverzerrung sowie mit Spiegelung an der vertikalen Bildachse gezeigt. Die Versuchsaufgabe bestand ebenfalls in einer Reaktionsaufgabe. Die Versuchspersonen sollten sich vorstellen, in einer Verkehrsleitstelle zu arbeiten. Ihre Aufgabe stellt die Überwachung einer dreispurigen Autobahn dar. Ein weißes Auto stellte den Zielreiz dar. Sobald dieses auf der linken oder rechten Spur der vom Betrachter wegführenden Richtungsfahrbahn erschien, sollte die linke bzw. rechte Pfeiltaste der Tastatur gedrückt werden (diese waren zudem grün und gelb markiert). Fahrzeuge auf der mittleren Spur und auf allen Spuren der dem Betrachter entgegenkommenden Richtungsfahrbahn sollten nicht berücksichtigt werden.

Während der Aufgabe wurde den Versuchspersonen auf dem linken Monitor eine Übersicht gezeigt, die den Versuchspersonen skizzenhaft einen Überblick über die Situation geben und zur Orientierung dienen sollte. Diese ist in Abbildung 4.9 zu sehen.



**Abb. 4.9** Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen, Übersichtsdarstellung auf dem linken Bildschirm

Auf dem mittleren Bildschirm sahen die Versuchspersonen die Aufnahmen einer Autobahnkamera. Diese stammten von DRIVECAM.UK (2017) und wurden gespiegelt, sodass die Verkehrsrichtung dem deutschen Rechtsverkehr entspricht und nicht wie im Original dem britischen Linksverkehr. Daraus wurden anschließend vier Stücke von jeweils vier Minuten ausgewählt, welche geschnitten und mithilfe der Software Adobe After Effects jeweils einmal für jede der vier Bedingungen (keine Anpassung, schwache Zerrung, starke Zerrung, Spiegelung) überarbeitet wurden. Dadurch sollte ausgeschlossen werden, dass eine Darstellungsmöglichkeit mit einem spezifischen Video verknüpft ist und mögliche Konfundierungseffekte durch spezifischen Inhalt des Videos auftreten, die womöglich nicht auf die Darstellungsvariante zurückgehen. Aus den resultierenden Videos wurde für jede Versuchsperson in zufälliger Zuordnung eines für jede Darstellungsmöglichkeit ausgewählt und die vier ausgewählten Videos in zufälliger Reihenfolge dargeboten, wodurch wiederum Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen wurden. Vor Beginn der Versuchsblöcke konnten sich die Versuchspersonen mit den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten vertraut machen.

Die Versuchspersonen wurden in der Vorbereitung darauf aufmerksam gemacht, dass bei der gespiegelten Darstellung Videodarstellung und Realität nicht mehr übereinstimmen. Autos, die im gespiegelten Video auf der linken Fahrspur zu sehen waren, fuhren in der Realität auf der rechten Spur, entsprechend waren Fahrzeuge, die im Video auf der rechten Spur zu sehen waren, in der Realität auf der linken Spur unterwegs. Die Antwort der Probanden sollte sich auf die Fahrspur in der Realität beziehen, d.h. auf ein Auto auf der linken Fahrspur sollte der rechten Taste reagiert werden und umgekehrt.

Auch in diesem Versuchsteil wurde die Anzahl der korrekten Reaktionen sowie die Reaktionszeiten ermittelt und ausgewertet. Dazu wurden für jedes Video sechs weiße Autos ausgewählt, denen im Abstand von mindestens vier Sekunden kein weißes Auto voranging und innerhalb von mindestens drei Sekunden keines nachfolgte, um die mögliche Eingabe eindeutig dem Zielreiz zuordnen zu können. Wie auch im Versuchsteil Bildwechsel wurde das Video nach zwei Minuten unterbrochen. Daraufhin bearbeiteten die Versuchspersonen einen Papierfragebogen zum Geschehen, der im Anhang zu finden ist. Dies sollte die Aufmerksamkeit auf das Video sicherstellen.

Die Anordnung der Bildschirme im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen ist beispielhaft in Abbildung 4.10 dargestellt.



**Abb. 4.10** Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen: Übersicht der Bildschirme

#### 4.2.4 Augmented Reality

Im Versuchsteil Augmented Reality wurde untersucht, wie die Einblendung von Hinweisen und deren Verlässlichkeit die mentale Beanspruchung der Operateure beeinflusst. Dazu wurde ein messwiederholtes, einfaktorielles Versuchsdesign mit drei Faktorstufen genutzt. Während in der ersten Bedingung keine Hinweise eingeblendet wurden, wurden in der zweiten Bedingung sowohl korrekte als auch unzuverlässige Hinweise eingeblendet und in der dritten Bedingung nur zuverlässige Hinweise.

Die Versuchspersonen sollten sich in diesem Versuchsteil vorstellen, sie würden in einer Sicherheitsfirma arbeiten und ihre Aufgabe bestünde in der Überwachung von Büroräumen, in denen bereits des Öfteren wichtige Unterlagen entwendet worden waren. Dabei nutzte der Dieb stets einen gelben Stoffbeutel, in dem er die gestohlenen Unterlagen verstaute. Die Probanden wurden gebeten, den Dieb zu beobachten und auf Diebstähle durch Druck auf die markierte Leertaste zu reagieren.

Das Videomaterial für diesen Versuchsteil wurde speziell für die Laborstudie selbst erstellt. Dabei wurden mithilfe von vier Kameras Videos verschiedener Bereiche eines Gebäudes parallel aufgezeichnet und diese innerhalb der Studie parallel wiedergegeben (siehe Abbildung 4.11). Insgesamt wurden drei Videos mit drei verschiedenen, stets weiblichen Dieben aufgezeichnet. Diese betraten zu Beginn des Videos das Gebäude und gingen nacheinander durch verschiedene Räume. In jeweils vier zufällig ausgewählten Zimmern nahm jeder Dieb einen Umschlag, trat mit diesem auf den Gang und steckte ihn für die Kamera sichtbar in den gelben Stoffbeutel, bevor er zum nächsten Raum weiterging. Insgesamt gab es also vier Diebstähle, auf die reagiert werden sollte. Neben dem Dieb waren noch weitere Statisten im Video zu sehen, die sich durch das Gebäude bewegten. Auch diese erhielten vorab eine Anweisung, sodass das Verhalten über die verschiedenen Videos ähnlich war.



**Abb. 4.11** Versuchsteil Augmented Reality: Parallele Videodarstellungen

Die aufgenommenen Videos wurden anschließend so bearbeitet, dass von jedem Video mit einem Dieb drei verschiedene Versionen existierten, die den drei Versuchsbedingungen entsprachen. In der ersten Bedingung *Keine Augmentierung* wurden keine weiteren Bearbeitungen am Videomaterial vorgenommen. In der zweiten Bedingung *Unzuverlässige Augmentierung* wurden zwei der vier Diebstähle mithilfe eines roten Rahmens markiert, der auf dem Dieb für eine Dauer von drei Sekunden erschien und sich mit dem Dieb mitbewegte. Die zwei anderen Diebstähle wurden nicht markiert, allerdings erschien der rote Rahmen dafür zwei weitere Male fälschli-



cherweise, ohne dass ein Diebstahl erfolgte. In der dritten Bedingung *Zuverlässige Augmentierung* wurden alle vier Diebstähle durch den roten Rahmen korrekt markiert. Die exemplarische Darstellung eines Diebstahls, der mithilfe eines roten Rahmens markiert wurde, ist in Abbildung 4.12 zu sehen. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, auf jeden Diebstahl, ob markiert oder nicht, mit Druck auf die Leertaste zu reagieren.

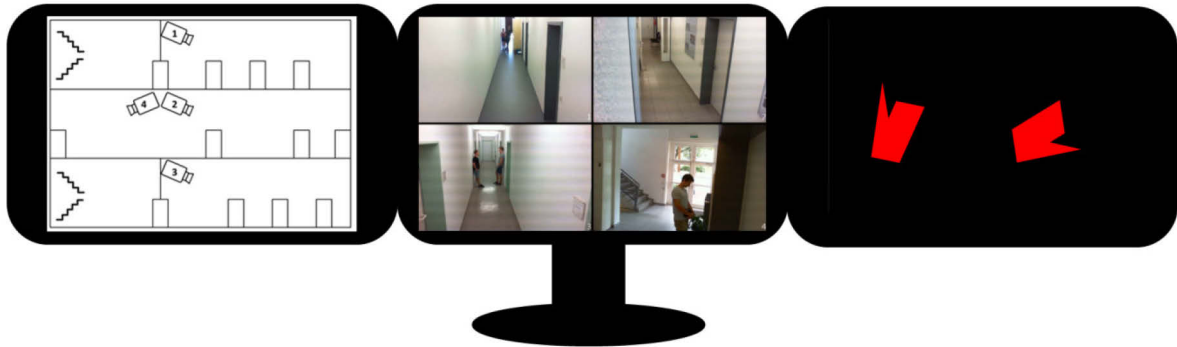


**Abb. 4.12** Versuchsteil Augmented Reality: Markierung eines Diebstahls

Ähnlich wie im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen wurden die Anpassungen für jedes Video einzeln vorgenommen, um auszuschließen, dass mögliche Effekte durch systematische Unterschiede im zugrundeliegenden Video hervorgerufen werden. Aus den Videos wurde deshalb für jede Versuchsperson in zufälliger Zuordnung eines für jede Darstellungsmöglichkeit ausgewählt und die drei ausgewählten Videos in zufälliger Reihenfolge dargeboten, wodurch wiederum Reihenfolgeeffekte der Bedingungen ausgeschlossen werden sollten.

Auch in diesem Versuchsteil wurde die Anzahl der korrekten Reaktionen sowie die Reaktionszeiten für die vier Diebstähle in jedem Versuchsblock ermittelt und ausgewertet. Wie auch in den beiden zuvor beschriebenen Versuchsteilen wurde das Video nach zwei Minuten unterbrochen, um durch die Durchführung eines Papierfragebogens (siehe Anhang) die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf das Geschehen im Video sicherzustellen.

Die Gesamtanordnung der Bildschirme im Versuchsteil Augmented Reality ist beispielhaft in Abbildung 4.13 dargestellt. Auf dem linken Bildschirm wurde auch hier wiederum ein skizzenhafter Überblick über die Räumlichkeiten für die bessere Orientierung der Versuchspersonen gezeigt.



**Abb. 4.13** Versuchsteil Augmented Reality: Übersicht der Bildschirme

#### 4.2.5 Perspektivische 3D-Darstellungen

Im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen wurden mögliche Unterschiede von perspektivischen 3D-Darstellungen im Vergleich zu 2D-Darstellungen in einer Video-Suchaufgabe untersucht. Dazu wurde ein messwiederholtes, einfaktorielles Versuchsdesign mit zwei Faktorstufen genutzt. Während in der ersten Bedingung ein Video mit 2D-Ansicht im 90°-Blickwinkel gezeigt wurde, wurde in der zweiten Bedingung ein Video im 45°-Blickwinkel mit perspektivischer 3D-Ansicht gezeigt.

Die Aufgabe der Versuchspersonen in diesem Versuchsteil bestand darin, bestimmte Gebäude in einem Video zu entdecken, mit denen sie sich zuvor anhand von Abbildungen vertraut machen konnten. Sie würden im Video entlang einer Straße fliegen und im Laufe des vierminütigen Videos die vier zuvor eingprägten Gebäude sehen. Sobald sie eines der vier Gebäude entdeckten, sollten sie die farbig markierte linke Pfeiltaste drücken, falls dieses sich links von der Straße befände bzw. die ebenfalls farbig markierte rechte Pfeiltaste, falls dieses sich rechts von der Straße befände.

Das Videomaterial für diesen Versuchsteil wurde selbst erzeugt. Dafür wurde die Software Google Earth Pro genutzt, in der die Blickwinkel und Ansichtsoptionen entsprechend eingestellt werden konnten. Um möglichen Vertrautheitseffekten weitestgehend vorzubeugen, wurden hierfür Satellitenaufnahmen der US-Amerikanischen Stadt Tampa genutzt. Die Videos wurden in einer schwarz-weiß Ansicht gezeigt, um mögliche Effekte unterschiedlicher Einfärbung und Kontraste bei 2D- und 3D-Ansicht auszuschließen.

Ähnlich wie in den Versuchsteilen Spiegelungen und Zerrungen sowie Augmented Reality wurden auch in diesem Versuchsteil zwei Videos erstellt, je eine Variante in 2D und eine in 3D. Dieses Verfahren wurde gewählt, um auszuschließen, dass mögliche Effekte nicht durch die Perspektive, sondern durch potentielle systematische Unterschiede im zugrundeliegenden Video hervorgerufen werden, was zu Konfundierungen führen könnte. Aus den resultierenden Videos wurde deshalb für jede Versuchsperson in zufälliger Zuordnung eines für jede Perspektive ausgewählt und die Videos in zufälliger Reihenfolge dargeboten, wodurch wiederum Reihenfolge-Effekte der Bedingungen ausgeschlossen wurden.

Auch in diesem Versuchsteil wurde die Anzahl der korrekten Reaktionen sowie die Reaktionszeiten für die vier Gebäude in jedem Versuchsblock ermittelt und ausgewertet.

Die Gesamtanordnung der Bildschirme im Versuchsteil Perspektivisches 3D ist beispielhaft in Abbildung 4.14 dargestellt. Der linke Bildschirm blieb in diesem Versuchsteil schwarz.



**Abb. 4.14** Versuchsteil Perspektivisches 3D, Übersicht der Bildschirme

#### 4.2.6 Datenanalyse und Auswertung

Auf die Aufbereitung der physiologischen Daten wurde bereits unter dem Punkt 4.1.2 näher eingegangen. Konnten Parameter für einzelne Versuchspersonen oder Blöcke nicht berechnet werden, wurden diese als fehlende Werte gekennzeichnet. Für die Identifikation und den Ausschluss von Ausreißern wurde die Median Absolute Deviation (MAD) genutzt, welche ein robustes Verfahren im Umgang mit Ausreißern darstellt (LEYS, LEY, KLEIN, BERNARD & LICATA, 2013). Dabei wurde ein moderat konservatives Kriterium von 2.5 verwendet. Die inferenzstatistische Auswertung aller Parameter erfolgte mithilfe Linearer Mixed-Effect Regressionen (LMER) oder Generalisierter Linearer Mixed-Effect Regressionen (GLMER) unter Nutzung des lme4-Pakets in R (BATES, MÄCHLER, BOLKER & SC, 2013). Im Vergleich zum traditionelleren Ansatz der messwiederholten ANOVA erlauben es LMER bzw. GLMER, die Varianz von Zufallsfaktoren ohne die Aggregation von Daten zu kontrollieren (BAAYEN, DAVIDSON & BATES, 2008; JUDD, WESTFALL & KENNY, 2012). Durch die Nutzung von Zufallseffekten für die Versuchspersonen wurde der Einfluss der unterschiedlichen Mittelwerte der Versuchspersonen kontrolliert. Um den Bericht übersichtlich zu halten, werden im Folgenden nur die F-Tests zu den Ergebnissen der Regressionsmodelle sowie gegebenenfalls Ergebnisse von Tukey-Post-hoc-Tests berichtet.

### 4.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Laborstudie zu jedem der vier Versuchsteile präsentiert. Zunächst werden die Ergebnisse des Versuchsteils Wechselbilder dargelegt, anschließend die Ergebnisse des Versuchsteils Spiegelungen und Zerrungen. Darauf folgt der Versuchsteil Augmented Reality und schließlich der Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen. Dabei werden für jeden Versuchsteil die Ergebnisse der subjektiven Angaben berichtet, gefolgt von den Ergebnissen der Leistungsmaße und schließlich die physiologischen Parameter. Unter dem Punkt subjektive Angaben werden die Ergebnisse für die mentale Beanspruchung, die Ge-



brauchstauglichkeit, die geschätzte Beanspruchung in einer 8-Stunden Schicht, die visuelle Komplexität sowie die Komplexität der Aufgabe berichtet. Der Wertebereich für die mentale Beanspruchung (NASA-TLX) umfasst den Bereich von 1 bis 20 und der Wertebereich für die Gebrauchstauglichkeit (SUS) umfasst den Bereich von 0 bis 60. Die Wertebereiche für die drei Maße Beanspruchung in einer 8-Stunden Schicht, Visuelle Komplexität und Komplexität der Aufgabe reichen von 0 bis 6. Als Leistungsmaße wurden der Prozentsatz korrekt erkannter Alarme sowie die Reaktionszeit auf die Alarme in der Hauptaufgabe erhoben. Zusätzlich wurde die Anzahl korrekter Antworten in der Nebenausgabe erfasst. Dabei werden nur Versuchsblöcke berücksichtigt, bei denen mindestens eine richtige Antwort auf die Nebenaufgabe gegeben wurde. Ansonsten kann davon ausgegangen werden, dass die Nebenaufgabe nicht ernsthaft bearbeitet worden ist. Als physiologische Maße wurden die im Methodenteil berichteten EKG, EDA- und Eye-Tracking-Parameter ausgewertet, die im Zusammenhang mit mentaler Beanspruchung als relevant betrachtet werden. Unter die EKG-Parameter fallen dabei die mittlere Herzrate, RMSSD sowie die Power im niedrigen Frequenzbereich. Bei den EDA-Parametern werden das Hautleitfähigkeitsniveau, die Fläche unter der Kurve, die Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen sowie die mittlere Amplitudenhöhe berichtet. Zu den betrachteten okularen Parametern zählen die Fixationsdauer, die Anzahl an Fixationen, der Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS) sowie der Index of Cognitive Activity (ICA). Nachfolgend werden sowohl die deskriptiven als auch die inferenzstatistischen Ergebnisse der Parameter für die vier Versuchsteile berichtet. Die nachfolgenden Tabellen der Ergebnisse in Kapitel 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 und 4.3.4 enthalten jeweils die Mittelwerte ( $M$ ) und Standardabweichungen ( $SD$ ).

### 4.3.1 Versuchsteil Wechselbilder

Im Versuchsteil Wechselbilder wurden entsprechend der Forschungsfrage innerhalb eines messwiederholten 3 (Wechselfrequenz) x 2 (Komplexität)-Designs die Effekte der beiden Faktoren auf verschiedene abhängige Variablen untersucht, die einen Einblick in die mentale Beanspruchung des Operateurs und eine Bewertung der Darstellungsmöglichkeit ermöglichen. Der erste Faktor wurde so manipuliert, dass das Bild zwischen verschiedenen Kameras entweder nach drei (schnell), sechs (mittel) oder neun (langsam) Sekunden wechselte. Zur Manipulation des zweiten Faktors dagegen wurde entweder Videomaterial mit sehr vielen Personen (hochkomplex) oder sehr wenigen Personen (wenig komplex) verwendet.

#### 4.3.1.1 Subjektive Angaben

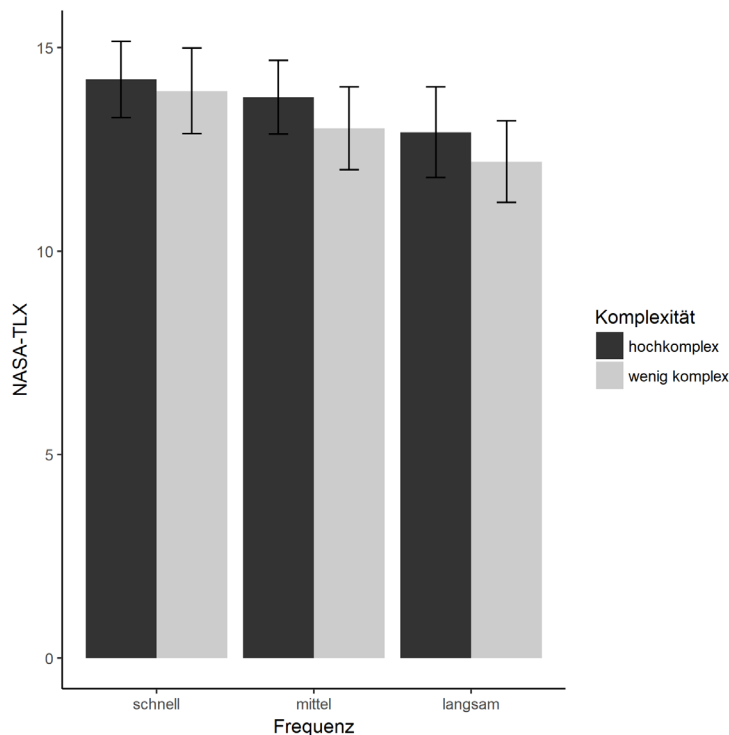
#### **Mentale Beanspruchung – NASA-TLX**

Es zeigte sich, dass die Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 32.73$ ,  $p < .001$ , wie auch die Komplexität des Videomaterials,  $\chi^2(1) = 8.21$ ,  $p < .01$ , signifikanten Einfluss auf die mittlere Bewertung der NASA-TLX-Skalen haben. Der Interaktionseffekt Frequenz x Komplexität hat jedoch keinen signifikanten Einfluss,  $\chi^2(2) = 1.10$ ,  $p = .58$  auf die Beanspruchungsbewertung. Tukey-Post-hoc-Tests zeigen, dass die mentale Beanspruchung bei Videosequenzen von sechs Sekunden signifikant geringer bewertet wurde als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -0.68$ ,  $SE = 0.25$ ,  $p < .05$ ), bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -1.52$ ,  $SE = 0.25$ ,  $p < .001$ ) und bei Videosequenzen von neun Sekunden

signifikant geringer als bei Sequenzen von sechs Sekunden ( $\beta = -0.84$ ,  $SE = 0.25$ ,  $p < .01$ ). Außerdem ging wenig komplexes Videomaterial mit geringerer mentale Beanspruchung einher als hochkomplexes Videomaterial ( $\beta = -0.59$ ,  $SE = 0.20$ ,  $p < .01$ ). Die deskriptiven Daten hierzu sind auch in Abbildung 4.15 dargestellt.

**Tab. 4.1** Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	14.22	2.79	13.78	2.69	12.92	3.31
wenig komplex	13.94	3.12	13.02	3.04	12.20	2.97



**Abb. 4.15** Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Bildwechsel. Die Konfidenzintervalle bezeichnen den Standardfehler.

### Gebrauchstauglichkeit – System Usability Scale (SUS)

Die Ergebnisse weisen einen signifikanten Einfluss der Wechselfrequenz auf die SUS-Werte auf ( $\chi^2(2) = 35.06$ ,  $p < .001$ ). Die Post-hoc-Tests zeigten, dass die Usability bei Videosequenzen von sechs Sekunden signifikant höher bewertet wurde als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = 4.47$ ,  $SE = 1.14$ ,  $p < .001$ ) und bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant höher bewertet wurde als bei Sequenzen

von drei Sekunden ( $\beta = 7.07$ ,  $SE = 1.14$ ,  $p < .001$ ). Der Faktor Komplexität,  $\chi^2(1) = 1.14$ ,  $p = .28$ , sowie der Interaktionsfaktor Frequenz x Komplexität,  $\chi^2(2) = 3.14$ ,  $p = .21$ , hatten keinen signifikanten Einfluss.

**Tab. 4.2** Gebrauchstauglichkeit im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	31.21	13.83	33.68	12.78	37.50	11.08
wenig komplex	30.35	13.10	36.82	11.53	38.21	11.45

### 8-Stunden-Schicht

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 16.30$ ,  $p < .001$ , auf die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht gezeigt werden. Die Post hoc-Tests zeigten, dass die geschätzte Beanspruchung bei Videosequenzen von sechs Sekunden signifikant geringer war als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -0.28$ ,  $SE = 0.11$ ,  $p < .05$ ) und bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer war als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -0.47$ ,  $SE = 0.11$ ,  $p < .001$ ). Es zeigte sich weder ein signifikanter Effekt der Komplexität,  $\chi^2(1) = 0.44$ ,  $p = .78$ , noch der Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 0.94$ ,  $p = .62$ .

**Tab. 4.3** Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	5.35	1.18	5.09	1.29	4.79	1.59
wenig komplex	5.32	1.09	5.03	1.36	4.94	1.41

### Visuelle Komplexität

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 11.33$ ,  $p < .01$ , auf die subjektiv eingeschätzte visuelle Komplexität gezeigt werden. Die Post hoc-Tests zeigten, dass die visuelle Komplexität bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer eingeschätzt wurde als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -0.51$ ,  $SE = 0.16$ ,  $p < .01$ ) und bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer als bei Sequenzen von sechs Sekunden ( $\beta = -0.38$ ,  $SE = 0.16$ ,  $p < .05$ ). Es zeigte sich weder ein signifikanter Effekt der Komplexität,  $\chi^2(1) = 0.59$ ,  $p = .44$ , noch der Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 0.58$ ,  $p = .75$ .

**Tab. 4.4** Visuelle Komplexität im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	4.35	1.39	4.26	1.48	3.76	1.72
wenig komplex	4.24	1.37	4.06	1.56	3.79	1.49

**Komplexität der Aufgabe**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz auf die subjektiv eingeschätzte Komplexität der Aufgabe gezeigt werden,  $\chi^2(2) = 17.34$ ,  $p < .001$ . Die Post hoc-Tests zeigten, dass die Komplexität der Aufgabe bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer eingeschätzt wurde als bei Sequenzen von drei Sekunden ( $\beta = -0.54$ ,  $SE = 0.13$ ,  $p < .001$ ). Es zeigte sich weder ein signifikanter Effekt der Komplexität,  $\chi^2(1) = 0.01$ ,  $p = .92$ , noch der Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 3.03$ ,  $p = .22$ .

**Tab. 4.5** Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	4.32	1.47	3.94	1.39	3.56	1.62
wenig komplex	4.12	1.43	3.94	1.46	3.79	1.47

4.3.1.2 Leistungsmaße**Leistung in der Hauptaufgabe – Anzahl korrekt erkannter Alarme**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos auf die Anzahl an korrekt erkannten Alarmen gezeigt werden,  $\chi^2(1) = 20.51$ ,  $p < .001$ . Die Post hoc-Tests zeigten, dass die Anzahl an Treffern bei wenig komplexen Videosequenzen signifikant höher war als bei hochkomplexen Videos ( $\beta = 0.056$ ,  $SE = 0.012$ ,  $p < .001$ ). Es zeigte sich jedoch weder ein signifikanter Effekt der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 0.94$ ,  $p = .62$ , noch der Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 0.25$ ,  $p = .88$ .

**Tab. 4.6** Anzahl korrekt erkannter Alarme im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	0.86	0.15	0.84	0.15	0.83	0.11
wenig komplex	0.90	0.13	0.90	0.11	0.90	0.10

**Leistung in der Hauptaufgabe – Reaktionszeit**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 43.52$ ,  $p < .001$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 10.51$ ,  $p < .01$ , auf die Reaktionszeit in Millisekunden (ms) gezeigt werden. Es zeigte sich kein signifikanter Effekt der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 1.81$ ,  $p = .41$ .

**Tab. 4.7** Reaktionszeit (in ms) in der Hauptaufgabe im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	1376.94	217.61	1418.69	268.70	1350.62	227.07
wenig komplex	1276.97	214.78	1158.33	163.93	1234.23	203.36

**Nebenaufgabe – Anzahl korrekter Antworten**

Insgesamt wurden hier 101 der 204 Fälle von der Analyse ausgeschlossen, weil in den entsprechenden Versuchsblöcken keine korrekte Antwort gegeben wurde. Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 3.42$ ,  $p = .18$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 1.06$ ,  $p = .30$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 2.96$ ,  $p = .23$ , auf die Anzahl der richtigen Antworten in der Nebenaufgabe gezeigt werden.

**Tab. 4.8** Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	41.76	19.84	46.06	19.47	47.50	20.12
wenig komplex	47.17	18.16	47.73	21.59	44.21	22.19

4.3.1.3 Physiologische Maße**EKG - Mittlere Herzrate**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 0.36$ ,  $p = .84$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 1.75$ ,  $p = .19$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 0.41$ ,  $p = .82$ , auf die mittlere Herzrate (Einheit: Herzschläge pro Minute) gezeigt werden.

**Tab. 4.9** Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	73.79	10.85	73.81	11.50	73.67	11.33
wenig komplex	73.37	10.93	73.68	11.14	73.51	10.93

**EKG - RMSSD**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz auf die RMSSD-Werte gezeigt werden,  $\chi^2(2) = 8.26$ ,  $p < .05$ . Die Post hoc-Tests zeigten, dass die RMSSD-Werte bei Videosequenzen mit neun Sekunden signifikant höher war als bei Videosequenzen mit drei Sekunden ( $\beta = 0.063$ ,  $SE = 0.023$ ,  $p < .05$ ). Es zeigte sich jedoch weder ein signifikanter Effekt der Komplexität,  $\chi^2(1) = 1.05$ ,  $p = .31$ , noch der Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 0.03$ ,  $p = .98$ .

**Tab. 4.10** RMSSD (in ms) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	12.93	4.89	13.76	5.16	13.66	5.74
wenig komplex	13.61	5.36	13.80	5.31	14.41	6.29

**EKG - Power im niedrigen Frequenzbereich**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 4.76$ ,  $p < .05$  auf die Power im niedrigen Frequenzbereich gezeigt werden. Post hoc-Tests zeigten, dass die Power im niedrigen Frequenzbereich bei simplen Videosequenzen Sekunden signifikant höher war als bei komplexen Videosequenzen ( $\beta = 0.13$ ,  $SE = 0.052$ ,  $p < .05$ ). Weder die Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 2.95$ ,  $p = .23$ , noch die Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 1.74$ ,  $p = .42$ , zeigten jedoch einen signifikanten Effekt.

**Tab. 4.11** Power (in ms<sup>2</sup>) im niedrigen Frequenzbereich im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	294.88	216.07	339.86	226.67	365.87	246.58
wenig komplex	400.02	245.34	375.38	286.32	415.09	282.30

**EDA - Hautleitfähigkeitsniveau**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 4.15$ ,  $p = .13$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 3.28$ ,  $p = .07$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 1.70$ ,  $p = .43$ , auf das mittlere Hautleitfähigkeitsniveau gezeigt werden.

**Tab. 4.12** Hautleitfähigkeitsniveau (in  $\mu\text{S}$ ) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	2.04	0.52	2.03	0.54	2.01	0.55
wenig komplex	2.01	0.51	2.02	0.49	2.00	0.52

**EDA - Fläche unter der Kurve**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 5.38$ ,  $p < .05$  auf die Fläche unter der Kurve gezeigt werden. Post hoc-Tests zeigten, dass die Fläche unter der Kurve bei simplen Videosequenzen signifikant geringer war als bei komplexen Videosequenzen ( $\beta = -0.0024$  SE = 0.0010,  $p < .05$ ). Weder die Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 1.17$ ,  $p = .56$ , noch die Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 0.28$ ,  $p = .87$ , zeigten jedoch einen signifikanten Effekt.

**Tab. 4.13** Fläche unter der Kurve (in  $\mu\text{S}\cdot\text{s}$ ) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	0.062	0.017	0.062	0.018	0.061	0.018
wenig komplex	0.058	0.016	0.060	0.018	0.058	0.017

### EDA - Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 0.52$ ,  $p = .77$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 1.46$ ,  $p = .23$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 2.47$ ,  $p = .29$ , auf die Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen gezeigt werden.

**Tab. 4.14** Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	15.46	9.64	16.22	10.42	18.31	12.57
wenig komplex	15.80	10.26	16.32	11.97	15.56	10.38

### EDA - Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 8.57$ ,  $p < .05$  auf die mittlere Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen gezeigt werden. Post hoc-Tests zeigten, dass die mittlere Amplitude bei Videosequenzen von drei Sekunden signifikant höher war als bei Videosequenzen von sechs Sekunden ( $\beta = -0.0035$  SE = 0.0012,  $p < .001$ ). Weder die Komplexität,  $\chi^2(1) = 0.23$ ,  $p = .63$ , noch die Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 1.97$ ,  $p = .37$ , zeigten jedoch einen signifikanten Effekt.

**Tab. 4.15** Hautleitfähigkeitsniveau (in  $\mu\text{S}$ ) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	2.04	0.52	2.03	0.54	2.01	0.55
wenig komplex	2.01	0.51	2.02	0.49	2.00	0.52

### Eye-Tracking – Fixationsdauer

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 1.07$ ,  $p = .59$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 0.00$ ,  $p = .93$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 0.87$ ,  $p = .65$ , auf die Fixationsdauer gezeigt werden.



**Tab. 4.16** Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	356.53	71.97	357.46	69.98	348.94	72.25
wenig komplex	360.01	71.35	357.61	69.82	357.45	62.67

**Eye-Tracking - Anzahl an Fixationen**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 0.34$ ,  $p = .84$ , der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 0.41$ ,  $p = .52$ , sowie der Interaktion zwischen der Wechselfrequenz und der Komplexität,  $\chi^2(2) = 3.04$ ,  $p = .22$ , auf die Anzahl an Fixationen gezeigt werden.

**Tab. 4.17** Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	284.18	48.43	284.87	47.62	290.54	46.06
wenig komplex	283.04	47.65	285.77	45.47	282.35	37.34

**Eye-Tracking - Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS)**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 21.86$ ,  $p < .001$ , sowie der Komplexität,  $\chi^2(1) = 20.45$ ,  $p < .001$ , auf den Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS) gezeigt werden. Post hoc-Tests zeigten, dass die PERCLOS-Werte bei Videosequenzen von neun Sekunden signifikant größer waren als bei Videosequenzen von drei Sekunden ( $\beta = 0.16$ ,  $SE = 0.039$ ,  $p < .001$ ) und von sechs Sekunden ( $\beta = 0.11$ ,  $SE = 0.037$ ,  $p < .05$ ) sowie für simple Videos größer war als für komplexe Videos ( $\beta = 0.15$ ,  $SE = 0.030$ ,  $p < .001$ ). Die Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 1.54$ ,  $p = .46$ , zeigte keinen signifikanten Effekt.

**Tab. 4.18** Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS in Prozent) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	2.96	2.57	3.54	2.55	3.70	2.35
wenig komplex	3.77	2.65	3.89	2.50	4.40	2.66

**Eye-Tracking - Index of Cognitive Activity (ICA)**

Es konnte ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos,  $\chi^2(1) = 9.21$ ,  $p < .01$  auf den ICA gezeigt werden. Post hoc-Tests zeigten, dass der ICA bei komplexen Videosequenzen signifikant größer war als bei simplen Videosequenzen ( $\beta = 8.09$  SE = 2.65,  $p < .01$ ). Weder für die Wechselfrequenz,  $\chi^2(2) = 1.12$ ,  $p = .57$ , noch die Interaktion der beiden Faktoren,  $\chi^2(2) = 2.94$ ,  $p = .23$ , zeigte sich ein signifikanter Effekt.

**Tab. 4.19** Index of Cognitive Activity (ICA in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Wechselbilder

	Frequenz					
	schnell		mittel		langsam	
Komplexität	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
hochkomplex	286.00	34.49	282.40	41.43	278.54	38.61
wenig komplex	269.84	45.31	270.18	43.49	275.57	32.54

**Fazit**

Zusammenfassend lässt sich zu den Ergebnissen festhalten, dass im Versuchsteil Wechselbilder sowohl anhand der subjektiven Angaben als auch von Leistungs- und physiologischen Maßen gezeigt werden konnte, dass sowohl die Frequenz automatischer Bildwechsel zwischen verschiedenen Kameras als auch die visuelle Komplexität des Videomaterials die mentale Beanspruchung von Leitwarten-Operateuren beeinflussen. Dabei führten sowohl schnellere Bildwechsel als auch komplexeres Videomaterial zu höherer mentaler Beanspruchung. Ein ähnliches Bild zeigte sich für die Usability, auf die insbesondere die Wechselfrequenz einen signifikanten Einfluss hatte, wie auch für die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht sowie für die Beurteilung der visuellen Komplexität des Videomaterials sowie der Komplexität der Aufgabe. Bei den Leistungsdaten zeigte sich ein Einfluss sowohl der Wechselfrequenz als auch der Komplexität des Videomaterials bei der Anzahl an korrekt erkannten Alarmen. Unter den physiologischen Parametern zeigten sich sowohl für einige EKG-, EDA- als auch Eye-Tracking-Parameter Effekte der Faktoren.

## 4.3.2 Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

### 4.3.2.1 Subjektive Angaben

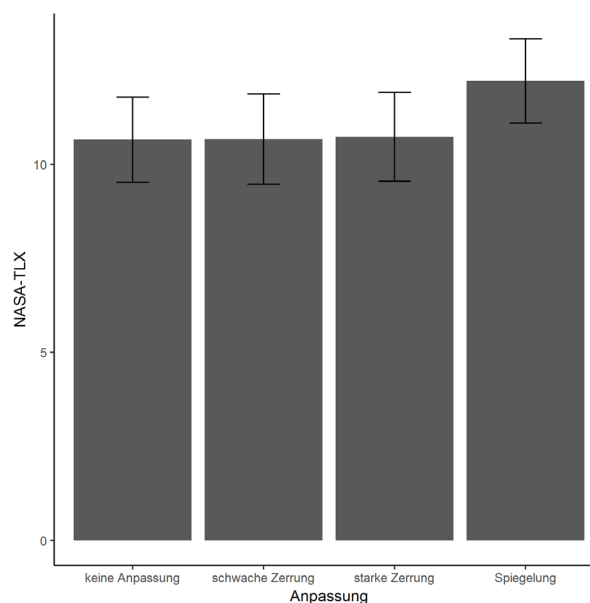
#### Mentale Beanspruchung – NASA-TLX

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die mittlere Bewertung der NASA-TLX-Skalen hat,  $\chi^2(3) = 20.75$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die subjektive mentale Beanspruchung bei Spiegelungen an der vertikalen Bildachse signifikant höher bewertet wurde als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = 1.55$ ,  $SE = 0.39$ ,  $p < .001$ ). Für das Videomaterial mit schwacher oder starker Zerrung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zur Version ohne Anpassung.

Die deskriptiven Daten hierzu sind auch in Abbildung 4.16 dargestellt.

**Tab. 4.20** Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
10.66	3.37	10.67	3.56	10.73	3.52	12.22	3.33



**Abb. 4.16** Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

## Gebrauchstauglichkeit – System Usability Scale (SUS)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit hat,  $\chi^2(3) = 55.96$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Gebrauchstauglichkeit bei Spiegelungen an der vertikalen Bildachse signifikant geringer bewertet wurde als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = -15.30$ ,  $SE = 1.92$ ,  $p < .001$ ). Für das Videomaterial mit schwacher oder starker Zerrung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zur Version ohne Anpassung.

**Tab. 4.21** Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
44.29	9.82	42.03	11.81	40.35	11.39	29.00	12.53

## 8-Stunden-Schicht

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht hat,  $\chi^2(3) = 27.14$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die geschätzte Beanspruchung bei Spiegelungen an der vertikalen Bildachse signifikant höher eingeschätzt wurde als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = 0.97$ ,  $SE = 0.18$ ,  $p < .001$ ). Für das Videomaterial mit schwacher oder starker Zerrung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zur Version ohne Anpassung.

**Tab. 4.22** Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
4.29	1.32	4.48	1.18	4.53	1.32	5.19	1.03

## Visuelle Komplexität

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die subjektiv bewertete visuelle Komplexität hat,  $\chi^2(3) = 16.16$ ,  $p < .01$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die visuelle Komplexität bei Spiegelungen an der vertikalen Bildachse signifikant höher eingeschätzt wurde als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = 0.85$ ,  $SE = 0.24$ ,  $p < .01$ ).

**Tab. 4.23** Visuelle Komplexität im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
2.09	1.35	2.06	1.50	2.29	1.47	2.93	1.62

**Komplexität der Aufgabe**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die subjektiv bewertete Komplexität der Aufgabe gefunden werden,  $\chi^2(3) = 2.35$ ,  $p = .50$ .

**Tab. 4.24** Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
2.36	1.52	2.27	1.35	2.32	1.34	2.58	1.54

4.3.2.2 Leistungsmaße**Leistung in der Hauptaufgabe**

Bezogen auf die Leistung in der Hauptaufgabe wird zunächst auf die Anzahl der erkannten weißen Autos und anschließend auf die Reaktionszeit bei diesen eingegangen.

**Leistung in der Hauptaufgabe – Anzahl erkannter weißer Autos**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an erkannten Autos gefunden werden,  $\chi^2(3) = 0.80$ ,  $p = .85$ .

**Tab. 4.25** Anzahl erkannter weißer Autos im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5.58	0.50	5.13	0.83	5.33	0.74	5.15	0.87

### Leistung in der Hauptaufgabe – Reaktionszeit bei erkannten weißen Autos

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit in der Hauptaufgabe hat,  $\chi^2(3) = 41.40$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Reaktionszeit bei einer schwachen Zerrung signifikant geringer war als bei keiner Anpassung ( $\beta = -240.34$ ,  $SE = 72.71$ ,  $p < .01$ ). Außerdem zeigte sich, dass die Reaktionszeit bei einer Spiegelung an der vertikalen Bildachse signifikant höher war als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = 317.79$ ,  $SE = 75.85$ ,  $p < .001$ ).

**Tab. 4.26** Reaktionszeit (in ms) bei erkannten weißen Autos in Millisekunden im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1044.88	308.13	793.28	318.26	1052.39	331.23	1348.65	387.35

### Leistung in der Nebenaufgabe - Anzahl korrekter Antworten

Insgesamt wurden 56 der 136 Fälle von der Analyse ausgeschlossen.

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Anzahl der richtigen Antworten in der Nebenaufgabe hat,  $\chi^2(3) = 22.19$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Anzahl richtiger Antworten bei einer Spiegelung an der vertikalen Bildachse signifikant geringer war als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = -9.00$ ,  $SE = 2.67$ ,  $p < .001$ ).

**Tab. 4.27** Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
57.10	14.09	56.35	15.47	59.05	12.39	46.75	17.77

#### 4.3.2.3 Physiologische Maße

##### **EKG - Mittlere Herzrate**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Herzrate gefunden werden,  $\chi^2(3) = 0.77$ ,  $p = .86$ .

**Tab. 4.28** Mittlere Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
73.50	10.30	73.63	11.02	73.84	10.76	74.36	11.14

### EKG - RMSSD

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf RMSSD gefunden werden,  $\chi^2(3) = 0.97, p = .81$ .

**Tab. 4.29** RMSSD (in ms) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.35	4.81	12.02	4.93	12.36	4.53	12.31	4.17

### EKG - Power im niedrigen Frequenzbereich

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Power im niedrigen Frequenzbereich gefunden werden,  $\chi^2(3) = 1.32, p = .73$ .

**Tab. 4.30** Power (in  $\text{ms}^2$ ) im niedrigen Frequenzbereich im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
337.38	243.31	307.85	214.80	345.20	245.80	369.91	236.68

### EDA – Hautleitfähigkeitsniveau

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf das Hautleitfähigkeitsniveau gefunden werden,  $\chi^2(3) = 6.23, p = .10$ .

**Tab. 4.31** Hautleitfähigkeitsniveau (in  $\mu\text{S}$ ) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1.99	0.50	2.01	0.54	1.96	0.49	2.01	0.50

**EDA - Fläche unter der Kurve**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Fläche unter der Kurve gefunden werden,  $\chi^2(3) = 0.89$ ,  $p = .83$ .

**Tab. 4.32** Fläche unter der Kurve (in  $\mu\text{S}\cdot\text{s}$ ) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.059	0.015	0.060	0.017	0.058	0.015	0.059	0.017

**EDA - Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen gefunden werden,  $\chi^2(3) = 0.24$ ,  $p = .97$ .

**Tab. 4.33** Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.91	6.76	12.96	7.64	13.27	6.76	13.00	7.05

**EDA - Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion gefunden werden,  $\chi^2(3) = 2.95$ ,  $p = .40$ .



**Tab. 4.34** Mittlere Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion (in  $\mu\text{S}$ ) zu Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.085	0.010	0.083	0.011	0.084	0.009	0.085	0.011

**Eye-Tracking - Fixationsdauer**

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Fixationsdauer hat,  $\chi^2(3) = 8.03$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Fixationsdauer bei einer Spiegelung an der vertikalen Bildachse signifikant höher war als bei Videomaterial mit schwacher Zerrung ( $\beta = 15.70$ ,  $SE = 5.79$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.35** Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
403.92	95.52	399.41	83.65	409.30	96.66	417.45	92.70

**Eye-Tracking - Anzahl an Fixationen**

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Anzahl an Fixationen hat,  $\chi^2(3) = 16.52$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Anzahl an Fixationen bei einer Spiegelung an der vertikalen Bildachse signifikant geringer war als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = -13.00$ ,  $SE = 3.62$ ,  $p < .01$ ).

**Tab. 4.36** Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
265.38	54.59	264.81	50.86	264.29	55.04	252.24	51.90

### Eye-Tracking - Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf PERCLOS hat,  $\chi^2(3) = 14.09$ ,  $p < .01$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass PERCLOS bei einer Spiegelung an der vertikalen Bildachse signifikant größer war als bei Videomaterial ohne Anpassung ( $\beta = 0.20$ ,  $SE = 0.071$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.37** PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.12	2.38	3.37	2.41	2.92	2.35	3.64	2.28

### Eye-Tracking - Index of Cognitive Activity (ICA)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf den ICA hat,  $\chi^2(3) = 8.27$ ,  $p < .05$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass der ICA bei Videomaterial mit starker Zerrung signifikant größer war als bei Videomaterial mit schwacher Zerrung ( $\beta = 18.52$ ,  $SE = 6.46$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.38** ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen

Veränderung							
keine Anpassung		schwache Zerrung		starke Zerrung		Spiegelung	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
253.97	68.41	246.82	61.25	267.23	56.25	260.29	48.97

### Fazit

Zusammenfassend zeigte sich im Versuchsteil Spiegelung und Zerrung, dass gespiegelte Darstellung sowohl zu einer höheren mentalen Beanspruchung als auch einer geringeren Usability, einer erhöhten geschätzten Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht sowie einer erhöhten Einschätzung der visuellen Komplexität führte. Innerhalb der Leistungsdaten zeigten sich ebenfalls Effekte der Spiegelung auf die Reaktionszeit in der Hauptaufgabe sowie die Leistung in der Nebenaufgabe. Schließlich konnten auch in den okularen Parametern Fixationsdauer, Anzahl an Fixationen sowie PERCLOS Unterschiede zur Darstellung ohne Anpassung gefunden werden.

### 4.3.3 Versuchsteil Augmented Reality

#### 4.3.3.1 Subjektive Angaben

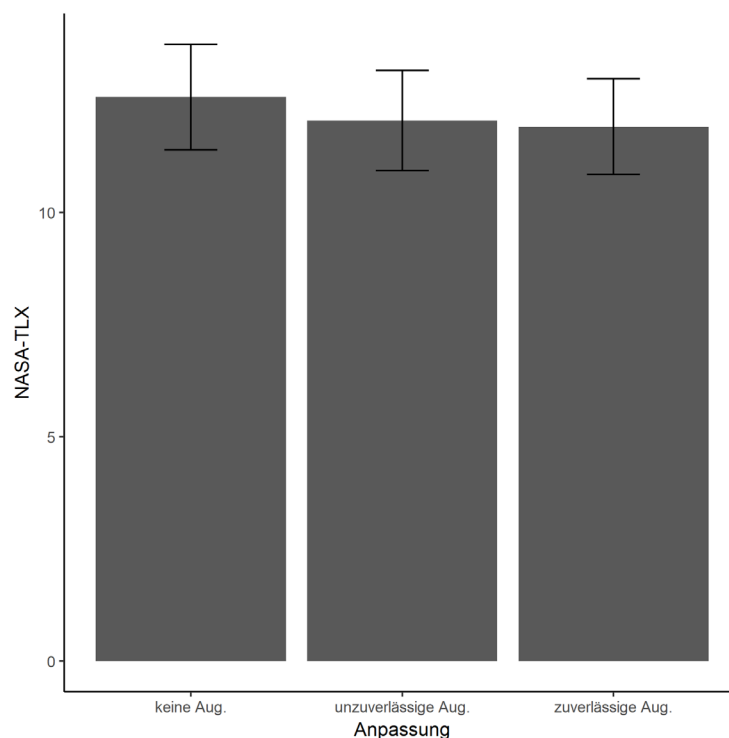
#### Mentale Beanspruchung – NASA-TLX

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Bewertung der NASA-TLX-Skalen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 4.60$ ,  $p = .10$ .

Die deskriptiven Daten hierzu sind auch in Abbildung 4.17 dargestellt.

**Tab. 4.39** Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.57	3.45	12.05	3.32	11.91	3.17



**Abb. 4.17** Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Augmented Reality

#### Gebrauchstauglichkeit – System Usability Scale (SUS)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit hat,  $\chi^2(2) = 7.77$ ,  $p < .05$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Gebrauchstauglichkeit bei einer Zuverlässigen Augmentierung signifikant höher eingeschätzt wurde als bei keiner Aug-

mentierung ( $\beta = 0.059$ ,  $SE = 0.24$ ,  $p < .05$ ) und bei Unzuverlässiger Augmentierung ( $\beta = 0.057$ ,  $SE = 0.024$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.40** Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
40.91	11.70	40.88	12.71	44.33	11.16

### 8-Stunden-Schicht

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht gefunden werden,  $\chi^2(2) = 0.23$ ,  $p = .89$ .

**Tab. 4.41** Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
4.69	1.20	4.64	1.27	4.78	1.07

### Visuelle Komplexität

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die subjektiv bewertete visuelle Komplexität gefunden werden,  $\chi^2(2) = 5.76$ ,  $p = .056$ .

**Tab. 4.42** Visuelle Komplexität im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.09	1.59	3.32	1.57	2.79	1.72

### Komplexität der Aufgabe

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die subjektiv bewertete Komplexität der Aufgabe gefunden werden,  $\chi^2(2) = 1.19$ ,  $p = .55$ .

**Tab. 4.43** Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.21	1.45	3.35	1.54	3.12	1.57

4.3.3.2 Leistungsmaße

Bezogen auf die Leistung in der Hauptaufgabe wird zunächst auf die Anzahl der erkannten Diebstähle und anschließend die Reaktionszeit bei diesen eingegangen. Insgesamt fanden in jedem Versuchsblock vier Diebstähle statt, die erkannt werden konnten.

**Leistung in der Hauptaufgabe – Anzahl erkannter Diebstähle**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an richtig erkannten Diebstählen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 0.38$ ,  $p = .83$ .

**Tab. 4.44** Anzahl erkannter Diebstähle im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.35	0.88	3.56	0.93	3.62	0.65

**Leistung in der Hauptaufgabe– Reaktionszeit bei erkannten Diebstählen**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Reaktionszeit bei den erkannten Diebstählen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 1.47$ ,  $p = .48$ .

**Tab. 4.45** Reaktionszeit (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
4095.06	1204.86	4207.04	1411.18	3921.18	1250.23

**Leistung in der Nebenaufgabe – Anzahl korrekter Antworten**

Insgesamt wurden 44 der 102 Fälle von der Analyse ausgeschlossen.

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an richtig gelösten Aufgaben der Nebenaufgabe gefunden werden,  $\chi^2(2) = 2.32$ ,  $p = .31$ .

**Tab. 4.46** Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
38.84	21.67	34.65	19.54	36.74	17.96

#### 4.3.3.3 Physiologische Maße

##### **EKG - Mittlere Herzrate**

**Tab. 4.47** Mittlere Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
73.60	10.88	73.93	11.39	73.58	11.40

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Herzrate gefunden werden,  $\chi^2(2) = 1.71$ ,  $p = .42$ .

##### **EKG - RMSSD**

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf den Parameter RMSSD hat,  $\chi^2(2) = 13.09$ ,  $p < .01$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Bedingung Unzuverlässige Augmentierung mit höheren RMSSD-Werten assoziiert war als die Bedingung Keine Augmentierung ( $\beta = 0.087$ ,  $SE = 0.026$ ,  $p < .01$ ) und die Bedingung Zuverlässige Augmentierung ( $\beta = 0.078$ ,  $SE = 0.026$ ,  $p < .01$ ).

**Tab. 4.48** RMSSD (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.82	4.22	14.05	5.22	12.89	5.11

### EKG - Power im niedrigen Frequenzbereich

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Power im niedrigen Frequenzbereich hat,  $\chi^2(2) = 7.61$ ,  $p < .05$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Power im niedrigen Frequenzbereich in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant höher war als in der Bedingung Keine Augmentierung ( $\beta = 0.19$ ,  $SE = 0.074$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.49** Power im niedrigen Frequenzbereich (in  $ms^2$ ) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
362.00	215.47	481.59	250.45	414.95	324.74

### EDA - Hautleitfähigkeitsniveau

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf das Hautleitfähigkeitsniveau gefunden werden,  $\chi^2(2) = 2.31$ ,  $p = .32$ .

**Tab. 4.50** Hautleitfähigkeitsniveau (in  $\mu S$ ) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1.94	0.48	1.98	0.49	1.95	0.46

### EDA - Fläche unter der Kurve

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Fläche unter der Kurve gefunden werden,  $\chi^2(2) = 0.92$ ,  $p = .63$ .

**Tab. 4.51** Fläche unter der Kurve (in  $\mu S \cdot s$ ) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.056	0.016	0.058	0.016	0.058	0.015

### EDA - Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 1.02$ ,  $p = .60$ .

**Tab. 4.52** Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.07	6.92	13.00	6.95	12.77	6.23

### EDA - Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 0.92$ ,  $p = .63$ .

**Tab. 4.53** Mittlere Amplitudenhöhe (in  $\mu\text{S}$ ) der Hautleitfähigkeitsreaktionen zu Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.084	0.0084	0.086	0.0088	0.085	0.0089

### Eye-Tracking - Fixationsdauer

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Fixationsdauer hat,  $\chi^2(2) = 6.46$ ,  $p < .05$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Fixationsdauer in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant geringer war als in der Bedingung Keine Augmentierung ( $\beta = -25.96$ ,  $SE = 10.16$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.54** Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
548.22	145.99	511.34	133.74	521.20	149.22



### Eye-Tracking - Anzahl an Fixationen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an Fixationen gefunden werden,  $\chi^2(2) = 1.79$ ,  $p = .41$ .

**Tab. 4.55** Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
206.06	52.18	212.28	45.66	210.49	52.41

### Eye-Tracking - Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf den Parameter PERCLOS hat,  $\chi^2(2) = 13.50$ ,  $p < .01$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass PERCLOS in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant größer war als in der Bedingung Keine Augmentierung ( $\beta = 0.79$ ,  $SE = 0.23$ ,  $p < .01$ ) und in der Bedingung Zuverlässige Augmentierung ( $\beta = 0.69$ ,  $SE = 0.23$ ,  $p < .01$ ).

**Tab. 4.56** PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.03	2.27	3.82	2.72	3.00	2.00

### Eye-Tracking - Index of Cognitive Activity (ICA)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf den Index of Cognitive Activity (ICA) hat,  $\chi^2(2) = 13.16$ ,  $p < .01$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass der ICA sowohl in der Bedingung Zuverlässige Augmentierung ( $\beta = 15.99$ ,  $SE = 4.96$ ,  $p < .01$ ) als auch in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung ( $\beta = 16.11$ ,  $SE = 5.02$ ,  $p < .01$ ) signifikant größer war als in der Bedingung Keine Augmentierung.

**Tab. 4.57** ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Augmented Reality

Augmentierung					
keine		unzuverlässig		zuverlässig	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
212.92	60.85	231.79	56.13	229.69	63.41

**Fazit**

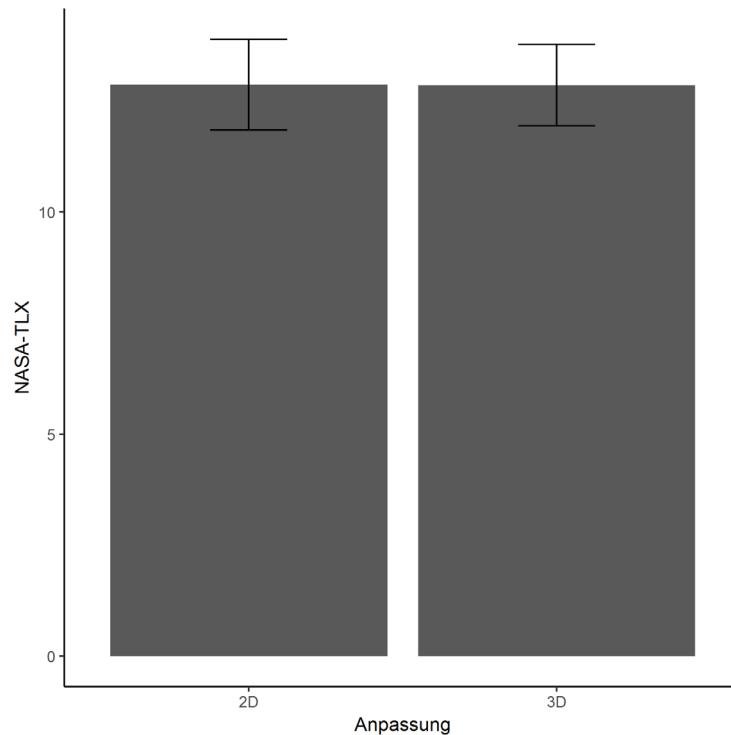
Zusammenfassend lässt sich für den Versuchsteil Augmented Reality festhalten, dass bezüglich der mentalen Beanspruchung keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Anpassungen gefunden werden konnten. Jedoch zeigte sich hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit eine positivere Bewertung für die Zuverlässige Augmentierung. Während bei den Leistungsdaten sowohl der Haupt- als auch der Nebenaufgabe keine signifikanten Unterschiede gefunden werden konnten, zeigten sich bei den EKG-Parametern RMSSD sowie der Power im niedrigen Frequenzbereich höhere Ausprägungen für die Bedingung Unzuverlässige Augmentierung. Auch für einige okuläre Parameter konnten Effekte der Manipulation festgestellt werden.

**4.3.4 Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen**4.3.4.1 Subjektive Angaben**Mentale Beanspruchung – NASA-TLX**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Bewertung der NASA-TLX-Skalen gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.00$ ,  $p = .98$ . Die deskriptiven Daten hierzu sind auch in Abbildung 4.18 dargestellt.

**Tab. 4.58** Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.87	3.04	12.86	2.74



**Abb. 4.18** Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

### Gebrauchstauglichkeit – System Usability Scale (SUS)

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit hat,  $\chi^2(3) = 4.51$ ,  $p < .05$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Gebrauchstauglichkeit bei perspektivischen 3D-Darstellungen signifikant höher bewertet wurde als bei 2D-Darstellungen ( $\beta = 5.44$ ,  $SE = 2.48$ ,  $p < .05$ ).

**Tab. 4.59** Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
30.94	15.81	36.38	12.74

### 8-Stunden-Schicht

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht gefunden werden,  $\chi^2(1) = 1.04$ ,  $p = .30$ .

**Tab. 4.60** Geschätzte Beanspruchung im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5.06	1.18	4.82	1.47

**Visuelle Komplexität**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die subjektiv bewertete visuelle Komplexität gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.32$ ,  $p = .57$ .

**Tab. 4.61** Visuelle Komplexität im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
4.00	1.76	4.18	1.73

**Komplexität d. Aufgabe**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die subjektive Komplexität der Aufgabe gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.52$ ,  $p = .47$ .

**Tab. 4.62** Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.82	1.77	3.62	1.99

4.3.4.2 Leistungsmaße

Als Leistungsmaße wurden die Anzahl erkannter Suchobjekte, die Reaktionszeit bei erkannten Suchobjekten sowie die Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe erfasst.

### Leistung in der Hauptaufgabe – Anzahl erkannter Suchobjekte

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl der erkannten Suchobjekte gefunden werden,  $\chi^2(1) = 3.81$ ,  $p = .051$ .

**Tab. 4.63** Anzahl erkannter Suchobjekte im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.33	0.89	2.97	0.85

### Leistung in der Hauptaufgabe – Reaktionszeit bei bekannten Suchobjekten

Es wurde herausgefunden, dass die Anpassung des Videomaterials signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit in der Hauptaufgabe hat,  $\chi^2(1) = 18.46$ ,  $p < .001$ . Tukey Post hoc-Tests zeigen, dass die Reaktionszeit bei 2D-Darstellungen signifikant geringer war als bei perspektivischen 3D-Darstellungen ( $\beta = -1054.4$ ,  $SE = 222.9$ ,  $p < .001$ ).

**Tab. 4.64** Reaktionszeit (in ms) bei bekannten Suchobjekten im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
2210.23	726.26	3265.59	1105.10

### Nebenaufgabe – Anzahl richtiger Antworten

Insgesamt wurden 30 der 68 Fälle von der Analyse ausgeschlossen.

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl richtiger Antworten in der Nebenaufgabe gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.093$ ,  $p = .76$ .

**Tab. 4.65** Reaktionszeit (in ms) bei bekannten Suchobjekten zu perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
31.21	17.22	26.67	16.83

#### 4.3.4.3 Physiologische Maße

##### **EKG - Mittlere Herzrate**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die mittlere Herzrate gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.63$ ,  $p = .43$ .

**Tab. 4.66** Mittlere Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
74.22	11.94	73.83	12.29

##### **EKG -RMSSD**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf RMSSD gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.42$ ,  $p = .52$ .

**Tab. 4.67** RMSSD (in ms) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
12.03	4.16	11.67	3.40

##### **EKG -Power im niedrigen Frequenzbereich**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Power im niedrigen Frequenzbereich gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.03$ ,  $p = .86$ .

**Tab. 4.68** Power im niedrigen Frequenzbereich (in  $\text{ms}^2$ ) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
302.44	174.45	345.00	187.20

#### EDA – Hautleitfähigkeitsniveau

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf das Hautleitfähigkeitsniveau gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.14$ ,  $p = .71$ .

**Tab. 4.69** Hautleitfähigkeitsniveau (in  $\mu\text{S}$ ) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1.96	0.47	1.98	0.51

#### EDA - Fläche unter der Kurve

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Fläche unter der Kurve gefunden werden,  $\chi^2(1) = 2.09$ ,  $p = .15$ .

**Tab. 4.70** Fläche unter der Kurve (in  $\mu\text{S}\cdot\text{s}$ ) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.059	0.017	0.064	0.019

#### EDA - Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen gefunden werden,  $\chi^2(1) = 1.30$ ,  $p = .26$ .

**Tab. 4.71** Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
39.18	27.96	41.76	27.48

#### EDA - Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.057$ ,  $p = .81$ .

**Tab. 4.72** Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion (in  $\mu\text{S}$ ) zu perspektivischen 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
0.080	0.013	0.081	0.012

#### Eye-Tracking - Fixationsdauer

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Fixationsdauer gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.68$ ,  $p = .41$ .

**Tab. 4.73** Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
402.27	81.50	411.59	90.04

#### Eye-Tracking - Anzahl an Fixationen

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf die Anzahl an Fixationen gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.95$ ,  $p = .33$ .



**Tab. 4.74** Anzahl an Fixationen im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
541.06	85.56	528.88	104.81

**Eye-Tracking - Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS)**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf PERCLOS gefunden werden,  $\chi^2(1) = 0.040$ ,  $p = .84$ .

**Tab. 4.75** PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
3.08	2.27	2.70	2.07

**Eye-Tracking - Index of Cognitive Activity (ICA)**

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Anpassung auf den ICA gefunden werden,  $\chi^2(1) = 3.06$ ,  $p = .080$ .

**Tab. 4.76** ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Anpassung			
2D		3D	
<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
550.42	81.76	539.08	83.45

**Fazit**

Für den Versuchsteil 3D kann abschließend festgehalten werden, dass die 3D-Darstellung zu einer positiveren Bewertung der Gebrauchstauglichkeit führte als die 2D-Darstellung. Jedoch konnte kein Effekt der Manipulation auf die mentale Beanspruchung sowie die weiteren subjektiven Variablen festgestellt werden. Während sich für die 2D-Darstellungen eine kürzere Reaktionszeit als für die 3D-Darstellungen zeigte, konnten für die weiteren Leistungsdaten und auch physiologischen Parameter

keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Darstellungsmöglichkeiten identifiziert werden.

## **4.4 Diskussion**

In den folgenden Abschnitten soll näher darauf eingegangen werden, welche Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Laborstudie gezogen werden können. Dazu werden die Ergebnisse für jeden der vier Versuchsteile zunächst kurz zusammengefasst, bevor sie inhaltlich interpretiert und diskutiert werden. Für alle Versuchsteile ist festzuhalten, dass die Nebenaufgabe von den Teilnehmenden kaum bearbeitet wurde. Die Nebenaufgabe wurde genutzt, um die neben der priorisierten Hauptaufgabe verbleibende mentale Kapazität zu erfassen, wodurch Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung möglich sind. Jedoch wurde die Nebenaufgabe von den Teilnehmenden oftmals nicht bearbeitet. Diese Blöcke wurden von den weiteren Analysen ausgeschlossen. Die geringe Häufigkeit der Bearbeitung kann womöglich damit erklärt werden, dass die Versuchspersonen durch die Bearbeitung der Hauptaufgabe bereits stark ausgelastet waren und deshalb keine Ressourcen für die Bearbeitung der Nebenaufgabe verblieben.

### **4.4.1 Versuchsteil Wechselbilder**

Im Versuchsteil Wechselbilder konnte einerseits anhand von subjektiven Angaben sowie auch von Leistungs- und physiologischen Maßen gezeigt werden, dass sowohl die Frequenz automatischer Bildwechsel zwischen verschiedenen Kameras als auch die visuelle Komplexität des Videomaterials die mentale Beanspruchung von Leitwarten-Operateuren beeinflussen.

So zeigte sich, dass die mentale Beanspruchung anhand des NASA-TLX bei einer langsamen Wechselfrequenz mit Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer bewertet wurde als bei mittleren oder schnellen Wechselfrequenzen mit Videosequenzen von sechs beziehungsweise drei Sekunden. Auch die visuelle Komplexität des Videomaterials beeinflusste die mentale Beanspruchung der Operateure, so zeigte sich bei hochkomplexen Videos eine signifikant höhere mentale Beanspruchung als bei wenig komplexen Videos. Weiterhin hatte die Wechselfrequenz auch einen Einfluss auf die Beanspruchung in einer 8-stündigen Schicht. Sie wurde sowohl bei langsamen als auch bei mittleren Wechselfrequenzen signifikant geringer eingeschätzt als bei schnellen Wechselfrequenzen.

Auch für die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit wurde ein Einfluss der Wechselfrequenz gefunden, die in der Bedingung der schnellen Wechselfrequenz signifikant geringer eingeschätzt wurde als bei der mittleren oder langsamen Frequenz. Schließlich zeigte die Wechselfrequenz sowohl einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Komplexität des Videomaterials als auch auf die Komplexität der Aufgabe. Beide Variablen wurden bei einer langsamen Wechselfrequenz mit Videosequenzen von neun Sekunden signifikant geringer eingeschätzt als bei einer schnellen Wechselfrequenz mit Sequenzen von drei Sekunden, wobei die visuelle Komplexität bei langsamen Frequenzen auch signifikant geringer eingeschätzt wurde als bei mittleren Frequenzen.

Auch bei den Leistungsmaßen konnte ein Einfluss der manipulierten Faktoren festgestellt werden, wobei sich hier insbesondere ein Einfluss der Komplexität des Videomaterials zeigte. So wurden bei den hochkomplexen Videos signifikant weniger der

gezeigten Alarme erkannt als bei wenig komplexem Videomaterial. Im Hinblick auf die Nebenaufgabe konnte kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden, was möglicherweise durch die geringe Zahl an gültigen Fällen erklärt werden kann. So mussten 101 von 204 (49,5%) der Fälle aus der Analyse ausgeschlossen werden, da in diesen Versuchsdurchgängen keine Nebenaufgaben bearbeitet wurden.

In Bezug auf die physiologischen Parameter wurde herausgefunden, dass die Wechselfrequenz zunächst einen signifikanten Einfluss auf den Parameter RMSSD hatte, während die Komplexität des Videomaterials insbesondere die Power im niedrigen Frequenzbereich beeinflusste. Es zeigten sich für den Parameter RMSSD mit signifikanten Unterschieden zwischen schnellen und langsamen Wechselfrequenzen insgesamt niedrigere Werte für schnelle Wechselfrequenzen, und auch die Power war im niedrigen Frequenzbereich bei hochkomplexen Videos geringer ausgeprägt als bei wenig komplexen Videos. Hinsichtlich der elektrodermalen Parameter zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Komplexität des Videos auf den Parameter Fläche unter der Kurve, wobei dieser für komplexe Videos signifikant höher ausgeprägt war als für simple Videos. Außerdem konnte ein Effekt der Wechselfrequenz auf die mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen gezeigt werden, die bei der schnellen Wechselfrequenz signifikant höher ausgeprägt waren als bei der mittleren Wechselfrequenz. Schließlich zeigten sich auch für einige Eye-Tracking-Parameter signifikante Effekte der Faktoren. So zeigten sich auf den Parameter PERCLOS sowohl ein Effekt der Wechselfrequenz als auch der Komplexität des Videomaterials. Dabei zeigte sich, dass der Parameter bei langsamen Bildwechseln signifikant größer ausgeprägt war als bei mittleren oder schnellen Bildwechseln und bei simplen Videos größer ausgeprägt war als bei komplexen Videos. Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick signifikanter Ergebnisse des Faktors Wechselfrequenz.

**Tab. 4.77** Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse für den Faktor Wechselfrequenz

Abhängige Variable (AV)	Ergebnis
mittlere Bewertung der NASA-TLX-Skalen	$\chi^2(2) = 32.73, p < .001$
SUS-Werte	$\chi^2(2) = 35.06, p < .001$
Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht	$\chi^2(2) = 16.30, p < .001$
Subjektiv eingeschätzte visuelle Komplexität	$\chi^2(2) = 11.33, p < .01$
Subjektiv eingeschätzte Komplexität der Aufgabe	$\chi^2(2) = 17.34, p < .001$
RMSSD-Werte	$\chi^2(2) = 8.26, p < .05$
mittlere Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen	$\chi^2(2) = 8.57, p < .05$
Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS)	$\chi^2(2) = 21.86, p < .001$

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt deutlich, dass sowohl die Manipulation der Wechselfrequenz als auch der Komplexität des gezeigten Videomaterials die mentale Beanspruchung der Operateure beeinflussten, die im Fokus dieser Forschungsarbeit steht. Hierfür zeigten sich Haupteffekte beider Faktoren, die darauf hinweisen, dass sowohl die Geschwindigkeit der Wechselfrequenz als auch die Komplexität des

Videomaterials Einfluss auf die mentale Beanspruchung haben. Hier scheint sich insbesondere die schnelle Wechselfrequenz sowohl im NASA-TLX als auch in der eingeschätzten längerfristigen Beanspruchung von den anderen Bedingungen abgehoben zu haben. So waren die Unterschiede im NASA-TLX zunächst zwischen der schnellen und der mittleren Wechselfrequenz etwas größer als zwischen der mittleren und der langsamen Wechselfrequenz. Darüber hinaus unterschieden sich bei der längerfristigen Beanspruchung die mittlere und die langsame Wechselfrequenz beide signifikant von der schnellen Wechselfrequenz, aber nicht untereinander. Dies kann möglicherweise als vorsichtiger Hinweis für eine vergleichsweise starke Beanspruchung in der Bedingung der schnellen Wechselfrequenz gedeutet werden. Mithilfe von Leistungsparametern sowie von physiologischen Parametern konnte dieser Aussage zusätzliches Gewicht verliehen werden. So zeigte sich im Bezug auf die kardiovaskulären Parameter eine Verringerung der RMSSD bei höheren Wechselfrequenzen. Bereits in früheren Studien konnte gezeigt werden, dass eine Verringerung der RMSSD mit einer erhöhten mentalen Beanspruchung (CINAZ et al., 2013) beziehungsweise Stress (KIM, SEO, CHO & CHO, 2008) assoziiert ist. Darüber hinaus zeigte sich auch die Power im niedrigen Frequenzbereich sensitiv für die experimentellen Manipulationen. Innerhalb dieser Studie beeinflusste insbesondere die Komplexität des Videomaterials diesen Parameter, wobei komplexes Material mit einer geringeren Ausprägung der Power im niedrigen Frequenzbereich einherging. Bereits in vielen früheren Arbeiten wurden Zusammenhänge zwischen der mentalen Beanspruchung und der Power im niedrigen Frequenzbereich aufgezeigt, wobei eine Abnahme der Power in diesem Frequenzbereich mit zunehmender mentaler Beanspruchung assoziiert ist (BOUCSEIN & OTTMANN, 1996; CINAZ et al., 2013; ITOH et al., 2008; 1990; MULDER et al., 1982; RICHTER et al., 1998; TATTERSALL & HOCKEY, 1995; WILSON, 1993;).

Für die elektrodermalen Parameter zeigte sich im Zusammenhang mit den Manipulationen innerhalb des Versuchsteils Wechselbilder ein gemischtes Bild. So zeigte sich bei der Fläche unter der Kurve ein positiver Zusammenhang mit der Komplexität des Videomaterials. In früheren Forschungsarbeiten wurde dieser Parameter als geeignetes Maß für physiologische Erregung identifiziert (BACH, FRISTON & DOLAN, 2010), was darauf hindeuten könnte, dass die autonome Erregung bei komplexen Videos höher war als bei simplen Videos. Weiterhin zeigte sich ein Effekt der Wechselfrequenz auf die mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktionen, welche bei schnellen Bildwechseln signifikant höher ausgeprägt war als bei mittlerer Geschwindigkeit. Auch dies wurde in Forschungsarbeiten mit physiologischer Erregung in Zusammenhang gebracht (BACH et al., 2010).

Schließlich zeigten sich auch für einige okuläre Parameter Effekte der experimentellen Manipulationen. Die Zunahme des Parameters PERCLOS mit steigender Wechselfrequenz und Komplexität des Videomaterials kann in Anbetracht der Literatur ebenfalls als Indiz für eine erhöhte mentale Beanspruchung in diesen Bedingungen betrachtet werden (SCHNEIDER & DEML, 2016). Eine mögliche Alternativerklärung für den gefundenen Effekt beim PERCLOS könnte jedoch auch in den grundlegenden Stimuluseigenschaften liegen, die womöglich Einfluss auf den Lidschluss haben. Schließlich weist auch der Parameter ICA Sensitivität gegenüber der Manipulation auf, wobei höhere Ausprägungen für komplexes Videomaterial gefunden wurden. Auch für diesen Parameter konnten bereits in der Vergangenheit positive Zusammenhänge mit mentaler Beanspruchung gezeigt werden (DEMBERG, SAYEED, MAHR & MULLER, 2013; DLUGOSCH, CONTI & BENGLAR, 2013; SCHWALM, 2009).

Zusammenfassend kann also davon ausgegangen werden, dass sowohl durch eine erhöhte Wechselfrequenz als auch durch komplexeres Videomaterial die mentale Beanspruchung der Versuchspersonen gesteigert wurde. Darauf deuten sowohl die subjektiven Angaben, als auch Leistungsdaten und physiologischen Parameter hin. Daraus kann für die belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung in Leitwarten abgeleitet werden, dass bei der Nutzung automatischer Bildwechsel zwischen verschiedenen Kameras in jedem Fall neben der Wechselfrequenz auch die Komplexität des gezeigten Videomaterials beachtet werden sollte. Die Forschungsergebnisse innerhalb dieses Projektes weisen darauf hin, dass beide Faktoren Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung der Operateure haben. Insofern können schnellere Bildwechsel bei wenig komplexem Material mitunter zu einem ähnlichen Beanspruchungslevel führen wie langsamere Wechsel bei hochkomplexem Material. Diese Erkenntnis kann für die spätere Ableitung von Gestaltungsempfehlungen hilfreich sein.

#### **4.4.2 Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen**

Im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen zeigten sich einerseits anhand mehrerer subjektiver Angaben als auch innerhalb einiger Eye-Tracking-Parameter deutliche Unterschiede zwischen der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung an der vertikalen Bildachse und den anderen Darstellungsmöglichkeiten, bei denen entweder keine Anpassung, eine schwache oder starke Fischaugenzerrung am Videomaterial vorgenommen wurde.

So führte die Spiegelung an der vertikalen Bildachse zu einer signifikant höheren mentalen Beanspruchung sowie einer geringeren Gebrauchstauglichkeit als die drei anderen Darstellungsmöglichkeiten, in denen die Versuchspersonen das Videomaterial entweder ohne Anpassung oder mit schwacher oder starker Fischaugenzerrung sahen. In dieselbe Richtung weist auch die geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht, die ebenfalls signifikant höher bewertet wurde als innerhalb der anderen Bedingungen. Dies weist darauf hin, dass die teilnehmenden Operateure die Arbeit mit einer seitenverkehrten Darstellung über einen längeren Zeitraum deutlich beanspruchender empfanden als die Arbeit mit Videomaterial mit Fischaugenzerrungen oder Material ohne Anpassung. Während bei der wahrgenommenen Komplexität der Aufgabe keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten festgestellt werden konnten, bewerteten die Versuchspersonen jedoch die Komplexität des Videomaterials mit Spiegelungen signifikant höher als bei den drei anderen Darstellungsmöglichkeiten.

Bei den Leistungsmaßen konnte ein Effekt der Darstellungsmöglichkeit auf die Reaktionszeiten in der Hauptaufgabe, also bei den Reaktionen auf die weißen Autos nachgewiesen werden, die zunächst einmal bei der Spiegelung signifikant höher ausgeprägt war als bei den anderen drei Darstellungsmöglichkeiten. Darüber hinaus zeigten sich im Vergleich zur Darstellung ohne Anpassung sogar geringere Reaktionszeiten als bei der Darstellung mit schwacher Fischaugenzerrung.

Im Hinblick auf die physiologischen Parameter zeigten sich bei den Eye-Tracking-Parametern Unterschiede zwischen den verschiedenen Spiegelungen und Zerrungen, während für die EKG- und EDA-Parameter keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden konnten. So ergab sich für die Spiegelungen an der vertikalen Bildachse eine signifikant höhere Anzahl an Fixationen im Vergleich zu den Bedingungen ohne Anpassungen sowie mit schwachen oder starken Zerrungen. Darüber hinaus zeigte sich für gespiegeltes Videomaterial auch eine signifikant höhere Fixationsdauer als bei Videomaterial mit schwacher Fischaugenzerrung und ein größerer

PERCLOS-Wert als Videomaterial ohne Anpassung oder mit starker Fischaugenzerrung. Auch für den Index of Cognitive Activity (ICA) wurden Effekte der Anpassung gefunden, wobei die Darstellung mit starker Zerrung mit größeren ICA-Werten einherging als die Darstellung mit schwacher Zerrung. Damit unterscheiden sich die beim ICA gefundenen Effekte von denen der meisten anderen Parameter, die Unterschiede insbesondere für die Spiegelung an der vertikalen Bildachse aufzeigten. Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über ausgewählte signifikante Zusammenhänge.

**Tab. 4.78** Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (Anpassung Videomaterial)

AV	Ergebnis
mittlere Bewertung der NASA-TLX-Skalen	$\chi^2(3) = 20.75, p < .001$
subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	$\chi^2(3) = 55.96, p < .001$
geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht	$\chi^2(3) = 27.14, p < .001$
subjektiv bewertete visuelle Komplexität	$\chi^2(3) = 16.16, p < .01$
Reaktionszeit in der Hauptaufgabe	$\chi^2(3) = 41.40, p < .001$
subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	$\chi^2(3) = 55.96, p < .001$
Anzahl der richtigen Antworten in der Nebenaufgabe	$\chi^2(3) = 22.19, p < .001$
Fixationsdauer	$\chi^2(3) = 8.03, p < .001$
Anzahl an Fixationen	$\chi^2(3) = 16.52, p < .001$
PERCLOS	$\chi^2(3) = 14.09, p < .01$
Index of Cognitive Activity (ICA)	$\chi^2(3) = 8.27, p < .05$

In Anbetracht der Ergebnisse kann also festgehalten werden, dass sich insbesondere die Spiegelungen an der vertikalen Bildachse sowohl durch eine erhöhte mentale Beanspruchung und geschätzte langfristige Beanspruchung als auch durch eine geringere wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit deutlich von den weiteren Versuchsbedingungen abheben. Dagegen konnten für die subjektiven Angaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen mit Fischaugenzerrungen im Vergleich zur Bedingung ohne Anpassung des Materials gefunden werden. Unter den physiologischen Parametern erwiesen sich ausschließlich die Eye-Tracking-Parameter als sensitiv im Hinblick auf die experimentelle Manipulation in diesem Versuchsteil. Hier lassen sich sowohl die höhere Anzahl an Fixationen wie auch die höheren PERCLOS-Werte als physiologische Indizien einer erhöhten mentalen Beanspruchung bei der gespiegelten Darstellung deuten (BACKS & WALRATH, 1992; DEML & SCHNEIDER, 2016; DI STASI, ANTOLÍ, GEA & CAÑAS, 2011).

Zusammenfassend zeigte sich im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen, dass Fischaugenzerrungen nicht per se mit einer erhöhten Beanspruchung einherzugehen scheinen. Bei subjektiven Angaben zeigten sich für die Zerrungen keine signifikanten Unterschiede zur „normalen“ Videodarstellung ohne Anpassung. Sehr deutlich zeigte sich dagegen eine signifikante Erhöhung der mentalen Beanspruchung, wenn das Videomaterial seitenverkehrt dargestellt wurde und die Versuchspersonen für die Reaktion die Seite vertauschen mussten.

#### 4.4.3 Versuchsteil Augmented Reality

Im Versuchsteil Augmented Reality ergab sich aus den subjektiven Angaben, den Leistungsmaßen und den physiologischen Parametern ein gemischtes Bild von der mentalen Beanspruchung der Operateure in Abhängigkeit der experimentellen Manipulationen. Untersucht wurde in diesem Versuchsteil, wie sich Augmented-Reality-Darstellungen in einer Überwachungsaufgabe auf die mentale Beanspruchung des Operateurs auswirken. Dabei wurden entweder keine weiteren Hinweise eingeblendet (Keine Augmentierung) oder es wurden durch ein simuliertes Augmented-Reality-System zuverlässige oder unzuverlässige Markierungen angezeigt, die die Aufmerksamkeit der Operateure besonders auf ein bestimmtes Ereignis, wie in diesem Fall einen Diebstahl, lenken sollten.

Bezogen auf die mentale Beanspruchung und die längerfristige Beanspruchung innerhalb einer achtstündigen Schicht konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsbedingungen gefunden werden. Auch für die wahrgenommene Komplexität des Videomaterials sowie die Komplexität der Aufgabe zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Augmentierungen. Dagegen wurde im Hinblick auf die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit herausgefunden, dass diese bei der Zuverlässigen Augmentierung von Diebstählen signifikant höher bewertet wurde als bei keiner oder Unzuverlässiger Augmentierung.

Während bei den Leistungsmaßen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Bedingungen gefunden werden konnten, zeigten sich dagegen innerhalb der physiologischen Parameter signifikante Effekte bei zwei EKG-Parametern. So waren die RMSSD-Werte wie auch die Werte der Power im niedrigen Frequenzbereich in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant höher als in den beiden anderen Bedingungen. Dies ist unerwartet, da üblicherweise geringere Werte dieser Parameter mit erhöhter mentaler Beanspruchung in Zusammenhang gebracht werden (CINAZ et al., 2013; KIM et al., 2008; BOUCSEIN & OTTMANN, 1996; 1982; RICHTER et al., 1998; TATTERSALL & HOCKEY, 1995; WILSON, 1993) und für die Unzuverlässige Augmentierung tendenziell eine höhere Beanspruchung zu erwarten wäre als für die Zuverlässige Augmentierung. Für die Eyetracking-Parameter konnten signifikante Effekte der Manipulation auf die Parameter Fixationsdauer, PERCLOS und ICA gefunden werden. So zeigten sich signifikant geringere Fixationsdauern für die Bedingung Unzuverlässige Augmentierung im Vergleich zur Bedingung Keine Augmentierung. Dies erscheint bei der Betrachtung der Forschungsliteratur ebenfalls unerwartet, da erhöhte mentale Beanspruchung üblicherweise mit längeren Fixationsdauern assoziiert ist. Für den Parameter PERCLOS wurden für die Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant höhere Werte gefunden im Vergleich zu den beiden anderen Bedingungen. Dies ist angesichts früherer Forschungsarbeiten plausibel, in denen bereits ein ähnlicher Zusammenhang des PERCLOS mit mentaler Beanspruchung gezeigt werden konnte (DEML & SCHNEIDER, 2016). Schließlich wurden auch für den ICA signifikante Effekte gefunden, wobei sich sowohl in Bedingung Zuverlässige Augmentierung als auch in der Bedingung Unzuverlässige Augmentierung signifikant größere Werte zeigten als in der Bedingung Keine Augmentierung. Dies könnte angesichts früherer Forschungsarbeiten als Hinweis auf eine erhöhte Erregung in diesen Bedingungen gesehen werden. Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über ausgewählte signifikante Zusammenhänge.

**Tab. 4.79** Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (Augmented Reality)

AV	Ergebnis
subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	$\chi^2(2) = 7.77, p < .05$
RMSSD	$\chi^2(2) = 13.09, p < .01$
EKG - Power im niedrigen Frequenzbereich	$\chi^2(2) = 7.61, p < .05$
Fixationsdauer	$\chi^2(2) = 6.46, p < .05$
PERCLOS	$\chi^2(2) = 13.50, p < .01$
Index of Cognitive Activity (ICA)	$\chi^2(2) = 13.16, p < .01$

Zusammenfassend ergibt sich für den Versuchsteil Augmented Reality ein relativ gemischtes Bild. Auf Ebene der subjektiven Angaben lässt sich kein Hinweis auf einen Effekt der Manipulation auf die mentale Beanspruchung der Operateure finden. Eine mögliche Erklärung dafür könnte darin bestehen, dass die unterschiedlichen Darstellungsmöglichkeiten tatsächlich keinen Einfluss auf die mentale Beanspruchung der Operateure hatten und die Operateure in der Einblendung von zusätzlichen Hinweisen zur Lenkung der Aufmerksamkeit keine oder nur eine sehr geringe Erleichterung sahen. Dagegen wurde allerdings in einer ähnlichen Versuchsaufgabe im Rahmen der Arbeit von DADASHI et al. (2013) eine Verringerung der mentalen Beanspruchung mithilfe eines Augmented Reality-Systems gefunden. Dagegen deuten die subjektiven Bewertungen der Gebrauchstauglichkeit in der vorliegenden Studie darauf hin, dass die Darstellungsmöglichkeit Zuverlässige Augmentierung im Vergleich mit den beiden anderen Darstellungsmöglichkeiten positiver bewertet wurde. Dies kann als Hinweis gewertet werden, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bedingungen von den Versuchspersonen bewusst wahrgenommen wurden, diese allerdings womöglich zu gering waren, um in deutlichem Maße die mentale Beanspruchung zu beeinflussen.

Auch die physiologischen Parameter zeigen teilweise widersprüchliche Ergebnisse. Während sowohl die Werte des RMSSD, der Power im niedrigen Frequenzbereich als auch der Fixationsdauer in eine unerwartete Richtung weisen, konnten für die Eyetracking-Parameter PERCLOS und ICA Hinweise auf eine verringerte mentale Beanspruchung durch Augmented Reality-Darstellungen gefunden werden.

#### 4.4.4 Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen

Auch für den Versuchsteil 3D-Darstellungen zeigten die Ergebnisse ein eher gemischtes Bild. Hierbei zeigten sich in der subjektiven Bewertung der mentalen Beanspruchung wie auch in sämtlichen physiologischen Maßen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsbedingungen. Unter den weiteren subjektiven Maßen konnten lediglich für die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit konnten signifikante Unterschiede zwischen der perspektivischen 3D-Darstellung und 2D-Darstellung gefunden werden, wobei die Gebrauchstauglichkeit bei der 3D-Darstellung höher bewertet wurde. Als Erklärungsansatz könnte das in Kapitel 3.2.4 erwähnte Phänomen des Naiven Realismus von SMALLMAN und ST. JOHN (2005) herangezogen werden. Dieses bezeichnet laut den Autoren das Phänomen, dass realistischer wirkende Darstellungen von Nutzern tendenziell präferiert werden, obwohl diese nicht zu besseren Leistungen führen. Dies könnte womöglich auch Einfluss auf die Ergebnisse in diesem Versuchsteil gehabt haben. Für die anderen sub-



jektiven Maße ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Darstellungsmöglichkeiten. Dagegen zeigten sich bei den Leistungsmaßen signifikant geringere Reaktionszeiten in der Darstellungsmöglichkeit 2D. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass bei der Bedingung 3D die Suchobjekte durch die perspektivische Darstellung zunächst sehr klein am oberen Rand des Bildschirms erschienen und erst mit der Zeit größer wurden, während die Größe der Suchobjekte in der Bedingung 2D durch die 90°-Perspektive über den Zeitverlauf konstant war. Somit waren die Suchobjekte in dieser Darstellungsmöglichkeit womöglich schneller zu entdecken. Bei den physiologischen Parametern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen 2D und 3D gefunden werden. Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über ausgewählte signifikante Zusammenhänge.

**Tab. 4.80** Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (perspektivische 3D-Darstellung)

AV	Ergebnis
subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	$\chi^2(3) = 4.51, p < .05$
Reaktionszeit in der Hauptaufgabe	$\chi^2(1) = 18.46, p < .001$

Insgesamt weisen die Ergebnisse in Bezug auf die belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung in Leitwarten nicht eindeutig auf die bessere Eignung einer der beiden Darstellungsmöglichkeiten – 2D oder 3D – hin. Allgemein sind die Vor- und Nachteile von 3D- bzw. 2D-Darstellungen eng an die konkrete Aufgabe des Nutzers gebunden (DIXON et al., 2009; MCINTIRE et al., 2014). Während gerade die Vorteile perspektivischer 3D-Darstellungen oftmals in der schnellen und präzisen Identifikation von Objekten gesehen werden (DIXON et al., 2009), konnte dies, obwohl die Aufgabe in diesem Versuchsteil in der Identifikation und Reaktion auf bestimmte Suchobjekte bestand, nicht gezeigt werden.

## 5 Feldstudie

Zusammenfassend wurden bei der durchgeführten Laborstudie unter stark kontrollierten Bedingungen Erkenntnisse zu den verschiedenen Technologien gewonnen. Diese erlauben im jeweils untersuchten Teilbereich detailgetreue Aussagen zu den mentalen Beanspruchungen, welche mit den verschiedenen Ausprägungen der Darstellungsmöglichkeiten im Kontext der Versuchsaufgaben einhergehenden. Im praktischen Einsatz spielt jedoch der genaue Einsatzzweck oder die Tätigkeit, für die eine Technologie oder Darstellungsmöglichkeit genutzt wird, eine mindestens ebenso große Rolle für die Auswirkungen dieser auf den Nutzer. So kann sich eine Technologie für die Durchführung einer Tätigkeit als sehr hilfreich erweisen, während sie bei einer anderen Tätigkeit oder Aufgabe eher hinderlich sein mag und die Arbeit unnötig erschwert. Um die in der Laborstudie gewonnenen Erkenntnisse in dieser Hinsicht zu erweitern sowie sie hinsichtlich verschiedener Nutzungszwecke verallgemeinerbarer und belastbarer zu machen, wurde nachfolgend eine Feldstudie durchgeführt. Diese gliederte sich in zwei große Bestandteile auf. Zunächst wurde im Rahmen der Feldstudie eine Reihe von Gruppen-Workshops durchgeführt. Auf diese Weise sollte ein besserer Einblick ermöglicht werden, unter welchen Tätigkeits- oder Aufgabenbedingungen bestimmte Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten als geeignet oder ungeeignet eingestuft werden. Die Aussagekraft der Erkenntnisse aus der Laborstudie, in der auf grundlegender Ebene die Auswirkungen verschiedener Darstellungsmöglichkeiten auf die mentale Beanspruchung von Leitwarten-Operateuren untersucht wurden, sollte so erweitert werden. Zu diesem Zweck sollten nun die Rahmenbedingungen der Tätigkeiten, die im Hinblick auf die konkrete Belastungs- und Beanspruchungssituation der Operateure ebenfalls eine sehr bedeutende Rolle spielen, in den Fokus gerückt werden. So konnte ein genauerer Blick auf die für die Beurteilung der Eignung von Technologien und Darstellungsmöglichkeiten geworfen werden. Als zweiter Bestandteil der Feldstudie diente schließlich eine Online-Studie. In dieser wurden die im Rahmen der Fokusgruppen extrahierten und als besonders positiv bzw. besonders negativ bewerteten Anwendungsfälle abschließend evaluiert. Dies diente dazu, die qualitativen Erkenntnisse aus den verschiedenen Fokusgruppen statistisch abzusichern, um so quantifizierbare und auch verallgemeinerbare Ergebnisse zu erhalten. Somit konnten die im Rahmen der Laborstudie gewonnenen, eher grundlegenden Erkenntnisse, ob der Einsatz einer Technologie hinsichtlich der damit einhergehenden mentalen Beanspruchung sinnvoll erscheint, erweitert werden, um bessere Aussagen darüber treffen zu können, wie und wann der Einsatz besonderen Nutzen mit sich bringen kann und wo nicht. Nachfolgend werden die im Rahmen der Feldstudie durchgeführten Arbeiten detailliert dargelegt. Zunächst wird näher auf die Fokusgruppen, also die Gruppen-Workshops, in denen gemeinsam mit Leitwarten-Personal verschiedene positive als auch negative Anwendungsfälle erarbeitet wurden, eingegangen. Anschließend wird die auf den Ergebnissen aufbauende Online-Studie näher thematisiert. Bei beiden Punkten werden sowohl die genutzte Methodik als auch die gewonnenen Ergebnisse genau beschrieben.

## 6 Fokusgruppen

Fokusgruppen bezeichnen allgemein Gruppendiskussionen, bei denen eine kleine Gruppe von Teilnehmenden ein vorgegebenes Thema diskutiert (MORGAN, 1997). Diese können in vielen verschiedenen Kontexten und zu vielen Zwecken eingesetzt werden, etwa der qualitativen Sozialforschung oder der Marktforschung. Oft werden diese insbesondere in der Produktentwicklung oder Usability-Forschung genutzt, um Ideen zu sammeln sowie Anforderungen zu identifizieren (HOLLEIS, 2009). Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Fokusgruppen durchgeführt, um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, für welche Aufgaben und Tätigkeiten die Nutzung neuer Technologien und bestimmter bildlicher Darstellungsmöglichkeiten besonders vorteilhaft angesehen werden und in welchen Fällen sie eher ungeeignet erscheinen. Dazu wurden im Rahmen einer moderierten Gruppendiskussion durch die Teilnehmenden Ideen generiert, welche anschließend gesammelt und im Gruppenkontext diskutiert wurden.

Im Folgenden soll zunächst näher auf die Methodik bei der Durchführung der Fokusgruppen eingegangen werden. Dabei wird zunächst beschrieben, welche Leitwarten für die Durchführung der Fokusgruppen ausgewählt wurden. Anschließend soll auf die Stichprobe der Teilnehmenden näher eingegangen bevor der Ablauf und die Durchführung der Fokusgruppen beschrieben werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Fokusgruppen berichtet.

### 6.1 Methode

#### 6.1.1 Auswahl der Leitwarten

Bei der Auswahl der Leitwarten wurde großer Wert darauf gelegt, Operateure aus Leitwarten verschiedener Branchen unter den Teilnehmenden zu haben. Dies sollte sicherstellen, dass die gewonnenen Erkenntnisse sich nicht nur auf spezifische Anforderungen einer bestimmten Branche beschränken, sondern breit verallgemeinerbar sind und sich gegebenenfalls auftretende Unterschiede in den Anforderungen branchen- oder bereichsspezifisch unterscheiden lassen, während Gemeinsamkeiten herausgearbeitet werden können. Zu den vertretenen Branchen zählten schließlich fünf Leitwarten der Bereiche Sicherheit, Rettungsdienste, Verkehr sowie Prozessindustrie. Diese befanden sich an verschiedenen Orten über ganz Deutschland verteilt. Somit wurde ein ausreichend breites Spektrum an Leitwarten verschiedener Bereiche berücksichtigt.

#### 6.1.2 Stichprobe

An den fünf durchgeführten Fokusgruppen nahmen insgesamt 28 Personen teil. Darunter waren 27 Männer und eine Frau. Die Teilnehmenden waren in erster Linie 24 Operateure, Schichtleiter und Teamleiter aus den beteiligten Leitwarten sowie technisches Personal, das in Leitwarten etwa mit Entwicklungs- und Instandhaltungsaufgaben betraut ist. Außerdem nahmen vier Human-Factors Experten an den Fokusgruppen teil, die sich beruflich mit der Gestaltung von Mensch-Maschine Schnittstellen in verschiedenen Kontexten beschäftigen. Die Personen erklärten sich freiwillig zur Teilnahme an den Fokusgruppen bereit. Unter den Teilnehmenden waren sowohl

Personen, die bereits an den vorangegangenen Laboruntersuchungen teilgenommen hatten, als auch Personen, die zuvor noch nicht mit den Projektzielen vertraut gewesen waren. Diese Diversität unter den Teilnehmenden war im Hinblick auf möglichst vielfältige Ideen gewünscht. Die möglicherweise unterschiedlichen Kenntnisstände der Teilnehmenden sollten keinen negativen Effekt auf die Resultate der Fokusgruppen haben. Stattdessen kann angenommen werden, dass die unterschiedlichen Kenntnisstände die Ergebnisse eher bereicherten. Über die Erkenntnisse aus der Laborstudie wurden die Teilnehmenden zunächst jedoch bewusst nicht informiert.

### 6.1.3 Ablauf und Durchführung

Der Ablauf der im Rahmen der Feldstudie durchgeführten Fokusgruppen-Workshops lässt sich in verschiedene Phasen unterteilen. Dazu zählten nach der Begrüßung der Teilnehmenden zunächst eine thematische Einführung, eine Aufwärmübung sowie schließlich die zwei Hauptblöcke, in denen Ideen zur Nutzung von jeweils drei neuen Technologien und Darstellungsmöglichkeiten generiert werden sollten. Die sechs untersuchten Technologien und Darstellungsmöglichkeiten wurden auf die zwei Blöcke bewusst in fester Zuordnung aufgeteilt, sodass im ersten Block die Technologien 3D, LED-Wall und Wechselbilder und im zweiten Block Augmented Reality, Spiegelung und Zerrung untersucht wurden. Die Aufteilung wurde so gewählt, dass die Teilnehmenden zu Beginn motiviert und mit der Methode vertraut gemacht werden sollten, wozu Darstellungsmöglichkeiten mit breiterem Anwendungspotenzial (3D und LED-Wall) gewählt wurden, bevor sie im zweiten Block Ideen zu den Darstellungsmöglichkeiten mit eingeschränkterem Anwendungspotenzial (Spiegelung und Zerrung) generieren sollten.

Beendet wurden die Fokusgruppen schließlich mit einer Abschlussrunde und der Verabschiedung der Teilnehmenden. Der Ablauf ist in Abbildung 6.1 grafisch veranschaulicht. Die Gesamtdauer betrug für jede Fokusgruppe etwa vier Stunden inklusive Pausen. Die Fokusgruppen wurden stets von zwei Moderatoren durchgeführt, um die Vorbereitung, Moderation und das gleichzeitige Protokollieren zu erleichtern.

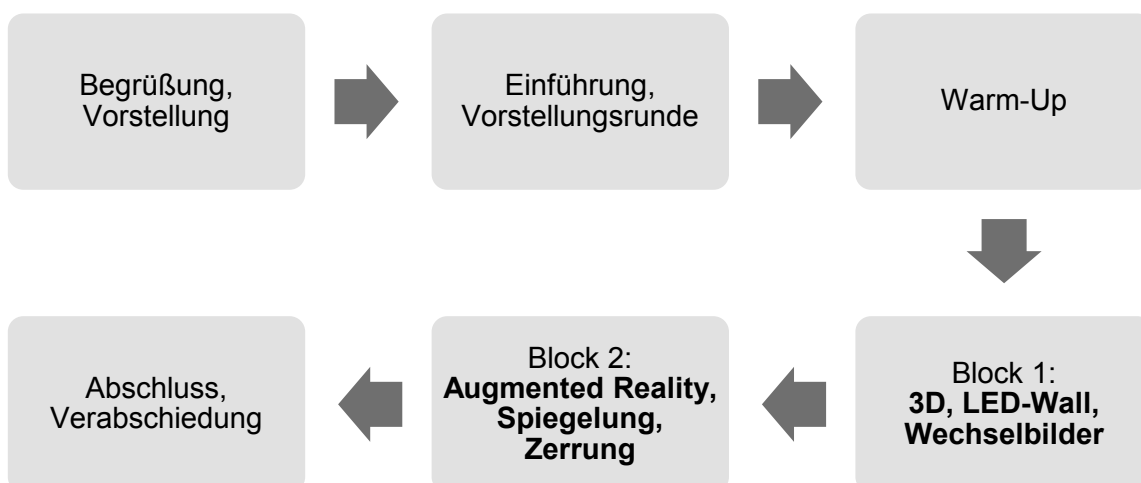


Abb. 6.1 Ablauf der Fokusgruppen

Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Ablaufpunkte eingegangen.

Zu Beginn wurden die Teilnehmenden begrüßt und ihnen für die Teilnahme gedankt. Eine Vergütung war nicht vorgesehen, da die Fokusgruppen in Absprache mit den beteiligten Leitwarten während der Arbeitszeit stattfanden. Anschließend wurden die Moderatoren vorgestellt.

Nachfolgend wurde den Teilnehmenden der Hintergrund des Forschungsprojektes sowie das Ziel der Fokusgruppe vorgestellt. Dabei wurde dargelegt, dass Belastungsfaktoren bei der Nutzung neuer Technologien sowie bildlicher Darstellungsmöglichkeiten von Videos in Leitwarten identifiziert werden sollten. Weiterhin sollte insbesondere mithilfe der potentiellen Nutzer herausgefunden werden, wo sich diese die Nutzung von Technologien und Darstellungsmöglichkeiten gut vorstellen können und auch, wo der Einsatz aus ihrer Sicht eher vermieden werden sollte. Dadurch sollten schließlich Gestaltungsempfehlungen zur Nutzung dieser Technologien in Leitwarten abgeleitet werden.

Anschließend folgte eine Vorstellungsrunde, in der jeder Teilnehmende und Moderator sich kurz mit Namen und Tätigkeitshintergrund vorstellte und seinen Namen zusätzlich auf einem Schild notierte, um die Kommunikation zu erleichtern.

Darauf folgte eine Aufwärmrunde, um die Teilnehmenden auf die nachfolgende Ideengenerierung vorzubereiten und ihre Kreativität anzuregen sowie die Angst vor der Äußerung vermeintlich „schlechter“ Ideen zu lindern. Dabei wurde auf die Übung „Bad Ideas“ zurückgegriffen (MEDIUM, 2018). Diese wurde wie folgt eingeleitet: „Stellen Sie sich vor, Sie wurden von einem guten Bekannten um Unterstützung gebeten, der mit einer Geschäftsidee auf Sie zukommt. Sie sind von seiner Idee nicht genauso überzeugt wie er selbst, versprechen ihm aber, seiner Bitte nachzukommen und ihm zu helfen, Ideen zu entwickeln, wie sich das Produkt vermarkten ließe.“ Nachfolgend sollten die Teilnehmenden in zwei Gruppen Verkaufsargumente für die Produkte „T-Shirt aus Stahlwolle“ und „Unsichtbare Schlüssel“ generieren und diese anschließend nutzen, um „ihr“ Produkt im Plenum anzupreisen. Hierfür waren insgesamt 15 Minuten eingeplant.

Anschließend folgte der Hauptteil, welcher sich grob in zwei größere Blöcke unterteilen lässt. In beiden sollten die Teilnehmenden Ideen generieren, wie sie als potenzielle Nutzer sich die Nutzung neuer Technologien gut vorstellen können und wo der Einsatz aus ihrer Sicht eher vermieden werden sollte. In beiden Blöcken wurde zunächst mit einer Vorstellung der Technologie sowie des Ablaufs begonnen, welche etwa zehn Minuten dauerte. Darauf folgte die Phase der Ideengenerierung, für welche etwa 30 Minuten Zeit eingeplant war. In dieser sollten die Teilnehmenden kreativ werden, wozu eine Abwandlung der Reizbildmethode (IDEENFINDUNG, 2018) genutzt wurde. Dabei wurde die Technik im Gegensatz zur ursprünglichen Auslegung nicht völlig frei und unter Auswahl zufälliger Bilder genutzt. Die ausgewählten Bilder sollten hingegen eher zur Inspiration in Verknüpfung mit einer Brainstorming-Methode genutzt werden. Dies sollte dazu dienen, die Kreativität der Teilnehmenden anzuregen, um mögliche Bezüge zur potentiellen Anwendung der Technologie im eigenen Tätigkeitskontext herzustellen. Als Reizbilder wurden auch nicht einzelne Bilder verwendet. Stattdessen wurden auf großformatigen Postern Fotocollagen von Bildern erstellt, anhand derer die Technologie bzw. Darstellungsmöglichkeit veran-

schaulich und die Ideenfindung potentieller Nutzungsmöglichkeiten erleichtert werden sollte. Die Teilnehmenden erhielten die Anweisung, Tätigkeiten, für deren Ausführung sie die Technologie oder Darstellungsmöglichkeit als nützlich oder hilfreich erachteten auf grüne Kärtchen zu schreiben und Tätigkeiten, für deren Umsetzung sie diese nicht für geeignet hielten, auf rote Kärtchen zu schreiben. Dabei sollten sie für jede Technologie versuchen, mindestens zwei grüne und zwei rote Kärtchen zu beschriften. Zusätzlich wurden die Teilnehmenden mündlich darauf hingewiesen, dass die auf den Postern gezeigten Bilder lediglich als Inspiration dienen sollten, um den Bezug auf den eigenen Tätigkeitsbereich etwas zu erleichtern. Außerdem wurde den Teilnehmenden nochmals gesagt, dass es keine schlechten Ideen gäbe und gerne auch zunächst unrealistisch wirkende Punkte genannt werden können. Daraufhin konnten sich die Teilnehmenden frei im Raum bewegen und jeder für sich seine Ideen auf die Papierkarten notieren.

In der darauffolgenden Phase wurden die Kärtchen mit den verschiedenen positiven sowie negativen Anwendungsbeispielen für die Nutzung jeder Technologie von den Teilnehmenden kurz vorgestellt und aufgegliedert nach Technologie und Eignung (positiv/negativ) auf Flipchart-Papier gesammelt. Nach der Vorstellung aller Kärtchen in einem Block wurden diese von den Moderatoren nach Gemeinsamkeiten oder Überschneidungen sortiert. Anschließend hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, mithilfe von jeweils sechs Klebepunkten je Teilnehmende und Block die in ihren Augen relevantesten Punkte (sowohl positiv als auch negativ) besonders zu gewichten.

Insgesamt wurden zwei solcher Blöcke durchgeführt, wobei im ersten Block stets die drei Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten 3D-Darstellung, LED-Wall und Wechselbilder und im zweiten die Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten Augmented Reality, Spiegelung und Zerrung näher beleuchtet wurden. Die Zuordnung und Reihenfolge der Technologien innerhalb der zwei Blöcke wurde bewusst so gewählt und nicht rotiert, um die Teilnehmenden zunächst im ersten Block mithilfe potentiell verbreiteterer Technologien zu motivieren und mit dem Ablauf vertraut zu machen, während die Darstellungsmöglichkeiten mit eingeschränkterem Anwendungspotenzial bewusst in den zweiten Teil gelegt wurden.

Zum Abschluss einer jeden Fokusgruppe wurde den Teilnehmenden für ihr Engagement bei der Ideengenerierung gedankt. Anschließend wurden ihnen Informationen zum weiteren Vorgehen (Auswertung der Ergebnisse aus den Fokusgruppen und Validierung durch Online-Studie) sowie ein Überblick über das gesamte Forschungsprojekt (Anwendungshintergrund, Labor- und Felduntersuchungen und Erstellung der Gestaltungsempfehlungen) gegeben. Schließlich gab es die Möglichkeit, weitere Anmerkungen oder Fragen zu äußern und Rückmeldung zum Ablauf zu geben, bevor die Teilnehmenden verabschiedet wurden.

## **6.2 Ergebnisse**

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Fokusgruppen dargelegt werden. Dabei werden die von den Teilnehmenden für jede Technologie als relevant befundenen Anwendungsfälle aufgeführt. Eine vollständige Auflistung der identifizierten Anwendungsfälle findet sich in Anhang. Bei der Ableitung dieser Anwendungsfälle wurde insbesondere darauf geachtet, dass konkrete Anwendungsfälle ausgewählt und iden-

tifiziert wurden. Auch wurden mehrfach aufgeführte Anwendungsfälle, wenn diese inhaltlich eine ähnliche Bedeutung hatten, aber geringfügig anders formuliert waren, zusammengefasst aufgenommen. Anschließend wurden die von den Teilnehmenden besonders hoch bewerteten Anwendungsfälle identifiziert. Dazu wurden aus der Liste der von den Teilnehmenden gewichteten Gesamtergebnisse jeweils zwei gewünschte und zwei nicht gewünschte Anwendungsfälle je Technologie oder Darstellungsmöglichkeit ausgewählt bzw. aus mehreren inhaltlich ähnlichen Anwendungsfällen abstrahiert. Die Anzahl wurde gewählt, weil die Ergebnisse in jeder Rubrik sich auch über die Leitwarten verschiedener Branchen hinweg sehr gut in zwei Punkte zusammenfassen ließen, ohne wichtige Punkte unberücksichtigt zu lassen. Nachfolgend wird nun nacheinander auf die Ergebnisse der Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten Wechselbilder, Spiegelung, Zerrung, Augmented Reality, 3D-Darstellungen und schließlich LED-Wall eingegangen. Eine Diskussion der Ergebnisse findet sich unter Gliederungspunkt 6.3.

### 6.2.1 Wechselbilder

Bei der Untersuchung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder zeigte sich, dass von den Fokusgruppen- Teilnehmenden diese Darstellungsmöglichkeit insbesondere als geeignet eingeschätzt wurden, wenn es um die Videobeobachtung oder Überwachung größerer Bereiche ging, welche keine dauerhafte Aufmerksamkeit für eine bestimmte Szene erforderten. Ein Beispiel hierfür wären etwa im Sicherheitsbereich öffentliche Plätze oder im Wasserverkehrsbereich eine Übersicht über verschiedene Wasserstände und Wehrstellungen. Hierbei wurde als Vorteil insbesondere der schnelle Überblick über viele verschiedene Orte genannt. Als wünschenswert wurde dabei auch eine intelligente Steuerung des Bildwechsels, etwa durch eine gleichzeitige Ereigniserkennung erwähnt. Aus der Sammlung aller gewünschten Anwendungsfälle wurden schließlich die folgenden zwei als von den Teilnehmenden besonders relevant eingeschätzten identifiziert:

<b>Gewünschte Anwendungsfälle:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Wechselbildern zur Videobeobachtung und Überwachung größerer Bereiche</li> <li>• Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an den Kontext angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens</li> </ul>



Als nicht gewünschte Anwendungsfälle wurden hier insbesondere Tätigkeiten genannt, die weniger mit der Überwachung, sondern mit der Steuerung von Prozessen zusammenhängen, etwa Ansichten des Prozessleitsystems oder der eigentliche Schleusenbetrieb. Darüber hinaus wurden sicherheitsrelevante Ansichten wie etwa Störungsfälle oder andere kritische Situationen genannt, bei denen durch einen automatisierten Bildwechsel äußerst wichtige Informationen verloren gehen könnten. Als Nachteil, welcher nicht direkt in einen konkreten Anwendungsfall überführbar war, wurden hier die hohen Anforderungen an Aufmerksamkeit und Konzentration sowie generell Stress genannt. Aus den angegebenen, nicht gewünschten Anwendungsfällen wurden schließlich die folgenden zwei Anwendungsfälle identifiziert:

**Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen
- Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für die Prozesssteuerung

In Bezug auf die Laborstudie lassen sich hier Parallelen herstellen. So konnte in der Laborstudie gezeigt werden, dass ein signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen der Frequenz des Bildwechsels und der mentalen Beanspruchung der teilnehmenden Operateure besteht. In der Fokusgruppe wurden insbesondere innerhalb der nicht gewünschten Anwendungsfälle ähnliche Argumente eingebracht, die als Nachteil etwa hohe Anforderungen bezüglich der Beanspruchung der Operateure stellen.

**6.2.2 Spiegelung**

Bei der Untersuchung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung wurden generell sehr wenige gewünschte Anwendungsfälle durch die Teilnehmenden identifiziert. Dabei zeigte sich, dass die Darstellungsmöglichkeit von den Teilnehmenden insbesondere für nützlich gehalten wurde, um das Kamerabild an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen. Dies konnte etwa sein, um bei einem ungünstigen Kamerastandort die Fluss- oder Bewegungsrichtung beizubehalten oder das Bild bei einem baulich bedingten, problematischen Kamerastandort anzupassen. Diese beiden Punkte wurden als besonders relevant identifiziert:

**Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Spiegelung zur Anpassung an Bedürfnisse der Nutzer, etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung
- Nutzung der Spiegelung zur Anpassung bei problematischen Kamerastandorten

Auf Seite der nicht gewünschten Anwendungsfälle wurden mehr als zwei negative Einsätze genannt, welche von den Teilnehmenden auch stärker bepunktet wurden als die gewünschten Anwendungsfälle. Dazu zählten als konkrete Tätigkeiten insbesondere Steuerungstätigkeiten, etwa zur Bedienung von Fertigungsanlagen, oder auch Navigationsvorgänge, bei denen eine seitenverkehrte Darstellung mit einem zusätzlichen kognitiven Aufwand durch ein gedankliches Vertauschen der Seiten verbunden ist. Zusätzlich zu den negativen Anwendungsfällen wurden generelle Nachteile, die eine Spiegelung mit sich bringen, genannt. Diese waren insbesondere die hohen Reizanforderungen und die mit den seitenverkehrten Darstellungen unter Umständen auftretende höhere kognitive Beanspruchung. Anhand der hohen Bepunktung wurde ersichtlich, dass folgende Fälle von den Teilnehmenden als besonders relevant eingeschätzt wurden:

**Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten
- Nutzung der Spiegelung für Tätigkeiten, die die Navigation im Raum erfordern



### 6.2.3 Zerrung

Im Rahmen der Fokusgruppen wurden durch die Teilnehmenden sowohl gewünschte, positive Anwendungsfälle als auch einige nicht gewünschte, negative Anwendungsfälle von gezerzten Darstellungen identifiziert – beide stehen in einem relativ ausgewogenen Verhältnis zueinander.

Auf Seite der gewünschten Anwendungsfälle wurden insbesondere Übersichtsdarstellungen, etwa von großen Flächen, Anlagenarealen, Maschinenhallen oder ganzer Werksübersichten genannt, welche mithilfe verzierter Fischaugendarstellung etwa „auf einen Blick“ im Auge behalten werden können. Darüber hinaus können mithilfe der großflächigen, verzerrten Darstellungen mitunter die Kamerazahl reduziert und bestimmte Bereiche im Zentrum des Bildes etwas größer dargestellt werden. So können diese besonders fokussiert werden, ohne Details im Randbereich völlig außer Acht zu lassen. Aus den genannten, für positiv empfundenen Anwendungsfällen, wurden die folgenden zwei als besonders relevant identifiziert:

<b>Gewünschte Anwendungsfälle:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Zerrungen für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche</li> <li>• Nutzung von Zerrungen zur Hervorhebung wichtiger Bereiche</li> </ul>



Auf Seite der nicht gewünschten Anwendungsfälle wurden bei verzerrten Fischaugendarstellungen insbesondere Punkte genannt, welche sich auf die Nutzung dieser bei sehr kurzen Distanzen oder auf Tätigkeiten beziehen, welche die Einschätzung von Geschwindigkeiten oder räumlichen Details erfordern.

<b>Nicht gewünschte Anwendungsfälle:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Zerrungen für Darstellungen aus geringer Entfernung</li> <li>• Nutzung von Zerrungen für Tätigkeiten, die die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern</li> </ul>



### 6.2.4 Augmented Reality

Im Rahmen der Fokusgruppen wurden durch die Teilnehmenden Anwendungsfälle zur Nutzung von Augmented Reality in Leitwarten identifiziert. Dabei überwogen zahlenmäßig deutlich die positiven Anwendungsfälle.

Hierbei wurde zunächst einmal insbesondere die bedarfsabhängige Einblendung von Entscheidungshilfen genannt und recht stark gewichtet. In eine ähnliche Richtung geht auch die Hinterlegung bzw. Verknüpfung von Hilfsmitteln wie etwa Checklisten für bestimmte Abläufe. Auch sehr häufig genannt und dementsprechend gewichtet wurde die Einblendung zusätzlicher Information. Diese könnten am Beispiel des Wasserverkehrs etwa Abmessungen, Längenangaben oder Geschwindigkeiten von Schiffen sein. Dieser Anwendungsfall lässt sich jedoch auch auf andere Bereiche übertragen, so etwa den Sicherheitsbereich, wo Informationen zu bestimmten Örtlichkeiten geliefert werden können oder der Industriebereich, wo Zusatzinformationen zu Fertigungsanlagen eingeblendet werden können.

Die genannten, für positiv empfundenen Anwendungsfälle, lassen sich gut durch die zwei folgenden Anwendungsfälle zusammenfassen:

**Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Augmented Reality zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe
- Nutzung der Augmented Reality zum Einblenden von Zusatzinformationen: z. B. Beschriftung, Entfernung, Geschwindigkeit

Auf der anderen Seite wurden von den Teilnehmenden auch nicht gewünschte Anwendungsfälle von Augmented Reality identifiziert. Dazu zählten zum einen insbesondere Punkte, welche die Nutzung von AR-Handlungsempfehlungen als eine Art „Bedienungsanleitung“ für nicht geeignet halten, da hierbei die Gefahr bestehe, sich zu sehr auf diese zu verlassen oder sich zu sehr daran zu gewöhnen. Weitere Punkte nannten die intensive Einblendung von zusätzlichen Informationen als potentiell überfordernd, insbesondere in Situationen, in welchen diese nicht benötigt werden. Die als nicht gewünscht aufgeführten Anwendungsfälle lassen sich in den folgenden zwei Punkten gut zusammenfassen:

**Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Augmented Reality zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen, ähnlich einer Bedienungsanleitung
- Einsatz von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen

**6.2.5 3D-Darstellungen**

Für 3D-Darstellungen wurden im Rahmen der verschiedenen Fokusgruppen durch die Teilnehmenden Anwendungsfälle zur Nutzung in Leitwarten identifiziert. Hier überwogen zahlenmäßig wie bei Augmented Reality deutlich die gewünschten Anwendungsfälle über den nicht gewünschten Anwendungsfällen.

Unter den genannten wünschenswerten Anwendungsfällen waren insbesondere die Darstellungen von Landkarten oder Übersichten zu finden. Als Beispiele wurden so etwa die Koordination der Einsatzkräfte vor Ort bei Rettungseinsätzen, die Koordination bei Fahndungen oder bestimmten Einsatzräumen von Sicherheitskräften genannt. Im Bereich des Schiffsverkehrs wurden als Beispiele die Darstellung relevanter Orte auf Wasserstraßenkarten, wie etwa Brückendurchfahrten oder Liegeplätze, aufgeführt. Ein weiterer wichtiger Punkt, der öfter genannt und stärker gewichtet wurde, war dabei die räumliche Darstellung von Anlagen oder Anlagenteilen. Diese könnte etwa zur leichteren Störungsdiagnose, zu Schulungszwecken oder zur Visualisierung der Anlage eingesetzt werden.

Die genannten, für positiv empfundenen Anwendungsfälle, lassen sich gut durch die zwei folgenden Anwendungsfälle zusammenfassen:

**Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen
- Nutzung von 3D-Darstellungen für Anlagen- und Gebäudeansichten

Auf der Seite der nicht gewünschten Anwendungsfälle wurden dagegen insbesondere die Darstellung hochkomplexer Anlagen oder der Einsatz für Routinetätigkeiten wie beispielsweise übliche Dispositionstätigkeiten genannt. Darüber hinaus wurden auch einige relativ allgemeine Nachteile aufgeführt, wie etwa der höhere technische

Aufwand oder die mögliche Entwicklung von Kopfschmerzen bei längerer Nutzung. Diese sind aber nicht direkt in Anwendungsfälle überführen und wurden deshalb bei den nachfolgenden in zwei Punkten zusammengefassten Fällen nicht berücksichtigt.

<b>Nicht gewünschte Anwendungsfälle:</b>
--

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen</li> <li>• Einsatz von 3D-Darstellung zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten</li> </ul> |
|--|

### 6.2.6 LED-Wall

Schließlich wurde im Rahmen der Fokusgruppen auch die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall näher untersucht, auf die im Rahmen der vorangegangenen Laborstudie aus inhaltlichen Gründen, wie unter Punkt 3.2.5 beschrieben, nicht näher eingegangen worden war. Die Feldstudie bot jedoch einen guten Rahmen, um auch diese Technologie näher zu untersuchen.

Wie bei den beiden letzten Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten überwogen hier die als wünschenswert eingeschätzten Anwendungsfälle deutlich gegenüber den als nicht wünschenswert eingeschätzten. Von den Teilnehmenden wurden wünschenswerte Anwendungen insbesondere in der gleichzeitigen Übersichtsdarstellung, etwa von mehreren Anlagen, gesehen, in welcher dynamisch Informationen zu diesen eingeblendet werden können. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit der Darstellung von Informationen, welche für alle in der Leitwarte tätigen Personen relevant sein können als nützlicher Anwendungsfall recht häufig genannt. Dazu könnten beispielsweise der Dienstplan, aktuelle Neuigkeiten, wie etwa Ausfälle von Personen oder Fahrzeugen, Störungen oder Anweisungen, zählen.

Die genannten, für positiv empfundenen Anwendungsfälle ließen sich gut mit folgenden zwei Punkten zusammenfassen:

<b>Gewünschte Anwendungsfälle</b>
-----------------------------------

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der LED-Wall zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen</li> <li>• Nutzung der LED-Wall zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen</li> </ul> |
|--|

Auf Seiten der nicht gewünschten Anwendungsmöglichkeiten wurden von den Teilnehmenden hauptsächlich allgemeine Nachteile der Technologie genannt, etwa die Möglichkeit der zu großen Beanspruchung durch die Darstellung von zu vielen Informationen. Daneben wurden auch Punkte genannt, die sich in konkretere Anwendungsfälle übertragen ließen, wie etwa interaktive Detaildarstellungen bzw. die Darstellung von zu vielen Informationen. Diese Punkte wurden schließlich in die folgenden zwei Anwendungsfälle zusammengeführt:

<b>Nicht gewünschte Anwendungsfälle</b>
---

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der LED-Wall für interaktive Detaildarstellungen</li> <li>• Nutzung der LED-Wall zur Darstellung sehr vieler Informationen</li> </ul> |
|--|

### 6.3 Diskussion

Die Fokusgruppen wurden durchgeführt, um die in der Laborstudie erlangten Erkenntnisse um essentielle Punkte zu erweitern. Während in der Laborstudie auf allgemeinerer Ebene untersucht wurde, inwieweit sich neue Technologien und Darstellungsmöglichkeiten auf die mentale Beanspruchung von Leitwarten-Operateuren auswirken, sollten die Fokusgruppen dazu dienen, mehr über die Umstände und Rahmenbedingungen möglicher Anwendungen zu erfahren. So spielt der Anwendungskontext, in dem die Technologie oder Darstellungsmöglichkeit eingesetzt wird, für die Beanspruchung der Nutzer mit hoher Wahrscheinlichkeit eine mindestens ebenso große Rolle wie die Merkmale der Technologie oder Darstellungsmöglichkeit selbst.

Für die untersuchten Technologien Wechselbilder, Spiegelung, Zerrung, Augmented Reality, 3D-Darstellungen sowie LED-Wall konnten deshalb mithilfe der Teilnehmenden der fünf durchgeführten Fokusgruppen sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle identifiziert werden. Dabei war insbesondere die Expertise und Erfahrung der Teilnehmenden aus Leitwarten verschiedener Bereiche von großem Wert für das Forschungsunterfangen. Die dabei genannten Punkte konnten trotz der unterschiedlichen Branchenkontexte gut auf eine jeweils zwei Anwendungsfälle für jede Kategorie zusammengefasst werden, ohne dass wichtige Punkte unbeachtet blieben. Allerdings ist trotz der relativ diversen Teilnehmenden nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse in weiteren Fokusgruppen mit Teilnehmenden aus anderen Bereichen noch um weitere Punkte hätten erweitert werden können. Teilweise wurde von den Teilnehmenden neben konkreten Anwendungsfällen aus ihrem jeweiligen Fachbereich auch allgemeine Vor- oder Nachteile der Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten genannt. Diese wurden teilweise in der Auswertung berücksichtigt, wenn sich, auch im Rahmen der Diskussion, ein Bezug zu einem Anwendungsfall oder einem Tätigkeitskontext herstellen ließ. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die genutzte Methodik hilfreich war, um mithilfe von Experten Anwendungsfälle für die Technologien und Darstellungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Diese wurden anschließend anhand von Beispielen anschaulich aufbereitet und daraufhin in einer Online-Studie evaluiert. Auf diese wird nachfolgend näher eingegangen.

## 7 Online-Studie

In der Online-Studie sollten vier im Rahmen der vorausgegangenen Fokusgruppen identifizierten verschiedenen Anwendungsfälle für jede Technologie oder Darstellungsmöglichkeiten im Rahmen einer empirischen Untersuchung näher untersucht werden. Dies sollte es ermöglichen, die zuvor identifizierten Einsatzbereiche für diese Technologien und Darstellungsmöglichkeiten unter Nutzung statistischer Verfahren zu evaluieren, um daraus belastbare Gestaltungsempfehlungen ableiten zu können. Als Fragestellung sollte dabei insbesondere untersucht werden, wie die Eignung sowie die Akzeptanz der Technologie oder Darstellungsmöglichkeit für die vorab identifizierten Anwendungsfälle durch die Teilnehmende beurteilt wird. Eine weitere Fragestellung bezog sich auf den Vergleich der Beurteilungen der Relevanz sowie der Vertrautheit mit der Technologie oder Darstellungsmöglichkeiten. Während die Beurteilung der Relevanz von Technologien auf einer allgemeineren Ebene interessant sein kann, um Empfehlungen zu deren Nutzung zu geben, können diese beiden Punkte womöglich Einfluss auf die Nutzungsintention der Operateure haben. Auf diese Zusammenhänge der verschiedenen Variablen mit der Intention zur Nutzung bezieht sich die letzte Forschungsfrage, auf die in der Online-Studie mithilfe einer Regressionsanalyse näher eingegangen werden soll. In vorangegangenen Forschungsarbeiten zeigten sich deutliche Zusammenhänge zwischen der Intention zur Nutzung von Technologien und der tatsächlichen Nutzung (TAO, 2009; VENKATESH & DAVIS, 2000). Damit kann dieses Konstrukt als bedeutend für die Untersuchung insbesondere neuer Technologien und Darstellungsmöglichkeiten sein, um mithilfe der Expertise und Erfahrungen potentieller Nutzer fundierte Empfehlungen zum sinnvollen Einsatz dieser zu geben.

### 7.1 Methode

#### 7.1.1 Stichprobe

Die Online-Studie wurde im Zeitraum zwischen dem 14.06.2018 und dem 11.07.2018 mithilfe der Plattform SoSciSurvey durchgeführt. Insgesamt wurde der Online-Fragebogen 67 mal aufgerufen und davon 31 mal vollständig bearbeitet. Unter den 31 Teilnehmenden waren 26 Männer und fünf Frauen. Die Teilnehmende waren durchschnittlich 40.7 Jahre alt ( $SD = 9.6$ ) und verfügten über 6.9 Jahre Berufserfahrung ( $SD = 6.7$ ). 25 (80.6%) der Teilnehmenden waren direkt oder im Umfeld von Leitwarten in folgenden Branchen tätig: Sicherheit inklusive Polizei und Bäder (51.6%), Verkehr (22.5%) und Industrie (6.5%). Weitere sechs Teilnehmende (19.4%) waren Human-Factors Experten aus dem wissenschaftlichen Bereich.

Als Vergütung für die Teilnahme an der Studie erhielten interessierte Teilnehmende, die den Fragebogen vollständig bearbeiteten, einen 10 € Amazon-Gutschein, der ihnen nach Abschluss der Studie per Mail zugesandt wurde.

#### 7.1.2 Material

##### **Anwendungsfälle**

Als Untersuchungsobjekte dienten in der Online-Studie die zuvor im Rahmen der vorangegangenen Fokusgruppen identifizierten Anwendungsfälle. Diese wurden für die

sechs Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten Wechselbilder, Spiegelung, Zerrung, Augmented Reality, 3D-Darstellungen und LED-Walls erstellt. Dabei wurden jeweils vier Anwendungsfälle untersucht, darunter zwei positive, gewünschte Anwendungsfälle sowie zwei negative, nicht gewünschte. Die Anwendungsfälle wurden für die Online-Studie vorab anhand eines Beispiels veranschaulicht. Um die Beispiele möglichst realitätsnah zu formulieren, wurden dafür auf Anhaltspunkte zurückgegriffen, die auch von den Teilnehmenden der Fokusgruppen genannt wurden. Die Anwendungsfälle mitsamt dazugehörigen Beispielen für jede der Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten werden nachfolgend aufgeführt:

#### **Wechselbilder – Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Wechselbildern zur Videobeobachtung und Überwachung größerer Bereiche
  - Beispiel: In einer Leitstelle der Polizei werden Bildwechsel bei der Überwachung von großen öffentlichen Plätzen mithilfe mehrerer Kameras genutzt
- Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an den Kontext angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens
  - Beispiel: In einer Leitstelle der Bahn werden Bildwechsel genutzt, um mehrere Bahnsteige zu überwachen, wobei mittels adaptivem Bildwechsels das Bild im Falle eines kritischen Ereignisses am Bahnsteig angehalten wird.

#### **Wechselbilder – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen
  - Beispiel: Bei der Störung einer Produktionsanlage werden durch die Nutzung von Bildwechseln in der Leitwarte relevante Bereiche in dieser kritischen Situation nicht abgebildet.
- Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für Prozesssteuerung
  - Beispiel: In der Leitwarte eines Pharmaunternehmens werden Bildwechsel für die Visualisierung der Anlagensteuerung für Fertigungsprozesse genutzt.

#### **Spiegelung – Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Spiegelung zur Anpassung an Bedürfnisse der Nutzer, etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung
  - Beispiel: In der Tunnelüberwachung wird eine gespiegelte Videodarstellung genutzt, um die Bewegungsrichtung des Verkehrs über mehrere Kameras hinweg aufeinander abzustimmen.
- Nutzung der Spiegelung zur Anpassung bei problematischen Kamerastandorten
  - Beispiel: In einer Leitwarte zur Steuerung von Schiffsschleusen wird eine gespiegelte Darstellung genutzt, um das Bild einer aus baulichen Gründen entgegen der typischen Ausrichtung aufgestellten Kamera an die übrigen Kamerabilder anzupassen.

**Spiegelung – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten
  - Beispiel: In Leitwarten zur Anlagensteuerung werden die Visualisierungen von Fertigungsprozessen seitenverkehrt dargestellt.
- Einsatz der Spiegelung für Tätigkeiten, die eine Navigation im Raum erfordern
  - Beispiel: In einer Feuerwehr-Leitstelle wird die seitenverkehrte Darstellung von Videoübertragungen genutzt, um die Einsatzkräfte vor Ort zu einem bestimmten Raum zu lotsen.

**Zerrung – Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Zerrungen für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche
  - Beispiel: Eine Fischaugenzerrung wird genutzt, um einen Überblick für die Überwachung des gesamten Werksgeländes darstellen zu können.
- Nutzung von Zerrungen zur Hervorhebung wichtiger Bereiche
  - Beispiel: Eine Fischaugenzerrung wird in einer Leitwarte zur Schleusensteuerung genutzt, um einen Überblick über eine gesamte Schleusenanlage darzustellen, wobei der wichtigste Bereich, die Schleusenkammer, in der Mitte des Bildes durch die verzerrte Darstellung fokussiert wird.

**Zerrung – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von Zerrungen für Darstellungen aus geringer Entfernung
  - Beispiel: Eine Fischaugenzerrung wird in der Anlagenüberwachung für die Darstellung eines Kamerabildes aus geringer Distanz genutzt, wodurch die Proportionen nicht originalgetreu abgebildet werden.
- Nutzung von Zerrungen für Tätigkeiten, die die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern
  - Beispiel: Eine Fischaugenzerrung wird zur Verkehrsbeobachtung genutzt, wobei durch die verzerrte Darstellung die Abstände und Geschwindigkeiten der Fahrzeuge nicht maßstabsgetreu abgebildet werden.

**Augmented Reality – Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Augmented Reality zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe
  - Beispiel: In der Leitstelle der Feuerwehr wird die Koordination eines Einsatzes durch die Live-Einblendung von Handlungs-Checklisten begleitet.
- Nutzung der Augmented Reality zum Einblenden von Zusatzinformationen: Beschriftung, Entfernung, Geschwindigkeit etc.
  - Beispiel: In einer Leitzentrale des Wasserschiffverkehrs werden zu den einzelnen Schiffen Informationen wie etwa die Abmessungen und Geschwindigkeit angezeigt.

### **Augmented Reality – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der Augmented Reality zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen, ähnlich einer Bedienungsanleitung
  - Beispiel: Für die Anlagensteuerung werden im Videobild dauerhaft schrittweise Handlungsempfehlungen gegeben, was als nächstes auszuführen ist.
- Einsatz von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen
  - Beispiel: Das Videobild einer Leitwarte aus dem Sicherheitsbereich wird durch eine große Zahl nicht aufgabenrelevanter Informationen wie etwa Luftfeuchtigkeit erweitert.

### **3D – Gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen
  - Beispiel: In einer Leitstelle der Polizei werden 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen genutzt, um zur Koordination eines Einsatzes einen besseren räumlichen Eindruck der Situation vor Ort zu erhalten.
- Nutzung von 3D-Darstellungen für Anlagen- und Gebäudeansichten
  - Beispiel: In einer Feuerwehr-Leitzentrale werden 3D-Darstellungen genutzt, um für die Koordination eines Einsatzes die Innenräume und Fluchtmöglichkeiten innerhalb eines großen Gebäudes besser darstellen zu können.

### **3D – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen
  - Beispiel: In der Leitwarte eines Industrieunternehmens werden 3D-Darstellungen mit Tiefeninformationen genutzt, um hochkomplexe und detaillierte Prozessleitbilder zu visualisieren.
- Einsatz von 3D-Darstellung zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten
  - Beispiel: Innerhalb der Leitzentrale eines Kraftwerkes werden 3D-Darstellungseffekte in gängigen Bürosoftware-Anwendungen zur Bearbeitung von Dokumenten sowie für Tabellenkalkulationen genutzt.

### **LED-Wall – Gewünschte Anwendungsfälle**

- Nutzung der LED-Wall zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen
  - Beispiel: Eine LED-Wall wird in einer Industrie-Leitwarte genutzt, um allen Operateuren innerhalb einer Übersichtsdarstellung Informationen zum Status verschiedener Produktionsanlagen zur Verfügung zu stellen.
- Nutzung der LED-Wall zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen
  - Beispiel: In der Leitstelle einer Sicherheitsfirma werden für alle Mitarbeiter aktuelle Informationen etwa zum Dienstplan sowie zu Ausfällen von Fahrzeugen auf einer LED-Wall dargestellt.



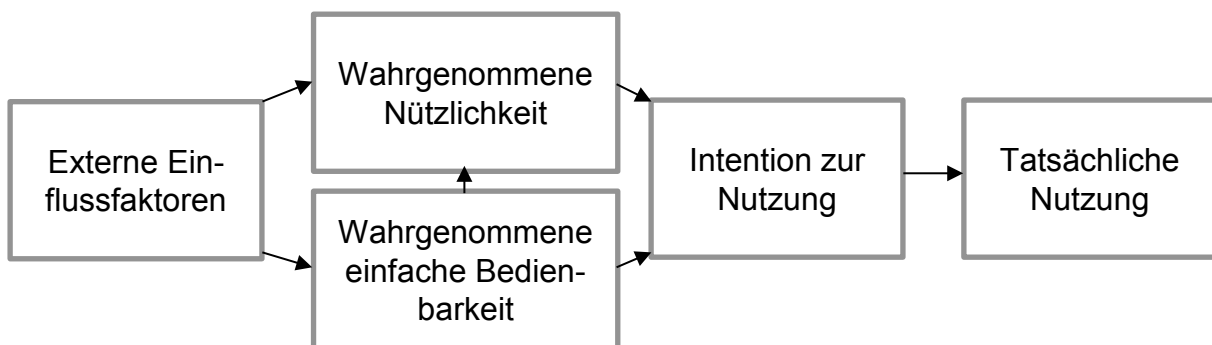
**LED-Wall – Nicht gewünschte Anwendungsfälle:**

- Nutzung der LED-Wall für interaktive Detaildarstellungen
  - Beispiel: In der Netz-Leitwarte eines Energieversorgers werden großflächig hochdetaillierte Prozess-Visualisierungen auf einer LED-Wall dargestellt.
- Nutzung der LED-Wall zur Darstellung sehr vieler Informationen
  - Beispiel: Auf der LED-Wall einer Verkehrsleitstelle wird die gesamte Anzeigefläche so aufgeteilt, dass neben einer Vielzahl verschiedener Videokameras zur Tunnelüberwachung auch eine Übersichtskarte sowie Textanzeigen mit Informationen parallel dargestellt sind, wodurch einzelne Informationen klein dargestellt werden.

**Befragungsinstrumente**

Für die Erfassung der subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden an der Online-Studie wurde sowohl auf ein bestehendes Instrument als auch auf eigens für den Einsatzzweck formulierte Items zurückgegriffen. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Das Technology Acceptance Model (DAVIS, 1985; VENKATESH & DAVIS, 2000) ist ein recht weitverbreitetes Modell (KÖNIGSTORFER, 2008), mithilfe dessen die Nutzerakzeptanz von neuen Technologien untersucht und vorhergesagt werden kann. Dabei wird angenommen, dass die tatsächliche Nutzung von Technologien maßgeblich von der *Intention zur Nutzung* bedingt wird, welche wiederum durch die beiden Faktoren *Wahrgenommene Nützlichkeit* (perceived usefulness) und *Wahrgenommene leichte Bedienbarkeit* (perceived ease of use) beeinflusst werden. Das Modell ist in Abbildung 7.1 zur Übersicht dargestellt.



**Abb. 7.1** Technologie-Akzeptanz-Modell nach VENKATESH und DAVIS (2000)

Jeder der Faktoren wurde dabei anhand eines sehr häufig genutzten Items (LEGRIS, INGHAM & COLLERETTE, 2003) abgefragt, um den Zeitaufwand für die Durchführung der Online-Studie und somit auch die Abbruchquote möglichst gering zu halten. Die übersetzten Items sind nachfolgend aufgeführt:

- Wahrgenommene Nützlichkeit: Insgesamt fände ich die Darstellungsmöglichkeit nützlich für den Anwendungsfall.
- Wahrgenommene einfache Bedienbarkeit: Insgesamt fände ich die Darstellungsmöglichkeit im Anwendungsfall leicht zu benutzen.
- Intention zur Nutzung: Angenommen, ich hätte die Darstellungsmöglichkeit zur Verfügung, dann würde ich sie für den Anwendungsfall nutzen.

Mit diesem Vorgehen wird nicht das tatsächliche Nutzungsverhalten auf Basis bereits vorhandener Erfahrungen abgefragt, sondern die Technologie-Akzeptanz. Wie in vorausgegangenen Arbeiten (VENKATESH & DAVIS, 2000; siehe auch Abbildung 7.1) gezeigt werden konnte, kann diese jedoch die spätere tatsächliche Nutzung vorhersagen. Auf diese können jedoch natürlich noch eine Vielzahl weiterer Faktoren, wie natürlich primär etwa die Verfügbarkeit der Technologie, Einfluss haben.

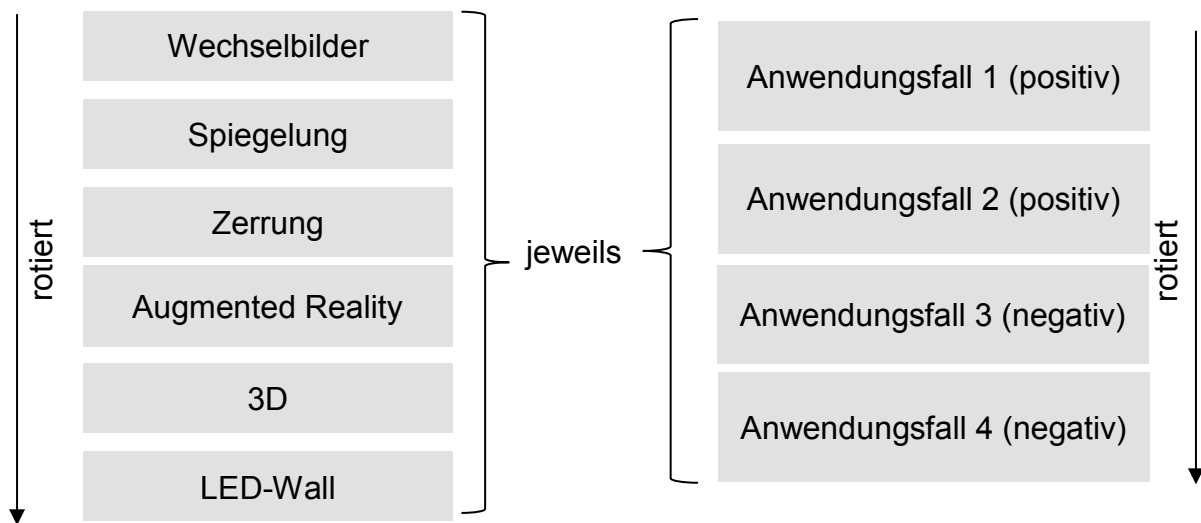
Neben dem Technologie-Akzeptanz-Modell wurden zur Beantwortung der oben aufgeführten Fragestellungen noch die dafür interessanten Konzepte Relevanz, Eignung und Vertrautheit mit der Technologie bzw. Darstellungsmöglichkeit mithilfe dafür erstellter Single-Items abgefragt. Diese sind nachfolgend aufgeführt:

- Relevanz: Ich halte die Darstellungsmöglichkeit bezogen auf den Anwendungsfall für relevant.
- Eignung: Ich halte die Darstellungsmöglichkeit bezogen auf den Anwendungsfall für geeignet.
- Vertrautheit mit der Technologie/Darstellungsmöglichkeit: Wie vertraut sind Sie mit der genannten Technologie bzw. Darstellungsmöglichkeit?

Alle Skalen wurden auf siebenstufigen Likert-Skalen bewertet, bei denen die Extrema mit „stimme überhaupt nicht zu“ und „stimme voll zu“ beschriftet waren. Dementsprechend lagen die Ausprägungen dieser im Bereich zwischen eins und sieben.

### **7.1.3 Ablauf und Durchführung**

Die Dauer für die Bearbeitung der Online-Studie betrug etwa 15 Minuten. Jeder Teilnehmenden begann die Befragung zunächst mit einer Einwilligungserklärung, in der das Einverständnis zur anonymisierten Nutzung der aufgezeichneten Daten gegeben wurde. Anschließend folgte die Abfrage der soziodemografischen Merkmale Alter, Geschlecht, Berufstätigkeit, Berufserfahrung und Branche der Leitwarte. Nachfolgend wurde nach einer entsprechenden Instruktion die eigentliche Erhebung der oben genannten Maße für die jeweils zwei positiven und zwei negativen Anwendungsfälle für jede der sechs Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten durchgeführt. Dabei wurden die Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten in zufälliger Reihenfolge untersucht. Zunächst wurde jeweils mithilfe eines Textes und Bildes eine kurze Einführung zur Technologie gegeben, wobei zugleich auch die Vertrautheit mit dieser abgefragt wurde. Daraufhin wurden die dieser Technologie zugehörigen vier Anwendungsfälle ebenfalls in zufälliger Reihenfolge untersucht. Der Ablauf ist zum besseren Verständnis in Abbildung 7.2 grafisch dargestellt.



**Abb. 7.2** Ablauf der Online-Studie

## 7.2 Ergebnisse

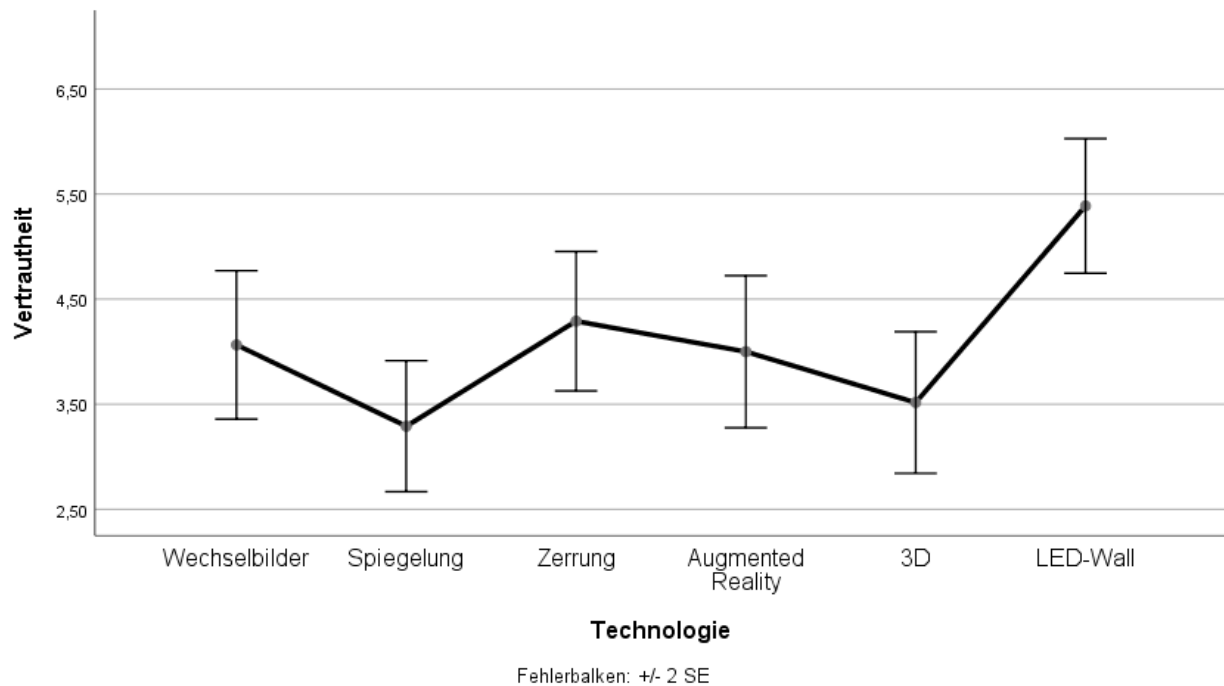
Nachfolgend werden die Ergebnisse der Online-Studie präsentiert. Dabei wird zunächst auf die Vertrautheit sowie die bewertete Relevanz der Technologien eingegangen, bevor die Ergebnisse zur Eignung und Intention zur Nutzung spezifisch für die einzelnen Anwendungsfälle dargelegt werden. Abschließend werden die Ergebnisse der Regression zur Vorhersage der Nutzungsintention dargelegt.

### 7.2.1 Vertrautheit mit der Technologie

Zunächst wird auf die Vertrautheit der Technologien eingegangen. Die Abbildung 7.3 zeigt die gemittelten Bewertungen der Vertrautheit der Teilnehmenden mit den sechs untersuchten Technologien.

Die Vertrautheit mit der Technologie unterschied sich statistisch signifikant zwischen den verschiedenen Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten,  $F(5, 150) = 6.95$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .19$ .

Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall ( $M = 5.39$ ,  $SD = 1.78$ ) signifikant vertrauter bewertet wurde als die gespiegelte Darstellung ( $M = 3.29$ ,  $SD = 1.74$ ),  $p < .001$ , Augmented Reality ( $M = 4.00$ ,  $SD = 2.02$ ),  $p = .031$  und 3D ( $M = 3.52$ ,  $SD = 1.88$ ),  $p < .001$ , während die gezerzte Darstellung ( $M = 4.29$ ,  $SD = 1.85$ ) signifikant höher bewertet wurde als die gespiegelte Darstellung,  $p = .047$ .

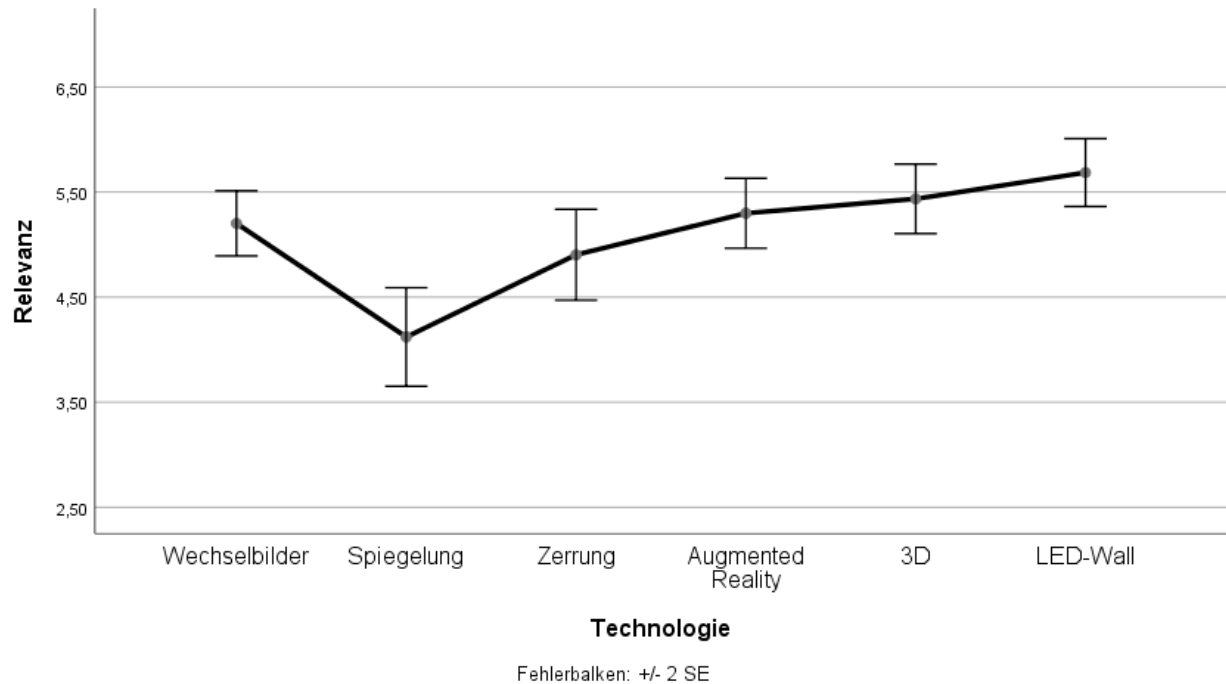


**Abb. 7.3** Bewertungen der Vertrautheit mit verschiedenen Technologien, gemittelt über die Teilnehmende

## 7.2.2 Relevanz der Technologie

Eine Greenhouse-Geisser-korrigierte ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Relevanz der sechs Technologien bzw. Darstellungsmöglichkeiten, gemittelt über die jeweils vier Anwendungsfälle,  $F(3.27, 98.12) = 13.77, p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .32$ . Abbildung 7.4 veranschaulicht den Unterschied der Technologien. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Teilnehmenden und die jeweils vier Anwendungsfälle.

Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung ( $M = 4.12, SD = 1.31$ ) signifikant weniger relevant bewertet wurde als alle anderen Darstellungsmöglichkeiten, also als Wechselbilder ( $M = 5.20, SD = 0.86$ ),  $p < .001$ , Zerrung ( $M = 4.90, SD = 1.21$ ),  $p = .035$ , Augmented Reality ( $M = 5.30, SD = 0.93$ ),  $p = .001$ , 3D ( $M = 5.44, SD = 0.92$ ),  $p < .001$  und LED-Wall ( $M = 5.69, SD = 0.90$ ),  $p < .001$ , welche von allen am relevantesten bewertet wurde.



**Abb. 7.4** Bewertungen der Relevanz der verschiedenen Technologien, gemittelt über die jeweils vier Anwendungsfälle und alle Teilnehmenden

### 7.2.3 Anwendungsfälle der Technologien

Im Nachfolgenden werden die sechs Technologien und Darstellungsmöglichkeiten näher beleuchtet, indem zu jeder die Ergebnisse der bewerteten Eignung und der Intention zur Nutzung aufgeführt werden.

#### 7.2.3.1 Wechselbilder

Für die Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

Positiv:

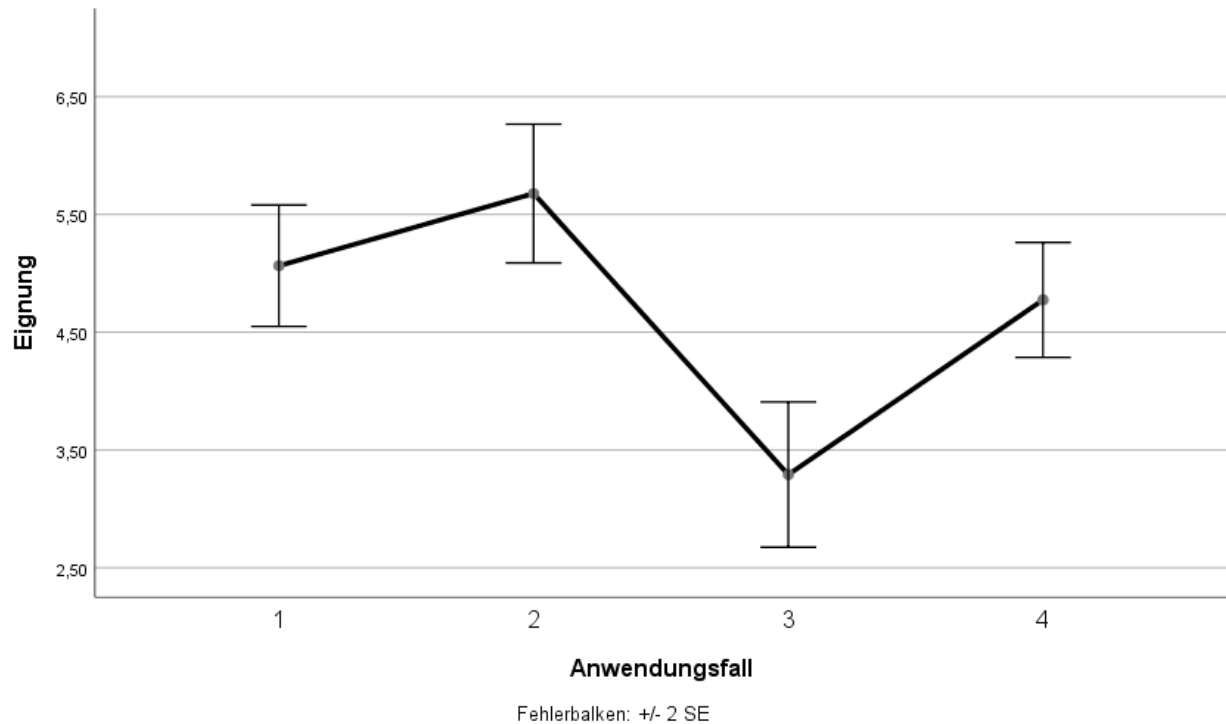
- 1 - Nutzung von Wechselbildern zur Videobeobachtung und Überwachung größerer Bereiche
- 2 - Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an das Geschehen angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens

Negativ:

- 3 - Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen
- 4 - Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für Prozesssteuerung

#### **Eignung**

Die Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.5 dargestellt.



**Abb. 7.5** Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle

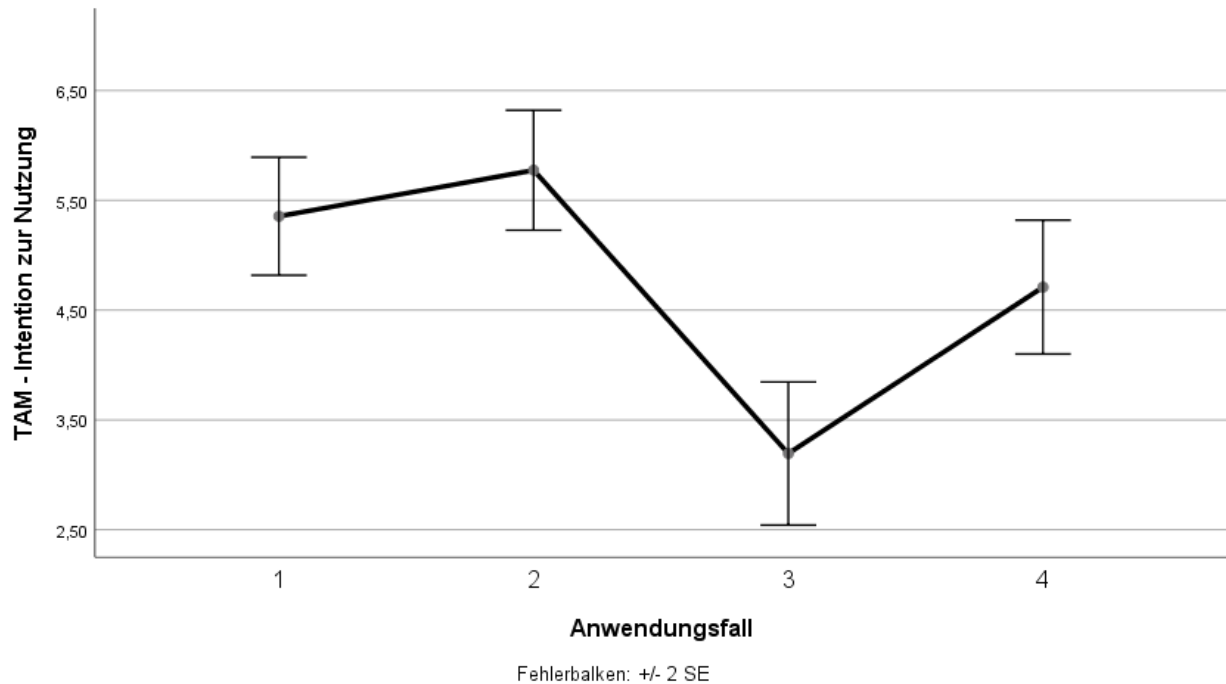
Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung von Wechselbildern für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.20, 66.01) = 16.40$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .35$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 5.06$ ,  $SD = 1.44$ ) und 2 ( $M = 5.68$ ,  $SD = 1.64$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurde als bei beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 3.29$ ,  $SD = 1.72$ ) und 4 ( $M = 4.77$ ,  $SD = 1.36$ ),  $F(1, 30) = 19.12$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .39$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung von Wechselbildern für Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p < .001$ , Anwendungsfall 2,  $p < .001$ , und Anwendungsfall 4,  $p = .004$ , während die Wechselbilder für Anwendungsfall 2 signifikant geeigneter bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p = .018$ ,

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.6 dargestellt.



**Abb. 7.6** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung von Wechselbildern für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.12, 63.58) = 17.72$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .37$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung von Wechselbildern bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 5.35$ ,  $SD = 1.50$ ) und 2 ( $M = 5.77$ ,  $SD = 1.52$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 3.19$ ,  $SD = 1.82$ ) und 4 ( $M = 4.71$ ,  $SD = 1.70$ ),  $F(1, 30) = 24.98$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .45$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung von Wechselbildern bei Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als Anwendungsfall 1,  $p < .001$ , Anwendungsfall 2,  $p < .001$ , und Anwendungsfall 4,  $p = .009$ . Zudem wurde die Intention bei Anwendungsfall 4 signifikant geringer bewertet als bei Anwendungsfall 2,  $p = .025$ .

Bei der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder zeigte sich, dass sowohl die Eignung der Darstellungsmöglichkeit als auch die Intention zu deren Nutzung wie erwartet für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 (Nutzung von Wechselbildern zur Videobeachtung und Überwachung größerer Bereiche) und 2 (Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an das Geschehen angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens) signifikant höher bewertet wurden als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen) und 4 (Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für Prozesssteuerung). Bei

beiden Maßen wurde dabei insbesondere die Nutzung für Anwendungsfall 3, also bei sicherheitsrelevanten Ansichten und wichtigen Informationen sehr gering bewertet, was nicht allzu überraschend erscheinen mag.

### 7.2.3.2 Spiegelung

Für die Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

Positiv:

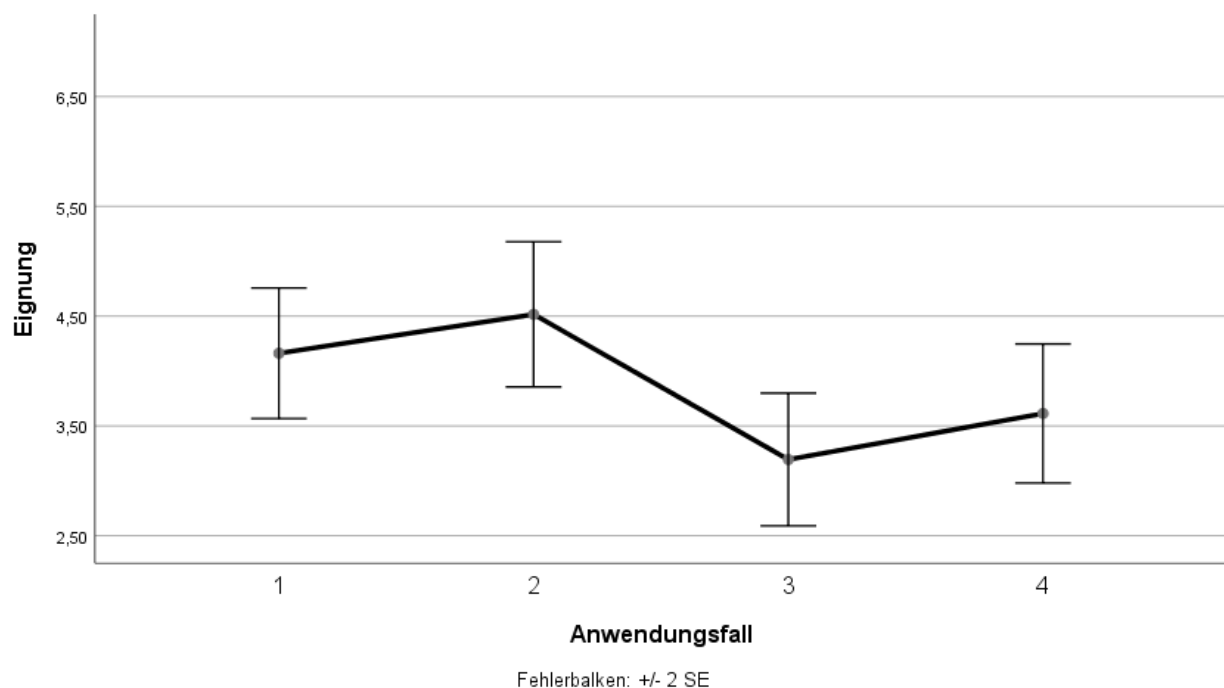
- 1 - Nutzung der Spiegelung zur Anpassung an Bedürfnisse der Nutzer, etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung
- 2 - Nutzung der Spiegelung zur Anpassung bei problematischen Kamera-standorten

Negativ:

- 3 - Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten
- 4 - Einsatz der Spiegelung für Tätigkeiten, die die Navigation im Raum erfordern

### Eignung

Die Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.7 dargestellt.



**Abb. 7.7** Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle

Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle,  $F(3, 90) = 6.05$ ,  $p = .001$ , partielles  $\eta^2 = .17$ .

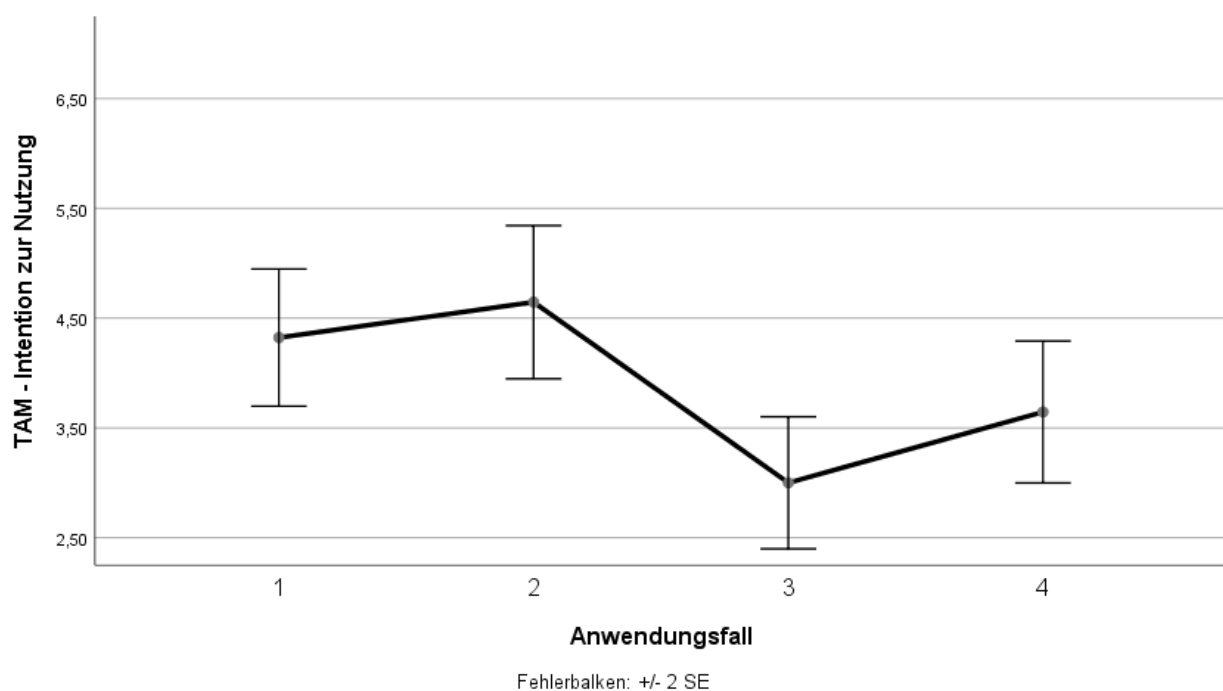


Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 4.16$ ,  $SD = 1.66$ ) und 2 ( $M = 4.52$ ,  $SD = 1.84$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurden als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 3.19$ ,  $SD = 1.68$ ) und 4 ( $M = 3.61$ ,  $SD = 1.76$ ),  $F(1, 30) = 10.13$ ,  $p = .003$ , partielles  $\eta^2 = .25$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p = .033$  und Anwendungsfall 2,  $p = .011$ .

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.8 dargestellt.



**Abb. 7.8** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle

Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung von gespiegelten Darstellungen für die vier Anwendungsfälle,  $F(3, 90) = 8.50$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .22$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 4.32$ ,  $SD = 1.74$ ) und 2 ( $M = 4.65$ ,  $SD = 1.94$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 3.00$ ,  $SD = 1.67$ ) und 4 ( $M = 3.65$ ,  $SD = 1.80$ ),  $F(1, 30) = 14.22$ ,  $p = .001$ , partielles  $\eta^2 = .32$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung

einer gespiegelten Darstellung bei Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als bei Anwendungsfall 1,  $p = .006$  sowie bei Anwendungsfall 2,  $p = .003$ .

Bei der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung wurde herausgefunden, dass wie erwartet die Eignung der Darstellungsmöglichkeit sowie die Intention zur Nutzung dieser für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 (Nutzung der Spiegelung zur Anpassung an Bedürfnisse der Nutzer, etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung) und 2 (Nutzung der Spiegelung zur Anpassung bei problematischen Kamerastandorte) höher bewertet wurden als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten) und 4 (Einsatz der Spiegelung für Tätigkeiten, die die Navigation im Raum erfordern). Insbesondere die Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten wurde von den Teilnehmenden besonders gering bewertet, während der Einsatz zur Anpassung bei einem problematischen Kamerastandort am höchsten bewertet wurde.

### 7.2.3.3 Zerrung

Für die Darstellungsmöglichkeit Zerrung wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

Positiv:

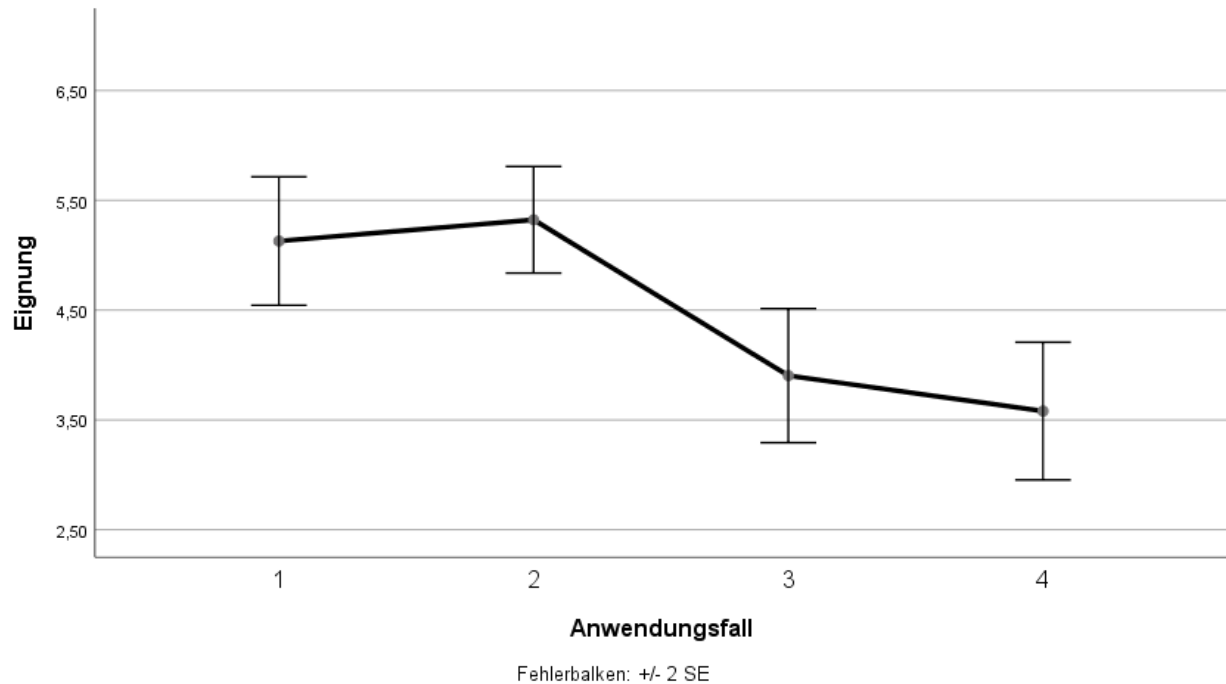
- 1 - Nutzung von Zerrungen für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche
- 2 - Nutzung von Zerrungen zur Hervorhebung wichtiger Bereiche

Negativ:

- 3 - Nutzung von Zerrungen für Darstellungen aus geringer Entfernung
- 4 - Nutzung von Zerrungen für Tätigkeiten, die die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern

### **Eignung**

Die Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.9 dargestellt.



**Abb. 7.9** Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle

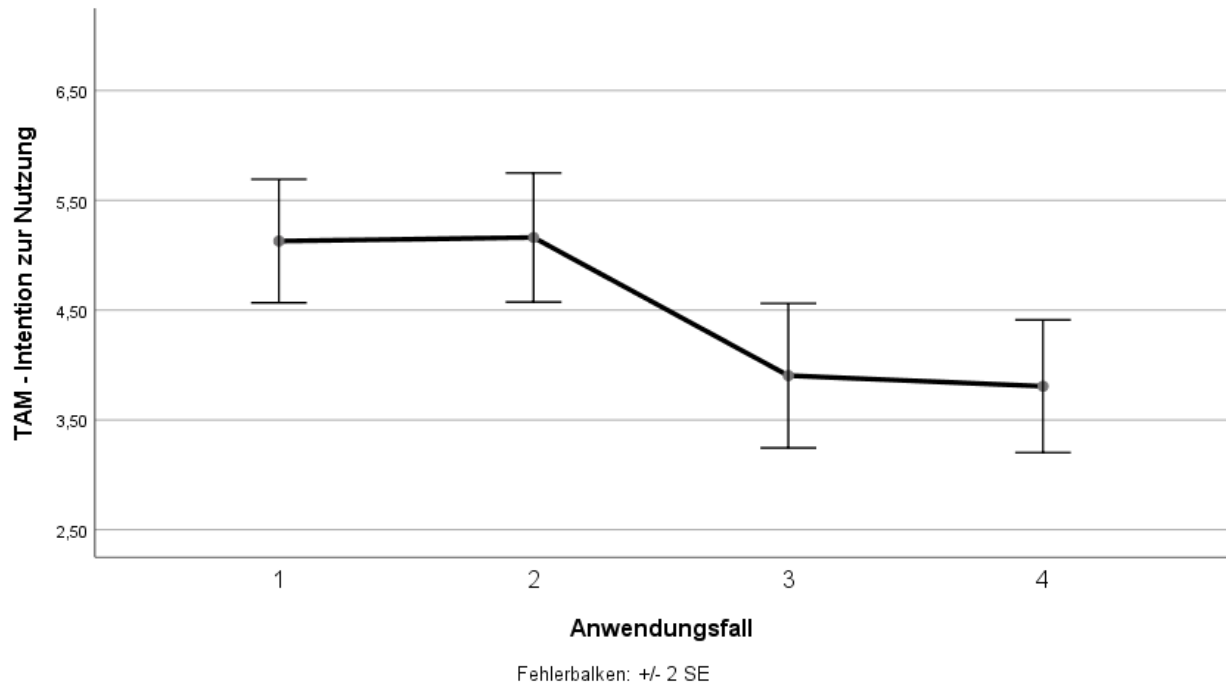
Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.27, 67.94) = 13.17$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .31$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 ( $M = 5.13$ ,  $SD = 1.63$ ) und 2 ( $M = 5.32$ ,  $SD = 1.35$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurde als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 ( $M = 3.90$ ,  $SD = 1.70$ ) und 4 ( $M = 3.58$ ,  $SD = 1.75$ ),  $F(1, 30) = 22.57$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .43$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung der Darstellungsmöglichkeit für Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p = .016$  sowie Anwendungsfall 2,  $p = .006$ . Für Anwendungsfall 4 wurde sie ebenfalls signifikant geringer bewertet als für Anwendungsfall 1,  $p = .001$  und Anwendungsfall 2,  $p < .001$ .

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.10 dargestellt.



**Abb. 7.10** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung von gezerrten Darstellungen für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.04, 61.04) = 7.66$ ,  $p = .001$ , partielles  $\eta^2 = .20$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 5.13$ ,  $SD = 1.57$ ) und 2 ( $M = 5.16$ ,  $SD = 1.64$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 3.90$ ,  $SD = 1.83$ ) und 4 ( $M = 3.81$ ,  $SD = 1.68$ ),  $F(1, 30) = 12.30$ ,  $p = .001$ , partielles  $\eta^2 = .29$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung einer gezerrten Darstellung bei Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet wurde als bei Anwendungsfall 1,  $p = .004$ . Anwendungsfall 4 wurde ebenfalls signifikant weniger geeignet bewertet als Anwendungsfall 1,  $p = .009$  und Anwendungsfall 2,  $p = .009$ .

Bei der Darstellungsmöglichkeit Zerrung konnte ebenfalls wie erwartet gezeigt werden, dass die Eignung ebenso wie die Intention zur Nutzung dieser für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 (Nutzung von Zerrungen für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche) und 2 (Nutzung von Zerrungen zur Hervorhebung wichtiger Bereiche) höher bewertet wurden als die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung von Zerrungen für Darstellungen aus geringer Entfernung) und 4 (Nutzung von Zerrungen für Tätigkeiten, die die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern). Insgesamt zeigt sich für die Bewertung der Zerrung kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden positiven Anwendungsfällen 1

und 2 sowie zwischen den beiden negativen Anwendungsfällen 3 und 4, welche ähnlich ausgeprägt waren und sich von den jeweils anderen Anwendungsfällen deutlich unterschieden.

#### 7.2.3.4 Augmented Reality

Für die Technologie Augmented Reality wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

Positiv:

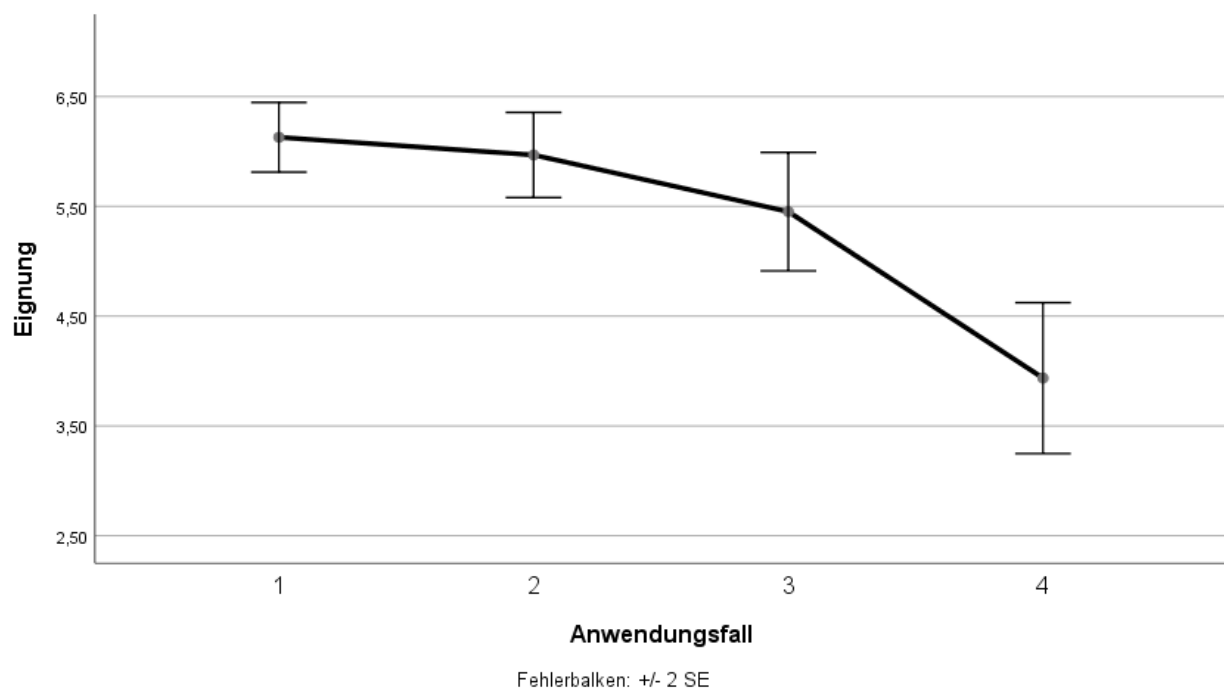
- 1 - Nutzung der Augmented Reality zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe
- 2 - Nutzung der Augmented Reality zum Einblenden von Zusatzinformationen: z. B. Beschriftung, Entfernung, Geschwindigkeit, ...

Negativ:

- 3 - Nutzung der Augmented Reality zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen ähnlich einer Bedienungsanleitung
- 4 - Einsatz von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen

#### **Eignung**

Die Bewertungen der Eignung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.11 dargestellt.



**Abb. 7.11** Bewertungen der Eignung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle

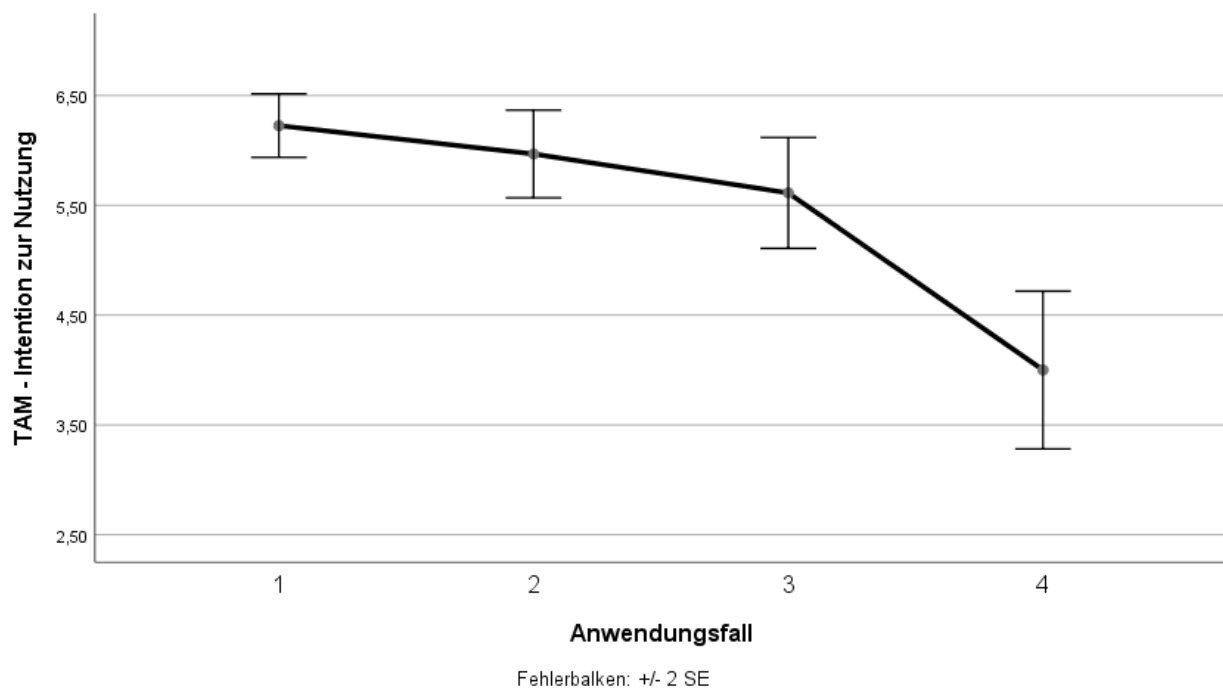
Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle,  $F(1.90, 57.11) = 22.03$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .42$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Technologie Augmented Reality für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 ( $M = 6.13$ ,  $SD = 0.89$ ) und 2 ( $M = 5.97$ ,  $SD = 1.08$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurde als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 ( $M = 5.45$ ,  $SD = 1.50$ ) und 4 ( $M = 3.94$ ,  $SD = 1.91$ ),  $F(1, 30) = 40.08$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .57$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung der Technologie Augmented Reality für Anwendungsfall 4 signifikant geringer bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p < .001$ , für Anwendungsfall 2,  $p < .001$  und für Anwendungsfall 3,  $p = .003$ . Für Anwendungsfall 3 wurde sie ebenfalls signifikant geringer bewertet als für Anwendungsfall 1,  $p = .026$ .

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.12 dargestellt.



**Abb. 7.12** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle,  $F(1.99, 59.74) = 20.13$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .40$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 6.23$ ,  $SD = 0.81$ ) und 2 ( $M = 5.97$ ,  $SD = 1.11$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 5.61$ ,  $SD = 1.41$ ) und 4 ( $M = 4.00$ ,  $SD = 2.00$ ),  $F(1, 30) = 27.71$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .48$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality bei Anwendungsfall 4 signifikant geringer bewertet wurde als bei Anwendungsfall 1,  $p < .001$ , bei Anwendungsfall 2,  $p < .001$  und bei Anwendungsfall 3,  $p = .001$ .

Für die Technologie Augmented Reality zeigte sich bei der Untersuchung mithilfe geplanter Kontraste ebenfalls wie erwartet, dass die Eignung und die Intention zur Nutzung der Technologie für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 (Nutzung der Augmented Reality zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe) und 2 (Nutzung der Augmented Reality zum Einblenden von Zusatzinformationen: z. B. Beschriftung, Entfernung, Geschwindigkeit, ...) höher bewertet wurden als die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung der Augmented Reality zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen ähnlich einer Bedienungsanleitung) und 4 (Einsatz von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen). In den detaillierteren post-hoc Analysen wurde gezeigt, dass insbesondere die Nutzung von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen sowohl in Bezug auf die Eignung als auch die Intention zur Nutzung geringer bewertet wurde als die drei anderen Anwendungsfälle. Dies kann so interpretiert werden, dass über Auswahl und Menge der gezeigten Informationen innerhalb von Augmented Reality-Darstellungen in Leitwarten mit Bedacht entschieden werden sollte.

#### 7.2.3.5 3D-Darstellungen

Für die Darstellungsmöglichkeit 3D wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

##### Positiv

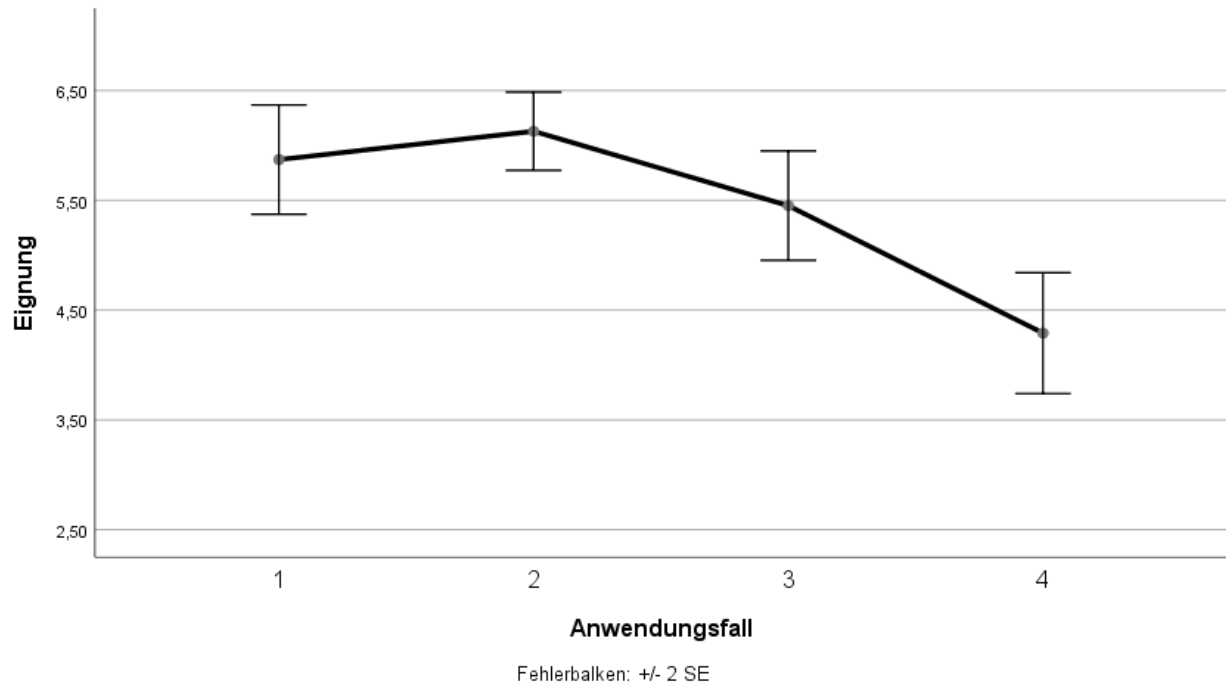
- 1 - Nutzung von 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen
- 2 - Nutzung von 3D-Darstellungen für Anlagen- und Gebäudeansichten

##### Negativ

- 3 - Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen
- 4 - Einsatz von 3D-Darstellung zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten

##### **Eignung**

Die Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.13 dargestellt.



**Abb. 7.13** Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.16, 64.92) = 13.65$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .31$ .

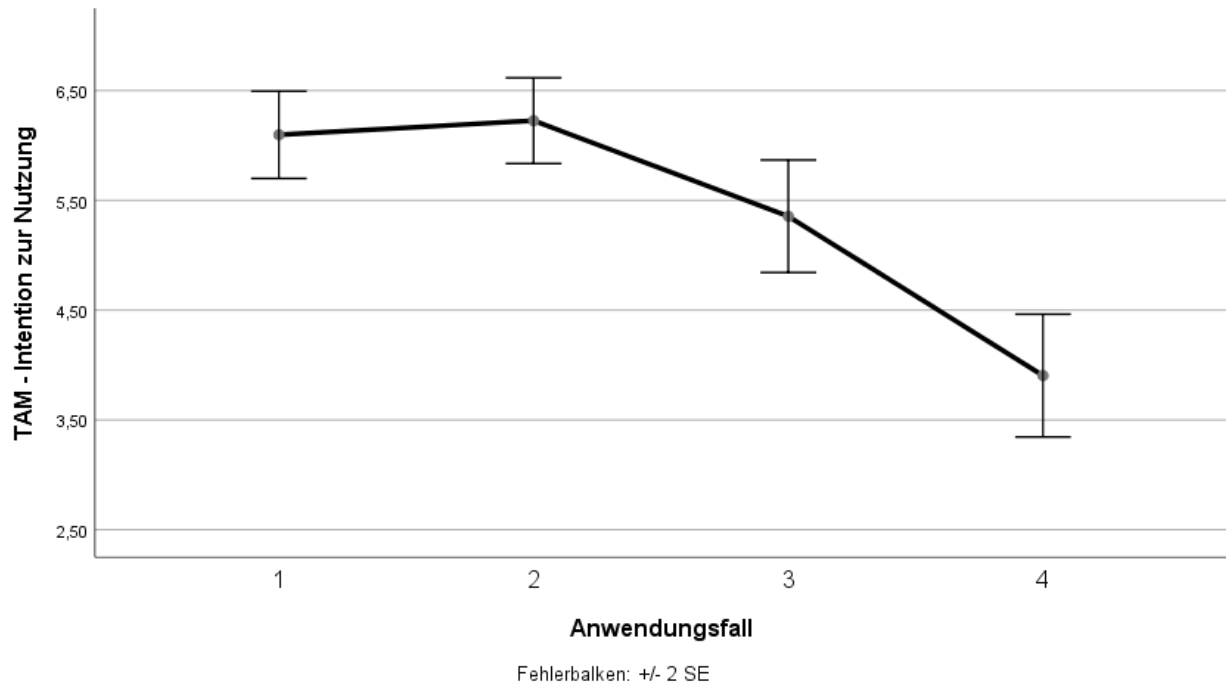
Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 ( $M = 5.87$ ,  $SD = 1.38$ ) und 2 ( $M = 6.13$ ,  $SD = 0.99$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurde als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 ( $M = 5.45$ ,  $SD = 1.39$ ) und 4 ( $M = 4.29$ ,  $SD = 1.53$ ),  $F(1, 30) = 19.44$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .39$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung der Darstellungsmöglichkeit 3D für Anwendungsfall 4 signifikant geringer bewertet wurde als für Anwendungsfall 1,  $p = .001$ , für Anwendungsfall 2,  $p < .001$  und für Anwendungsfall 3,  $p = .025$ .

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.14 dargestellt.





**Abb. 7.14** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.04, 61.24) = 25.26$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .46$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 6.10$ ,  $SD = 1.11$ ) und 2 ( $M = 6.23$ ,  $SD = 1.09$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden negativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 5.35$ ,  $SD = 1.43$ ) und 4 ( $M = 3.90$ ,  $SD = 1.56$ ),  $F(1, 30) = 32.61$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .52$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D bei Anwendungsfall 4 signifikant geringer bewertet wurde als bei Anwendungsfall 1,  $p < .001$ , bei Anwendungsfall 2,  $p < .001$  und bei Anwendungsfall 3,  $p = .001$ . Darüber hinaus wurde die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit bei Anwendungsfall 3 signifikant geringer bewertet als bei Anwendungsfall 2,  $p = .037$ .

Bei der Darstellungsmöglichkeit 3D konnte anhand der Ergebnisse der Online-Studie herausgefunden werden, dass wie erwartet die Eignung ebenso wie die Intention zur Nutzung dieser für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 (Nutzung von 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen) und 2 (Nutzung von 3D-Darstellungen für Anlagen- und Gebäudeansichten) von den Teilnehmenden höher eingeschätzt wurde als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen) und 4 (Einsatz von 3D-Darstellung zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten). Innerhalb der detaillierten post-

hoc Analysen konnte gezeigt werden, dass insbesondere der Einsatz der Darstellungsmöglichkeit 3D zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten hinsichtlich der Eignung und der Intention zur Nutzung signifikant geringer bewertet wurde als für die drei weiteren Anwendungsfälle. Dies kann so interpretiert werden, dass 3D-Darstellung von den potentiellen Nutzern für diesen Zweck nicht gewünscht wird. Für andere Einsatzbereiche, wie etwa Übersichts- und Kartendarstellungen oder Anlagen- und Gebäudeansichten wurde die Darstellungsmöglichkeit dagegen sehr positiv bewertet.

### 7.2.3.6 LED-Wall

Für die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall wurden die folgenden vier Anwendungsfälle untersucht:

Positiv

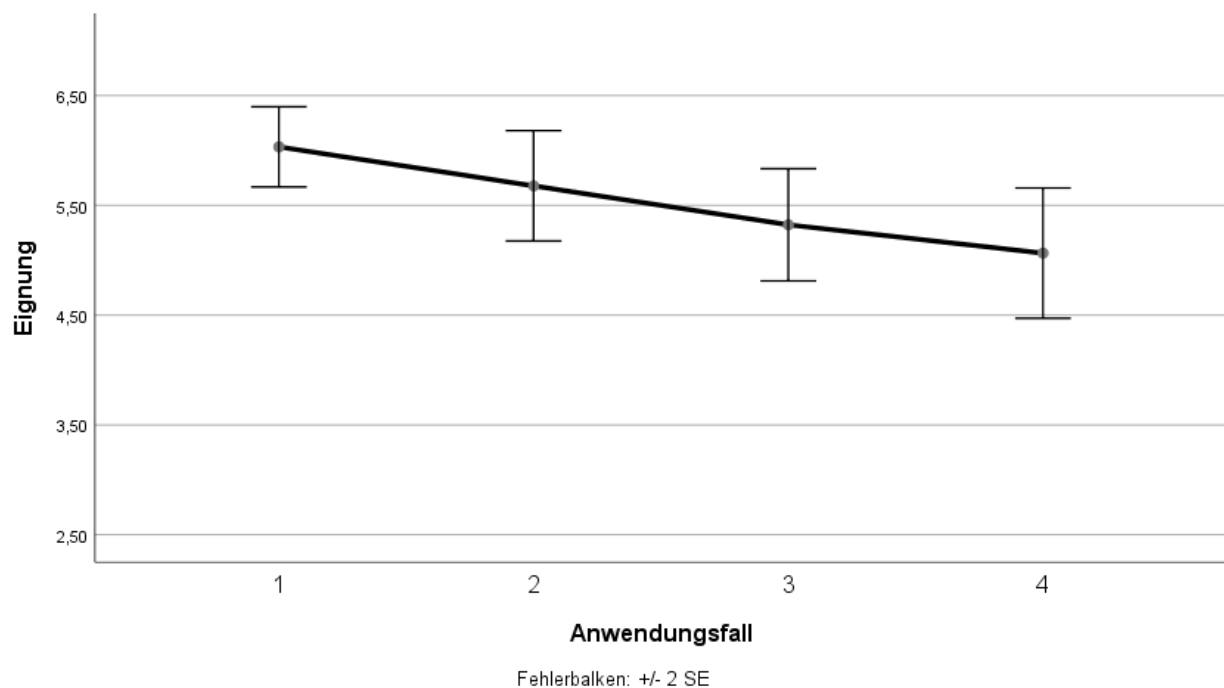
- 1 - Nutzung der LED-Wall zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen
- 2 - Nutzung der LED-Wall zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen

Negativ

- 3 - Nutzung der LED-Wall für interaktive Detaildarstellungen
- 4 - Nutzung der LED-Wall zur Darstellung sehr vieler Informationen

### Eignung

Die Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.15 dargestellt.



**Abb. 7.15** Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle

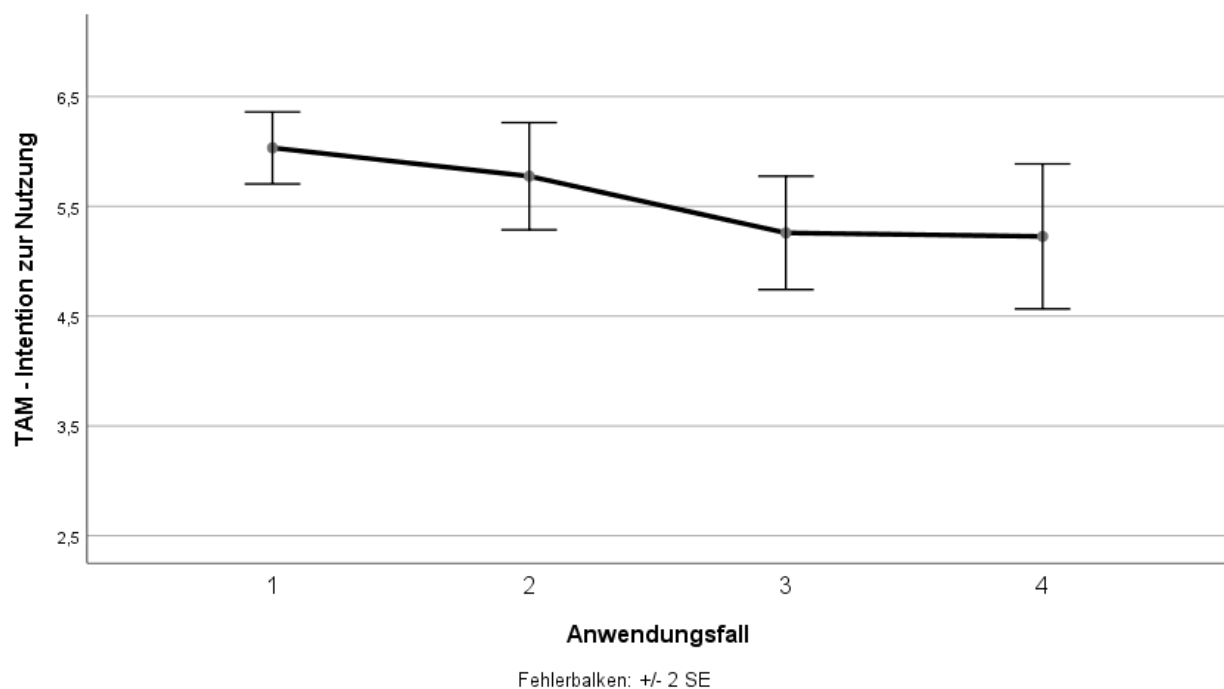
Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Eignung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle,  $F(3, 90) = 4.42$ ,  $p = .006$ , partielles  $\eta^2 = .13$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Darstellungsmöglichkeit für die beiden positiven Anwendungsfälle 1 ( $M = 6.03$ ,  $SD = 1.02$ ) und 2 ( $M = 5.68$ ,  $SD = 1.40$ ) als signifikant geeigneter bewertet wurde als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 ( $M = 5.32$ ,  $SD = 1.42$ ) und 4 ( $M = 5.06$ ,  $SD = 1.65$ ),  $F(1, 30) = 7.57$ ,  $p = .010$ , partielles  $\eta^2 = .20$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Eignung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für Anwendungsfall 1 signifikant höher bewertet wurde als für Anwendungsfall 3,  $p = .038$  und für Anwendungsfall 4,  $p = .025$ .

### Intention zur Nutzung

Die Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle sind in Abbildung 7.13 dargestellt.



**Abb. 7.16** Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle

Eine messwiederholte ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der bewerteten Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle,  $F(2.21, 66.14) = 3.54$ ,  $p = .030$ , partielles  $\eta^2 = .11$ .

Die geplanten Kontraste zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D bei den beiden positiven Anwendungsfällen 1 ( $M = 6.03$ ,  $SD = 0.91$ ) und 2 ( $M = 5.77$ ,  $SD = 1.36$ ) signifikant höher bewertet wurde als bei den beiden ne-

gativen Anwendungsfällen 3 ( $M = 5.26$ ,  $SD = 1.44$ ) und 4 ( $M = 5.23$ ,  $SD = 1.84$ ),  $F(1, 30) = 5.79$ ,  $p = .02$ , partielles  $\eta^2 = .16$ .

Um noch detailliertere Aussagen treffen zu können, wurden zusätzlich Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests berechnet. Diese zeigten, dass die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall bei Anwendungsfall 1 signifikant höher bewertet wurde als bei Anwendungsfall 3,  $p = .049$ .

Für die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall zeigten die Ergebnisse der Online-Studie, dass die Eignung ebenso wie die Intention zur Nutzung dieser Darstellungsmöglichkeit für die beiden positiven Anwendungsfällen 1 (Nutzung der LED-Wall zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen) und 2 (Nutzung der LED-Wall zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen) von den Teilnehmenden wie angenommen höher bewertet wurden als für die beiden negativen Anwendungsfälle 3 (Nutzung der LED-Wall für interaktive Detaildarstellungen) und 4 (Nutzung der LED-Wall zur Darstellung sehr vieler Informationen). Die post-hoc Analysen zeigten insbesondere, dass die Nutzung von LED-Walls für Übersichtsdarstellungen von den Teilnehmenden sehr positiv bewertet wurde, was sich in signifikanten Unterschieden zu Anwendungsfall 3 und 4 für die Bewertung der Eignung und zu Anwendungsfall 3 bei der Intention zur Nutzung zeigte.

#### 7.2.4 Regression

Weiterhin wurde eine multiple lineare Regression berechnet. Mit dieser sollte über alle Anwendungsfälle und Technologien hinweg untersucht werden, inwieweit die Intention zur Nutzung einer Technologie mithilfe deren bewerteter Relevanz und Eignung, der Vertrautheit der Technologie, sowie der wahrgenommenen Nützlichkeit und wahrgenommenen einfachen Bedienbarkeit vorhergesagt werden kann. Dabei konnte eine signifikante Regressionsgleichung gefunden werden,  $F(5,738) = 943.79$ ,  $p < .001$ , mit einem  $R^2$  von  $.87$ . Dabei zeigte sich ein signifikanter positiver Zusammenhang der Intention zur Nutzung mit den Prädiktoren Eignung,  $\beta = .29$ ,  $t = 6.81$ ,  $p < .001$ , wahrgenommene Nützlichkeit,  $\beta = .48$ ,  $t = 11.96$ ,  $p < .001$  und wahrgenommene einfache Bedienbarkeit,  $\beta = .15$ ,  $t = 5.77$ ,  $p < .001$ . Die Prädiktoren Relevanz und Vertrautheit der Technologie hatten jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Intention zur Nutzung.

### 7.3 Diskussion

Die Online-Studie wurde durchgeführt, um die im Rahmen der vorausgegangenen Fokusgruppen gewonnenen Erkenntnisse statistisch abzusichern sowie die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Konstrukten detaillierter untersuchen zu können. Dies ermöglichte fundierte Vergleiche zwischen den einzelnen Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten. Noch zentraler war allerdings, dass die Durchführung der abschließenden Online-Studie ermöglichte, detaillierte Aussagen zu jeder einzelnen Technologie oder Darstellungsmöglichkeit abzuleiten. So konnte untersucht werden, wo die Nutzung der Technologien besonders positiv bewertet wurde und wo eher negativ. Diese Erkenntnisse können äußerst hilfreich sein, um neben allgemeinen Aussagen zur Technologie oder Darstellungsmöglichkeit auch solche zu den Umständen und Rahmenbedingungen treffen zu können. Diese können im Zusammen-

hang mit der jeweiligen Technologie ebenfalls bedeutenden Einfluss auf die Leistung sowie die mentale Beanspruchung der Nutzer haben. Deshalb sollten diese bei der Arbeitsgestaltung ebenfalls berücksichtigt werden, um in Leitwarten ein aufgaben- und tätigkeitsangemessenes Arbeitsumfeld zu schaffen. Zu diesem Zweck wurden für die sechs untersuchten Technologien und Darstellungsmöglichkeiten die Variablen Vertrautheit und Relevanz erfasst. Außerdem wurden für die jeweils vier Anwendungsfälle der Technologien die Eignung sowie die Intention zur Nutzung der Technologie abgefragt, um mithilfe subjektiver Einschätzungen auf die Expertise und Erfahrung der Teilnehmenden zurückgreifen zu können. Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

Zunächst einmal zeigt sich in der Online-Studie, dass hinsichtlich der Vertrautheit diese insbesondere bei der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall von den Teilnehmenden als besonders vertraut bewertet wurde. Diese Erkenntnis steht in Einklang mit den Ergebnissen der Telefonumfrage von LAFRENZ und JESCHKE (2017), die ebenfalls herausfanden, dass ein großer Anteil der Befragten aus Leitwarten angab, in diesen Großbildschirme zu nutzen. Eher geringere Einschätzungen der Vertrautheit zeigten sich jedoch für die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung sowie die Technologie Augmented Reality. Die geringe Bewertung der Spiegelung kann möglicherweise damit zusammenhängen, dass gespiegelte Darstellungen in der Praxis eher selten und meist nur, wenn deren Einsatz im besonders spezifischen Arbeitsumfeld sinnvoll erscheint. Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus der Untersuchung des Anwendungshintergrundes (siehe Kapitel 2). Die Vertrautheit mit der Technologie Augmented Reality mag dagegen eher gering bewertet worden sein, weil diese in Leitwarten aktuell (noch) nicht breit eingesetzt wird, was ebenfalls durch die Ergebnisse von LAFRENZ und JESCHKE (2017) untermauert werden kann.

Darüber hinaus wurde die Relevanz der Technologien untersucht. Diese wurde für jeden einzelnen Anwendungsfall getrennt abgefragt und anschließend im Mittel für die jeweilige Technologie oder Darstellungsmöglichkeit ausgewertet. Hierbei zeigte sich, dass gemittelt über die jeweiligen Anwendungsfälle insbesondere die Relevanz der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung als besonders gering bewertet wurde. Dies kann mitunter ebenfalls damit zusammenhängen, dass die Vorteile dieser Darstellungsmöglichkeit sich auf Einsätze unter relativ spezifischen Umständen wie besondere bauliche Anlagenbegebenheiten beschränken. Die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall wurde dagegen im Mittel als besonders relevant bewertet.

Nachfolgend wurden die sechs Technologien hinsichtlich der Eignung und der Intention zur Nutzung für jeweils zwei positive und zwei negative Anwendungsfälle näher untersucht. Die Ergebnisse werden im Folgenden, spezifisch zu der jeweiligen Technologie, diskutiert.

Durch die Online-Studie konnten die Ergebnisse der vorausgegangenen Fokusgruppen validiert werden. So zeigten sich für alle untersuchten Darstellungsmöglichkeiten wie erwartet signifikante Unterschiede zwischen den jeweils zwei positiven und zwei negativen Anwendungsfällen. Dabei wurden sowohl die Eignung als auch die Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit bei den positiven Anwendungsfällen stets höher bewertet als bei den negativen Anwendungsfällen. Dies unterstreicht, dass der Einsatz einer neuen Technologie oder Darstellungsmöglichkeit kaum auf allgemeiner Ebene empfohlen oder abgeraten werden kann. Vielmehr gilt es hierbei, neben den genauen Details der Funktionalität und Ausgestaltung der Technologie oder Darstellungsmöglichkeit auch die Rahmenbedingungen des Einsatzes zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund liefert die durchgeführte Feldstudie wichtige

Orientierungspunkte, um über verschiedene Branchenhintergründe hinweg Aussagen zu treffen, für welche Aufgaben und Tätigkeiten Technologien und Darstellungsmöglichkeiten womöglich gewinnbringend eingesetzt werden können und unter welchen Umständen der Einsatz eher vermieden werden sollte. Dabei erheben die im Rahmen der Feldstudie identifizierten und evaluierten Anwendungsfälle jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. So wurden für jede Technologie oder Darstellungsmöglichkeit bewusst zwei geeignete und zwei ungeeignete Anwendungsfälle untersucht, welche sich in den Fokusgruppen als besonders wichtig herausstellten. Die detaillierte Evaluation dieser bietet eine gute Grundlage für fundierte Aussagen und Empfehlungen auf einer allgemeinen, nicht branchenspezifischen Ebene. Diese werden, ergänzt um Beispiele zur Veranschaulichung und besseren Vorstellbarkeit unter Kapitel 8 vorgestellt. Diese Gestaltung wurde bewusst gewählt, um valide und zugleich nachvollziehbare Empfehlungen für ein möglichst breites Spektrum verschiedener Leitwarten und Leitstellen zu bieten. Dabei konnte die große Menge an branchenspezifischen Details und Anforderungen zwangsläufig nicht vollumfänglich berücksichtigt werden. Diese können bei einer möglichen Um- oder Neugestaltung einer Leitwarte für den Einzelfall von einem Experten im jeweiligen Kontext erarbeitet werden.

Kritisch angemerkt werden kann zur Durchführung der Online-Studie möglicherweise, dass die Bewertungen der Teilnehmenden und somit die Gesamtergebnisse unter Umständen stark von der jeweiligen Formulierung des jeweiligen Anwendungsfalles und des zugehörigen Beispiels abhängen. Dabei können vermeintlich kleine Abwandlungen des Textes unter Umständen zu einer veränderten Bewertung führen. Aus diesem Grund wurde viel Bedacht und Rücksicht darauf verwendet, eine nicht-suggestive Formulierung der Anwendungsfälle für die Online-Studie auszuarbeiten, die zugleich möglichst genau die Äußerungen der Teilnehmenden an den Fokusgruppen widerspiegeln. So sollte sichergestellt werden, dass im Rahmen der Online-Studie möglichst gut die Einschätzungen zur Nutzung der Technologie für die Anwendungsfälle auf Basis der Erfahrung und Expertise der Teilnehmenden abgefragt werden konnte.

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde für die post-hoc Analysen der einzelnen Anwendungsfälle bewusst die relativ konservative Bonferroni-Korrektur eingesetzt. Die post-hoc Analysen dienten dazu, über die Analyse der geplanten Kontraste, mit denen die gemittelten Unterschiede zwischen positiven und negativen Anwendungsfällen analysiert wurden, weitergehende Aussagen auf Basis einzelner Anwendungsfälle zu treffen. Dies diente jedoch lediglich dem Zweck, explorativ zu untersuchen, welche Anwendungsfälle besonders unterschiedlich bewertet wurden. Dafür war das konservative Verfahren gut geeignet.

Insgesamt zeigten die Bewertungen sowohl der Eignung als auch der Intention zur Nutzung über die Anwendungsfälle der Technologien und Darstellungsmöglichkeiten hinweg oftmals in eine sehr ähnliche Richtung. Dies kann womöglich ein Hinweis dafür sein, dass die Bewertung der Eignung einer Technologie für einen bestimmten Anwendungsfall womöglich eine wichtige Voraussetzung dafür sein kann, diese Technologie auch tatsächlich für diesen zu nutzen. Diese Vermutung wird weiter unterstützt durch die unter 7.2.4 berichtete Regression. Hier zeigt sich, dass die Vorhersage der Intention zur Nutzung über alle Technologien und Anwendungsfälle hinweg mit einem  $R^2$  als Gütemaß von .87 durch die weiteren Faktoren Eignung, wahrgenommene Nützlichkeit und wahrgenommene einfache Bedienbarkeit sehr gut vorhergesagt werden konnte. Mit Ausnahme von der Zunahme der bewerteten Eignung unterstützen diese Ergebnisse somit das Technologie-Akzeptanz-Modell nach

VENKATESH & DAVIS (2000), welches in der Vergangenheit diesen Zusammenhang aufgezeigt hat. Die Intention zur Nutzung wiederum konnte in der Vergangenheit oftmals als guter Prädiktor für die tatsächliche Nutzung einer Technologie dienen, was die Relevanz der Erfassung der Nutzungsintention unterstreicht.

## 8 Gestaltungsempfehlungen

Im Folgenden werden in einer integrierten Darstellung die im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnisse sowie die daraus abgeleiteten Gestaltungsempfehlungen für den Einsatz in Leitwarten aufgeführt. Diese haben den Anspruch, zugleich empirisch fundiert als auch möglichst allgemeingültig zu sein. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, sind die Empfehlungen bewusst so formuliert, dass sie auf verschiedene Kontexte, wie etwa Branchen- und Tätigkeitsbereiche übertragen werden können. Dies bedeutet jedoch auch, dass nicht detailliert auf branchenspezifische Gegebenheiten und Anforderungen eingegangen werden kann. Darüber hinaus haben vielfältige Faktoren potentiell Einfluss auf die mentale Beanspruchung und die Arbeit von LeitwartenoperateurInnen. Dazu zählen sowohl Aspekte der Arbeitsgestaltung sowie der Arbeitsumwelt als auch der Arbeitsorganisation und spezifische Tätigkeitsmerkmale. Diese Großzahl an Einflussfaktoren sollte bei der Um- oder Neugestaltung einer Leitwarte oder Leitstelle jeweils im konkreten Einzelfall berücksichtigt werden. Hierzu unter Berücksichtigung sämtlicher Rahmenbedingungen der Arbeit in Leitwarten fundierte Detailaussagen zu treffen, ist nicht ohne weiteres möglich. Aus diesem Grund wurde auch auf quantifizierte Grenzwerte verzichtet. Diese wären angesichts der Vielzahl potentieller Einflussfaktoren sowie unterschiedlicher Arbeitsumgebungen und Rahmenbedingungen ohnehin wenig aussagekräftig oder valide. Um dem Leser die Interpretation und Umsetzung der Gestaltungsempfehlungen im jeweiligen spezifischen Anwendungskontext zu erleichtern, wurden die Gestaltungsempfehlungen anhand von Nutzungsbeispielen veranschaulicht. Somit orientieren sich die Aussagen in der Form etwa an DIN-Normen wie der ISO 9241-110 (DIN, 2006).

### 8.1 Wechselbilder

Im Rahmen der Laborstudie zeigte sich für die Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder, dass nicht nur die Geschwindigkeit oder Frequenz des automatischen Bildwechsels Einfluss auf die mentale Beanspruchung von Operateuren hatte, sondern auch die visuelle Komplexität des Videomaterials. Dabei führten sowohl schnellere Bildwechsel als auch komplexeres Videomaterial zu einer höheren mentalen Beanspruchung. Diese Effekte zeigten sich dabei nicht nur in den subjektiven Bewertungen der Teilnehmenden, sondern auch in diversen physiologischen Parametern. Auch für einige Leistungsmaße zeigten sich Auswirkungen insbesondere der visuellen Komplexität des Videomaterials.

In den anknüpfenden Arbeiten der Feldstudie wurden daraufhin sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle der Darstellungsmöglichkeit identifiziert und anschließend evaluiert.

Dazu zählte auf positiver Seite die Nutzung von Wechselbildern zur Videobeobachtung und Überwachung größerer Bereiche sowie die Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an das Geschehen angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens. Auf negativer Seite, bei der die Nutzung der Darstellungsmöglichkeit vermieden werden sollte, fielen darunter die Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen, und die Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für Prozesssteuerung.



Aus diesen, im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnissen wurden zunächst eine generelle Empfehlung sowie Empfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

### **Generelle Empfehlung**

Generell sollte nach Empfehlung der ISO-Norm 11064-5 Absatz 5.4.3 von der Nutzung von automatischen Bildwechslern abgesehen werden. Dies gilt insbesondere, wenn die Aufgabe der OperateurlInnen die Erkennung von Veränderungen im Bild umfasst sowie wenn keine expliziten Argumente für die Nutzung automatischer Bildwechsel bestehen.

**Bei der Nutzung von automatischen Bildwechslern sollte die Frequenz des Wechsels auf die Tätigkeit sowie die Komplexität des abgebildeten Bildmaterials abgestimmt sein. Nach Möglichkeit sollten die Nutzer beim Wechsel eingreifen oder diesen anhalten können.**

Beispiele:

- Bei der Überwachung von sicherheitskritischem, komplexem Videomaterial innerhalb der Sicherheitsleitstelle eines Flughafens wird auf Bildwechsel verzichtet oder es wird ein langsamer Wechsel verwendet.
- Bei der Beobachtung von wenig komplexem Videomaterial, das unterschiedliche Decks eines wenig genutzten Parkhauses zeigt, wird ein schnellerer Bildwechsel genutzt.
- In beiden Szenarien können die Nutzer den Bildwechsel anhalten, etwa wenn sie eine Auffälligkeit auf einem gezeigten Bild bemerken.

### **Positive Einsatzgebiete**

**Wechselbilder können geeignet sein, um größere Bereiche effizient zu überwachen – hier kann die Arbeit durch einen adaptiven Wechsel der Bilder, etwa auf Basis von Ereigniserkennung, eventuell zusätzlich erleichtert werden.**

Beispiele:

- In der Leitstelle eines Betriebes des öffentlichen Personennahverkehrs werden automatische Bildwechsel zwischen verschiedenen Kameras für die Einschätzung des Fahrgastaufkommens an verschiedenen Haltestellen genutzt.
- In einer Leitstelle der Bahn werden Bildwechsel genutzt, um mehrere Bahnsteige zu überwachen, wobei mittels adaptivem Bildwechsels ungewöhnliche Ereignisse am Bahnsteig erkannt und das Bild in diesem Fall automatisch angehalten wird.

### **Negative Einsatzgebiete**

**Wechselbilder sollten nicht für sicherheitsrelevante Ansichten oder Ansichten für Steuerungstätigkeiten wie etwa die Prozesssteuerung genutzt werden.**

Beispiele:

- Innerhalb der Leitwarte einer Produktionsanlage könnten durch die Nutzung von Bildwechsell relevante Sichtbereiche im Fall einer Störung nicht zu sehen sein. Deshalb werden in diesen Bereichen Bildwechsel vermieden.
- In der Leitwarte eines Pharmaunternehmens werden Bildwechsel für die Visualisierung der Steuerung verschiedener Anlagen für Fertigungsprozesse nicht genutzt, da dies die Überwachung und Steuerung dieser erschweren würde. Stattdessen werden die Visualisierungen auf verschiedenen Bildschirmen parallel abgebildet.

## 8.2 Spiegelung

In der Versuchsaufgabe der Laborstudie zeigte sich eine signifikant höhere mentale Beanspruchung der teilnehmenden Operateure für die gespiegelte Darstellung, welche im Vergleich zur unangepassten Darstellung ein geistiges Umdenken hinsichtlich der Orientierung erforderte. Diese Schlussfolgerung stützen sowohl subjektive Befragungs- und Leistungsdaten als auch einige okulare Parameter.

Diese Erkenntnisse konnten durch die Ergebnisse der Feldstudie weiter ergänzt werden. Hier wurden sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle für die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung zunächst identifiziert und anschließend evaluiert. Auf positiver Seite zählte dazu die Nutzung der Spiegelung zur Anpassung an Bedürfnisse der Nutzer, etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung sowie die Nutzung der Spiegelung zur Anpassung bei problematischen Kamerastandorten. Auf negativer Seite, bei der die Nutzung der Darstellungsmöglichkeit vermieden werden sollte, zählte dazu die Nutzung der Spiegelung für Steuerungstätigkeiten sowie der Einsatz der Spiegelung für Tätigkeiten, die die Navigation im Raum erfordern.

Aus diesen, im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnissen wurden Empfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

### Positive Einsatzgebiete

**Gespiegelte, also seitenverkehrte Darstellungen können geeignet sein, um Videobilder an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen, etwa um bei einem baulich bedingten, problematischen Kamerastandort die gewohnte Fluss oder Bewegungsrichtung beizubehalten.**

Beispiele:

- In der Tunnelüberwachung wird eine gespiegelte Videodarstellung genutzt, um die Bewegungsrichtung des Verkehrs über mehrere Kameras hinweg aufeinander abzustimmen.
- In einer Leitwarte zur Steuerung von Schiffsschleusen wird eine gespiegelte Darstellung genutzt, um das Bild einer aus baulichen Gründen entgegen der typischen Ausrichtung aufgestellten Kamera an die übrigen Kamerabilder anzupassen.

## Negative Einsatzgebiete

**Auf gespiegelte, seitenverkehrte Darstellungen sollte verzichtet werden, wenn die räumliche Orientierung für die Ausführung der Aufgabe relevant ist und dadurch eine Umkodierung durch den Operateur erforderlich würde, wie etwa bei Navigationstätigkeiten.**

Beispiele:

- In einer Feuerwehrleitstelle werden originalgetreue Kartendarstellungen sowie Videoübertragungen der Einsatzkräfte genutzt, um diese effizient zu einem bestimmten Raum lotsen zu können.
- In Leitwarten zur Anlagensteuerung werden die Visualisierungen von Fertigungsprozessen originalgetreu dargestellt, um ein möglichst genaues räumliches Abbild der Anlage darzustellen.

## 8.3 Zerrung

In der Laborstudie konnten keine Hinweise identifiziert werden, die auf eine erhöhte mentale Beanspruchung bei der Bearbeitung der Versuchsaufgabe aus dem Kontext der Verkehrsüberwachung mit schwacher oder starker Fischaugenzerrung hindeuten.

Diese Erkenntnisse konnten durch die Ergebnisse der Feldstudie erweitert werden. Hier wurden sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle für die Darstellungsmöglichkeit Zerrung zunächst identifiziert und anschließend evaluiert. Auf positiver Seite zählte dazu die Nutzung von Zerrungen für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche sowie die Nutzung von Zerrungen zur Hervorhebung wichtiger Bereiche. Auf negativer Seite, bei der die Nutzung der Darstellungsmöglichkeit vermieden werden sollte, zählte die Nutzung von Zerrungen für Darstellungen aus geringer Entfernung sowie die Nutzung von Zerrungen für Tätigkeiten, die die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern.

Aus diesen, im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnissen, wurden Empfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

## Positive Einsatzgebiete

**Verzerrte Darstellungen von Videos wie etwa Fischaugen Zerrungen können geeignet sein, um größere Bereiche und Flächen abzubilden, sodass ein schneller Überblick über diese ermöglicht wird.**

Beispiele:

- Eine Fischaugenzerrung wird genutzt, um einen Überblick für die Überwachung des gesamten Werksgeländes darstellen zu können.
- Eine Fischaugenzerrung wird in einer Leitwarte zur Schleusensteuerung genutzt, um einen Überblick über eine gesamte Schleusenanlage darzustellen,

wobei der wichtigste Bereich, die Schleusenkammer, in der Mitte des Bildes durch die verzerrte Darstellung fokussiert wird.

### Negative Einsatzgebiete

**Verzerrte Darstellungen von Videos wie etwa Fischaugenzerrungen sollten nicht bei geringen Entfernungen oder für Zwecke eingesetzt werden, die die präzise Einschätzung von Proportionen, Bewegungen und Geschwindigkeiten erfordern.**

Beispiele:

- In der Anlagenüberwachung wird für die Kameraübertragung eines Bildes aus geringer Distanz eine möglichst originalgetreue Abbildung genutzt, damit die Proportionen originalgetreu abgebildet werden.
- Bei einer Verkehrsbeobachtungstätigkeit werden originalgetreue Videobilder genutzt, damit Abstände und Geschwindigkeiten der abgebildeten Fahrzeuge möglichst maßstabsgetreu dargestellt werden.

## 8.4 Augmented Reality

Innerhalb der Laborstudie zeigten sich keine signifikanten Unterschiede für die subjektive Bewertung der mentalen Beanspruchung zwischen den Bedingungen Keine Augmentierung, Zuverlässige Augmentierung und Unzuverlässige Augmentierung. In der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit wurde jedoch herausgefunden, dass die Variante mit der zuverlässigen Einblendung von Hinweisen in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit positiver bewertet wurde als die Varianten ohne Einblendung zusätzlicher Hinweise oder mit unzuverlässiger Augmentierung. Dieses Ergebnis wurde als Indiz dafür gewertet, dass im Fall der Nutzung von Augmented Reality-Darstellungen die Zuverlässigkeit des hinterlegten Systems im Hinblick auf die Güte der Informationen eine wichtige Rolle spielt.

Diese Erkenntnisse konnten durch die Ergebnisse der Feldstudie weiter ergänzt werden. Hier wurden sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle für die Technologie Augmented Reality identifiziert und evaluiert. Auf positiver Seite zählte dazu die Nutzung der Technologie Augmented Reality zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe sowie die Nutzung der Augmented Reality zum Einblenden von Zusatzinformationen, wie etwa Beschriftungen, Entfernung oder Geschwindigkeit von Objekten. Auf negativer Seite, bei der die Technologie nicht eingesetzt werden sollte, zählte dazu die Nutzung der Augmented Reality zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen ähnlich einer Bedienungsanleitung sowie der Einsatz von Augmented Reality zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen.

Aus diesen, im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnissen wurden zunächst eine generelle Empfehlung sowie Empfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

## Generelle Empfehlungen

**Bei der Nutzung von Augmented Reality Darstellungen in Leitwarten sollte die Güte und Korrektheit der dargestellten Informationen sichergestellt werden.**

Beispiele:

- In einer Produktionsleitwarte werden zuverlässige AR-Hinweise eingeblendet, die es Operateuren ermöglichen, auf effiziente Weise den Überblick über den Status der Fertigungsprozesse verschiedener Anlagen zu behalten
- Durch die Einblendung unzuverlässiger AR-Hinweise in einem Videobild wird für die zusätzlich erforderliche Überprüfung der gezeigten Hinweise mehr Zeit benötigt. Zudem werden die Hinweise durch die Nutzer teilweise nicht beachtet.

## Positive Einsatzgebiete

**Augmented Reality Darstellungen können hilfreich sein, um die Einschätzung von Situationen sowie den Umgang mit diesen durch die Einblendung zusätzlicher Informationen (wie beispielsweise Abmessungen oder Anlagen Informationen) oder die Bereitstellung dynamischer Entscheidungshilfen zu erleichtern.**

Beispiele:

- In der Leitstelle der Feuerwehr wird die Koordination eines Einsatzes durch die Live-Einblendung von Handlungs-Checklisten begleitet.
- In einer Leitzentrale des Wasserschiffverkehrs werden im Videobild zu den einzelnen Schiffen Informationen wie etwa die Abmessungen und Geschwindigkeit angezeigt.

## Negative Einsatzgebiete

**Die Menge an dargestellten Informationen sollte an die Aufgabenanforderungen angepasst werden, um eine Überforderung aufgrund zu vieler Informationen zu verhindern.**

Beispiel:

- Das Videobild einer Leitwarte aus dem Sicherheitsbereich wird mithilfe von AR-Einblendungen nur um aufgabenrelevante Informationen erweitert. Auf die Einblendung nicht relevanter Informationen, wie etwa zur Temperatur und Luftfeuchtigkeit, wird verzichtet.

**Adaptive AR Handlungsempfehlungen sollten in einem Maß eingesetzt werden, dass relevante Hinweise eingeblendet werden ohne redundante Informationen zu zeigen.**

Beispiel:

- In einer Leitwarte zur Anlagensteuerung werden adaptive Handlungsempfehlungen nur dann eingeblendet, wenn sie für den Operateur relevant sind. Auf eine Erläuterung jeden Einzelschrittes wird bewusst verzichtet, um eine Kompetenzverlust und blinde Befolgung der Anweisungen zu verhindern.

## 8.5 3D-Darstellungen

Innerhalb der Versuchsaufgabe der Laborstudie, in der die Darstellungsmöglichkeit perspektivisches 3D mithilfe einer Suchaufgabe untersucht wurde, konnten für die Bewertung der mentalen Beanspruchung keine eindeutigen Unterschiede zwischen der 2D- und der perspektivischen 3D-Darstellung gefunden werden. Jedoch wurde die Gebrauchstauglichkeit für die 3D-Darstellung höher bewertet. Insgesamt lässt dies keine klaren Aussagen über die Nutzung von 2D- oder 3D-Darstellungen zu, zumal die jeweiligen Vorteile der Darstellungsmöglichkeit oft vom spezifischen Anwendungsfall abhängen. Hierzu konnte die Feldstudie hilfreiche Erkenntnisse liefern, indem sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle zunächst im Rahmen der Fokusgruppen identifiziert und in der nachfolgenden Online-Studie evaluiert wurden. Auf positiver Seite zählte dazu die Nutzung von 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen sowie die Nutzung von 3D-Darstellungen für Anlagen- und Gebäudeansichten. Auf negativer Seite, bei der die Darstellungsmöglichkeit nicht eingesetzt werden sollte, zählte dazu die Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen sowie der Einsatz von 3D-Darstellung zur dauerhaften Nutzung, etwa für Routinetätigkeiten.

Aus diesen, im Rahmen des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnissen wurden Empfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

### Positive Einsatzgebiete

**Die Nutzung von 3D Darstellungen kann in verschiedenen Bereichen für Übersichts- oder Kartendarstellungen sowie für Anlagen und Gebäudeansichten zugunsten eines besseren räumlichen Eindrucks geeignet sein und so zu einer Arbeitserleichterung führen.**

Beispiele:

- In einer Leitstelle der Polizei werden 3D-Darstellungen für Übersichts- und Kartendarstellungen genutzt, um zur Koordination eines Einsatzes einen besseren räumlichen Eindruck der Situation vor Ort zu erhalten.
- In einer Feuerwehr-Leitzentrale werden 3D-Darstellungen genutzt, um für die Koordination eines Einsatzes die Innenräume und Fluchtmöglichkeiten innerhalb eines großen Gebäudes besser darstellen zu können.

## Negative Einsatzgebiete

**Die Nutzung von 3D-Darstellungen ist dagegen weniger zu empfehlen für die dauerhafte Nutzung bei der alltäglichen Aufgabenbearbeitung oder bei hochkomplexen Darstellungen.**

Beispiele:

- In der Leitwarte eines Industrieunternehmens werden 2D-Darstellungen genutzt, um hochkomplexe und detaillierte Prozessleitbilder zu visualisieren
- Innerhalb der Leitzentrale eines Kraftwerkes werden zur Bearbeitung von Dokumenten sowie für Tabellenkalkulationen in gängigen Bürosoftware-Anwendungen 2D-Darstellungen genutzt.

## 8.6 LED-Wall

Die Darstellungsmöglichkeit LED-Wall wurde innerhalb der Laborstudie nicht näher untersucht. Durch die Feldstudie können dennoch fundierte Aussagen zu dieser Darstellungsmöglichkeit getroffen werden. Hier wurden sowohl positive als auch negative Anwendungsfälle zunächst identifiziert und anschließend evaluiert. Auf positiver Seite zählte dazu die Nutzung der LED-Wall zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen sowie die Nutzung der LED-Wall zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen. Auf negativer Seite, bei der die Darstellungsmöglichkeit nicht eingesetzt werden sollte, zählt dazu die Nutzung der LED-Wall für interaktive Detaildarstellungen sowie die Nutzung der LED-Wall zur Darstellung sehr vieler Informationen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden schließlich die folgenden Gestaltungsempfehlungen zu positiven sowie negativen Einsatzgebieten abgeleitet. Diese werden im Folgenden jeweils mit Beispielen zur besseren Veranschaulichung aufgeführt.

### Positive Einsatzgebiete

**Die Nutzung von LED-Walls kann geeignet sein, um Übersichtsdarstellungen oder für mehrere Personen relevante Informationen in Leitwarten darzustellen.**

Beispiele:

- Eine LED-Wall wird in einer Industrielitwarte genutzt, um allen Operateuren innerhalb einer Übersichtsdarstellung Informationen zum Status verschiedener Produktionsanlagen zur Verfügung zu stellen.
- In der Leitstelle einer Sicherheitsfirma werden für alle Mitarbeiter aktuelle Informationen etwa zum Dienstplan sowie zu Ausfällen von Fahrzeugen auf einer LED-Wall dargestellt.

### Negative Einsatzgebiete

**Die Nutzung von LED-Walls ist weniger zu empfehlen, um sehr viele Informationen in Detaildarstellungen oder interaktive Schnittstellen abzubilden.**

## Beispiele:

- In der Netzleitwarte eines Energieversorgers wird die LED-Wall nicht genutzt, um hochdetaillierte Prozessvisualisierungen darzustellen.
- Auf der LED-Wall einer Verkehrsleitstelle werden vier verschiedene Videokameras zur Tunnelüberwachung übertragen. Auf die zusätzliche Abbildung einer Übersichtskarte sowie der Darstellung von Textanzeigen mit einer Vielzahl weiterer Informationen wird verzichtet, da einzelne Informationen sonst sehr klein dargestellt würden.



## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden vielfältige empirische Methoden, sowohl quantitativer Natur wie beispielsweise Befragungsinstrumente, Leistungsmaße und physiologische Parameter etwa im Rahmen der Laborstudie und Online-Studie als auch qualitative Methoden wie Fokusgruppen-Workshops eingesetzt. All diese hatten das Ziel, möglichst belastbare Aussagen hinsichtlich des Einsatzes neuer Technologien und bildlicher Darstellungsmöglichkeiten in Leitwarten treffen zu können. Eine besondere Herausforderung bei der Durchführung des Forschungsprojektes bestand darin, Technologien zu untersuchen, die bisher noch nicht weitläufig in Leitwarten eingesetzt werden, wobei diesen teilweise der zukünftige Einsatz prognostiziert wurde (LAFRENZ & JESCHKE, 2017), wie etwa 3D-Darstellungen und Augmented Reality-Darstellungen. Während der Fokus in der Laborstudie eher darauf lag, unter stark kontrollierten Bedingungen möglichst allgemeingültige Erkenntnisse zu Auswirkungen der Darstellungsmöglichkeiten auf die mentale Beanspruchung des Nutzers, insbesondere im Hinblick auf die mentale Beanspruchung zu gewinnen, war der Schwerpunkt bei der nachfolgenden Feldstudie ein anderer. Hier sollte insbesondere der Aufgaben- und Tätigkeitskontext untersucht werden, in dem Technologien oder Darstellungsmöglichkeiten eingesetzt werden. Dieser spielt neben der Gestaltung und Funktionalität der Technologie oder Darstellungsmöglichkeit selbst ebenfalls eine bedeutende Rolle für deren möglichen Nutzen sowie die Auswirkungen auf die OperateurlInnen. So kann die Funktionalität von Technologien ihre Vorteile nur dann ausspielen, wenn diese auch zu den Anforderungen der entsprechenden Tätigkeiten passen. Diesem Punkt waren sowohl die durchgeführten Fokusgruppen als auch die Online-Studie gewidmet. In der Gesamtheit ergänzen sich so die Erkenntnisse aus den verschiedenen im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Untersuchungen und liefern umfassende und zugleich detaillierte Erkenntnisse zum Einsatz neuer Technologien und bildlicher Darstellungsmöglichkeiten in Leitwarten.

Aus diesen wurden die im vorangegangenen Kapitel dargelegten Aussagen abgeleitet, welche bei der Neu- oder Umgestaltung von Leitwarten oder Leitstellen von großem Nutzen sein können. Nachfolgend werden für die durchgeführten Forschungsarbeiten zu den verschiedenen Technologien und Darstellungsmöglichkeiten jeweils ein Überblick über die Zielsetzung sowie die gewonnenen Erkenntnisse gegeben. Anschließend folgt für jede Technologie oder Darstellungsmöglichkeit ein Ausblick über mögliche zukünftige Entwicklungen sowie noch offene Forschungsfragen für potentiell nachfolgende Forschungsarbeiten.

### 9.1 Wechselbilder

#### Zielsetzung

Generell sollte nach Empfehlung der ISO-Norm 11064-5 Absatz 5.4.3 von der Nutzung von automatischen Bildwechseln abgesehen werden. Dies gilt insbesondere, wenn die Aufgabe der OperateurlInnen die Erkennung von Veränderungen im Bild umfasst sowie wenn keine expliziten Argumente für die Nutzung automatischer Bildwechsel bestehen.

Für die Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder bestand das Ziel der Untersuchungen zunächst darin, die Auswirkungen unterschiedlicher Geschwindigkeiten automati-

schen Bildwechsels auf die mentale Beanspruchung von OperateurlInnen zu untersuchen. Ein weiteres Ziel war es, Einsatzbereiche sowohl zu identifizieren als auch zu evaluieren, in denen die Nutzung von Wechselbildern von OperateurlInnen als wünschenswert eingeschätzt wurde und wo dieser andererseits eher vermieden werden sollte.

### **Ergebnisse**

Im Rahmen der Laboruntersuchungen konnte dabei gezeigt werden, dass sowohl die Wechselfrequenz als auch die visuelle Komplexität des Videomaterials die mentale Beanspruchung der Betrachter beeinflussten. Dies zeigte sich nicht nur anhand subjektiver Bewertungen, sondern auch in diversen physiologischen Parametern sowie für die visuelle Komplexität auch in einigen Leistungsmaßen.

In der anknüpfenden Feldstudie stellten sich als gewünschte Anwendungsfälle zunächst die Nutzung von Wechselbildern zur Videobeobachtung und Überwachung größerer Bereiche sowie die Nutzung von Wechselbildern für adaptiven (an das Geschehen angepassten), automatisierten Kamerawechsel mit Berücksichtigung des relevanten Geschehens heraus. Auf negativer Seite resultierten insbesondere die Nutzung von Wechselbildern für sicherheitsrelevante Ansichten und Informationen, die nicht verpasst werden dürfen und die Nutzung von Wechselbildern zur Ansicht für Prozesssteuerung als nicht gewünschte Anwendungsfälle.

Nicht möglich war es jedoch, mithilfe der durchgeführten Forschungsarbeiten fundierte Aussagen über mögliche Grenzwerte maximal zu empfehlender Wechselgeschwindigkeit zu treffen. Wie gezeigt werden konnte, haben diverse potentielle Faktoren, wie beispielsweise die visuelle Komplexität des gezeigten Videomaterials ebenfalls Einfluss auf die mentale Beanspruchung bei der Betrachtung von Wechselbildern. Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten diese jedoch nicht vollumfänglich untersucht werden.

### **Ausblick**

Die im Rahmen der Forschungsarbeiten gewonnenen Erkenntnisse können für die Arbeitsgestaltung in Leitwarten von großem Interesse sein, etwa um zu beurteilen, in welchem Kontext die Nutzung von Wechselbildern generell geeignet ist, sowie um abzuschätzen, welche Wechselfrequenz für eine bestimmte Tätigkeit angemessen sein kann.

Um noch weitergehende und detailliertere Empfehlungen ableiten zu können, könnte in nachfolgenden Forschungsarbeiten beispielsweise näher untersucht werden, welchen Einfluss unterschiedliche Aufgaben und Tätigkeiten auf die Effekte verschiedener Wechselfrequenzen hinsichtlich der mentale Beanspruchung von OperateurlInnen haben. So wäre etwa denkbar, dass höhere Aufgabenanforderungen, wie etwa bei Steuerungs- oder Suchtätigkeiten, bei konstanter Wechselfrequenz zu höheren mentalen Beanspruchungen führen als Überwachungstätigkeiten. Auch kann in weiteren Forschungsarbeiten etwa darauf hingearbeitet werden, die Komplexität von Videomaterial genauer beurteilen oder klassifizieren zu können, um so beispielsweise die adaptive Anpassung von Wechselfrequenzen an das gezeigte Material zu ermöglichen.

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung wäre es außerdem denkbar, Bildwechsel basierend auf einer Ereignis- oder Komplexitätserkennung adaptiv, also an das Geschehen angepasst, zu steuern. So könnten bei wenig komplexem Videomaterial womöglich schnellere Wechselgeschwindigkeiten genutzt werden, während bei hochkomplexem Material die Geschwindigkeit reduziert werden könnte. Darüber hin-

aus könnte auch ein Anhalten des Bildwechsels bei ungewöhnlichen Ereignissen implementiert werden, welche automatisiert erkannt werden könnten. Diese möglichen Entwicklungen sollten vor der praktischen Nutzung auch unter arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten umfassend erforscht werden.

## 9.2 Spiegelung

### Zielsetzung

Bei der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung sollte im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, inwieweit die Betrachtung gespiegelter bzw. seitenverkehrter Videodarstellungen sich auf die mentale Beanspruchung von OperateurlInnen auswirkt. Daneben sollte erforscht werden, für welche Einsatzbereiche die Nutzung gespiegelter Darstellungen zu empfehlen ist und für welche von dieser eher abzuraten ist.

### Ergebnisse

Für die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung konnte in den Laboruntersuchungen gezeigt werden, dass gespiegelte Darstellungen in der Experimentalaufgabe mit einer gesteigerten mentalen Beanspruchung im Vergleich zur Darstellung ohne Anpassung einherging. Die Experimentalaufgabe erforderte dabei die mentale Transformation und somit eine seitenverkehrte Reaktion auf einen bestimmten Reiz.

In der anknüpfenden Feldstudie stellte sich als gewünschte Anwendungsfälle zunächst die Nutzung von gespiegelten Darstellungen für die an Bedürfnisse der Nutzer, wie etwa zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung oder zur Anpassung bei problematischen Kamerastandorten heraus. Auf negativer Seite, bei der die Nutzung möglichst vermieden werden sollte, ergaben sich hier die Nutzung für Steuerungstätigkeiten sowie der Einsatz für Tätigkeiten, welche die Navigation im Raum erfordern.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen konnten für die Darstellungsmöglichkeit Spiegelung die in Kapitel 8.2 aufgeführten Gestaltungsempfehlungen abgeleitet werden.

Nicht näher eingegangen wurde im Rahmen des Forschungsprojektes auf mögliche Unterschiede zwischen Spiegelungen an der vertikalen und der horizontalen Bildachse. So wurden nur Spiegelungen an der vertikalen Bildachse untersucht, da diese für mögliche Anwendungen relevanter erschienen. Außerdem wurde auch nicht zwischen verschiedenen Aufgaben und Tätigkeiten unterschieden, welche womöglich einen Einfluss auf die Auswirkungen der Spiegelung haben könnten. So ist denkbar, dass bei Tätigkeiten, welche lediglich die Reaktion auf das Erscheinen eines Objektes unabhängig von der räumlichen Position erfordern, die Auswirkungen gespiegelter Darstellung relativ gering sein mögen.

### Ausblick

Im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten könnte der zuvor genannte Punkt verschiedener Aufgabeneinflüsse näher untersucht werden. So könnte mitunter zwischen einer reinen Reaktionsaufgabe und einer Aufgabe, bei welcher die räumliche Orientierung eine Rolle spielt, unterschieden werden. Sollte dies für einen bestimmten Nutzungszweck von Interesse sein, könnte daneben auch näher auf mögliche Unterschiede zwischen einer Spiegelung an der vertikalen und der horizontalen Bildachse eingegangen werden. Des Weiteren könnte in folgenden Arbeiten auch mithilfe experimenteller Methoden der potentielle Nutzen von gespiegelten Darstellungen, etwa

zur Beibehaltung der Fluss- oder Bewegungsrichtung oder der Anpassung bei problematischen Kamerastandorten, untersucht werden.

### **9.3 Zerrung**

#### **Zielsetzung**

Hinsichtlich der Darstellungsmöglichkeit Zerrung sollte im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, inwieweit Fischaugenzerrungen bei Videomaterial Einfluss auf die mentale Beanspruchung von OperateurlInnen bei der Betrachtung entsprechenden Videomaterials haben. Daneben sollte erforscht werden, für welche Einsatzbereiche die Nutzung verzerrter Darstellungen zu empfehlen ist und für welche von dieser eher abzuraten ist.

#### **Ergebnisse**

Im Rahmen der Laborstudie konnten für die Darstellungsmöglichkeit Fischaugen-Zerrung weder für die schwache noch die starke Ausprägung Unterschiede für die Bewertung der mentalen Beanspruchung im Vergleich zu nicht angepasstem Videomaterial gefunden werden. Dies deutet darauf hin, dass die Fischaugen-Zerrungen womöglich sehr geringen Einfluss auf die mentale Beanspruchung der Nutzer haben. In der nachfolgenden Feldstudie zeigten sich als gewünschte Anwendungsbereiche die Fischaugen-Zerrung insbesondere die Nutzung für Übersichtsdarstellungen und Abbildungen großer Bereiche sowie die Nutzung zur Hervorhebung wichtiger Bereiche. Auf negativer Seite dagegen resultierten insbesondere Darstellungen aus geringer Entfernung sowie die Nutzung für Tätigkeiten, welche die Einschätzung von Entfernungen und Geschwindigkeiten erfordern.

Nicht untersucht wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten weitere Arten von verzerrten Darstellungen neben der Fischaugenzerrung. Diese wurde ausgewählt, da sie teilweise bei der Nutzung von Weitwinkelobjektiven auftritt, welche einen größeren Abbildungsbereich ermöglichen. Aus diesem Grund erschien die Erforschung dieser Zerrungsart besonders relevant. Um die Experimentalaufgabe in der Laborstudie in den unterschiedlichen Versuchsbedingungen möglichst vergleichbar zu gestalten, wurde hierbei die Fischaugen-Zerrung umgesetzt, ohne dass der Abbildungsbereich verändert wurde.

#### **Ausblick**

In weiteren Forschungsarbeiten könnte der zuletzt genannte Punkt unterschiedlich großer Abbildungsbereiche bei der Nutzung von Fischaugen-Zerrungen näher untersucht werden. Somit könnten Aussagen über mögliche Auswirkungen der Nutzung von Weitwinkelobjektiven getroffen werden, welche anstelle der Effekte der Zerrung womöglich eher auf den vergrößerten Abbildungsbereich zurückzuführen sind. Daneben könnten in weiteren Forschungsarbeiten auch noch unterschiedlich starke Zerrungen sowie verschiedene Arten von gezerrten Darstellungen näher betrachtet werden. So könnte überprüft werden, inwieweit gewisse Ausprägungen von Zerrungen möglicherweise doch Einfluss auf die mentale Beanspruchung der Nutzer haben. Des Weiteren können insbesondere die im Rahmen der Feldstudie identifizierten Anwendungsbereiche mithilfe experimenteller Laboruntersuchungen näher erforscht werden.

## 9.4 Augmented Reality

### Zielsetzung

Für die Technologie Augmented Reality sollte im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, inwieweit die Nutzung dieser Einfluss auf die mentale Beanspruchung von OperateurInnen hat. Daneben sollten Einblicke gewonnen werden, für welche Einsatzbereiche die Nutzung dieser Technologie generell hilfreich sein kann und für welche davon eher abzuraten ist.

### Ergebnisse

Im Rahmen der Laborstudie konnten gezeigt werden, dass insbesondere die Zuverlässige Augmentierung von den Teilnehmenden als besonders gebrauchstauglich bewertet wurde. Auch zeigten sich Effekte der unterschiedlichen Augmentierungen in einigen physiologischen Maßen. Keine signifikanten Unterschiede konnten jedoch für die subjektive Bewertung der mentalen Beanspruchung gefunden werden.

Daneben zeigte sich im Rahmen der Feldstudie, dass auch für die Technologie Augmented Reality einige Anwendungsbereiche positiver bewertet wurden als andere. Zu den besonders positiven Bereichen zählen die Nutzung zur bedarfsabhängigen Einblendung von Entscheidungshilfen durch Verknüpfung mit Checklisten für Abläufe sowie zur Einblendung von Zusatzinformationen. Zu den negativen Bereichen zählen dagegen die Nutzung zur permanenten Einblendung von Handlungsempfehlungen ähnlich einer Bedienungsanleitung sowie zur Darstellung nicht aufgabenrelevanter Zusatzinformationen.

Im Rahmen der durchgeführten Laboruntersuchung konnte dagegen nicht näher auf mobile Augmented Reality-Darstellungen etwa in AR-Brillen eingegangen werden. Daneben wurde in der untersuchten Aufgabe, neben der Ereignis-Erkennung anhand von Markierungen keine weiteren Informationen eingeblendet, wie es möglicherweise in anderen Kontexten hilfreich sein könnte.

### Ausblick

In nachfolgenden Forschungsarbeiten können Effekte der Nutzung von Augmented Reality insbesondere auf die mentale Beanspruchung von Nutzern anhand einer größer angelegten experimentellen Untersuchung eventuell besser untersucht werden. So waren in der im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Laborstudie auf deskriptiver Ebene geringe Unterschiede in der erwarteten Richtung zu erkennen. Diese waren allerdings offensichtlich zu klein, um statistische Signifikanz zu erlangen. Dies mag mitunter auch an der geringen Anzahl an Durchläufen bzw. zu erkennenden Diebstählen gelegen haben, die die Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen für die Teilnehmenden nicht besonders salient machten. An diesem Punkt könnte bei nachfolgenden Forschungsarbeiten angesetzt werden, um womöglich noch aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten. Zudem könnte zukünftig auch näher auf mobile Augmented Reality-Darstellungen eingegangen werden. Daneben kann auch die Nutzung von Augmented Reality für verschiedene Aufgabenkontexte und Tätigkeiten nachfolgend näher untersucht werden.

## 9.5 3D-Darstellungen

### Zielsetzung

Bei der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung sollte im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, inwieweit perspektivische 3D-Videodarstellungen sich hinsichtlich der mentale Beanspruchung von OperateurlInnen von 2D-Darstellungen unterscheiden. Daneben sollte erforscht werden, für welche spezifischen Einsatzbereiche die Nutzung perspektivischer 3D-Darstellungen geeignet sein kann und für welche Einsatzbereiche eher nicht.

### Ergebnisse

Innerhalb der Laborstudie zeigten sich keine Unterschiede zwischen beiden Darstellungsmöglichkeiten bezüglich der mentalen Beanspruchung der Nutzer. Jedoch konnte eine höhere subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit für die perspektivische 3D-Darstellung gefunden werden. Aus diesen Ergebnissen ließen sich jedoch keine eindeutigen Schlüsse im Hinblick auf Empfehlungen für die Arbeitsgestaltung in Leitwarten ableiten.

In den Arbeiten der Feldstudie konnten darüber hinaus jedoch weitere Erkenntnisse bezüglich möglicher Anwendungsbereiche gewonnen werden. Hier zeigten sich als gewünschte Anwendungsbereiche der perspektivischen 3D-Darstellungen insbesondere die Nutzung für Übersichts- und Kartendarstellungen sowie für Anlagen- und Gebäudeansichten. Auf der anderen Seite resultierten als zu vermeidende Anwendungsbereiche die Nutzung von 3D-Darstellungen für hochkomplexe Darstellungen sowie der dauerhafte Einsatz, etwa für Routinetätigkeiten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes nicht erreicht werden konnte eine nähere Betrachtung anderer 3D-Darstellungsmöglichkeiten wie etwa stereoskopisches 3D. Auch wurden neben der in der Laboruntersuchung genutzten Suchaufgabe keine weiteren Experimentalaufgaben untersucht, weshalb aus dieser keine detaillierten Aussagen über die Effekte bei diesen getroffen werden können, also beispielsweise bezogen auf die Nutzung für Navigationstätigkeiten.

### Ausblick

In weiteren Forschungsarbeiten könnte unter Nutzung experimenteller Forschungsmethoden detaillierter untersucht werden, inwieweit perspektivische 3D-Darstellungen bei der Ausführung verschiedener Tätigkeiten und Aufgaben mit mentaler Beanspruchung und Leistung assoziiert sind. So könnten noch detailliertere Aussagen sowohl über den potentiellen Nutzen der Technologie als auch die Auswirkungen auf den Nutzer getroffen werden. Zudem könnten in nachfolgenden Arbeiten neben der perspektivischen 3D-Darstellung auch etwa stereoskopisches 3D näher untersucht werden, um die verschiedenen Technologien aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive miteinander zu vergleichen.

## 9.6 LED-Wall

### **Zielsetzung**

Schließlich sollte im Rahmen des Forschungsprojektes für die LED-Wall untersucht werden, für welche Einsatzbereiche die Nutzung zu empfehlen ist und für welche von dieser eher abzuraten ist.

### **Ergebnisse**

Dafür stellte sich im Rahmen der Feldstudie als gewünschte Anwendungsfälle zunächst die Nutzung zur Übersichtsdarstellung über verschiedene Anlagen sowie zur Einblendung allgemeiner, relevanter Informationen heraus. Auf negativer Seite resultierten insbesondere die Nutzung für interaktive Detaildarstellungen sowie für die Darstellung sehr vieler Informationen.

Nicht erforscht werden konnten im Rahmen des Forschungsprojektes die Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung von Nutzern, da die Technologie LED-Wall im Rahmen der Laborstudie nicht näher untersucht wurde. Aus diesem Grund konnten auch die Effekte bei der Nutzung für unterschiedliche Tätigkeiten nicht näher untersucht werden.

### **Ausblick**

Die experimentelle Untersuchung der Effekte auf die mentale Beanspruchung, auch unter Berücksichtigung von Leistungsdaten sowie physiologischer Parameter sowie der Unterschiede bei der Nutzung für unterschiedliche Tätigkeiten oder Einsatzbereiche könnte in nachfolgenden Forschungsarbeiten erfolgen.

## Literaturverzeichnis

- AVSS, 2007. *Advanced Video and Signal based Surveillance dataset*. [online] [Zugriff am: 16. Juli 2017].
- AZUMA, R.T., 1997. A Survey of Augmented Reality [online]. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, **6**(4), 355-385. ISSN 1054-7460. Verfügbar unter: doi:10.1162/pres.1997.6.4.355
- BAAYEN, R.H., D.J. DAVIDSON und D.M. BATES, 2008. Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items [online]. *Journal of Memory and Language*, **59**(4), 390-412. Journal of Memory and Language. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jml.2007.12.005
- BACH, D.R., G. FLANDIN, K.J. FRISTON und R.J. DOLAN, 2009. Time-series analysis for rapid event-related skin conductance responses [online]. *Journal of neuroscience methods*, **184**(2), 224-234. Journal of neuroscience methods. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jneumeth.2009.08.005
- BACH, D.R., K.J. FRISTON und R.J. DOLAN, 2010. Analytic measures for quantification of arousal from spontaneous skin conductance fluctuations [online]. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, **76**(1), 52-55. International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.01.011
- BACKS, R.W. und K.A. SELJOS, 1994. Metabolic and cardiorespiratory measures of mental effort. The effects of level of difficulty in a working memory task. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, **16**(1), 57-68.
- BACKS, R.W. und L.C. WALRATH, 1992. Eye movement and pupillary response indices of mental workload during visual search of symbolic displays [online]. *Applied Ergonomics*, **23**(4), 243-254. ISSN 00036870. Verfügbar unter: doi:10.1016/0003-6870(92)90152-L
- BARSON, E.Z., M. GRAAFLAND und M.P. SCHIJVEN, 2016. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training [online]. *Surgical Endoscopy*, **30**(10), 4174-4183. ISSN 1432-2218. Verfügbar unter: doi:10.1007/s00464-016-4800-6
- BATES, D., M. MÄCHLER, B.M. BOLKER und W. SC, 2013. Package lme4. Linear mixed-effects models using Eigen and S4. *R package version 1.1-7*, **1**.
- BAUA, 2018. *Moderne Bildschirmarbeit* [online] [Zugriff am: 4. April 2018]. Verfügbar unter [https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Neue-Technologien-und-Arbeitsformen/Moderne-Bildschirmarbeit/Moderne-Bildschirmarbeit\\_dynnode.html](https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Neue-Technologien-und-Arbeitsformen/Moderne-Bildschirmarbeit/Moderne-Bildschirmarbeit_dynnode.html)



- BAUER, A., S. ECKEL, T. EMTER, A. LAUBENHEIMER, E. MONARI, J. MOßGRABER und F. & REINERT, 2008. NEST–network enabled surveillance and tracking. *Future Security 3rd Security Research Conference Karlsruhe*.
- BECKER MEDITEC, 2016. Varioport Gebrauchsanweisung.
- BENNIS, A., R. LANDMAN und D. LENIOR, 2014. CCTV mediated observation versus non-mediated observation: investigating perceived image quality with different test systems. *Human Factors in Organisational Design and Management Conference in*.
- BERLYNE, D.E., 1960. *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- BOFF, K., L. KAUFMAN und J. P. THOMAS, 1986. *Handbook of Perception and Human Performance*.
- BOFF, K.R., Hg., 1986. *Handbook of perception and human performance*. New York, NY: Wiley. A Wiley-Interscience publication. ISBN 0471829560.
- BOUCSEIN, W., D.C. FOWLES, S. GRIMNES, G. BEN-SHAKHAR, W.T. ROTH, M.E. DAWSON und D.L. FILION, 2012. Publication recommendations for electrodermal measurements [online]. *Psychophysiology*, **49**(8), 1017-1034. ISSN 0048-5772. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01384.x
- BOUCSEIN, W. und W. OTTMANN, 1996. Psychophysiological stress effects from the combination of night-shift work and noise [online]. *Biological Psychology*, **42**(3), 301-322. ISSN 03010511. Verfügbar unter: doi:10.1016/0301-0511(95)05164-3
- BOUCSEIN, W. und M. THUM, 1997. Design of work/rest schedules for computer work based on psychophysiological recovery measures [online]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **20**(1), 51-57. ISSN 01698141. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0169-8141(96)00031-5
- BRADLEY, M.M. und P.J. LANG, 1994. Measuring emotion [online]. The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, **25**(1), 49-59. ISSN 00057916. Verfügbar unter: doi:10.1016/0005-7916(94)90063-9
- BROBERG, O., N. FALLENTIN, P. HASLE, P.L. JENSEN, A. KABEL, M.E. LARSEN und T. WELLER, Hg., 2014. *Proceedings of the 11 conference on Human Factors in Organizational Design and Management*. Copenhagen.
- BROOKE, J., 1996. SUS-A quick and dirty usability scale. In: PATRICK W. JORDAN, B. THOMAS, IAN LYALL MCCLELLAND und BERNARD WEERDMEESTER, Hg. *Usability Evaluation In Industry*.
- BROIJN, D.d., J. JANSEN, D. LENIOR, K. SCHREIBERS und R. PIKAAR, 2016. Human factor guidelines and workload in CCTV design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*, 209-219.

- BYERS, J.C., 1989. Traditional and Raw Task Load Index (TLX) Correlations. Are paired comparisons necessary? *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I: Taylor and Francis*.
- CARMIGNIANI, J. und B. FURHT, 2011. Augmented Reality. An Overview. In: B. FURHT, Hg. *Handbook of augmented reality*. New York, NY: Springer, S. 3-46. ISBN 978-1-4614-0064-6.
- CARMIGNIANI, J., B. FURHT, M. ANISETTI, P. CERAVOLO, E. DAMIANI und M. IVKOVIC, 2011. Augmented reality technologies, systems and applications [online]. *Multimedia Tools and Applications*, **51**(1), 341-377. ISSN 1573-7721. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11042-010-0660-6
- CARROLL, D., J. RICK TURNER und J.C. HELLAWELL, 1986. Heart Rate and Oxygen Consumption during Active Psychological Challenge [online]. The Effects of Level of Difficulty. *Psychophysiology*, **23**(2), 174-181. ISSN 0048-5772. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1469-8986.1986.tb00613.x
- CASTRO, S., J. COOPER und D. STRAYER, 2016. Validating Two Assessment Strategies for Visual and Cognitive Load in a Simulated Driving Task [online]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, **60**(1), 1899-1903. ISSN 1541-9312. Verfügbar unter: doi:10.1177/1541931213601432
- CHANDLER, P. und J. SWELLER, 1996. Cognitive Load While Learning to Use a Computer Program [online]. *Applied Cognitive Psychology*, **10**(2), 151-170. ISSN 0888-4080. Verfügbar unter: doi:10.1002/(SICI)1099-0720(199604)10:2<151::AID-ACP380>3.0.CO;2-U
- CINAZ, B., B. ARNRICH, R. LA MARCA und G. TRÖSTER, 2013. Monitoring of mental workload levels during an everyday life office-work scenario [online]. *Personal and Ubiquitous Computing*, **17**(2), 229-239. ISSN 1617-4909. Verfügbar unter: doi:10.1007/s00779-011-0466-1
- COLLE, H.A. und G.B. REID, 1998. Context effects in subjective mental workload ratings [online]. *Human factors*, **40**(4), 591-600. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1518/001872098779649283
- COSTA, G., 1993. Evaluation of workload in air traffic controllers [online]. *Ergonomics*, **36**(9), 1111-1120. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139308967982
- CRUNDALL, D., G. UNDERWOOD und P. CHAPMAN, 1999. Driving experience and the functional field of view [online]. *Perception*, **28**(9), 1075-1087. ISSN 0301-0066. Verfügbar unter: doi:10.1068/p281075
- DADASHI, N., A.W. STEDMON und T.P. PRIDMORE, 2013. Semi-automated CCTV surveillance [online]. The effects of system confidence, system accuracy and task complexity on operator vigilance, reliance and workload. *Applied Ergonomics*, **44**(5), 730-738. ISSN 00036870. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.apergo.2012.04.012

- DAVIS, F.D., 1985. Technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems theory and results. *Doctoral Dissertation, MIT*.
- DEMBERG, V., A. SAYEED, A. MAHR und C. MÜLLER, 2013. Measuring linguistically-induced cognitive load during driving using the ConTRe task. In: J. TERKEN, Hg. *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Eindhoven, 2013, [October 28 - 30, 2013]*. New York, NY: ACM, S. 176-183. ISBN 9781450324786.
- DEML, B. und M. SCHNEIDER, Hg., 2016. *An Integrated Approach of Mental Workload Assessment. Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes*: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-48661-0.
- DI STASI, L.L., A. ANTOLÍ, M. GEA und J.J. CAÑAS, 2011. A neuroergonomic approach to evaluating mental workload in hypermedia interactions [online]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **41**(3), 298-304. ISSN 01698141. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ergon.2011.02.008
- DIBITONTO, M. und C.M. MEDAGLIA, 2015. Improving User Performance in a Smart Surveillance Scenario through Different Levels of Automation. In: M. KUROSU, Hg. *Human-computer interaction. 17th international conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015; proceedings*. Cham: Springer, S. 706-716. ISBN 978-3-319-20915-9.
- DIN, 2004. *DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth.
- DIN, 2006. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion–Teil 110. Grundsätze der Dialoggestaltung*. Berlin: Beuth.
- DIN, 2008. *EN ISO 11064-5: Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen. - Teil 5: Anzeigen und Stellteile*. Berlin: Beuth.
- DINGES, D.F. und R. GRACE, 1998. PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance. *US Department of Transportation, Federal Highway Administration*.
- DIXON, S., E. FITZHUGH und D. ALEVA, 2009. Human factors guidelines for applications of 3D perspectives. A literature review. In: J.T. THOMAS und D.D. DESJARDINS, Hg. *Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics III*: SPIE, 73270K.
- DLUGOSCH, C., A.S. CONTI und K. BENGLER, 2013. Driver Distraction through Conversation Measured with Pupillometry. In: 2013 DRIVING ASSESSMENT CONFERENCE, Hg. *Proceedings of the 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design : driving as-sessment 2013*. Iowa City, Iowa: University of Iowa, S. 198-204.
- DÖRNER, R., W. BROLL, P.F. GRIMM und B. JUNG, Hg., 2013. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Berlin: Springer Vieweg. eXamen.press. ISBN 978-3-642-28903-3.

- DÖRNER, R., C. GEIGER, L. OPPERMAN und V. PAELKE, 2013. Interaktionen in Virtuellen Welten. In: R. DÖRNER, W. BROLL, P.F. GRIMM und B. JUNG, Hg. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Berlin: Springer Vieweg, S. 157-193. ISBN 978-3-642-28903-3.
- DRAPER, J.V., S. HANDEL, C.C. HOOD und C.T. KRING, 1991. Three experiments with stereoscopic television. When it works and why. In: *1991 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Decision aiding for complex systems : October 13-16, 1991, Omni Charlottesville Hotel and the University of Virginia, Charlottesville, Virginia : conference proceedings*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, S. 1047-1052. ISBN 0-7803-0233-8.
- DRIVECAMUK, 2017. *M6 Motorway Traffic [Videodatei]* [online] [Zugriff am: 31. Juli 2017]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=PNCJQkvALVc>
- EL SADDIK, A., S. VUONG, C. GRIWODZ, A. DEL BIMBO, K.S. CANDAN und A. JAIMES, Hg., 2008. *Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia*. New York, NY: ACM. ISBN 9781605583037.
- ELLEJMI, M., S. BAGASSI und A. PERSIANI, 2018. Evaluation of Augmented Reality Tools for the provision of Tower Air Traffic Control using An Ecological Interface Design *<italic> </italic>*. In: AIAA, Hg. *2018 Modeling and Simulation Technologies Conference: American Institute of Aeronautics and Astronautics*.
- FINSTAD, K., 2010. Response Interpolation and Scale Sensitivity. Evidence Against 5-Point Scales. *Journal of Usability Studies*, **5**(3), 104-110.
- FOGARTY, C. und J.A. STERN, 1989. Eye movements and blinks. Their relationship to higher cognitive processes. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, **8**(1), 35-42.
- FURHT, B., Hg., 2011. *Handbook of augmented reality*. New York, NY: Springer. ISBN 978-1-4614-0064-6.
- GILL, M. und A. SPRIGGS, 2005. Assessing the impact of CCTV. *London: Home Office Research, Development and Statistics Directorate*, 1-176.
- GIRGENSOHN, A., T. DUNNIGAN, D. KIMBER, J. VAUGHAN, T. YANG, F. SHIPMAN, T. TURNER, E. RIEFFEL, L. WILCOX und F. CHEN, 2007. DOTS. In: R. LIENHART, A.R. PRASAD, A. HANJALIC, S. CHOI, B. BAILEY und N. SEBE, Hg. *Proceedings of the 15th international conference on Multimedia*. New York, NY: ACM, S. 423. ISBN 9781595937025.
- GOPHER, D. und E. DONCHIN, 1986. Workload - An examination of the concept [online]. *Handbook of Perception and Human Performance, Vol II, Cognitive Processes and Performance*. New York: Wiley & Sons. Verfügbar unter: [http://scholarcommons.usf.edu/psy\\_facpub/283](http://scholarcommons.usf.edu/psy_facpub/283)
- GROOT, N. de und R.N. PIKAAR, 2006. Videowall Information Design: useless and useful applications. *Proceedings IEA 2006*.

- GUTWIN, C. und C. FEDAK, 2004. A Comparison of Fisheye Lenses for Interactive Layout Tasks. *Proceedings - Graphics Interface*, 213-220.
- HALVERSON, T., J. ESTEPP, J. CHRISTENSEN und J. MONNIN, 2016. Classifying Workload with Eye Movements in a Complex Task [online]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, **56**(1), 168-172. ISSN 1541-9312. Verfügbar unter: doi:10.1177/1071181312561012
- HANKINS, T.C. und G.F. WILSON, 1998. A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight. *Aviation, space, and environmental medicine*, **69**(4), 360-367.
- HARPER, S., E. MICHAILEDOU und R. STEVENS, 2009. Toward a definition of visual complexity as an implicit measure of cognitive load [online]. *ACM Transactions on Applied Perception*, **6**(2), 1-18. ISSN 15443558. Verfügbar unter: doi:10.1145/1498700.1498704
- HART, S.G. und L.E. STAVELAND, 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of Empirical and Theoretical Research. In: N. MESHKATI und P.A. HANCOCK, Hg. *Human Mental Workload*. s.l.: Elsevier textbooks, S. 139-183. ISBN 9780444703880.
- HICKS, T.G. und W.W. WIERWILLE, 1979. Comparison of Five Mental Workload Assessment Procedures in a Moving-Base Driving Simulator [online]. *Human factors*, **21**(2), 129-143. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1177/001872087902100201
- HILL, S.G., H.P. IAVECCHIA, J.C. BYERS, A.C. BITTNER, A.L. ZAKLADE und R.E. CHRIST, 1992. Comparison of Four Subjective Workload Rating Scales [online]. *Human factors*, **34**(4), 429-439. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1177/001872089203400405
- HOLLEIS, P., 2009. *Integrating Usability Models into Pervasive Application Development*. Dissertation.
- HORI, S. und Y. SHIMIZU, 1999. Designing methods of human interface for supervisory control systems [online]. *Control Engineering Practice*, **7**(11), 1413-1419. ISSN 09670661. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0967-0661(99)00112-4
- IDEENFINDUNG, 2018. *Reizbildtechnik – Reizbildmethode* [online] [Zugriff am: 10. März 2018]. Verfügbar unter: <http://www.ideenfindung.de/reizbilder.html>
- 1991 *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Decision aiding for complex systems : October 13-16, 1991, Omni Charlottesville Hotel and the University of Virginia, Charlottesville, Virginia : conference proceedings*, 1991. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 0-7803-0233-8.
- JAVED, O. und M. SHAH, 2008. Automated Multi-Camera Surveillance. Algorithms and Practice. *Automated Multi-Camera Surveillance: Algorithms and Practice, The International Series in Video Computing, Volume 10*. ISBN HASH(0xcb31810). Springer-Verlag US, 2008, p.

- JESCHKE, P., L. ADOLPH und S. WISCHNIEWSKI, 2014. Operateure in Leitwarten – Multitasker der Automatisierung. 56. *Fachausschusssitzung Anthropotechnik der DGLR: Der Mensch zwischen Automatisierung, Kompetenz und Verantwortung*, 2014.
- JOHANNSEN, G., 1979. Workload and Workload Measurement. In: N. MORAY, Hg. *Mental Workload. Its Theory and Measurement*. Boston, MA: Springer, S. 3-11. ISBN 978-1-4757-0884-4.
- JORNA, P.G., 1992. Spectral analysis of heart rate and psychological state [online]. A review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, **34**(2-3), 237-257. ISSN 03010511. Verfügbar unter: doi:10.1016/0301-0511(92)90017-O
- JUDD, C.M., J. WESTFALL und D.A. KENNY, 2012. Treating stimuli as a random factor in social psychology [online]. A new and comprehensive solution to a pervasive but largely ignored problem. *Journal of personality and social psychology*, **103**(1), 54-69. *Journal of personality and social psychology*. Verfügbar unter: doi:10.1037/a0028347
- KAHNEMAN, D., 1973. *Attention and effort*. [online]. Englewood Cliffs N.J: Prentice-Hall. ISBN 9780130505187. Verfügbar unter: <http://worldcatlibraries.org/wcpa/oclc/590203>
- KEVAL, H. und M.A. SASSE, 2008. to catch a thief -- you need at least 8 frames per second. In: A. EL SADDIK, S. VUONG, C. GRIWODZ, A. DEL BIMBO, K.S. CANDAN und A. JAIMES, Hg. *Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia*. New York, NY: ACM, S. 941. ISBN 9781605583037.
- KIM, D., Y. SEO, J. CHO und C.-H. CHO, 2008. Detection of subjects with higher self-reporting stress scores using heart rate variability patterns during the day [online]. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, **2008**, 682-685. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*. Verfügbar unter: doi:10.1109/IEMBS.2008.4649244
- KIM, W.S., F. TENDICK und L. STARK, 1987. Visual enhancements in pick-and-place tasks. Human operators controlling a simulated cylindrical manipulator.
- KÖNIGSTORFER, J., 2008. *Akzeptanz von technologischen Innovationen: Nutzungsentscheidungen von Konsumenten dargestellt am Beispiel von mobilen Internetdiensten*. Wiesbaden: Gabler.
- KUHMANN, W., W. BOUCSEIN, F. SCHAEFER und J. ALEXANDER, 1987. Experimental investigation of psychophysiological stress-reactions induced by different system response times in human-computer interaction\* [online]. *Ergonomics*, **30**(6), 933-943. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140138708969789

- KUROSU, M., Hg., 2015. *Human-computer interaction. 17th international conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015; proceedings*. Cham: Springer. Lecture notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI. 9170. ISBN 978-3-319-20915-9.
- LAFRENZ, B. und P. JESCHKE, 2017. *Moderne IKT zur Visualisierung und Strukturierung von Informationen in Leitwarten*. [online]. Verfügbar unter: [http://publikationen.dglr.de/?tx\\_dglrpublications\\_pi1%5Bdocument\\_id%5D=010003](http://publikationen.dglr.de/?tx_dglrpublications_pi1%5Bdocument_id%5D=010003)
- LAURIG, W., 2015. *Belastungs-Beanspruchungs-Konzept und Gefährdungsbeurteilung*. [online] [Zugriff am: 2. Juni 2017]. Verfügbar unter: [http://www.ergonassist.de/bel-bean\\_gefaehrdung/Belastung\\_Beanspruchung\\_Gefaehrdung.htm](http://www.ergonassist.de/bel-bean_gefaehrdung/Belastung_Beanspruchung_Gefaehrdung.htm)
- LEE, D.H. und K.S. PARK, 1990. Multivariate analysis of mental and physical load components in sinus arrhythmia scores [online]. *Ergonomics*, **33**(1), 35-47. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139008927092
- LEGRIS, P., J. INGHAM und P. COLLERETTE, 2003. Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information & Management*, **3**(40), 191-204.
- LEYS, C., C. LEY, O. KLEIN, P. BERNARD und L. LICATA, 2013. Detecting outliers [online]. Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, **49**(4), 764-766. ISSN 00221031. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jesp.2013.03.013
- LIENHART, R., A.R. PRASAD, A. HANJALIC, S. CHOI, B. BAILEY und N. SEBE, Hg., 2007. *Proceedings of the 15th international conference on Multimedia*. New York, NY: ACM. ISBN 9781595937025.
- LINDHOLM, E. und C. M CHEATHAM, 1983. Autonomic activity and workload during learning of a simulated aircraft carrier landing task. *Aviation, space, and environmental medicine*, **54**.
- MACK, A. und I. ROCK, 1998. *Inattentive blindness*. Cambridge, Mass.: MIT Press. A Bradford book. ISBN 0262632039.
- MALTZ, M. und D. SHINAR, 1999. Eye movements of younger and older drivers [online]. *Human factors*, **41**(1), 15-25. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1518/001872099779577282
- MANZEY, D., 1998. Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In: F. RÖSLER, Hg. *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe, S. 799-864. ISBN 380170551X.
- MARQUART, G., C. CABRALL und J. de WINTER, 2015. Review of Eye-related Measures of Drivers' Mental Workload [online]. *Procedia Manufacturing*, **3**, 2854-2861. ISSN 2351-9789. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.promfg.2015.07.783
- MARSHALL, S.P., 2000. U.S. Patent No. 6,090,051. *Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office*.

- MAY, J.G., R.S. KENNEDY, M.C. WILLIAMS, W.P. DUNLAP und J.R. BRANNAN, 1990. Eye movement indices of mental workload [online]. *Acta Psychologica*, **75**(1), 75-89. ISSN 0001-6918. Verfügbar unter: doi:10.1016/0001-6918(90)90067-P
- MCINTIRE, J.P., P.R. HAVIG und E.E. GEISELMAN, 2014. Stereoscopic 3D displays and human performance [online]. A comprehensive review. *Displays*, **35**(1), 18-26. ISSN 01419382. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.displa.2013.10.004
- MEDIUM, 2018. *3 Creative Exercises to Kickstart a Killer Ideation Session* [online] [Zugriff am: 10. April 2018]. Verfügbar unter: <https://medium.com/@tommycampbell/3-creative-exercises-to-kickstart-a-killer-ideation-session-7c5b3fb57b6e>
- MEHLER-BICHER, A. und L. STEIGER, 2014. *Augmented reality. Theorie und Praxis* [online]. 2., überarbeitete Auflage. München: de Gruyter Oldenbourg. ISBN 9783110353846. Verfügbar unter: [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbnissn&q\\_0=9783110353853&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783110353853&searchTitles=true)
- MESHKATI, N. und P.A. HANCOCK, Hg., 1988. *Human Mental Workload*. s.l.: Elsevier textbooks. Advances in Psychology. v. 52. ISBN 9780444703880.
- MIURA, T., 1990. Active function of eye movement and useful field of view in a realistic setting. *Studies in visual information processing*, 119-127.
- MORAY, N., Hg., 1979. *Mental Workload. Its Theory and Measurement*. Boston, MA: Springer. NATO Conference Series. 8. ISBN 978-1-4757-0884-4.
- MORGAN, D.L., 1997. *The focus group guidebook*: Sage Publications. Focus group kit. ISBN 0761908188.
- MULDER, G., 1979. Mental Load, Mental Effort and Attention. In: N. MORAY, Hg. *Mental Workload. Its Theory and Measurement*. Boston, MA: Springer, S. 299-325. ISBN 978-1-4757-0884-4.
- NAIKAR, N., 1998. *Perspective Displays. A Review of Human Factors Issues* [online]. DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION CANBERRA (AUSTRALIA). DSTO-TR-0630. Verfügbar unter: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a360645.pdf>
- NEERINCX, M.A. und E. GRIFFIOEN, 1996. Cognitive task analysis [online]. Harmonizing tasks to human capacities. *Ergonomics*, **39**(4), 543-561. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139608964480
- O'DONNELL, C.R.D. und F.T. EGGEMEIER, 1986. Workload Assessment Methodology. In: K.R. BOFF, Hg. *Handbook of perception and human performance*. New York, NY: Wiley, S. 42. ISBN 0471829560.
- OLIVA, A., M. SHRESTHA und A. PEEPER, 2004. Identifying the Perceptual Dimensions of Visual Complexity of Scenes [online]. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/31d7/01b7d647b27cadede984e9c46e02cb3decf2.pdf>



- OULASVIRTA, A., S. ESTLANDER und A. NURMINEN, 2009. Embodied interaction with a 3D versus 2D mobile map [online]. *Personal and Ubiquitous Computing*, **13**(4), 303-320. ISSN 1617-4909. Verfügbar unter: doi:10.1007/s00779-008-0209-0
- PALINKO, O., A.L. KUN, A. SHYROKOV und P. HEEMAN, 2010. Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In: S.N. SPENCER, Hg. *ETRA 2010. Symposium on Eye Tracking Research & Applications ; Austin, TX, USA, March 22 - 24, 2010*. New York, NY: ACM SIGGRAPH, S. 141. ISBN 9781605589947.
- PATRICK W. JORDAN, B. THOMAS, IAN LYALL MCCLELLAND und BERNARD WEERDMEESTER, Hg., 1996. *Usability Evaluation In Industry*.
- PETERS, L., G. GREENFIELD, A. MAJEED und B. HAYHOE, 2018. The impact of private online video consulting in primary care [online]. *Journal of the Royal Society of Medicine*, **111**(5), 162-166. Journal of the Royal Society of Medicine. Verfügbar unter: doi:10.1177/0141076818761383
- PIKAAR, R., D. LENIOR, K. SCHREIBERS und D.D. BRUIJN, 2015. Human Factors Guidelines for CCTV system design. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA, Melbourne 9-14 August 2015*.
- RAYNER, K. und R.K. MORRIS, 1992. Eye movement control in reading [online]. Evidence against semantic preprocessing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**(1), 163-172. ISSN 1939-1277. Verfügbar unter: doi:10.1037/0096-1523.18.1.163
- RECARTE, M.A. und L.M. NUNES, 2000. Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving [online]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, **6**(1), 31-43. ISSN 1939-2192. Verfügbar unter: doi:10.1037/1076-898X.6.1.31
- RECARTE, M.A. und L.M. NUNES, 2003. Mental workload while driving. Effects on visual search, discrimination, and decision making. *Journal of experimental psychology. Applied*, **9**(2), 119-137.
- REID, G.B. und T.E. NYGREN, 1988. The Subjective Workload Assessment Technique. A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In: N. MESHKATI und P.A. HANCOCK, Hg. *Human Mental Workload*. s.l.: Elsevier textbooks, S. 185-218. ISBN 9780444703880.
- REIMER, B., B. MEHLER, Y. WANG und J.F. COUGHLIN, 2012. A field study on the impact of variations in shortterm memory demands on drivers' visual attention and driving performance across three age groups [online]. *Human factors*, **54**(3), 454-468. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1177/0018720812437274
- RIBBACK, S., 2003. *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation. Potsdam.

- RICHTER, P., T. WAGNER, R. HEGER und G. WEISE, 1998. Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads--a quasi-experimental field study [online]. *Ergonomics*, **41**(5), 593-609. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/001401398186775
- ROHMERT, W., 1984. Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, **38**(4), 193-200.
- ROSCOE, A.H., 1992. Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological Psychology*, **34**(2-3), 259-287.
- ROSCOE, A.H., 1993. Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assessment [online]. *Ergonomics*, **36**(9), 1055-1062. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139308967977
- RÖSLER, F., Hg., 1998. *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe. Enzyklopädie der Psychologie Themenbereich C. C1. ISBN 380170551X.
- ROTH, W.T., M.E. DAWSON und D.L. FILION, 2012. Publication recommendations for electrodermal measurements [online]. *Psychophysiology*, **49**(8), 1017-1034. ISSN 0048-5772. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01384.x
- RÖTTING, M. und H. LUCZAK, 2001. *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft / FIR - Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V.* ISBN 3-8265-8805-3.
- SCHAEFER, F., KUHMANN, W., BOUCSEIN, W., & ALEXANDER, J., 1986. Beanspruchung durch Bildschirmtätigkeit bei experimentell variierten Systemresponsezeiten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, **40**(1), 31-38.
- SCHLAG, B. und G. WELLER, 2015. Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen. In: H. WINNER, S. HAKULI, F. LOTZ und C. SINGER, Hg. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3., überarb. und erg. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 71-83. ISBN 978-3-658-05734-3.
- SCHWALM, M., 2009. *Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext* [online]. Dissertation. Verfügbar unter: [http://psydok.psycharchives.de/jspui/bitstream/20.500.11780/597/1/Dissertation\\_Maximilian\\_Schwalm.pdf](http://psydok.psycharchives.de/jspui/bitstream/20.500.11780/597/1/Dissertation_Maximilian_Schwalm.pdf)
- SCOTT-BROWN, K.C. und P.D.J. CRONIN, 2007. An Instinct for Detection [online]. Psychological Perspectives on CCTV Surveillance. *The Police Journal: Theory, Practice and Principles*, **80**(4), 287-305. The Police Journal: Theory, Practice and Principles. Verfügbar unter: doi:10.1350/pojo.2007.80.4.287
- SHAO, J., C.C. LOY und X. WANG, 2017. Learning Scene-Independent Group Descriptors for Crowd Understanding [online]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **27**(6), 1290-1303. Verfügbar unter: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7428859>

- SHEPARD, S. und D. METZLER, 1988. Mental rotation [online]. Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**(1), 3-11. ISSN 1939-1277. Verfügbar unter: doi:10.1037/0096-1523.14.1.3
- SIREVAAG, E.J., A.F. KRAMER, C.D. WICKENS, M. REISWEBER, D.L. STRAYER und J.F. GRENELL, 1993. Assessment of pilot performance and mental workload in rotary wing aircraft [online]. *Ergonomics*, **36**(9), 1121-1140. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139308967983
- SMALLMAN, H.S., M.B. COOK, D.I. MANES und M.B. COWEN, 2007. Naïve Realism in Terrain Appreciation [online]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, **51**(19), 1317-1321. ISSN 1541-9312. Verfügbar unter: doi:10.1177/154193120705101908
- SMALLMAN, H.S. und M. ST. JOHN, 2005. Naive Realism [online]. Misplaced Faith in Realistic Displays. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, **13**(3), 6-13. ISSN 1064-8046. Verfügbar unter: doi:10.1177/106480460501300303
- SPENCER, S.N., Hg., 2010. *ETRA 2010. Symposium on Eye Tracking Research & Applications ; Austin, TX, USA, March 22 - 24, 2010*. New York, NY: ACM SIGGRAPH. ISBN 9781605589947.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016. *81 % der Internetnutzer gehen per Handy oder Smartphone ins Internet* [online]. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/12/PD16\\_430\\_63931pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/12/PD16_430_63931pdf.pdf?__blob=publicationFile)
- STERN, J.A., L.C. WALRATH und R. GOLDSTEIN, 1984. The Endogenous Eyeblink [online]. *Psychophysiology*, **21**(1), 22-33. ISSN 0048-5772. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1469-8986.1984.tb02312.x
- SVENSSON, E., M. ANGELBORG-THANDERZ, L. SJOBERG und S. OLSSON, 1997. Information complexity--mental workload and performance in combat aircraft [online]. *Ergonomics*, **40**(3), 362-380. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/001401397188206
- TAO, D., 2009. Intention to Use and Actual Use of Electronic Information Resources. Further Exploring Technology Acceptance Model (TAM). *AMIA Annual Symposium Proceedings*, **2009**, 629-633.
- TATTERSALL, A.J. und G.R. HOCKEY, 1995. Level of operator control and changes in heart rate variability during simulated flight maintenance [online]. *Human factors*, **37**(4), 682-698. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1518/001872095778995517
- TERKEN, J., Hg., 2013. *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Eindhoven, 2013, [October 28 - 30, 2013]*. New York, NY: ACM. ISBN 9781450324786.

- THE GUARDIAN, 2017. *Augmented reality: Apple and Google's next battleground* [online]. Verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2017/aug/30/ar-augmented-reality-apple-google-smartphone-ikea-pokemon-go>
- THOMAS, J.T. und D.D. DESJARDINS, Hg., 2009. *Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics III*: SPIE. SPIE Proceedings.
- TODD, J.T., 2004. The visual perception of 3D shape [online]. *Trends in cognitive sciences*, **8**(3), 115-121. ISSN 1364-6613. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.tics.2004.01.006
- TÖNNIS, M., 2010. *Augmented Reality. Einblicke in die Erweiterte Realität* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Informatik im Fokus. 0. ISBN 9783642141782. Verfügbar unter: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10404653>
- VALENTIN, H., 1970. *Arbeitsmedizin. Ein kurzgefaßtes Lehrbuch für Ärzte und Studenten*. Stuttgart: Thieme. Flexibles Taschenbuch Med. ISBN 3134639017.
- VALLINO, J.R., 1998. Interactive Augmented Reality. *Ph.D. dissertation. University of Rochester*.
- VELTMAN, J.A. und A.W.K. GAILLARD, 1996. Physiological indices of workload in a simulated flight task [online]. *Biological Psychology*, **42**(3), 323-342. ISSN 03010511. Verfügbar unter: doi:10.1016/0301-0511(95)05165-1
- VENKATESH, V. und F.D. DAVIS, 2000. A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model [online]. Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, **46**(2), 186-204. ISSN 0025-1909. Verfügbar unter: doi:10.1287/mnsc.46.2.186.11926
- VIDULICH, M.A. und C.D. WICKENS, 1986. Causes of dissociation between subjective workload measures and performance [online]. *Applied Ergonomics*, **17**(4), 291-296. ISSN 00036870. Verfügbar unter: doi:10.1016/0003-6870(86)90132-8
- VIDULICH, M.A. und P.S. TSANG, 1987. Absolute Magnitude Estimation and Relative Judgement Approaches to Subjective Workload Assessment [online]. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, **31**(9), 1057-1061. ISSN 0163-5182. Verfügbar unter: doi:10.1177/154193128703100930
- WAARD, D. de, 1996. The measurement of drivers' mental workload. *Netherlands: Groningen University, Traffic Research Center*.
- WALLACE, E., C. DIFFLEY und J. ALDRIDGE, 1997. ). Ergonomic Design Considerations for Public Area CCTV Safety and Security Applications. *International Ergonomics Association Congress*.
- WANG, X., S.K. ONG und A.Y.C. NEE, 2016. A comprehensive survey of augmented reality assembly research [online]. *Advances in Manufacturing*, **4**(1), 1-22. ISSN 2195-3597. Verfügbar unter: doi:10.1007/s40436-015-0131-4

- WIERWILLE, W.W., M. RAHIMI und J.G. CASALI, 1985. Evaluation of 16 measures of mental workload using a simulated flight task emphasizing mediational activity. *Human factors*, **27**(5), 489-502.
- WIERWILLE, W.W. und J.G. CASALI, 1983. A Validated Rating Scale for Global Mental Workload Measurement Applications [online]. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, **27**(2), 129-133. ISSN 0163-5182. Verfügbar unter: doi:10.1177/154193128302700203
- WILSON, G.F., 1992. Applied use of cardiac and respiration measures [online]. Practical considerations and precautions. *Biological Psychology*, **34**(2-3), 163-178. ISSN 03010511. Verfügbar unter: doi:10.1016/0301-0511(92)90014-L
- WILSON, G.F., 1993. Air-to-ground training missions [online]. A psychophysiological workload analysis. *Ergonomics*, **36**(9), 1071-1087. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140139308967979
- WILSON, G.F., P. FULLENKAMP und I. DAVIS, 1994. Evoked potential, cardiac, blink, and respiration measures of pilot workload in air-to-ground missions [online]. *undefined*, **65**(2), 100-105. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/f4e0/d663649972cdedecf186a736f018b90e45f3.pdf>
- WINNER, H., S. HAKULI, F. LOTZ und C. SINGER, Hg., 2015. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3., überarb. und erg. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. ATZ/MTZ-Fachbuch. ISBN 978-3-658-05734-3.
- WOOD, J., 2014. CCTV – Human Factors Challenges. In: O. BROBERG, N. FALLENTIN, P. HASLE, P.L. JENSEN, A. KABEL, M.E. LARSEN und T. WELLER, Hg. *Proceedings of the 11 conference on Human Factors in Organizational Design and Management*. Copenhagen.
- YEH, Y.-Y. und C.D. WICKENS, 1988. Dissociation of Performance and Subjective Measures of Workload [online]. *Human factors*, **30**(1), 111-120. ISSN 0018-7208. Verfügbar unter: doi:10.1177/001872088803000110
- YOUNG, K. und M. REGAN, 2003. Driver distraction. A review of the literature and recommendations for countermeasure development. *Distracted driving*. Sydney, NSW: Australasian College of Road Safety, 379-405.
- ZEIER, H., 1979. Concurrent physiological activity of driver and passenger when driving with and without automatic transmission in heavy city traffic [online]. *Ergonomics*, **22**(7), 799-810. ISSN 0014-0139. Verfügbar unter: doi:10.1080/00140137908924658
- ZIJLSTRA, F.R.H. und L. VAN DOORN, 1985. *The construction of a scale to measure perceived effort*.: University of Technology.

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1.1</b>	Übersicht über durchgeführte Arbeiten in der Labor- und Feldstudie	9
<b>Abb. 2.1</b>	Leitstelle eines Verkehrsbetriebes des öffentlichen Nahverkehrs	10
<b>Abb. 2.2</b>	Leitstelle der Polizei	11
<b>Abb. 4.1</b>	Versuchsaufbau der Laborstudie. Die Versuchsperson bearbeitet den Versuchsteil Wechselbilder. Foto: Laila Tkotz/KIT	27
<b>Abb. 4.2</b>	Position der EKG-Elektroden (BECKER MEDITEC, 2016)	29
<b>Abb. 4.3</b>	Versuchsablauf	30
<b>Abb. 4.4</b>	Versuchsteile der Laborstudie mit etwaiger Durchführungsdauer und Übersicht über die Monitore	30
<b>Abb. 4.5</b>	Gedrehtes Formenpaar	31
<b>Abb. 4.6</b>	Gedrehtes und gespiegeltes Formenpaar	32
<b>Abb. 4.7</b>	Übersicht über die Überwachungskameras	33
<b>Abb. 4.8</b>	Versuchsteil Wechselbilder: Übersicht der Bildschirme	33
<b>Abb. 4.9</b>	Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen, Übersichtsdarstellung auf dem linken Bildschirm	34
<b>Abb. 4.10</b>	Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen: Übersicht der Bildschirme	35
<b>Abb. 4.11</b>	Versuchsteil Augmented Reality: Parallele Videodarstellungen	36
<b>Abb. 4.12</b>	Versuchsteil Augmented Reality: Markierung eines Diebstahls	37
<b>Abb. 4.13</b>	Versuchsteil Augmented Reality: Übersicht der Bildschirme	38
<b>Abb. 4.14</b>	Versuchsteil Perspektivisches 3D, Übersicht der Bildschirme	39
<b>Abb. 4.15</b>	Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Bildwechsel. Die Konfidenzintervalle bezeichnen den Standardfehler.	41
<b>Abb. 4.16</b>	Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	50

<b>Abb. 4.17</b>	Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil Augmented Reality	58
<b>Abb. 4.18</b>	Mittelwerte des NASA-TLX im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	66
<b>Abb. 6.1</b>	Ablauf der Fokusgruppen	83
<b>Abb. 7.1</b>	Technologie-Akzeptanz-Modell nach VENKATESH und DAVIS (2000)	96
<b>Abb. 7.2</b>	Ablauf der Online-Studie	98
<b>Abb. 7.3</b>	Bewertungen der Vertrautheit mit verschiedenen Technologien, gemittelt über die Teilnehmenden	99
<b>Abb. 7.4</b>	Bewertungen der Relevanz der verschiedenen Technologien, gemittelt über die jeweils vier Anwendungsfälle und alle Teilnehmenden	100
<b>Abb. 7.5</b>	Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle	101
<b>Abb. 7.6</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Wechselbilder für die vier Anwendungsfälle	102
<b>Abb. 7.7</b>	Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle	103
<b>Abb. 7.8</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Spiegelung für die vier Anwendungsfälle	104
<b>Abb. 7.9</b>	Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle	106
<b>Abb. 7.10</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit Zerrung für die vier Anwendungsfälle	107
<b>Abb. 7.11</b>	Bewertungen der Eignung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle	108
<b>Abb. 7.12</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Technologie Augmented Reality für die vier Anwendungsfälle	109
<b>Abb. 7.13</b>	Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle	111
<b>Abb. 7.14</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit 3D für die vier Anwendungsfälle	112

<b>Abb. 7.15</b>	Bewertungen der Eignung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle	113
<b>Abb.7.16</b>	Bewertungen der Intention zur Nutzung der Darstellungsmöglichkeit LED-Wall für die vier Anwendungsfälle	114



## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 4.1</b>	Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Wechselbilder	41
<b>Tab. 4.2</b>	Gebrauchstauglichkeit im Versuchsteil Wechselbilder	42
<b>Tab. 4.3</b>	Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Wechselbilder	42
<b>Tab. 4.4</b>	Visuelle Komplexität im Versuchsteil Wechselbilder	43
<b>Tab. 4.5</b>	Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Wechselbilder	43
<b>Tab. 4.6</b>	Anzahl korrekt erkannter Alarme im Versuchsteil Wechselbilder	44
<b>Tab. 4.7</b>	Reaktionszeit (in ms) in der Hauptaufgabe im Versuchsteil Wechselbilder	44
<b>Tab. 4.8</b>	Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Wechselbilder	44
<b>Tab. 4.9</b>	Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil Wechselbilder	45
<b>Tab. 4.10</b>	RMSSD (in ms) im Versuchsteil Wechselbilder	45
<b>Tab. 4.11</b>	Power (in $ms^2$ ) im niedrigen Frequenzbereich im Versuchsteil Wechselbilder	46
<b>Tab. 4.12</b>	Hautleitfähigkeitsniveau (in $\mu S$ ) im Versuchsteil Wechselbilder	46
<b>Tab. 4.13</b>	Fläche unter der Kurve (in $\mu S \cdot s$ ) im Versuchsteil Wechselbilder	46
<b>Tab. 4.14</b>	Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Wechselbilder	47
<b>Tab. 4.15</b>	Hautleitfähigkeitsniveau (in $\mu S$ ) im Versuchsteil Wechselbilder	47
<b>Tab. 4.16</b>	Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Wechselbilder	48
<b>Tab. 4.17</b>	Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Wechselbilder	48
<b>Tab. 4.18</b>	Percentage of Eyelid Closure (PERCLOS in Prozent) im Versuchsteil Wechselbilder	49
<b>Tab. 4.19</b>	Index of Cognitive Activity (ICA in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Wechselbilder	49

<b>Tab. 4.20</b>	Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	50
<b>Tab. 4.21</b>	Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	51
<b>Tab. 4.22</b>	Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	51
<b>Tab. 4.23</b>	Visuelle Komplexität im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	52
<b>Tab. 4.24</b>	Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	52
<b>Tab. 4.25</b>	Anzahl erkannter weißer Autos im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	52
<b>Tab. 4.26</b>	Reaktionszeit (in ms) bei erkannten weißen Autos in Millisekunden im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	53
<b>Tab. 4.27</b>	Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	53
<b>Tab. 4.28</b>	Mittlere Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	54
<b>Tab. 4.29</b>	RMSSD (in ms) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	54
<b>Tab. 4.30</b>	Power (in $ms^2$ ) im niedrigen Frequenzbereich im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	54
<b>Tab. 4.31</b>	Hautleitfähigkeitsniveau (in $\mu S$ ) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	55
<b>Tab. 4.32</b>	Fläche unter der Kurve (in $\mu S \cdot s$ ) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	55
<b>Tab. 4.33</b>	Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	55
<b>Tab. 4.34</b>	Mittlere Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion zu Spiegelungen und Zerrungen	56
<b>Tab. 4.35</b>	Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	56
<b>Tab. 4.36</b>	Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	56

<b>Tab. 4.37</b>	PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	57
<b>Tab. 4.38</b>	ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Spiegelungen und Zerrungen	57
<b>Tab. 4.39</b>	Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil Augmented Reality	58
<b>Tab. 4.40</b>	Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil Augmented Reality	59
<b>Tab. 4.41</b>	Geschätzte Beanspruchung in einer achtstündigen Schicht im Versuchsteil Augmented Reality	59
<b>Tab. 4.42</b>	Visuelle Komplexität im Versuchsteil Augmented Reality	59
<b>Tab. 4.43</b>	Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil Augmented Reality	60
<b>Tab. 4.44</b>	Anzahl erkannter Diebstähle im Versuchsteil Augmented Reality	60
<b>Tab. 4.45</b>	Reaktionszeit (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality	60
<b>Tab. 4.46</b>	Anzahl korrekter Antworten in der Nebenaufgabe im Versuchsteil Augmented Reality	61
<b>Tab. 4.47</b>	Mittlere Herzrate (in Herschläge pro Minute) im Versuchsteil Augmented Reality	61
<b>Tab. 4.48</b>	RMSSD (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality	61
<b>Tab. 4.49</b>	Power im niedrigen Frequenzbereich (in $ms^2$ ) im Versuchsteil Augmented Reality	62
<b>Tab. 4.50</b>	Hautleitfähigkeitsniveau (in $\mu S$ ) im Versuchsteil Augmented Reality	62
<b>Tab. 4.51</b>	Fläche unter der Kurve (in $\mu S \cdot s$ ) im Versuchsteil Augmented Reality	62
<b>Tab. 4.52</b>	Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil Augmented Reality	63
<b>Tab. 4.53</b>	Mittlere Amplitudenhöhe(in $\mu S$ ) der Hautleitfähigkeitsreaktionen zu Augmented Reality	63
<b>Tab. 4.54</b>	Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil Augmented Reality	63
<b>Tab. 4.55</b>	Anzahl an Fixationen im Versuchsteil Augmented Reality	64
<b>Tab. 4.56</b>	PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil Augmented Reality	64

<b>Tab. 4.57</b>	ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil Augmented Reality	65
<b>Tab. 4.58</b>	Mentale Beanspruchung (NASA-TLX) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	65
<b>Tab. 4.59</b>	Gebrauchstauglichkeit (SUS) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	66
<b>Tab. 4.60</b>	Geschätzte Beanspruchung im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	67
<b>Tab. 4.61</b>	Visuelle Komplexität im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	67
<b>Tab. 4.62</b>	Komplexität der Aufgabe im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	67
<b>Tab. 4.63</b>	Anzahl erkannter Suchobjekte im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	68
<b>Tab. 4.64</b>	Reaktionszeit (in ms) bei bekannten Suchobjekten im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	68
<b>Tab. 4.65</b>	Reaktionszeit (in ms) bei bekannten Suchobjekten zu perspektivische 3D-Darstellungen	69
<b>Tab. 4.66</b>	Mittlere Herzrate (in Herzschläge pro Minute) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	69
<b>Tab. 4.67</b>	RMSSD (in ms) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	69
<b>Tab. 4.68</b>	Power im niedrigen Frequenzbereich (in $ms^2$ ) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	70
<b>Tab. 4.69</b>	Hautleitfähigkeitsniveau im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	70
<b>Tab. 4.70</b>	Fläche unter der Kurve ( $\mu S \cdot s$ ) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	70
<b>Tab. 4.71</b>	Anzahl an Hautleitfähigkeitsreaktionen im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	71
<b>Tab. 4.72</b>	Mittlere Höhe der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion (in $\mu S$ ) zu perspektivischen 3D-Darstellungen	71
<b>Tab. 4.73</b>	Fixationsdauer (in ms) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	71

<b>Tab. 4.74</b>	Anzahl an Fixationen im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	72
<b>Tab. 4.75</b>	PERCLOS (in Prozent) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	72
<b>Tab. 4.76</b>	ICA (in Anzahl pro Sekunde) im Versuchsteil perspektivische 3D-Darstellungen	72
<b>Tab. 4.77</b>	Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse für den Faktor Wechselfrequenz	74
<b>Tab. 4.78</b>	Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (Anpassung Videomaterial)	77
<b>Tab. 4.79</b>	Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (Augmented Reality)	79
<b>Tab. 4.80</b>	Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse (perspektivische 3D-Darstellungen)	80

# Anhang

## Anhang 1 Gesammelte Ergebnisse der Fokusgruppen

<b>Wechselbilder Positiv</b>	
FG 1: Wechselbilder, z. B. bei Hochwasser die drei Wehre, Stellung der Wehre, Wasserstand	3
FG 2: Zugänge (Schleusen)	2
FG 3: hohe Kontrollsequenz (viele Bilder parallel, intelligente Steuerung) (2)	2
FG 4: Videobeobachtung (Kamerawechsel automatisiert)	3
FG 4: Videobeobachtung für mehrere/ größere Bereiche, Selektion möglich	2
FG 4: Videobeobachtung, Überwachungstechnik im Gebäude, Informationssender/TV	1
FG 4: Übertragung der eingesetzten Kräfte	1
FG 4: Schnittstellenerweiterung	1
FG 5: Überwachung eines großen Bereichs (z.B. öffentliche Plätze)	3
FG 5: Einblendung bei Ereigniserkennung, adaptive/assistive Wechsel, kein Wechsel bei kritischem Ereignis	2
FG 5: Schneller Überblick über viele Orte	1
<b>Wechselbilder Negativ</b>	
FG 1: Bild zeigt nur ein Zeitsegment	4
FG 1: Kein direkter Einfluss auf den Ablauf	1
FG 1: Man muss sich in kurzer Zeit immer wieder neu konzentrieren	1
FG 2: Schleusenbetrieb (wichtige Sachverhalte sollten nicht wechseln!)	1
FG 2: PLS (Prozessleitsystem)	1
FG 3: Im Störfall eventuell Infos nicht sichtbar, bei kritischen Situationen geht Info evtl. verloren	4
FG 3: erschwert die Konzentration auf Schwerpunkte: es sollten nur wenig Infos dargestellt werden, die genug Zeit lassen zur Aufmerksamkeit	3
FG 5: Erhöhte Burnout-Gefahr für Nutzer, Stressor für Disponenten (abhängig von Anzahl der Bildschirme sowie der Frequenz)	2
FG 5: Bilderwechsel wird anstrengend erlebt und kann zu Informationsverlust führen	2
FG 5: Überforderung durch hohe Anzahl an Kameras	2
FG 5: Reizüberflutung	1
<b>LED-Wall Positiv</b>	
FG 1: Hinweistafeln an Wehrsteg anbringen (z.B. Stoßschutz außer Betrieb wie auf Autobahnen!)	4
FG 1: Große Gebiete werden gut abgebildet (wichtige Bereiche lassen sich groß anzeigen)	2
FG 1: Ersetzen der Kameras in der LZ	2
FG 1: Videoüberwachung von schwach frequentierten Bereichen	1
FG 1: Öffentlichkeitsarbeit mit dynamischen Inhalten	1
FG 2: AIS (Automatic Identification System)	3
FG 2: Wasserhaltung (zur langfristigen Planung der Wasserstände)	2

FG 2: Darstellung relevanter Informationen: Info Elwis (elektronisches Informationssystem), Info DP (Dienstplan), Info Anweisungen, Info Störungen	3
FG 3: Gute Übersicht von Informationen der Anlagen	12
FG 3: Für den Operateur kann die gesamte Anlage in einem Übersichtsbild dargestellt werden: Auswirkungen von Handlungen können leichter gesehen, Probleme leichter erklärt und diskutiert werden	3
FG 3: Bediener bleibt in Bewegung (Vielfalt, guter Überblick, beste Ergonomie)	4
FG 3: großer Überblick, beliebig strukturierbar	1
FG 4: Vielseitigkeit, Multifunktional, erweiterte Variabilität	8
FG 4: Gleichzeitig verschiedene Darstellungen	2
FG 4: Übertragung durch eingesetzte Kräfte	1
FG 4: Bürgervideos (Zeugen, Beobachtungen)	1
FG 5: Einheitliche/allgemeine Informationen (z.B. Ausfälle von Fahrzeugen, Mitarbeitern, Wetter, N-TV, Kameras)	2
FG 5: Mehr Möglichkeiten zur Informationsdarstellung, größere Fläche	2
FG 5: Informationen, die für alle wichtig sind, können für alle dargestellt werden, aktuelle Information streuen	2
FG 5: Variabel in der Darstellung	1
<b>LED-Wall Negativ</b>	
FG 1: Überforderung der Person (zu viel Info)	4
FG 1: Übersicht kann durch zu viele Einzelbilder verloren gehen	1
FG 3: erhöhter Platzbedarf und erschwerte Erreichbarkeit	1
FG 3: Gefahr von Reizüberflutung: Wenn nicht nur beobachtet, sondern auch interaktiv gehandelt werden muss und viele unterschiedliche Anlagen gleichzeitig überwacht werden müssen	1
FG 4: Reizüberflutung	4
FG 5: Fokuswechsel zwischen eigenen Monitoren und LED-Wall anstrengend	2
FG 5: Reizüberflutung	2
<b>3D Positiv</b>	
FG 1: Wasserstraßenkarte zur einfacheren Orientierung	1
FG 1: Anlagenübersicht bzgl. Sicherheit und Schäden	1
FG 1: Diverse Planspiele z.B. während der Ausbildung	2
FG 1: Darstellung von Treibgut (auch Eis) im Torwenderaum	2
FG 1: Überwachung Liegeplätze, Brückendurchfahrten usw.	1
FG 1: Übersichtlich	1
FG 1: Geeignet zur Anlagensteuerung	1
FG 3: Räumliche Darstellung von Anlagen bzw. Anlagenteilen (zum besseren Verständnis und für Schulungszwecke)	2
FG 3: Für den Operator nicht zwingend nötig aber für Projektarten sehr gutes Hilfsmittel	1
FG 3: Stark abhängig von Softwareergonomie und Darstellungsart	1
FG 4: Landkarten, Gebäude, Einsatzräume, Taktische Lagen	3
FG 4: Fahndungsbereiche (Kordinierung, Objektinformation, Objektsicht)	2
FG 4: Teamwork	2
FG 4: Mehr Infos schneller sammeln (Alle Arten von Einsätzen)	1

FG 4: Informationsgewinn ermöglicht Vorsprung und Erfolg	1
FG 4: Erlangen von Objektinfos (z.B. Innenräume v. Banken, etwa für Spezialeinheit)	1
FG 5: Verbesserte räumliche Orientierung, etwa in Gebäuden oder topographischen Ansichten (Gebäude strukturieren und Topographie)	2
FG 5: Planungstätigkeiten mit niedrigem zeitlichen Horizont	2
FG 5: Anlagenüberwachung: Remote Störungsdiagnose durch Sensorik & 3D Modell von Fertigungszellen - Modelle von Anlagen können dazu genutzt werden, um Störungen zu identifizieren (z.B. Roboter gegen Wand gefahren; auch bei schwerer Zugänglichkeit)	2
FG 5: Koordination & Leitung der Kräfte vor Ort von Zentrale aus (z.B. Produktion, Feuerwehr oder Amoklauf)	1
FG 5: Auffinden von Örtlichkeiten kann verbessert werden (z.B. Hinterhof; Einsatz insbesondere bei Ortsunkundigen)	1
<b>3D Negativ</b>	
FG 1: Übersichtlichkeit leidet bei hochkomplexen Anlagen	1
FG 3: Kopfschmerzen (bei 8-12 Stunden Arbeitszeit)	3
FG 3: Höherer technischer Aufwand: Probleme wenn mehrere Anlagen gleichzeitig bedient werden und Umsetzung von Alt-Anlagen schwierig	3
FG 4: Zu viele Infos für alltägliche Lagebewältigung	1
FG 5: Maße und Skalierung schwerer erkennbar, Raum ist begrenzt	2
FG 5: Präzise Abstandwahrnehmung erschwert, verzerrte Tiefenwahrnehmung	1
<b>AR Positiv</b>	
FG 1: Zusatzinfo auf Bildschirm: z. B. Wasserstände, Abmessungen der Schiffe (3), Längenangaben der Schiffe (1), RIS (River Information Services) /AIS (Automatic Identification System) (Sicherheit)	4
FG 1: Ladetätigkeiten	1
FG 1: Alarmer einblenden (Brille)	2
FG 2: AIS (Automatic Identification System): Darstellung von Zusatzinfos zum Schiff: Länge, Geschwindigkeit	5
FG 2: Montagehinweise	1
FG 2: Navigation (z. B. POI-Darstellung)	2
FG 3: Einblenden von Entscheidungshilfen auf Wunsch	8
FG 3: Kamera auf Betriebsgelände (Zusatzinformation z. B. Bürokomplex)	6
FG 3: Anlagenbeschriftung	5
FG 3: Angenehme Art zusätzliche Infos anzuzeigen (Verwendung selbsterklärend, guter Übergang zur Realität)	1
FG 4: Ergänzung der Einsatz-Bearbeitung durch verknüpfte Hilfsmittel (z. B. Checklisten)	5
FG 4: Unterstützung am Arbeitsplatz zur Einsatzbearbeitung, etwa in unbekanntem Gebiet	4
FG 4: Ergänzende Tatort-Informationen	3
FG 4: Alle Lagen (variabel, einstellbar)	2
FG 4: Live Videobeobachtung (ergänzende Information abgreifbar)	2
FG 5: Zusätzliche Informationen können eingespielt werden: Abmaß, Statusanzeige, Position, Strecke	3
FG 5: Individualisierung von Großformat-Anzeigen wie LED-Wall	2



FG 5: Darstellung von besonderen Ereignissen	1
FG 5: Wichtige Ereignisse aus der Leittechnik	1
FG 5: Informationsqualität hat Einfluss auf Nützlichkeit (nutzbare Information wie z.B. Alarm oder Störung)	1
FG 5: Verteilte Zusammenarbeit der Leitstelle und der Mitarbeiter vor Ort (integrierte Informationen über z.B. die Position)	1
FG 5: Markierung von Objekten in Wechselbildern: Pop-out-Effekte, erleichterte Nachverfolgung	1
FG 5: Unterstützung des prospektiven Gedächtnisses: Erinnerung wenn auf bestimmtes Bild geguckt werden muss	1
FG 5: Visuelle Unterstützung: schafft besseres, tieferes Verständnis einer Situation, wichtige Punkte verstärkt bzw. nachgezeichnet	1
<b>AR Negativ</b>	
FG 1: Vermeintlich leichter	1
FG 1: Gewöhnungseffekt	1
FG 1: Gefahr von Überinformation, Überhäufung von Information	1
FG 3: Darf nicht als Bedienanleitung gelten, nicht permanent einblenden (sich darauf zu verlassen ist problematisch)	2
FG 4: Zu große Info-Flut	1
FG 5: Reizüberflutung/Informationsflut: Komplexere Darstellung durch zusätzliche Informationen, nur wenn wirklich vorteilhaft	5
FG 5: von Informationsqualität abhängig (gleich bleibende Information)	2
<b>Spiegelung Positiv</b>	
FG 1: Kann das Videobild den Bedürfnissen der Bediener anpassen (z.B. Fluß- oder Bewegungsrichtung)	1
FG 2: Zur Anpassung bei problematischem Kamerastandort	1
FG 5: Verwirrend (Bruch der Konsistenz als Gehirnjogging)	1
FG 5: Monitiv-aktiv, anleitend, Perspektivübernahme	1
<b>Spiegelung Negativ</b>	
FG 1: „Das ist falsch Gedanke“ zu fokussiert	1
FG 1: Hohe Belastung für die Bediener bei der Bildanalyse	1
FG 3: Verfremdete Darstellung	3
FG 3: Spiegelung bei uns für was?	1
FG 3: Für Anlagenoperating nicht geeignet	1
FG 4: Reizanforderung zu hoch	7
FG 5: Kognitive Beanspruchung	3
FG 5: Veränderung der Realität (erfordert zusätzlichen kognitiven Aufwand, z.B. bei Einsatz in Haus linkes/rechtes Zimmer Umdenken)	2
<b>Zerrung Positiv</b>	
FG 1: Kamera Eingang/Einfahrt (2), Überwachung der ges. Schleuse (1)	3
FG 3: Überwachung Maschinenhalle/Werk	4
FG 3: Überwachung von nicht besetzten Anlagenarealen oder Abtankanlagen (Wichtiges hervorheben als Sicherheitsgewinn)	3
FG 3: Reduzieren von Kameras bei Bereichsüberwachung sowie größeren Bereich auf einen Blick	1
FG 3: Fokus auf wichtige Bereiche, größere Darstellung	1
FG 4: Darstellung großer Flächen	6
FG 5: Künstliche Fokussierung/Verkleinerung von Kamerabildern zur Konzentration auf bestimmten Bereich ohne Situationsbewusstsein zu	2

verlieren	
FG 5: Weitere Übersicht/Darstellung eines großen Bereichs	1
FG 5: Übermittlung von Live-Bildern direkt in die Leitstelle	1
<b>Zerrung Negativ</b>	
FG 1: bei geringer Entfernung falsche Proportionen und Bewegungen	3
FG 2: Nahdarstellung (Zoom)	2
FG 2: Schleusen-Kammer-Bereich (Höchstgrenze): wegen verfälschten Proportionen	1
FG 3: Details schlecht erkennbar, teilweise verwirrend, schlechte Tiefenwahrnehmung	1
FG 5: Bewegungswahrnehmung verzerrt (schränkt vorausschauendes Handeln ein)	3
FG 5: Erschwert die Raumabschätzung (z.B. bei fehlender Ortskunde )	1