

TO WEAR OR NOT TO WEAR?
WEARABLE DEVICES ALS INFORMATIONSSASSISTENZ FÜR
DIE VARIANTENREICHE AUTOMOBILMONTAGE

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt
dem Bereich Mathematik und Naturwissenschaften
der Technischen Universität Dresden
von

DIPL.-PSYCH. NELE MARLENE FISCHER
geboren am 30. 01. 1986 in Karl-Marx-Stadt, jetzt Chemnitz

Betreuer / Gutachter:
Prof. Dr. Sebastian Pannasch (TU Dresden)
Prof. Dr. Gesine Grande (HTWK Leipzig)

Eingereicht am 31. Mai 2018
Verteidigt am 10. Oktober 2018

Die Dissertation wurde in der Zeit von 11/2014 bis 05/2018 an der Professur
Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung im Institut für Arbeits-,
Organisations- und Sozialpsychologie der TU Dresden und an der Fakultät für
Architektur und Sozialwissenschaften der HTWK Leipzig angefertigt.

Though this be madness, yet there is a method in't.

GhaH mISmoHlu' 'ach Hena' nablau'ta'

HAMLET, AKT 2.2

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Zusammenfassung	IX
1 Einleitung	1
2 Theoretischer Hintergrund	7
2.1 Industrie 4.0 und variantenreiche Serienproduktion	7
2.1.1 Industrie 4.0	7
2.1.2 Variantenreiche Serienproduktion in der Automobilindustrie . . .	8
2.1.3 Montage in der variantenreichen Automobilproduktion	9
2.2 Ausführungsqualität der variantenreichen Automobilmontage	12
2.2.1 Training von Montagetätigkeiten	15
2.2.2 Montageinformationen und Ausführungsfehler bei der routinierten variantenreichen Automobilmontage	16
2.2.3 Zusammenfassung Informationsverarbeitung und Ausführungsfehler	23
2.3 Ansätze zur Qualitätssteigerung durch Systeme der Informationsassistenz	24
2.3.1 Wearable Devices	26
2.3.2 Erprobung und Evaluation von Wearable Devices im Montagekontext	29
2.3.3 Evaluationskriterien für Wearable Devices im industriellen Kontext	31
2.4 Zielstellung und Forschungsfragen	63
2.4.1 Zusammenfassung des theoretischen Hintergrundes	63
2.4.2 Zielstellungen und Forschungsfragen	66
3 Empirischer Teil	71
3.1 Systemgestaltung und Untersuchungskontext	71
3.1.1 Endgeräte und Anwendungen	71
3.1.2 Rahmenbedingungen und Untersuchungskontexte	74

3.1.3	Übersicht über die Studien	76
3.2	Studie 1. Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Wearable Devices während der Montage	77
3.2.1	Methodik	79
3.2.2	Ergebnisse	83
3.2.3	Diskussion	85
3.3	Studie 2: Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz von Wearable Devices für das Montagetraining	88
3.3.1	Methodik	93
3.3.2	Ergebnisse	100
3.3.3	Diskussion	107
3.4	Studie 3. Mobile Informationsassistentz in der variantenreichen Automo- bilmontage	116
3.4.1	Methodik	120
3.4.2	Ergebnisse	125
3.4.3	Diskussion	133
3.5	Studie 4. Gestaltung der Innovationskommunikation zur Steigerung der Akzeptanz von Wearable Devices	139
3.5.1	Methodik	141
3.5.2	Ergebnisse	144
3.5.3	Diskussion	146
4	Zusammenfassung und Diskussion	149
4.1	Zusammenfassung zentraler Ergebnisse	149
4.2	Diskussion der Ergebnisse	152
4.2.1	Einordnung der Ergebnisse in den internationalen Forschungsstand	153
4.2.2	Kritische Einschätzung und Limitationen	161
4.2.3	Einordnung in das Fachgebiet	163
4.3	Praktische Implikationen	163
4.4	Zusammenfassung und Ausblick	167
	Literaturverzeichnis	171
	Anhang	205

Abbildungsverzeichnis

2.1	Obligatorische und optionale Variantenvielfalt an einer Montagelinie . . .	10
2.2	Exemplarische Variation von Montagesequenzen.	11
2.3	Beispiele der Position stationärer Monitore	17
2.4	Beispiel von Sequenzierinformationen	18
2.5	Stadien der Automatisierung	24
2.6	Gebrauchstauglichkeit von Assistenzsystemen	32
2.7	Spezifizierungen von Montageinformationen anhand der Informationsmenge und Anwenderexpertise.	36
2.8	Unified Theory of Acceptance and Use of Technology	53
2.9	Evaluationsschwerpunkte für Wearable Devices	67
3.1	Smartwatch IconBit Callisto 300 und Smartglasses Vuzix M100	72
3.2	Order Sequence Guiding auf der Smartwatch bzw. auf Smartglasses . . .	73
3.3	Übersicht über die Implementierungsphasen und Studien.	76
3.4	Steckerboard.	81
3.5	Signalentdeckungsrate Informationsträger und Hinweissignal.	83
3.6	Bearbeitungszeit nach Informationsträger und Hinweissignal.	84
3.7	Workload nach Informationsträger und Hinweissignal.	85
3.8	Montagewagen mit Standardarbeitsblatt.	95
3.9	Ausschnitt eines Standardarbeitsblatts	96
3.10	Ablauf der Montage mit bzw. ohne Informationsassistenz in Studie 2. . .	99
3.11	Montage der Heckleuchte mit Smartglasses.	99
3.12	Ausführungsfehler pro Gruppe und Durchgang.	101
3.13	Bearbeitungszeit über drei Durchgänge nach Bedingung.	102
3.14	Summenscore Workload nach Bedingung.	103
3.15	Generelle und Augenbeschwerden.	104
3.16	Ausprägung des Diskomforts zwischen den Wearable Devices.	105
3.17	Nützlichkeit und Zufriedenheit der Informationsträger.	106
3.18	Regression UTAUT (Basismodell) und Modellerweiterung.	107
3.19	Fehlerraten im Zusammenhang mit Order Attention Guiding.	126

3.20	Workload pro Gruppe mit und ohne Smartwatch-Assistenz.	127
3.21	Diskomfort bei Nutzung der Smartwatch.	127
3.22	Akzeptanzbewertung gemäß der Van der Laan Skala.	128
3.23	Einstellung zu Wearable Devices als Informationsassistentz.	129
3.24	Regressionsanalyse UTAUT und Modellerweiterung Studie 3.	130
3.25	Selbsteinschätzung der Smartwatch-Nutzung.	131
3.26	Schematischer Ablauf in Studie 4.	143
3.27	UTAUT-Faktoren nach Gruppe und Messzeitpunkt.	144
3.28	Regressionsanalyse der Akzeptanz in Studie 4.	145
4.1	Ergebnisübersicht anhand des Arbeitsmodells.	149

Tabellenverzeichnis

3.1	Fragestellungen und Hypothesen in Studie 1	79
3.2	Demographische Daten zu Studie 1	80
3.3	Fragestellungen und Hypothesen in Studie 2	91
3.4	Demographische Daten zu Studie 2	94
3.5	Verwendete Skalen für Studie 2	97
3.6	Fragestellungen und Hypothesen in Studie 3	119
3.7	Demographische Daten zu Studie 3 nach Anwenderfall / Anwendergruppen	120
3.8	Übersicht Anwendergruppen Studie 3	121
3.9	Absolute Fehlerwerte Order Attention Guiding nach Anwendungsfällen .	125
3.10	Fragestellungen und Hypothesen in Studie 4	141
3.11	Demographische Daten Studie 4	142

Danksagung

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der ESF-geförderten Nachwuchswissenschaftlergruppe METEORIT (Mensch-Technik-Interaktion in der Arbeitsorganisation durch intelligente Technologien) an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK) in Kooperation mit einem ansässigen Automobilhersteller sowie der Technischen Universität Dresden.

Mein tiefer Dank gilt meinen Betreuern Frau Prof. Dr. Gesine Grande und Herr Prof. Dr. Sebastian Pannasch für ihre Unterstützung, ihr Vertrauen und die Begleitung dieser Arbeit. Auch Herrn Lippik danke ich vielmals für die Unterstützung. Insbesondere danke ich meinem Anwendungspartner für die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen zur Realisierung der Studiendurchführung und die umfassende Unterstützung dieser Arbeit. Dabei danke ich vor allem meinem Betreuer Thomas Priemuth, meinen Unterstützern Markus Grüneisl und Johannes Voigtsberger sowie meinen Kolleg_Innen aus dem Doktorandenkolloquium. Nicht eine einzige Studie wäre ohne die volle Unterstützung der Trainer des Montagetrainingszentrums Peter Schulz, Detlev Kimmich und Heidi Ebel, der Leiter der Produktionsabschnitte, der Meister und Mitarbeiter möglich gewesen. Vielen Dank!

Für die intensive Zusammenarbeit danke ich meinen Kollegen des METEORIT-Teams, insbesondere Michael Unger für die Applikationsentwicklung für die Wearable Devices und deren technische Betreuung und Wartung, sowie Robert Brauer für den Psychologen-Support, den Rückhalt und die Begleitung durch so manche Höhen und Tiefen. Danke für die tolle Zeit, ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Auch möchte ich der Arbeitsgruppe „Soziales und Gesundheit“ der HTWK, Astrid, Ulrike und Ulrike, sowie dem Graduiertenzentrum der HTWK, Peggy und Nicole, für die Unterstützung während dieser Jahre danken. Last but not least danke ich zutiefst meinen Eltern für ihre Geduld und den uneingeschränkten Rückhalt in allen Forschungs- und Schreiblagen. Mein besonderer Dank gilt Ferdinand und Magdalena für ihre Unterstützung während der Schreib- und Abschlussphase.

Zusammenfassung

Hintergrund. Zur Anpassung an volatile Märkte und zur Optimierung der Produktion schreiten die Digitalisierung und Entwicklung zur Industrie 4.0 in der Automobilindustrie rasant voran. Mit erhöhter Komplexität und Flexibilität der Produktion steigt die Vielfalt an Fahrzeugvarianten, arbeitsrelevanten Informationen, Handlungsalternativen und Lernanforderungen. Diese Faktoren können die Qualität der variantenreichen Automobilmontage beeinträchtigen. Einschränkungen der Verfügbarkeit und Wahrnehmung stationärer Montageinformationen tragen zu komplexitätsbedingten Variantenfehlern bei. Flexibles Neu- und Umlernen von Montagetätigkeiten führt zu weiteren Fehlerbildern. Im Zuge der Digitalisierung und steigender Anforderungen gewinnen mobil zugängliche Montageinformationen an Bedeutung. Wearable Devices, d. h. am Körper getragene Informations- und Kommunikationstechnologie, ermöglichen den freihändigen, mobilen Zugang zu Informationen während der Montage. Jedoch werden kaum konkrete Assistenzkonzepte mit Wearable Devices für die variantenreiche Automobilmontage beschrieben bzw. systematisch evaluiert. Ob sie zur Qualitätssteigerung beitragen und welche Faktoren für oder gegen ihre Nutzung zur Montageassistenz sprechen geht aus der bisherigen, heterogenen Forschung nicht hervor. Daher wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Konzepte zur Informationsassistenz der variantenreichen Automobilmontage mit Wearable Devices entwickelt. Das erste Konzept, Order Attention Guiding, soll die Salienz seltener Fahrzeugvarianten steigern, indem Wearable Devices automatisiert Hinweissignale ausgeben. Das zweite Konzept, Order Sequence Guiding, zeigt die Montagesequenzen eines Arbeitsbereiches an, um die Vollständigkeit und Einhaltung der Montagereihenfolgen zu unterstützen.

Zielstellung. Diese Arbeit soll die Fragen beantworten, ob und unter welchen Bedingungen Wearable Devices zur mobilen Informationsassistenz der variantenreichen Automobilmontage beitragen und von den Mitarbeitern genutzt werden. Aus diesem mehrdimensionalen Ansatz ergeben sich die Evaluationsschwerpunkte der Montageleistung mit Wearable Devices (Unterstützungspotenzial), der Akzeptanz sowie geräte- bzw. interaktionsspezifischer Nutzungsbarrieren (Diskomfort, Beschwerden, Workload). Zur Analyse der Einflussfaktoren auf die Akzeptanz soll die Unified Theory of Acceptance and Use of

Technology (UTAUT) auf Wearable Devices im Produktionskontext übertragen und um Faktoren des Vertrauens in die Geräte und Nutzungsbarrieren erweitert werden.

Studien. Als Wearable Devices wurden Smartglasses (Anzeige im Sichtfeld) und Smartwatch (Anzeige außerhalb des Sichtfeldes) für Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding eingesetzt. Sie wurden bezüglich der Montageleistung (Fehler, Zeit), ihrer Akzeptanz anhand der UTAUT sowie Nutzungsbarrieren des Workloads, Diskomforts und Beschwerden an Mitarbeiterstichproben bei einem Automobilhersteller evaluiert. Zunächst wurden zwei Studien in einem Automobilmontage-Trainingszentrum durchgeführt. Darauf aufbauend wurden die Assistenzkonzepte in der Produktion evaluiert. Abschließend wurde ein Ansatz zur Unterstützung ihrer Einführung getestet.

In Studie 1 ($n = 161$) wurden zunächst wahrnehmungsbezogene Voraussetzungen zur Anwendung von Order Attention Guiding in der Produktion getestet. Die Wahrnehmung visueller bzw. multimodaler Ereignisinformationen auf Smartglasses, Smartwatch und einem stationären Monitor während der Ausführung einer Montageaufgabe wurde in einem experimentellen Zwischensubjektdesign verglichen. Sie zeigt, dass multimodale Hinweissignale auf Smartglasses und Smartwatches vergleichbar zuverlässig zum Monitor wahrgenommen werden ohne die Bearbeitungszeit bei der Montage zu beeinträchtigen oder den Workload zu erhöhen.

In Studie 2 ($n = 161$) wurde Order Sequence Guiding mit Smartglasses, Smartwatch, und einer Standard-Papierliste beim Montagetraining experimentell evaluiert. Die Informationsträger wurden anhand der Ausführungsfehler und Bearbeitungszeit bei der Montage, der Akzeptanz und ihrer Einflussfaktoren sowie der Nutzungsbarrieren Workload, Diskomfort und Beschwerden verglichen. Zur Analyse des Effektes des Assistenzabbruchs auf die Leistung wurden zwei Montagedurchgänge mit Assistenz und ein dritter ohne Assistenz verglichen. Die Nutzung der Wearable Devices ergab bis zu 80 % Fehlerreduktion gegenüber der Standardprozedur. Nach Abbruch der Assistenz unterschieden sich die Gruppen nicht. Die UTAUT wurde durch Effekte der Nützlichkeit und des Sozialen Einflusses sowie die Erweiterung um Vertrauen und Diskomfort bestätigt. Während sich der Workload nicht zwischen den Gruppen unterschied, waren Beschwerden und Diskomfort mit Smartglasses höher als mit der Smartwatch.

In Studie 3 wurden die Assistenzkonzepte Order Attention Guiding ($n = 35$) und Order Sequence Guiding ($n = 23$) in der laufenden Automobilproduktion mit systematischer Variation der Nutzungskontexte bzw. Nutzergruppen evaluiert. Order Attention Guiding wurde bezüglich des Informationsgehaltes bei unterschiedlicher Variantenvielfalt variiert. Order Sequence Guiding wurde beim On-The-Job-Training und von Experten genutzt. Im

Anschluss an mindestens vierwöchige Testphasen wurden die Anwender zu Akzeptanz und Nutzungsbarrieren befragt und Qualitätsdaten erfasst. Order Attention Guiding senkte Variantenfehler bis zu 90 % gegenüber stationären Informationsträgern. Order Sequence Guiding wurde zum Anlernen als Unterstützung wahrgenommen, allerdings nicht für Experten, welche die Montage aus dem Gedächtnis ausführten. Die Akzeptanz variierte mit der Systemanpassung an die Arbeitsprozesse und Anwenderbedarfe. Die UTAUT wurde durch die subjektive Nützlichkeit und Soziale Einflüsse bestätigt und um die subjektive Workload-Reduktion erweitert.

In Studie 4 ($n = 30$) wurde ein Ansatz zur Innovationskommunikation durch die Vermittlung von Informationen über Wearable Devices auf Basis der UTAUT-Faktoren Nützlichkeit, Handhabung der Geräte und Meinungen von Kollegen und Vorgesetzten (Sozialer Einfluss) entwickelt und evaluiert. Im Hinblick auf die Einführung der Wearable Devices in die Produktion sollte der Ansatz zur Steigerung der Akzeptanz bei Mitarbeitern ohne Erfahrungen mit den Wearable Devices beitragen. Dafür wurde die Akzeptanz erfasst und ein Montagetraining ohne Assistenz ausgeführt. Anschließend erhielt eine Gruppe die UTAUT-Informationen zu den Wearable Devices. In beiden Gruppen wurden die Akzeptanz und der Workload bei der Montage erfasst. Die UTAUT-Informationen sowie ein hoher Workload bei der Montage erhöhten die Intention zur Nutzung von Wearable Devices. Die Innovationskommunikation anhand der UTAUT-Faktoren konnte die Einführung von Wearable Devices unterstützen.

Fazit. Die mehrdimensionale Evaluation von Wearable Devices in der Automobilmontage zeigt, dass sie zur Qualitätssicherung im komplexen und flexiblen Produktionsumfeld beitragen. Die zuvor nicht für Wearable Devices im Produktionskontext getestete UTAUT wurde bestätigt und kontextspezifisch erweitert. Eine hohe Akzeptanz der Wearable Devices besteht, sobald deren Nützlichkeit für die Anwender ersichtlich ist. Eigenschaften der Endgeräte und die Anpassung an Prozess- und Anwenderanforderungen beeinflussen die Akzeptanz, daher sollten der Diskomfort der Geräte und die aktive Bedienung minimiert und die flexible Anpassbarkeit an Prozessanforderungen erhöht werden. Ergänzend zum bisherigen Forschungsstand zeigt diese Arbeit Faktoren, die aus den Perspektiven der Prozesse und Anwender für die Nutzung von Wearable Devices zur Assistenz der variantenreichen Montage (Unterstützungspotenzial, Nützlichkeit, Sozialer Einfluss, Workload-Reduktion) oder dagegen sprechen (Diskomfort, Beschwerden, geringe Anpassung der Assistenzkonzepte). Die Montageassistenz durch Wearable Devices leistet einen Beitrag zur Mitarbeiterassistenz unter den wachsenden Herausforderungen der Industrie 4.0. Die Einbindung der Anwender in Entwicklungen der Industrie 4.0 wirkt sich dem-

nach positiv auf die Systementwicklung, die Qualitätssteigerung und die Akzeptanz aus. Da die Anwendungsfälle von Wearable Devices über die evaluierten Assistenzkonzepte hinausgehen, sollte die formale Evaluation im Nutzungskontext mit wissenschaftlich fundierten Methoden unter Berücksichtigung des Faktors Mensch durch künftige Forschung ausgeweitet werden.

1. Einleitung

Beim Autokauf bieten viele Automobilhersteller ihren Käufern eine Vielfalt an Wahlmöglichkeiten aus diversen Modellen und deren unterschiedlichen Derivaten (z. B. 3-Türer, 5-Türer) sowie individuelle Konfigurationen durch Ausstattungspakete (z. B. Sportedition), Ausstattungsvarianten (z. B. Farb-, oder Felgenauswahl) oder optionale Sonderausstattungen (z. B. nicht serienmäßige Fahrerassistenzsysteme). Einige Hersteller ermöglichen Konfigurationen mittels Online-Portalen, sodass Kunden nicht irgendein, sondern ihr individuelles Fahrzeug zusammenstellen können und dieses vom Hersteller direkt nach Kundenwünschen gefertigt wird. Die Anpassung der Automobilindustrie an Kundenanforderungen für individualisierbare Fahrzeuge und volatile Märkte führt zur Zunahme der Vielfalt an Fahrzeugderivaten und Ausstattungsoptionen sowie zu sinkenden Produktlebenszyklen (z. B. Holweg & Pil, 2001; Schneider, 2011; Spath et al., 2013; Volling, Matzke, Grunewald & Spengler, 2013). Dadurch wächst der Druck zur effizienten Produktion bei Wahrung hoher Qualitätsansprüche. Die Herstellung vielfältiger Fahrzeuge erfolgt zumeist im Produktionsparadigma einer variantenreichen Serienproduktion, wobei die Produktvarianten primär in der Montage zum Endprodukt umgesetzt werden (Dörmer, 2013; Hu, Zhu, Wang & Koren, 2008; Lotter, 2012c; Volling et al., 2013).

Der Individualisierungstrend und die daraus resultierende Variantenvielfalt steigern die Komplexität und Flexibilität der Montage und beeinflussen die Qualität (z. B. Spath et al., 2013; Vogel & Lasch, 2016). Während die Flexibilität die Häufigkeit und Anforderungen des Lernens neuer Montagesequenzen erhöht, resultiert die Komplexität in einem hohen Bedarf an produktspezifischen Informationen und Qualitätsherausforderungen (Fisher & Ittner, 1999; Vogel & Lasch, 2016). Lernprozesse, Variantenvielfalt, repetitive Tätigkeiten und hohe Informationsmengen stellen wesentliche Quellen für personenübergreifende Ausführungsfehler in der Montage dar, die den Nacharbeitsaufwand und so die Produktionskosten zur Qualitätsgewährleistung steigern (Fast-Berglund, Fässberg, Hellman, Davidsson & Stahre, 2013; Reason, 1990).

Zentrale Fehlerbilder sind Auslassungen oder Verwechslungen von Bauteilvarianten (Variantenfehler) oder Arbeitsschritten der Montagesequenz (Sequenzfehler). Fehlerursachen können entlang der Stadien der Informationsverarbeitung bei der Wahrnehmung

montagerelevanter Informationen, der Handlungsauswahl oder -ausführung liegen (Reason, 1990). Insbesondere die Wahrnehmung von Informationen beeinflusst, neben weiteren kognitiven Prozessen, die Handlungsauswahl und -ausführung (Reason, 1990; Wickens, Hollands, Banbury & Parasuraman, 2013). Daher stellen Verfügbarkeit und Wahrnehmung von Montageinformationen und die Gestaltung der Informationsträger qualitätskritische Faktoren für die manuelle Automobilmontage dar (Case, Bäckstrand, Högberg, Thorvald & de Vin, 2008; Fast-Berglund et al., 2013; Thorvald, Bäckstrand, Högberg, de Vin & Case, 2008; Thorvald, Högberg & Case, 2014; Wickens, 2014). Bspw. sind zur Anzeige fahrzeugspezifischer Informationen verbreitete, stationäre Monitore während der Montage oft nur eingeschränkt einsehbar, was deren Wahrnehmung reduziert und Ausführungsfehler begünstigt. Daher sollte die Gestaltung der Informationsträger auch zur Reduktion dieser Fehler beitragen (z. B. Case et al., 2008; Wickens, 2014). Beim Lernen von Montagesequenzen sind diverse Fehlerrisiken erhöht; auch hier sollte die Informationsgestaltung zur Qualitätsgewährleistung beitragen. Daraus ergibt sich die Frage, wie Mitarbeiter unter komplexen und flexiblen Produktionsbedingungen durch Informationsgestaltung bei der Ausführung und beim Lernen variantenreicher Montagetätigkeiten unterstützt werden können.

Aus den komplexitäts- und flexibilitätsbedingten Ausführungsfehlern resultieren umfassende Bestrebungen zur Qualitätsgewährleistung (z. B. Aquilani, Silvestri, Ruggieri & Gatti, 2017; Fisher & Ittner, 1999; Funck, 2012; Vogel & Lasch, 2016). Die Digitalisierung und Vernetzung physischer Anlagen und Prozesse im Rahmen der Industrie 4.0 bietet vielseitige Potenziale zur Optimierung variantenreicher Produktionsprozesse. Industrie 4.0 soll zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Produktindividualisierungen, z. B. durch die Optimierung von Informationsflüssen, und so zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beitragen (Richter, Heinrich, Stocker & Unzeitig, 2015; Spath et al., 2013; Vogel-Heuser, Bauernhansl & ten Hompel, 2017). Um dem steigenden Informationsbedarf zu begegnen und Einschränkungen stationärer Informationsträger zu umgehen, gewinnen mobil zugängliche, bedarfsgerechte und kontextrelevante Informationen für die routinierte Ausführung und das Lernen von Montagetätigkeiten enorm an Bedeutung (Spath et al., 2013; Stocker, Brandl, Michalczuk & Rosenberger, 2014).

Am Körper getragene Informations- und Kommunikationstechnologie (Wearable Devices) ermöglicht den mobilen Zugriff auf arbeitsrelevante, digitale Produktionsdaten, während die Hände für die manuelle Montagetätigkeit frei bleiben (Rügge, 2007). Zu marktreifen Wearable Devices zählen Smartglasses und Smartwatches. Als Systeme der Informationsassistenz sollen Wearable Devices kognitive Prozesse der Informationsaufnahme und -analyse unterstützen (Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000). Dafür sol-

len sie parallel zu manuellen Tätigkeiten automatisiert auf Ereignisse hinweisen oder unter minimalem Aufwand bedienbar sein, ohne von den Tätigkeiten abzulenken (Rügge, 2007; Starner, 2016). Zur Steigerung der Qualität und Prozesssicherheit könnten Hinweise auf spezifische, von Kunden geordnete Fahrzeugvarianten (Order Attention Guiding) oder orderspezifische und -übergreifende Arbeitsschritte der Montagesequenz, welche üblicherweise aus dem Gedächtnis abgerufen werden (Order Sequence Guiding), ausgegeben werden (Nordin, Fässberg, Fasth & Stahre, 2010; Parasuraman et al., 2000). Aus diesen Ansätzen ergibt sich die grundlegende Frage, ob Wearable Devices zur Informationsassistentz, Fehlerreduktion oder Unterstützung der Mitarbeiter bei der variantenreichen Montage und beim Lernen neuer Aufgaben beitragen können.

Damit sich die Nutzung von Wearable Devices auf die Qualität der Montage auswirkt, ist sowohl deren Anpassung an die Anforderungen der Anwender¹ und deren Arbeitsprozesse und -kontexte, als auch die Bereitschaft der Anwender, diese als Arbeitsmittel zu akzeptieren und zu nutzen, entscheidend (Brau, 2012). Somit ergeben sich zentrale Evaluationskriterien aus den Faktoren der Gebrauchstauglichkeit eines Systems für den Anwendungskontext und die Zielgruppe (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998). Bezogen auf Wearable Devices für die Montage liegen diese Kriterien in deren Unterstützungspotenzial zur Reduktion von Ausführungsfehlern (Effektivität) und Bearbeitungszeiten (Effizienz) bei der Montage, der Bereitschaft der Anwender sie zu nutzen (Zufriedenheit bzw. Akzeptanz) und in der Freiheit von Beeinträchtigungen durch das Tragen der Wearable Devices am Körper (Nutzungsbarrieren) (Brau, 2012; DIN EN ISO 9241 - 11, 1998; Knight & Barber, 2005; Wille, 2016) für die jeweiligen Arbeitsprozesse und Anwendergruppen (Bravo, Santana & Rodon, 2014).

Aus praktischer Perspektive gelten diese Kriterien als zentrale Erfolgsfaktoren für den Einsatz technischer Unterstützungssysteme in der Produktion (z. B. Fite-Georgel, 2011; Pasher, Popper, Raz & Lawo, 2010; Teucke, Werthmann, Lewandowski & Thoben, 2017; Tümler, 2009). Die Gebrauchstauglichkeit und die Technikakzeptanz stehen konzeptuell über die jeweiligen Bewertungsdimensionen in engem Zusammenhang (z. B. Hoehle, Aljafari & Venkatesh, 2016; Venkatesh, Morris, Davis & Davis, 2003). Gemäß der Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) wirken sich subjektive Bewertungen der Bedienbarkeit, Nützlichkeit und soziale Einflussfaktoren auf die Akzeptanz technischer Systeme aus (Venkatesh et al., 2003). Aufgrund des Anspruches der UTAUT auf Allgemeingültigkeit sollten diese Faktoren auch auf Wearable Devices im Montagekontext übertragbar sein, was noch zu überprüfen wäre. Trotz umfassender theoretischer

¹Aufgrund der Lesbarkeit und des hohen Männeranteils in der Automobilmontage von etwa 95 % wird nachfolgend das generische Maskulinum verwendet. Darin sind alle Geschlechter gleichrangig eingeschlossen.

Konzeptionen sowie erster Tests in der Produktion ist die Frage, ob und wie Wearable Devices, v.a. Smartwatches und Smartglasses, zur Montageassistenz beitragen, bislang unbeantwortet.

Evaluationsstudien von Wearable Devices und kognitiven Assistenzsystemen für die Montage sind im Vergleich zur Technikentwicklung deutlich unterrepräsentiert und von heterogener Belastbarkeit (Bai & Blackwell, 2012; Dünser, Grasset & Billingham, 2008; Fite-Georgel, 2011; Wang, Ong & Nee, 2016a; Zobel, Berkemeier, Werning & Thomas, 2016). Die Evaluationskriterien Unterstützungspotenzial, Akzeptanz und Nutzungsbarrieren wurden für Wearable Devices bisher zwar vereinzelt erfasst, doch nicht zueinander in Beziehung gesetzt. Formale Laborstudien bieten oft belastbare Analysen des Unterstützungspotenzials sowie Nutzungsbarrieren, doch weder Anwendungsfälle, Teilnehmende, Aufgaben noch Nutzungskontexte entsprechen realen Nutzungsbedingungen und Zielgruppen (Guo et al., 2014; Guo et al., 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016). Studien im Produktionskontext umfassen primär deskriptive Analysen oder narrative Beschreibungen der Erfahrungen der Versuchsleitung, um Einsichten in die Entwicklung oder Abläufe der Erprobungen der Wearable Devices und Anwendermeinungen zu geben, statt statistische und theoretische Modelle (z. B. Baumann, 2013; Makris, Michalos & Chryssolouris, 2015; Nordin et al., 2010; Quint et al., 2016; Seyrkammer, 2015; Stocker, Spitzer, Kaiser, Rosenberger & Fellmann, 2016; Weber et al., 2016). Aus dem Stand der Forschung lassen sich Annahmen über das Unterstützungspotenzial sowie Nutzungsbarrieren von Wearable Devices im Produktionskontext nur bedingt ableiten und die potenzielle Akzeptanz durch die deutliche Unterrepräsentation fundierter Akzeptanzanalysen kaum vorhersagen. Dies zeigt Forschungslücken hinsichtlich der mehrdimensionalen Evaluation von Nutzungskriterien für Wearable Devices im Anwendungskontext der Automobilmontage, sodass Fragen nach den Nutzungskriterien bezüglich des Unterstützungspotenzials, der Akzeptanz und eventueller Nutzungsbarrieren bislang offen sind.

Ziel dieser Arbeit ist die Evaluation von Wearable Devices zur Informationsassistenz für die variantenreiche Automobilmontage im Produktionsumfeld anhand von zwei Anwendungsfällen. Im Anwendungsfall Order Attention Guiding geben Wearable Devices Hinweissignale aus, um die Aufmerksamkeit auf seltene und unregelmäßige Ausstattungsvarianten zu lenken. Dieses Konzept soll die Zuverlässigkeit der Montage seltener Ausstattungsvarianten erhöhen. Im Anwendungsfall Order Sequence Guiding werden Montagesequenzen, d. h. die Reihenfolge zu montierender Bauteile, auf Wearable Devices angezeigt. Das Konzept soll beim Lernen bzw. zur prozesssicheren Routineausführung der Montagesequenzen und so zur Reduktion von Sequenzfehlern beitragen. Zentrale Forschungsfragen sind die Bewertung des Unterstützungspotenzials mobil verfügbarer Informationen auf

Wearable Devices, sowie die Identifikation von Faktoren, die aus Anwenderperspektive für oder gegen deren Nutzung als Arbeitsmittel sprechen (Akzeptanz und Nutzungsbarrieren). Konkret werden die Einflüsse von Wearable Devices auf die Ausführung der Montagetätigkeit, das Auftreten von Beanspruchungen und Beschwerden und die Akzeptanz der Geräte durch die Mitarbeiter betrachtet und Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren sowie der Anpassung der Wearable Devices an die jeweiligen Anwendungskontexte und Anwenderzielgruppen evaluiert. Werden Wearable Devices als unterstützend und anwendbar bewertet, so ist zu überprüfen, ob deren Einführung durch Gestaltung der Innovationskommunikation unterstützt werden kann.

Die Arbeit umfasst den erforderlichen theoretischen Hintergrund, einen empirischen Teil, in welchem Hintergründe, methodisches Vorgehen sowie Ergebnisse und Diskussion der einzelnen Studien aufgeführt werden, und eine abschließende Zusammenfassung. Im theoretischen Hintergrund werden zunächst Grundlagen zur Industrie 4.0, der variantenreichen Serienproduktion und Besonderheiten der variantenreichen Automobilmontage dargestellt, zu denen die repetitive Wiederholung sowie Variationen definierter Handlungssequenzen innerhalb strikter Zeitvorgaben und Qualitätsmaßstäbe gehören. Es werden Kriterien der Ausführungsqualität in der variantenreichen Montage aufgeführt, die maßgeblich durch die Flexibilität und Komplexität der Produktionsprozesse beeinflusst werden und sich auf die Produktqualität und die Wirtschaftlichkeit auswirken. Darauf aufbauend werden Fehlerbilder und Informationskategorien für die routinierte Montage, sowie die flexibilitätsbedingt in hohem Maße erforderlichen Lernsituationen von Montagetakten erläutert und Konzepte, durch welche Informationen und Informationsträger Varianten- und Sequenzfehler für Routine und Anlernen reduziert werden könnten, abgeleitet. Dafür werden Wearable Devices als Informationsträger vorgeschlagen und Kriterien für deren Evaluation anhand der Dimensionen Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz aufgestellt. Das Unterstützungspotenzial wird anhand eines Assistentenkontinuums verschiedener Informationskonzepte dargestellt, wobei jeweils auf den heterogenen und lückenhaften Forschungsstand zur Auswirkung von Wearable Devices auf die Leistung eingegangen wird. Weiterhin wird die Forschung zur Ergonomie und zur Akzeptanz von Wearable Devices vorgestellt, die auf Laborumgebungen oder Konsumenten Anwendungen fokussiert und Produktionsbedingungen weitestgehend vernachlässigt. Auch Kommunikationsansätze zur Einführung von Wearable Devices in die Produktion wurden bisher kaum thematisiert. Die Lücken im Forschungsstand zur Evaluation von Wearable Devices auf den jeweiligen Dimensionen im Produktionskontext werden anhand der jeweiligen Kapitel gezeigt.

Aus dem Forschungsansatz wurden drei Erhebungsphasen abgeleitet und das methodische Vorgehen darauf angepasst. Diese drei Phasen umfassen initiale Analysen im produktionsnahen Kontext, Erhebungen während der laufenden Produktion und abschließend die Übertragung bisheriger Kenntnisse auf Maßnahmen zur Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in die Produktion. Dabei werden stets die Kernfragestellungen unter verschiedenen Blickwinkeln erfasst. In der ersten Phase werden beide Anwendungsfälle formal in einem Montagetrainingszentrum evaluiert, um nicht sofort in die laufende Produktion einzugreifen (Brau, 2008). Für den Anwendungsfall Order Attention Guiding wird die Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Wearable Devices mit stationären Informationsträgern parallel zu einer manuellen, getakteten Montageaufgabe verglichen. Für den Anwendungsfall Order Sequence Guiding werden Wearable Devices im Vergleich zur Standardmethodik zum Erlernen der Montage einer Übungskarosserie evaluiert. In der zweiten Phase werden beide Anwendungsfälle in der laufenden Produktion evaluiert. Order Attention Guiding wird mit erfahrenen Mitarbeitern in drei unterschiedlichen Montagestationen evaluiert. Order Sequence Guiding wird von drei Anwendergruppen zum Neulernen, zum Wiederauffrischen lange nicht durchgeführter Montagesequenzen sowie von erfahrenen Anwendern zur Assistenz bei der Einhaltung der Sequenzen getestet. In der dritten Phase wird, im Hinblick auf die Einführung der Wearable Devices in die Produktion, die Gestaltung der Innovationskommunikation auf Basis der Akzeptanzfaktoren getestet. Alle Teilnehmenden der Studien sind Produktionsmitarbeiter oder durchlaufen ein Montagetraining für einen Einsatz am Fließband als neue Mitarbeiter oder Praktikanten.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Industrie 4.0 und variantenreiche Serienproduktion

Die Digitalisierung und Entwicklung der Industrie 4.0 wird auf Basis bestehender Produktionsparadigmen, von einzelnen Assistenzsystemen über Automatisierungen bis hin zur Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle, vorangetrieben (Vogel-Heuser, Bauernhansl & ten Hompel, 2017). Sie bietet vielfältige Potenziale zur Realisierung kundenspezifischer Produktindividualisierungen sowie verschiedener Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Produktion. Durch die Entwicklung zur Industrie 4.0 werden steigende Anforderungen an die Montagemitarbeiter in Zusammenhang mit komplexen und flexiblen Produktionsaufgaben und dem verstärkten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) im Produktionsumfeld erwartet. Daher ergeben sich aus der Digitalisierung sowohl Herausforderungen für die Tätigkeitsausführung als auch Ansätze zu deren Unterstützung durch IKT-Systeme (z. B. Plutz, Große Böckmann, Siebenkotten & Schmitt, 2016; Spath et al., 2013; Vogel & Lasch, 2016). In diesem Kapitel werden Grundlagen der Industrie 4.0 und der Automobilmontage in der variantenreichen Serienproduktion dargestellt. Die variantenreiche Serienproduktion stellt den Ausgangspunkt dar, in deren Rahmen spezifische IKT-Entwicklungen zur Assistenz definierter Tätigkeiten umgesetzt werden können und bildet damit den Anwendungskontext für diese Arbeit.

2.1.1. Industrie 4.0

Industrie 4.0 bezeichnet die Vision der vierten industriellen Revolution, die auf der Digitalisierung physischer Objekte und Prozesse und deren Vernetzung im „Internet der Dinge, Daten und Dienste“ (Internet of Things) basiert (Bauernhansl, 2014; Kang et al., 2016; Spath et al., 2013). Sie soll die höhere Individualisierbarkeit von Produkten und die flexiblere Anpassung von Produktionsprozessen an volatile Marktbedingungen ermöglichen und so die Marktposition von Unternehmen stärken (Bauernhansl, 2014; Kang et al., 2016; Roth, 2016; Spath et al., 2013). Daher werden ihre Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und die Arbeitsbedingungen der Unternehmen als revolutionär betrachtet (Spath et al., 2013).

Hieraus resultieren sowohl zunehmende Mengen als auch ein wachsender Bedarf an arbeitsrelevanten Informationen (Richter et al., 2015; Stocker et al., 2014) und steigende Anforderungen an die flexible Anpassungsfähigkeit und Lernbereitschaft der Mitarbeiter (Müller, Narciss & Urbas, 2017; Stocker et al., 2014) die zu weitreichenden Veränderungen der Arbeitsbedingungen führen (Hirsch-Kreinsen, 2015; Spath et al., 2013). Die Vision einer menschenleeren Fabrik wird abgelöst durch eine Smart Factory mit dem Menschen, dank seiner Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Arbeitsbedingungen, in einer zentralen Rolle (Spath et al., 2013; Stocker et al., 2014).

Parallel zu den Herausforderungen, welche die Digitalisierung mit sich bringt, bietet sie Möglichkeiten diesen mit digitalen Lösungen wie Assistenzsystemen zu begegnen (Richter et al., 2015; Teucke et al., 2017). Ein Ansatz zur Mitarbeiterassistenz liegt in bedarfsgerechten, während der Tätigkeit zugänglichen Arbeitsinformationen durch mobile IKT-Systeme (z. B. Bhullar, 2015; Fast-Berglund & Stahre, 2013; Jasperneite & Niggemann, 2012; Mattsson, Fast-Berglund & Li, 2016; Mattsson, 2013; Richter et al., 2015). Industrie 4.0 Entwicklungen können auf der schrittweisen Integration spezifischer IKT-Assistenzsysteme in bestehende Produktionsparadigmen aufbauen (Huber, 2016; Spath et al., 2013), z. B. die Einführung von Wearable Devices zur Assistenz fehleranfälliger Montageprozesse in die variantenreiche Serienproduktion. Die bedarfsgerechte Assistenz durch IKT-Systeme setzt eine Analyse der Herausforderungen bestehender Produktionssysteme und -tätigkeiten voraus. Da deren Komplexität und Flexibilität Ausgangspunkte für die Entwicklung von Assistenzsystemen für Industrie 4.0 bieten, werden im Anschluss die Grundlagen der variantenreichen Serienproduktion der Automobilmontage und spezifische Ausführungsprozesse dargestellt.

2.1.2. Variantenreiche Serienproduktion in der Automobilindustrie

Den Kundenanforderungen an individualisierte Fahrzeuge und dem hohen Konkurrenzdruck begegnet die Automobilindustrie mit einer Steigerung der Vielfalt an Fahrzeug und Ausstattungsvarianten sowie kürzeren Produktlebenszyklen (Dörmer, 2013; Holweg & Pil, 2001; MacCarthy, Brabazon & Bramham, 2003; Michalos, Makris, Papakostas, Mourtzis & Chryssolouris, 2010; Spath et al., 2013; Volling et al., 2013). Dadurch steigen sowohl die Vielfalt an Produktvarianten, als auch Komplexität und Flexibilität der Produktionsprozesse. Am Beispiel der Fahrzeuge der BMW AG resultieren daraus theoretisch 10^{32} Ausstattungsvarianten (Schneider, 2011), sodass die Anzahl identischer Varianten gegen Null tendiert (Dörmer, 2013).

Die variantenreiche Serienproduktion ist ein verbreitetes Produktionsparadigma zur Fertigung verschiedener Fahrzeugmodelle und Ausstattungsvarianten auf derselben Mon-

tagelinie, das annähernd die Effizienz der Massenproduktion erreicht, jedoch spezifische Herausforderungen mit sich bringt (Dörmer, 2013; ElMaraghy et al., 2013; Hu et al., 2008; Volling et al., 2013; Zaeh, Ostgathe, Geiger & Reinhart, 2012). Der Produktionsprozess besteht im Wesentlichen aus der Produktionsplanung, der Teilefertigung, der Logistik und der Montage zum Endprodukt (Lotter, 2012b, 2012c). Die Differenzierung individualisierter Produktvarianten erfolgt primär in der Montage zum Endprodukt durch den Verbau unterschiedlicher Module und Bauteile (Variantenvielfalt) (ElMaraghy et al., 2013; Volling et al., 2013). Aufgrund der Variantenvielfalt überwiegt in der Montage Handarbeit bei einem Automatisierungsgrad von ca. fünf Prozent (ElMaraghy et al., 2013; Fast-Berglund & Stahre, 2013; Lotter, 2012c). Im Gegensatz dazu liegt der Automatisierungsgrad im Karosseriebau durch die standardisierten Fahrzeugkarossen bei ca. 95 Prozent (Michalos et al., 2010).

Die variantenreiche Serienproduktion erfordert die Durchdringung mit IKT, wie Manufacturing Execution Systeme, um zu definieren, welche Fahrzeuge in welchen Ausstattungsvarianten gefertigt werden (Case et al., 2008; Lindemann, Schmid, Gronau & Schumacher, 2006; Louis, 2009; Obermaier & Kirsch, 2016). Aufgrund ihrer Bestrebungen, Individualisierungen effizient umzusetzen und komplexer werdende Prozesse zu optimieren, gehört die Automobilindustrie zu den Treibern von Digitalisierung und Innovationen (Huber, 2016). Aus dem Variantenreichtum und kontinuierlichen Bedarfen an fahrzeugspezifischen Informationen resultieren qualitätskritische Montageprozesse. Im Folgenden werden Grundlagen der variantenreichen Montage dargestellt.

2.1.3. Montage in der variantenreichen Automobilproduktion

Die Montage bezeichnet die Transformation von Bauteilen in ein komplexeres Produkt durch prozedurale, sequenziell oder parallel durchgeführte, sensumotorische Handlungsfolgen der Identifikation, der Sequenzierung, des Justierens und Anbringens von Bauteilen sowie der Ergebniskontrolle (Jeske, Hasenau & Schlick, 2013; Lotter, 2012b; Radkowski, 2015; Stork & Schubö, 2010). Der Montageumfang des Gesamtproduktes wird in einzelne Handlungsschritte mit definierten Ausführungszeiten zergliedert (Lotter, 2012a, 2012c). Eine verbreitete Methode zur Sequenzierung von Handlungssegmenten in Zeiteinheiten ist Methods-Time-Measure (MTM) (z. B. Bokranz & Landau, 2012). In der Fließproduktion wird das Fahrzeug entlang linienförmig angeordneter Montagestationen (Takte) bewegt und durch Arbeitsteilung sukzessive vervollständigt (Lotter, 2012c). Die Länge der Arbeitsbereiche eines Taktes kann über elf Meter betragen (Thorvald et al., 2014) und die Größe des Automobils erfordert die Montage in diversen Arbeitspositionen (z. B.

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Überkopf, Hocke), sodass die Fahrzeugmontage als mobile Tätigkeit gilt (Herzog, Rügge & Boronowsky, 2003; Rügge, 2007; Thorvald et al., 2014).

Den Takten einer Montagelinie sind zumeist einheitliche Zeitvorgaben (Taktzeit) sowie definierte Montageaufgaben und -reihenfolgen zugeordnet, deren Einhaltung zentrale Qualitätskriterien darstellen (Lotter, 2012a; Stork & Schubö, 2010). Bspw. können Taktzeitüberschreitungen das Fließband stoppen (Hu et al., 2011). Somit werden pro Takt innerhalb der Taktzeit Fahrzeuganforderungen geprüft, Montagesequenzen ausgewählt, diese ausgeführt (Hermawati et al., 2015) und im Zyklus der Taktzeit (z. B. unter eine Minute bis über dreißig Minuten) mit der Montage des nächsten Produktes begonnen (Lotter, 2012a). Je niedriger die Taktzeit, desto kürzer sind die Montagesequenzen und desto höher ist die Repetition. Taktzeit und Aufgabenstruktur erfordern oft eine starke Routinebildung und die Ausführung auf Basis des prozeduralen Gedächtnisses (Baddeley, Eysenck & Anderson, 2015; Fast-Berglund et al., 2013), die auch als intuitives Arbeiten bezeichnet wird (Mattsson & Fast-Berglund, 2016). Zur Reduktion der Monotonie hoher Repetition wird oft mit Job-Rotation gearbeitet, sodass Mitarbeiter stets mehrere Takte beherrschen (ElMaraghy et al., 2013; Hacker & Sachse, 2014).

Fahrzeugausstattungen setzen sich zumeist aus obligatorischen und optionalen Elementen zusammen (Dörmer, 2013), die Abbildung 2.1 beispielhaft darstellt. Obligatorische Elemente sind in jedem Fahrzeug enthalten (z. B. Bremsleitung, Zierleisten) und können bei allen Fahrzeugen identisch sein (100 % Umfang) oder zwischen Modellen, Derivaten und Kundenwünschen variieren (Ausstattungsvariante). Optionale Elemente basieren auf individuellen Konfigurationen (z. B. optionaler Komfortzugang) und können zusätzlich zu obligatorischen Elementen auftreten (Sonderausstattung) (Dörmer, 2013). Somit können beide Elemente Variationen beinhalten.

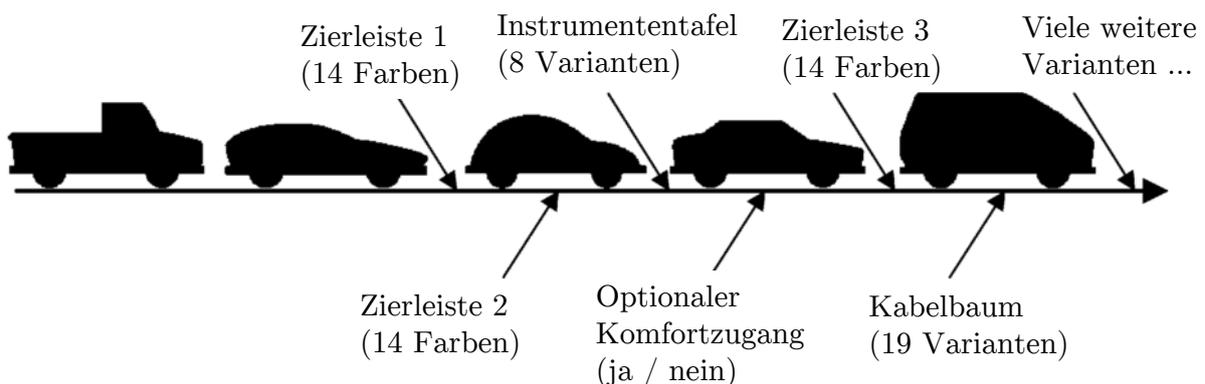


Abbildung 2.1. Obligatorische und optionale Variantenvielfalt an einer Montagelinie nach Hu et al. (2008 S. 46).

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Die Berücksichtigung der Variantenvielfalt in der Taktzeit und technische Restriktionen stellen Organisationsherausforderungen für Montagelinien dar (Becker & Scholl, 2006; Boysen, Kiel & Scholl, 2011; Hu et al., 2011; Johansson, Mattsson, Moestam & Fast-Berglund, 2016; Zeltzer, Aghezzaf & Limère, 2016). Durch die Verteilung der Fahrzeug-Montageumfänge über die gesamte Montagelinie entsteht eine hohe Variationsbandbreite an den Takten, von der Wiederholung von 100 %-Umfängen bis zur Variation sämtlicher Arbeitsschritte zwischen Fahrzeugen oder innerhalb von Montagesequenzen, die in scheinbar zufälliger Frequenz auftreten können und die Komplexität des Taktes beeinflussen (Hu et al., 2011; Hu et al., 2008). Das unregelmäßige Auftreten von Ausstattungsvarianten oder Sonderausstattungen erfordert an den betreffenden Takten den Abruf von Montageinformationen pro Fahrzeug (Dörmer, 2013; Fast-Berglund et al., 2013; Johansson et al., 2016; Volling et al., 2013). Mit zunehmender Länge der Montagesequenzen können deren Variationen (Hu et al., 2011) und der Informationsbedarf zur Teileauswahl enorm ansteigen (Mattsson & Fast-Berglund, 2016).

Abbildung 2.2 illustriert exemplarische Ausschnitte des Variationspektrums von Montagesequenzen, die auch in Kombination auftreten können, an vier vereinfachten Beispielprozessen. Prozess A beschreibt eine Montageabfolge ohne Variationen innerhalb der Sequenz (100 % Umfang). Die Sequenz kann sich bei jedem Fahrzeug wiederholen oder zwischen Modellen unterscheiden, ohne dass zusätzliche Variationen auftreten.

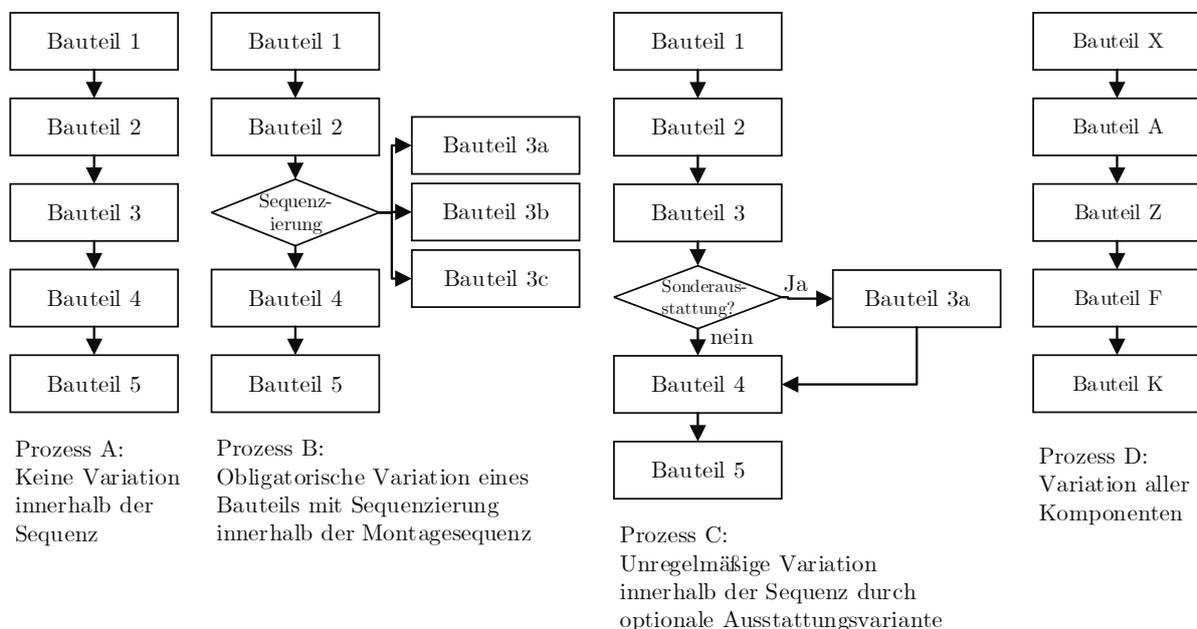


Abbildung 2.2. Exemplarische Variation von Montagesequenzen.

Prozess B zeigt eine modell- oder ausstattungspezifisch variierende Montagesequenz, bei der eines der Bauteile abhängig von den Fahrzeuganforderungen aus einer definierten Menge an Varianten dieses Bauteils ausgewählt (sequenziert) wird (z. B. Farbe). Auch Prozess C basiert auf einem 100 % Umfang oder einer modellspezifischen Montagesequenz, bei der unregelmäßig optionale fahrzeugindividuelle Zusatzbauteile (z. B. Sonderausstattungen) auftreten, die Abweichungen vom Standardprozess erfordern. Die Auswahl fahrzeugspezifischer Bauteilvarianten (Prozess B) bzw. die Erfassung, ob Sonderausstattungen vorliegen (Prozess C), erfordert die Überprüfung der Varianteninformationen pro Fahrzeug. Bei den Prozessen B und C wurde je eine Variation beschrieben; in der Praxis können diese in Kombinationen auftreten, mehrere Bauteile pro Sequenz oder deren Häufigkeit variieren. Prozess D zeigt die Variation aller Bauteile bzw. Montagehandlungen, die zugunsten der Ausgewogenheit der Takte nicht in der Fließmontage auftritt, doch bspw. in der Unikatfertigung oder Manufaktur verbreitet ist (Wiedenmaier, Oehme, Schmidt & Luczak, 2003). Prozesse A bis C werden zumeist intuitiv ausgeführt und erfordern punktuelle Varianteninformationen. Im Gegensatz dazu wird Prozess D zumeist nicht intuitiv unter stetiger Konsultation detaillierter Montageanleitungen ausgeführt.

Die variantenreiche Automobilmontage kennzeichnet sich durch die Repetition intuitiv ausgeführter Handlungssequenzen innerhalb der Taktzeit und deren sequenzieller und zeitlicher Einhaltung. Durch den Variantenreichtum können Montagesequenzen regelmäßig (Prozess B) oder unregelmäßig (Prozess C) variieren und Varianteninformationen pro Fahrzeug erfordern. Im Wechsel zwischen Routinehandlung und Variation, verbunden mit Repetition und Zeitvorgaben, liegen Herausforderungen für die Ausführungsqualität der variantenreichen Automobilmontage (Reason, 1990), die anschließend vertieft werden.

2.2. Ausführungsqualität der variantenreichen Automobilmontage

Die Wirtschaftlichkeit der Produktion, einschließlich der Montage, wird anhand der Faktoren Qualität, Kosten und Zeit bemessen (Bösenberg & Metzen, 1993). Zur Montageleistung können somit zeitliche Faktoren, wie die Einhaltung der Taktzeit (Produktivität), Qualitätsfaktoren, wie die fehlerfreie Erfüllung definierter Anforderungen (Qualität) und die Einhaltung der Montagereihenfolgen (Prozesssicherheit) gezählt werden (Aehnelt & Bader, 2014; Fast-Berglund et al., 2013; Johansson et al., 2016; Wickens et al., 2013), welche die Kosten beeinflussen. Auch aus Tätigkeiten resultierende Beanspruchungen (Workload) können als Leistungsaspekt betrachtet werden (Wickens, 2008; Wickens et al., 2013).

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Ein hoher Anteil an Qualitätsdefiziten und daraus resultierenden Nacharbeitskosten zur Gewährleistung der Qualität geht auf manuelle Ausführungsfehler bei der Montage zurück (Bäckstrand, 2009; Falck, Örtengren & Rosenqvist, 2014; Fisher & Ittner, 1999; Johansson et al., 2016; MacDuffie, Sethuraman & Fisher, 1996). Diese werden von Charakteristika der Montagesysteme, Produkte, Aufgaben und der Erfahrung bzw. Fähigkeiten der Ausführenden beeinflusst (ElMaraghy, Nada & ElMaraghy, 2008; Hacker & Sachse, 2014; Michalos, Makris & Chryssolouris, 2013; Zaeh, Wiesbeck, Stork & Schubö, 2009). Auf der Ebene einzelner Takte üben die Variantenvielfalt, Aufgaben sowie Informationsmengen und -darstellungen Einflüsse auf Ausführungsfehler aus (ElMaraghy et al., 2013; Hu et al., 2008; Mašín, 2014; Mattsson, 2013; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016). Auch Montageumfänge innerhalb der Taktzeit (Shaikh, Cobb, Golightly, Segal & Haslegrave, 2012), repetitionsbedingte kognitive (Wickens, 2008) und physische Beanspruchungen (Falck et al., 2014; Zaeh et al., 2009) sowie Ermüdung zeigen Auswirkungen (Hacker & Sachse, 2014; Michalos et al., 2013).

Einflüsse der Montagesysteme auf die Produktionsqualität und -zeit liegen in ihrer Komplexität und Flexibilität, die wesentliche Quellen manueller Ausführungsfehler darstellen (Case et al., 2008; Fast-Berglund et al., 2013; Hu et al., 2011; Hu et al., 2008; Johansson et al., 2016; MacDuffie et al., 1996; Mattsson, 2013; Reason, 1990; Thorvald, 2011). Die Flexibilität steigert die Häufigkeit des Neu- und Umlernens von Montage-takten und so den Anteil an Personen, die sich in Lernphasen mit erhöhten Risiken für Ausführungsfehler und Zeitüberschreitungen befinden (Hermawati et al., 2015; Jeske et al., 2013; Nukta, 2012; Reason, 1990). Damit stellt sie eine Quelle erfahrungsbedingter Fehler dar. Diese Fehler können durch Montagetraining beeinflusst werden (z. B. Hacker & von der Weth, 2012).

Die Komplexität der variantenreichen Montage bezieht sich auf die Anzahl an Produktvarianten (ElMaraghy et al., 2013) sowie die Handlungsalternativen und Entscheidungsmöglichkeiten zur Auswahl der erforderlichen Montagehandlungen pro Fahrzeug (Hu et al., 2011; Hu et al., 2008). Sie wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst (Vogel & Lasch, 2016). Die Variantenvielfalt ist Teil der Komplexität. Aus der Variantenvielfalt resultiert ein kontinuierlicher Informationsbedarf über Fahrzeuganforderungen, sodass die Verfügbarkeit und Gestaltung von Montageinformationen das Auftreten von Ausführungsfehlern beeinflussen können (ElMaraghy et al., 2013; ElMaraghy et al., 2008; Fast-Berglund et al., 2013; Fisher & Ittner, 1999; Johansson et al., 2016; MacDuffie et al., 1996). MacDuffie et al. (1996) zeigten empirisch positive Korrelationen zwischen Variantenvielfalt und Ausführungsfehlern. Fast-Berglund et al. (2013) und Case et al. (2008) berichten Zusammenhänge zwischen Variantenvielfalt, Ausführungsfehlern und der Infor-

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

mationsgestaltung. Dies verdeutlicht systematische Einflüsse von Variantenreichtum und Montageinformationen auf Ausführungsfehler (z. B. Bäckstrand, 2009; Fast-Berglund et al., 2013; Thorvald, 2011). Die Variantenvielfalt begünstigt systematische und personenunabhängige Ausführungsfehler (z. B. Fisher & Ittner, 1999; Hacker & von der Weth, 2012; Schemeleva, Nguyen, Durieux & Caux, 2012).

Vorherrschende Fehlerbilder lassen sich in Montage-, Sequenz- und Variantenfehler einteilen. Montagefehler äußern sich in fehlerhaft oder unvollständig montierten Bauteilen und hängen mit Erfahrung, Bauteileigenschaften und der Instruktionsgestaltung zusammen (z. B. Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Nakanishi & Sato, 2015; Pugna, Negrea & Miclea, 2016; Tang, Owen, Biocca & Mou, 2003). Sie zeigen personenabhängige Komponenten und sind durch Training oder Bauteildesign beeinflussbar. Sequenzfehler beinhalten Verwechslungen der Montagereihenfolge, was die Prozesssicherheit senkt, oder das Auslassen von Bauteilen. Variantenfehler beziehen sich auf die Montage falscher Bauteilvarianten (Prozess B) oder nicht montierter Sonderteile (Prozess C). Sequenz- und Variantenfehler hängen mit der Komplexität, der Aufgabenstruktur und der Informationsverarbeitung zusammen (z. B. Bäckstrand, Thorvald, de Vin, Högberg & Case, 2008; Case et al., 2008; Fässberg, 2012; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Reason, 1990; Thorvald, 2011; Thorvald et al., 2014). Sie können entlang der Stadien der Informationsverarbeitung, also der Wahrnehmung, der Handlungsauswahl und der Handlungsausführung auftreten, die je von mentalen Ressourcen, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen beeinflusst werden (Wickens et al., 2013). Durch Einflüsse der Arbeitsgestaltung und Informationsverarbeitung können Sequenz- und Variantenfehler systematisch und personenunabhängig, also auch bei Montageexperten, an bestimmten Takten auftreten (Fast-Berglund et al., 2013; Hacker & Sachse, 2014; Johansson et al., 2016; Reason, 1990), weshalb Prozess B und C höhere Risiken für Sequenz- und Variantenfehler aufweisen als Prozess A. Zusätzlich sind sie von Personeneigenschaften und der Montageerfahrung beeinflussbar (Reason, 1990).

Zusammenfassend wurde gezeigt, dass Sequenz- und Variantenfehler mit der Taktstruktur, der Informationsverarbeitung und der intuitiven Ausführung zusammenhängen und im Lernprozess verstärkt auftreten. Aufgrund ihres systematischen Auftretens und der Einflüsse der Informationsverarbeitung werden Sequenz- und Variantenfehler sowie Möglichkeiten zu deren Reduktion durch Informationsgestaltung in den Fokus dieser Arbeit gestellt. Ausführungsfehler und zentrale Montageinformationen können aufeinander aufbauend in die flexibilitätsbedingte Lernphase des Montagetrainings und die komplexitätsbedingte routinierte Ausführung eingeteilt werden. Daraus ergeben sich Ansätze zur IKT-Assistenz beim Montagetraining, z. B. durch Kompetenzentwicklung, sowie zur

Assistenz von Montageexperten, z. B. durch Anpassungen von Montageinformationen. Daher werden zunächst das Montagetraining und dafür zentrale Informationskategorien beschrieben. Danach werden bestehende Montageinformationssysteme und Informationskategorien, deren Wahrnehmung und Nutzung, sowie charakteristische Ausführungsfehler des Routineprozesses dargestellt.

2.2.1. Training von Montagetätigkeiten

Da die Flexibilität zum Anstieg der Lernanforderungen führt, werden Trainings- und Anlernprozesse in der Automobilmontage sowie damit zusammenhängende Informationskategorien dargestellt. Als Anlernprozess (Jeske et al., 2013; Jeske, Meyer & Schlick, 2014) wird die Phase des Übertragens sensumotorischer Montagefertigkeiten zum Anbringen der Bauteile und deren Montagereihenfolge in das prozedurale Gedächtnis (Baddeley et al., 2015) bzw. die fähigkeitsbasierte Ausführungsebene bezeichnet (Reason, 1990). Während Grundkenntnisse und -fertigkeiten für die Montage Off-The-Job in Trainingszentren vermittelbar sind, erfolgt das Lernen spezifischer Takte oft On-The-Job in der Montagelinie (Hermawati et al., 2015).

Erfahrene Trainer bzw. Anlernpaten begleiten die Lernenden und vermitteln zunächst die Montagehandlungen, -positionen und Werkzeuge (Hermawati et al., 2015). Darauf aufbauend wird die Ausführungsreihenfolge trainiert, bis sie aus dem Gedächtnis ausgeführt werden kann (Hermawati et al., 2015). Die Trainer bieten Unterstützung, kontrollieren die Ausführung und beheben Ausführungsfehler. Beim Lernen von Handlungen und deren Reihenfolge wird zwischen der initialen Ausführungsleistung mit Instruktionennutzung und dem Lernen der selbstständigen Ausführung ohne Instruktionennutzung unterschieden (Eiriksdottir & Catrambone, 2011). Der Verlauf der Abnahme von Bearbeitungszeiten und Ausführungsfehlern über mehrere Wiederholungen der Aufgabe wird in Lernkurven beschrieben (Jeske et al., 2014). Durch Transfer erleichtert die Kenntnis anderer Montagetakte das Lernen neuer Takte (Eiriksdottir & Catrambone, 2011). Die Anlerndauer wird von Aufgaben, Lehrmethoden und individuellen Faktoren beeinflusst (Jeske et al., 2014). Sie steigt mit der Komplexität und Sequenzlänge und dauert Tage bis Wochen. Der Anlernprozess ist abgeschlossen, wenn die Bauteilmontage und die Reihenfolge gemäß der Qualitäts- und Zeitvorgaben intuitiv bzw. fähigkeitsbasiert, ohne Konsultation von Montageanleitungen, erfolgt (Jeske et al., 2013; Jeske et al., 2014; Reason, 1990).

Zentrale Informationskategorien während des Anlernens sind Montageanleitungen und Prozessinformationen. Montageanleitungen visualisieren in Piktogrammen, Bildern oder Text die Instruktionen, welche Bauteile wie und an welchen Stellen montiert werden (z. B. Agrawala et al., 2003). In der getakteten Automobilmontage werden Montageanleitungen

im Anlernprozess, aufgrund der hohen Wiederholungsraten jedoch kaum für die routinierte Ausführung genutzt (Hermawati et al., 2015; Mattsson & Fast-Berglund, 2016; Wiedenmaier et al., 2003). Prozessinformationen hingegen zeigen die Montagesequenzen, einschließlich der Prozessvarianten (z. B. Fässberg, 2012; Thorvald, 2011; Thorvald et al., 2014) ohne zu illustrieren, wie diese ausgeführt werden (z. B. Standardarbeitsblatt, siehe Anhang B.1). Ihre Darstellung und Nutzung im Arbeitsbereich kann stark variieren, z. B. werden Papier-Standardarbeitsblätter im Taktbereich angebracht, aber nicht während der Montage konsultiert oder sie werden pro Fahrzeug auf Papier oder Monitoren dargestellt (z. B. Bäckstrand, 2009; Fässberg, 2012; Thorvald, 2011).

Während des Anlernens werden die Anforderungen an die Qualität und Bearbeitungszeit nicht erreicht (Jeske et al., 2013; Jeske et al., 2014) sowie finanzielle und personelle Ressourcen gebunden (Hermawati et al., 2015). Daher werden diverse Ansätze zur Optimierung des Anlernprozesses verfolgt (Jeske et al., 2014), z. B. Standardisierungen der Anlernmethoden (z. B. Hermawati et al., 2015; Jeske et al., 2014), Instruktionsgestaltung (z. B. Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016) sowie technische Visualisierungssysteme zur Assistenz der initialen Ausführung (z. B. Büttner, Funk, Sand & Röcker, 2016; Funk, Heusler, Akcay, Weiland & Schmidt, 2016; Henderson & Feiner, 2011; Li, Mattsson, Fast-Berglund & Åkerman, 2016; Stork & Schubö, 2010) oder des Lernens (z. B. Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016). Diese Ansätze unterstreichen die Relevanz der Informationsgestaltung und -verfügbarkeit für das Anlernen. Technische Visualisierungssysteme oder die Instruktionsgestaltung sind zumeist auf die Anwendung Off-The-Job ausgelegt und nur bedingt für das takt spezifische Anlernen On-The-Job nutzbar. Daher stellt sich die Frage, ob das Anlernen durch die Verfügbarkeit von Prozessinformationen und die Gestaltung mobiler IKT-Assistenzsysteme unterstützt werden kann.

Nach Abschluss des On-The-Job Anlernprozesses an einem konkreten Takt werden die Montagesequenzen in der Automobilmontage i.d.R. intuitiv, ohne Konsultation der oben dargestellten prozessorientierten Informationen, ausgeführt. Stattdessen treten produktspezifische Varianteninformationen in den Vordergrund. Im Folgenden werden Zusammenhänge zwischen Informationssystemen, deren Wahrnehmung und spezifischen Ausführungsfehlern der Handlungsauswahl und -ausführung dargestellt.

2.2.2. Montageinformationen und Ausführungsfehler bei der routinierten variantenreichen Automobilmontage

Die Ausführungsroutine erfahrener Mitarbeiter setzt die im Anlernprozess erworbenen Kenntnisse der Montageprozeduren und die Interpretation von Montageanweisungen multipler Varianten voraus (Hermawati et al., 2015; Hu et al., 2008). Die Auswahl von

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Montagesequenzen und Bauteilen erfordert produktspezifische Informationen über fahrzeugindividuelle Anforderungen (Fast-Berglund, Åkerman, Karlsson, Hernández & Stahre, 2014; Johansson et al., 2016; Thorvald et al., 2014). Diese werden durch Montageinformationssysteme, zumeist auf Monitoren, im Takt angezeigt. Variantenreiche Montageprozeduren erfolgen nach dem Schema der Wahrnehmung der Fahrzeuganforderungen, der Auswahl erforderlicher Montagehandlungen und deren Abruf aus dem prozeduralen Gedächtnis sowie der Handlungsausführung, worin jeweils Fehlerquellen liegen können, die dieses Kapitel zeigt (Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Reason, 1990; Wickens et al., 2013).

2.2.2.1. Montageinformationssysteme

Für die Steuerung der variantenreichen Serienproduktion in Echtzeit werden Fertigungsmanagementsysteme, etwa mit weiteren Systemen zur Erfassung und Ausgabe von Produktionsdaten vernetzte Manufacturing Execution Systeme, eingesetzt (z. B. Obermaier & Kirsch, 2016). Durch ihre Vernetzung mit übergeordneten Systemen ermöglichen Montageinformationssysteme die Ausgabe takt- und fahrzeugspezifischer Montageaufträge (Case et al., 2008; Obermaier & Kirsch, 2016). Als Informationsträger für Montageaufträge sind stationäre Monitore an der Montagelinie verbreitet (Bäckstrand et al., 2008; Case et al., 2008; Fast-Berglund & Stahre, 2013; Makris et al., 2015; Thorvald et al., 2014). Abbildung 2.3 zeigt stationäre Monitore am Fließband in Relation zur Montageposition. Zumeist werden, von Anwendern anpassbare, takt- und fahrzeugspezifische Informationen dargestellt (z. B. Prozess B und C). Die erforderlichen Bauteile eines Fahrzeuges können als Prozessinformationen (siehe oben) oder Produktinformationen dargestellt werden (Thorvald, 2011).



Abbildung 2.3. Beispiele der Position stationärer Monitore eines Montageinformationssystems.

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Produktinformationen geben an, welche Bauteile ein individuelles Fahrzeug, unabhängig von ihrer Reihenfolge (Prozessinformationen) oder Ausführungsdetails (Montageanleitung), erfordert (Fast-Berglund et al., 2013; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Thorvald, 2011). Produktinformationen können für das Gesamtfahrzeug, alle am jeweiligen Takt verbauten Teile oder ausschließlich für variierende bzw. zusätzliche Bauteile angegeben werden. Die Darstellung der Montageinformationen kann sich zwischen regulär variierenden Bauteilen (siehe Prozess B) und unregelmäßigen Sonderausstattungen (siehe Prozess C) unterscheiden (vgl. Wickens, 2000). Reguläre Variationen beinhalten zumeist regelmäßig pro Fahrzeug auftretende Teilaufgaben der Auswahl (Sequenzierung) eines fahrzeugspezifischen Bauteils aus einem Set von Bauteilvarianten. Diese können durch Sequenzierinformationen (z. B. Seriennummern, Farbcodes, Symbole) angezeigt werden (z. B. Günthner, Wölfe & Fischer, 2011; Reif, Günthner, Schwerdtfeger & Klinker, 2010; Wölfe, 2014). Abbildung 2.4 zeigt eine Beispieldarstellung von Sequenzierinformationen auf einem Montageinformationssystem zu Trainingszwecken.



Abbildung 2.4. Beispiel von Sequenzierinformationen im Montagetrainingszentrum.

Unregelmäßige Produktinformationen beziehen sich zumeist auf Ausstattungsvarianten, bei denen einzelne Bauteile oder Aufgaben unabhängig vom Derivat von den regulären Montageprozessen abweichen (z. B. Zusatzbauteile bei Prozess C). Sie können durch Hinweise, dass eine Variation auftritt oder welche Variante vorliegt, dargestellt werden, z. B. indem ausschließlich die variierenden Bauteile angegeben werden (z. B. Variante X; Bauteil A1). Einige Systeme geben visuelle oder auditive Hinweissignale aus, welche die Aufmerksamkeit auf die Varianteninformationen lenken sollen (Brunyé, Taylor & Rapp, 2008; Dix, Ramduny-Ellis & Wilkinson J., 2004; Lu, Wickens, Sarter & Sebok, 2011; Nordin et al., 2010; Reason, 1990; Sarter, 2013; Sarter, 2006; Wickens, Prinett, Hutchins, Sarter & Sebok, 2011).

In der Praxis kann die Wahrnehmung stationärer Montageinformationssysteme aufgrund der mobilen Tätigkeitsausführung, visueller und akustischer Störfaktoren der Montagehalle sowie der jeweiligen Informationsdarstellung eingeschränkt sein. Daraus können Variantenfehler durch die Auswahl unzutreffender Handlungssequenzen resultieren. Im

Anschluss werden theoretische Faktoren der Wahrnehmung von Informationsträgern vertieft, die Einschränkungen und Optimierungspotenziale verdeutlichen.

2.2.2.2. Wahrnehmung und Nutzung von Informationsträgern

Die Wahrnehmung und Nutzung von Informationen über die Anforderungen vorhandener Aufgaben stellt eine Grundlage zur Auswahl angemessener Entscheidungen und Handlungen dar (Endsley, 2000; Hacker & Sachse, 2014; Wickens, 2000) und steht in enger Verbindung mit Aufmerksamkeitsprozessen und der Gestaltung von Informationsträgern (Hacker & Sachse, 2014; Wickens, 2014). Bei der Fließmontage werden Prozessinformationen oft aus dem Gedächtnis und Varianteninformationen von Montageinformationssystemen abgerufen. An variantenreichen Takten mit genutzten Montageinformationssystemen treten weniger Variantenfehler auf als an vergleichbaren Takten ohne (genutzte) Systeme (Fast-Berglund et al., 2013).

Die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung von Informationen wird gemäß des SEEV-Modells durch ihre Salienz (Saliency), den erforderlichen Aufwand zu ihrer Wahrnehmung (Effort), der Erwartung über ihr Auftreten (Expectancy) und ihren Wert für die Aufgabenbearbeitung (Value) beeinflusst (Wickens, 2014; Wickens et al., 2013). Salienz bezeichnet die Wahrnehmbarkeit einer Information und ihre Unterscheidbarkeit von irrelevanten Störsignalen (Hacker & Sachse, 2014; Wickens, 2014). Der Fokus der Aufmerksamkeit kann bewusst ziel- und erfahrungsbasiert gesteuert (Top-Down) oder als reflexartige, automatische Reaktion auf saliente Umweltreize gelenkt werden (Bottom-Up). Liegt der Aufmerksamkeitsfokus auf manuellen Tätigkeiten, ist die Top-Down-Wahrnehmung anderer Informationen eingeschränkt, während eine hohe Salienz die Aufmerksamkeit Bottom-Up auf diese lenken kann (Gozli & Pratt, 2011; Kerzel & Schonhammer, 2013; Schubö, Prinz & Aschersleben, 2004; Stork & Schubö, 2010; Zwickel & Prinz, 2012). Die Bottom-Up-Verarbeitung erfolgt tendenziell zuverlässiger als die Top-Down-Verarbeitung (Wickens et al., 2013). In Montagehallen reduzieren multiple visuelle und auditive Störquellen die Salienz von Informationsträgern und Hinweissignalen (z. B. Schultheis, 2015). Da die Aufmerksamkeit primär auf dem Werkstück liegt, ist oft die fehleranfälligere und aufwendigere Top-Down-Hinwendung zum Informationsträger erforderlich. Auch erschwert die kollektive Wahrnehmung von Informationsträgern die individuelle Zuordnung der Signale beim Empfänger (Sarter, 2013).

Der physische und zeitliche Aufwand der Informationsbeschaffung steigt mit dem Ausmaß an Bewegung zur Informationsquelle, von Augenbewegungen über Kopf- oder Körperdrehung bis hin zur Körperbewegung (Wickens et al., 2013). Die stationären Monitore befinden sich während der Montagetätigkeit nicht kontinuierlich im Blickfeld und sind

nicht von allen Arbeitspositionen einsehbar. Auch die im Montageverlauf zunehmende Entfernung zum Monitor reduziert die Lesbarkeit der Informationen (Thorvald et al., 2014). Diese Bewegung erfordernden Faktoren reduzieren die Wahrnehmung. Der zeitliche Aufwand der Informationsbeschaffung kann ein Risiko zur Taktzeitüberschreitung darstellen (Bäckstrand et al., 2008; Case et al., 2008).

Die Erwartung wird durch die Wahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeit des Auftretens relevanter Informationen beeinflusst (Wickens et al., 2013). Entsprechend werden Informationen für seltene Ausstattungsvarianten (z. B. Prozess C) mit höherer Wahrscheinlichkeit übersehen als regulär konsultierte Sequenzierinformationen (Prozess B) (Wolfe, Horowitz & Kenner, 2005). Der Wert einer Information bezeichnet ihre Relevanz und Nützlichkeit für die Erfüllung einer Aufgabe (Wickens, 2014; Wickens et al., 2013). Als Listen auf Monitoren dargestellte Prozessinformationen können bspw. zur Reduktion von Sequenzfehlern beitragen. Heben sich die Varianteninformationen jedoch nicht von repetitiven Handlungsschritten ab, so weisen diese eine geringere Salienz auf und die Wahrscheinlichkeit von Variantenfehlern steigt (Case et al., 2008). Dies erfordert Differenzierungen der Informationen zwischen Routineaufgaben und spezifischen Ereignissen (Wickens, 2000).

Weiterhin kann die Entwicklung von Handlungsrouninen die Wahrnehmung und Nutzung von Informationen reduzieren, wenn Informationen bewusst übergangen werden, um Abläufe und Zeiten zu optimieren (Hacker & Sachse, 2014). Zudem werden unerwartete Veränderungen übersehen, wenn aufgrund von Erwartungen oder Erfahrungen ein übliches Vorgehen gewählt und die Informationsquelle nicht kontinuierlich geprüft wird (Hacker & Sachse, 2014), etwa wenn nur bei jedem zehnten Fahrzeug eine Bauteilvariante auftritt. Auch können vorhandene Informationen fehlerhaft identifiziert, genutzt, interpretiert oder erinnert werden (Hacker & Sachse, 2014). Darüber hinaus können diese zwar wahrgenommen, doch durch den zeitlichen Abstand bis zur Handlungsausführung wieder vergessen werden (Dix et al., 2004; Dix, 2002). Einen weiteren Aspekt der Nutzung von Informationsträgern stellt deren Akzeptanz dar. Sie spiegelt die Bereitschaft der Anwender zur Nutzung von Informationssystemen wider und basiert u. a. auf deren Nützlichkeit und Handhabungsaufwand (Venkatesh et al., 2003).

Diese Faktoren schränken die Wahrnehmung und Handlungswirksamkeit stationärer Informationsträger im Kontext mobiler, repetitiver und zeitgebundener Montagetätigkeiten ein und verdeutlichen deren Optimierungsbedarf (Fast-Berglund et al., 2013; Fast-Berglund & Stahre, 2013). Ansätze zur Steigerung der Wahrnehmung von Informationsträgern liegen in der Führung der Aufmerksamkeit (Attention Guiding) durch die Erhöhung der Salienz, der Erwartung und des Wertes sowie die Reduktion des Aufwandes der Informationsbeschaffung (Wickens et al., 2013). Dies bietet die Grundlagen, auf

denen mobile IKT-Assistenzsysteme zur Steigerung der Wahrnehmung von Montageinformationen beitragen könnten.

Zusammenfassend inhibieren der Aufmerksamkeitswechsel zwischen manueller Tätigkeit und Informationsträger, die Top-Down-Verarbeitung, die geringe Salienz und die Störfaktoren die Wahrnehmung stationärer Montageinformationen. Diese Wahrnehmungseinschränkungen wirken sich auf die Handlungsauswahl aus, woraus Variantenfehler resultieren können.

2.2.2.3. Fehler der Handlungsauswahl

Die Handlungsauswahl erfordert das Bewusstsein über die Anforderungen der jeweiligen Situation bzw. Fahrzeugvariante und dessen kontinuierliche Aktualisierung (Endsley, 2000; Wickens, 2000). Das Erfassen einer Situation, ob das erwünschte Ergebnis erreicht wurde und was als nächstes zu tun ist, wird als Situationsbewusstsein bezeichnet (Endsley, 2000). Es ist zentral für die Handlungsauswahl bei der variantenreichen Automobilmontage (Bäckstrand, 2009; Endsley, 2000; Fässberg, 2012; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Thorvald et al., 2014). Die Montagesequenzen werden nach Wenn (Fahrzeuganforderungen) – Dann (Auswahl der Sequenz und Bauteile) Regeln (Reason, 1990) auf Basis von Fahrzeugmerkmalen aus dem Gedächtnis abgerufen oder anhand von Montageinformationen ausgewählt (Hu et al., 2011). Werden Informationen nicht handlungswirksam wahrgenommen oder Situationen nicht korrekt erkannt, steigt das Risiko der Anwendung häufig korrekter, doch in entsprechenden Situationen unzutreffender Handlungsregeln. Diese regelbasierten Fehler sind anfällig für kleine Veränderungen, welche andere Regeln erfordern (z. B. Prozess C) (Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Sie können auftreten, wenn eine Fahrzeugvariante nicht korrekt erkannt und daher eine Standardmontageprozedur angewendet wurde oder wenn die Variante zwar erkannt wurde, doch eine unzutreffende Montagehandlung erfolgt (Reason, 1990). Diese regelbasierten Fehler können sich in Variantenfehlern (Prozess B und C), wie dem Auslassen oder der Montage einer unzutreffenden Variante äußern (Reason, 1990). Während Fehler der Handlungsauswahl zur Ausführung unzutreffender Handlungssequenzen führen, kann auch deren Ausführung aufgrund kognitiver Prozesse fehlerbehaftet sein.

2.2.2.4. Fehler der Handlungsausführung

Montagesequenzen werden auf bestimmte Hinweisreize hin, die auch als Trigger bezeichnet werden (Dix et al., 2004; Dix, 2002), durch routiniert ablaufende, fähigkeitsbasierte Handlungsmuster in einer bekannten Umgebung ausgeführt (Reason, 1990). Fehler der Handlungsausführung können auftreten, wenn korrekt geplante Handlungen fehlerhaft

oder unvollständig verlaufen (Reason, 1990). Ausführungsfehler können durch routinierte, oft wiederholte Tätigkeiten, enge Zeitvorgaben, Zielkonflikte zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit, eine hohe Komplexität oder hohe Erregungszustände begünstigt werden (Beilock, Bertenthal, Hoerger & Carr, 2008; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Reason, 1990).

Zentrale Kategorien von Ausführungsfehlern sind Slips und Lapses (Reason, 1990). Slips treten auf, wenn eine Abweichung von einer Routinehandlung erforderlich ist, doch die Aufmerksamkeit der ausführenden Person zum entsprechenden Zeitpunkt nicht auf der Tätigkeit liegt (Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Sie resultieren in der Ausführung der routinierten, statt der erforderlichen Handlung, sodass variantenspezifische Montageoperationen nicht ausgeführt werden und Variantenfehler auftreten (Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Auch kann eine Handlungssequenz in der Überzeugung ausgeführt werden, dass ein spezifisches Derivat vorliegt, obwohl eine Montagesequenz für ein anderes Derivat erforderlich wäre. Slips werden begünstigt, wenn die erforderliche und eine routinierte Handlung mit der gleichen Handlungssequenz beginnen und sich erst im späteren Verlauf unterscheiden, sich beide Handlungen insgesamt nur wenig unterscheiden oder wenn Handlungen ähnliche Umgebungsfaktoren aufweisen.

Lapses gehen mit Gedächtnisprozessen einher, in deren Zusammenhang (Teil-) Handlungen in einer Handlungssequenz ausgelassen oder verwechselt werden und Sequenzfehler resultieren können (Reason, 1990). Sie stehen nicht unbedingt in Bezug zu Bauteilvarianten. Sie treten v. a. bei langen prozeduralen Handlungssequenzen und nach Unterbrechungen auf, wobei die Handlung an der falschen Stelle wieder aufgenommen oder nicht abgeschlossen wird (Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Erwartete oder unerwartete Unterbrechungen durch externe Ereignisse lenken die Aufmerksamkeit von der Primäraufgabe auf andere Ereignisse. Art und Zeitpunkt der Unterbrechungen können Lapses sowie Slips begünstigen und die mentale Beanspruchung erhöhen (McFarlane, 2002; Okoshi et al., 2015) oder mit erhöhten Bearbeitungszeiten durch Aufgabenwechsel in Verbindung stehen (Rogers & Monsell, 1995). Lapses sind kritisch bei industriellen Wartungs- oder Montageprozeduren, welche die Einhaltung von Prozessabfolgen erfordern und werden durch lange Handlungssequenzen und daher bei langen Taktzeiten begünstigt (Reason, 1990). Da über 80 % der Montagetätigkeiten aus dem Gedächtnis ausgeführt werden, ist die Wahrscheinlichkeit von Lapses erhöht (Fast-Berglund & Stahre, 2013).

2.2.3. Zusammenfassung Informationsverarbeitung und Ausführungsfehler

Es wurde dargestellt, wie eng Montagekontext, Expertise, Handlungsrountinen und Montageinformationen mit systematischen, unabhängig vom Ausführenden wiederkehrenden Ausführungsfehlern verknüpft sind und dass diese von der Komplexität und Flexibilität beeinflusst werden (z. B. Fast-Berglund et al., 2013; Fisher & Ittner, 1999; Johansson et al., 2016). Komplexität sowie repetitive Ausführungen können Auslassungs- und Verwechslungsfehler im Montageprozess begünstigen. Flexibilitätsbedingte Trainingsprozesse gehen mit generell erhöhten Fehlerwahrscheinlichkeiten einher. Montageinformationen sowie kognitive Prozesse wirken sich auf die Wahrnehmung, die Handlungsauswahl und -ausführung aus. Demnach können nicht wahrgenommene Produkt- oder Prozessinformationen sowie Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse zur Auswahl unzutreffender Handlungssequenzen und Handlungsfehlern wie Slips und Lapses beitragen (Reason, 1990), die manifest als Varianten- und Sequenzfehler im Prozess auftreten. Dies kann sich anhand von Variantenfehlern bei Wahrnehmungseinschränkungen stationärer Informationsträger oder Sequenzfehlern bei nicht verfügbaren Prozessinformationen während Training oder Routinetätigkeiten zeigen (z. B. Case et al., 2008).

Gemäß des SEEV-Modells (Wickens, 2014) kann sich sowohl die Steigerung der Informationsverfügbarkeit und Salienz als auch die inhaltliche Gestaltung bedarfsgerechter Prozess- und Produktinformationen positiv auf die Wahrnehmung auswirken und so zur Reduktion von Sequenz- und Variantenfehlern beitragen. Montagefehler beim Anbringen von Bauteilen stehen bei der intuitiven Ausführung hingegen stärker mit manuellen Fähigkeiten und dem Bauteildesign und weniger mit kognitiven Prozessen sowie Prozess- und Produktinformationen in Verbindung. Daher werden in dieser Arbeit die Fragen fokussiert, wie die Gestaltung von Montageinformationen und Informationsträgern zur Reduktion von Sequenz- und Variantenfehlern in Training und Produktion beitragen kann. Dies führt zu der Frage, wie mobile IKT-Assistenzsysteme die Wahrnehmung von Montageinformationen unterstützen und damit zur Reduktion von Varianten- und Sequenzfehlern in der variantenreichen Automobilmontage beitragen könnten. Daher werden im Folgenden Ansätze zur Qualitätssteigerung durch am Körper getragene Systeme der Informationsassistentz und bisherige Erkenntnisse zu deren Evaluation dargestellt.

2.3. Ansätze zur Qualitätssteigerung durch Systeme der Informationsassistentz

Aus der hohen wirtschaftlichen Bedeutung von Ausführungsfehlern resultieren vielfältige Ansätze zur Komplexitäts- und Fehlerreduktion, um Qualität, Prozesssicherheit und Montagezeiten zu optimieren (z. B. Aquilani et al., 2017; Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009; Kostka & Kostka, 2013). Für die Industrie 4.0 werden diverse Konzepte zur Assistenz manueller Tätigkeiten postuliert bzw. entwickelt (z. B. Jardim-Goncalves, Romero & Grilo, 2017; Pirvu, Zamfirescu & Gorecky, 2016; Romero et al., 2016; Zamfirescu, Pirvu, Gorecky & Chakravarthy, 2014). Automatisierungen können Prozesse der Informationsaufnahme und -analyse, der Handlungsauswahl und -ausführung auf einem Kontinuum zwischen manueller Ausführung bis zur Vollautomatisierung unterstützen (Fast-Berglund & Stahre, 2013; Frohm, Lindström, Winroth & Stahre, 2008; Parasuraman et al., 2000; Wickens et al., 2013). Abbildung 2.5 stellt die Stadien der Automatisierung sowie die Einteilung von Beispielsystemen dar. Systeme der Informationsassistentz unterstützen die Aufnahme und Analyse von Informationen, um die menschliche Informationsverarbeitung, wie Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse, zu ergänzen und deren Fehleranfälligkeit zu senken (Parasuraman et al., 2000; Wickens et al., 2013).

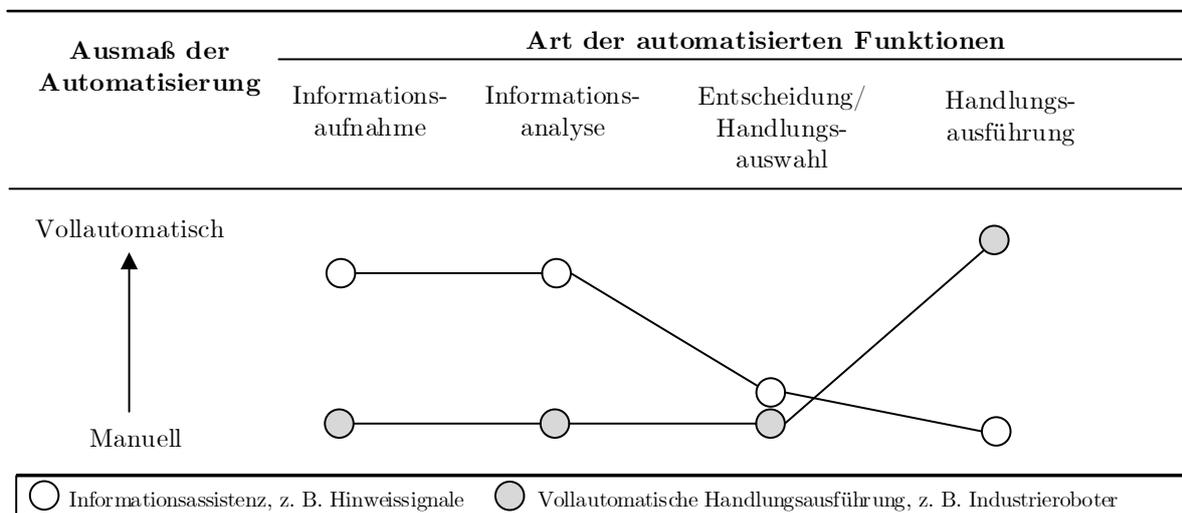


Abbildung 2.5. Stadien der Automatisierung (Parasuraman et al., 2000, nach Manzey, 2012, S. 336)

Aufgrund der Auswirkungen von Informationsflüssen auf die Montagequalität könnten Systeme der Informationsassistentz zur Fehlerreduktion beitragen (z. B. Case et al., 2008; Thorvald et al., 2008; Thorvald et al., 2014). Diese Systeme sollten auf konkreten,

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

zu unterstützenden Aufgaben, Technologien und Bedienkonzepten sowie den jeweiligen Anwender- und Kontextanforderungen basieren (Sarodnick & Brau, 2011).

Zentrale Konzepte der Informationsassistentz sind Hinweissignale, um die Aufmerksamkeit Bottom-Up auf spezifische erwartete oder unerwartete Ereignisse (z. B. Sonderausstattung) zu lenken, sowie Aufgabenlisten (z. B. Prozessinformationen), um Gedächtnisprozesse für die Ausführung definierter Handlungssequenzen zu unterstützen (Fast-Berglund & Stahre, 2013; Parasuraman et al., 2000; Wickens, 2000; Wickens et al., 2013). Diese Konzepte sollen das Situations- bzw. Aufgabenbewusstsein bei der variantenreichen Montage fördern (Endsley, 2000; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Mattsson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016; Wickens, 2000), um Varianten- und Sequenzfehler zu reduzieren (Reason, 1990). Mit Attention Guiding kann die Aufmerksamkeit auf relevante Informationen gelenkt und deren Wahrnehmung erhöht werden (Stork & Schubö, 2010; Thorvald et al., 2014; Wickens, 2014). Im Vergleich zu kollektiven können individuelle Informationsträger die Informationszuordnung erleichtern und die Salienz gegenüber den multiplen Störsignalen der Montagehalle erhöhen (Sarter, 2013). Die Erwartung von Ereignissen ließe sich durch proaktive Hinweise steigern (Wickens, 2014). Zur Erhöhung des Informationswertes sollten diese den Anforderungen konkreter Arbeitsaufgaben entsprechen, etwa durch Hinweissignale oder Prozessinformationen (z. B. Nordin et al., 2010).

Die Bedeutsamkeit der Informationsassistentz zur Fehlerreduktion äußert sich in der umfangreichen technischen Forschung und Entwicklung zu IKT-Systemen zur Montageassistentz (z. B. Wang, Ong & Nee, 2016a). Aufgrund der Einschränkungen stationärer Informationsträger bieten mobile IKT-Systeme vielfältige Anwendungsszenarien zur Optimierung von Informationsflüssen durch den orts- und zeitunabhängigen Zugriff auf Informationen (z. B. Brandl, Brandl, Aschbacher & Hösch, 2015; Fast-Berglund et al., 2013; Fast-Berglund & Blom, 2014; Jost, Kirks, Mättig, Sinsel & Trapp, 2017; Richter et al., 2015; Romero et al., 2016; Spath et al., 2013; Teucke et al., 2017; Thorvald et al., 2014; Weber et al., 2016). Die mobile Verfügbarkeit sollte den Aufwand der Informationsbeschaffung reduzieren, um deren Wahrnehmung und Nutzung zu steigern (Thorvald et al., 2014; Wickens, 2014) und Gedächtnisanforderungen (Dix et al., 2004) sowie Wegezeiten zu senken (Rügge, 2007; Stocker et al., 2016).

Systeme der Informationsassistentz sollen die Informationsaufnahme und -analyse durch tätigkeitsrelevante Informationskonzepte unterstützen und könnten sich so positiv auf die Handlungsauswahl und -ausführung auswirken. Sowohl die Informationen als auch die Informationsträger sollten dem Montagekontext und konkreten, zu unterstützenden Aufgaben entsprechen. Demnach könnten Tätigkeiten aus Training und Produktion auf Basis jeweils zentraler Montageinformationen durch Informationsassistentz unterstützt werden.

Durch Einschränkungen stationärer Informationsträger sollten Endgeräte zur Assistenz der Tätigkeiten mobil und parallel zur Montage zugänglich sein. Für die Montage werden beide Hände benötigt. Daher sollten Systeme der Informationsassistenz für die variantenreiche Montage ohne Einsatz der Hände nutzbar sein. Diese Kriterien erfüllen Wearable Devices.

2.3.1. Wearable Devices

Mit Sensorik und Schnittstellen ausgestattete IKT, die aufgrund von Form, Größe und Gewicht am Körper getragen werden kann, wird als Wearable Device bezeichnet (Barfield, 2016; Rügge, 2007). Dazu zählen intelligente Kleidung (Smart Clothes), Brillen (Smartglasses, Head-Mounted Displays) oder Uhren (Smartwatches) (Bliem-Ritz, 2014; Greinke et al., 2016; Sangeetha, Vijayaragavan, Raghav & Phani, 2016). Sie können Displays, Bedienelemente sowie Sensorik zur Erfassung von Aktivitätsdaten aufweisen (z. B. Kumari, Mathew & Syal, 2017). Wearable Devices sollen ohne Einsatz der Hände parallel zu manuellen Tätigkeiten nutzbar sein und deren Ausführung durch Services und Informationen unterstützen, während sie ein Minimum an Aufmerksamkeit erfordern, um nicht abzulenken (Rhodes, 1997; Rügge, 2007; Starner, 2016). Die Interaktion kann durch Anwender oder Geräte initiiert werden, z. B. kontextbasierte Informationsanzeige oder Hinweise auf Kontextfaktoren (Rügge, 2007). Zur Minimierung aktiver Nutzereingaben können Daten orts- und kontextsensitiv durch die Erfassung der physischen Umgebung (GPS, Lagesensoren), Aktivitätsdaten (z. B. Herzrate) oder die Vernetzung mit anderen IT-Systemen bereitgestellt werden (z. B. Barfield, 2016; Starner, 2016). Die Integration von Wearable Devices in Produktionssysteme ermöglicht mobil auf digitale Produktionsdaten zuzugreifen, Ereignisse proaktiv zu kommunizieren (z. B. durch Hinweissignale) und Daten mobil zu bearbeiten (z. B. Jost et al., 2017; Makris et al., 2015; Teucke et al., 2017; Wölfle, 2014; Ziegler, 2016). Entwicklungsbedarfe liegen in der freihändigen Bedienung, der zuverlässigen Vernetzung, der Datensicherheit, der Stromversorgung und Wärmeentwicklung, Gewicht, Größe und Komfort bzw. Tragbarkeit (Rawassizadeh, Price & Petre, 2015; Starner, 2016).

Zu marktreifen Wearable Devices, die eine rasante technische Weiterentwicklung und ein starkes Wachstum auf dem Konsumentenmarkt verzeichnen, gehören u. a. Smartglasses und Smartwatches (Chuah et al., 2016; Kumari et al., 2017; Rauschnabel, Krey et al., 2016). Auf dem Konsumentenmarkt verfügbare Wearable Devices können durch verschiedene Applikationen (Lutze & Waldhör, 2016) für industrielle Anwendungsfälle adaptiert werden (Chuah et al., 2016; Kim, Nussbaum & Gabbard, 2016; Plutz et al., 2016; Quint & Loch, 2015). Die Verfügbarkeit der Geräte impliziert noch nicht deren Industrietaug-

lichkeit, welche die stabile Vernetzung, umfangreiche Akkuleistung, Stoß- und Hitzeresistenz sowie die zuverlässige Funktionalität von Endgeräten und Anwendungen erfordert (Fite-Georgel, 2011; Rügge, 2007). Als Arbeitsassistenzsysteme sollten Wearable Devices in bestehende Prozesse und IT-Infrastrukturen integrierbar und flexibel an Veränderungen der Produktionsbedingungen anpassbar sein (Fite-Georgel, 2011; Makris et al., 2015; Rügge, 2007). Aus wirtschaftlicher Perspektive sollten Investitionen, wie Inbetriebnahme, Wartung und Support, im Verhältnis zum Nutzen, wie Effektivitäts- und Effizienzsteigerung oder Arbeitserleichterung, stehen (z. B. Fite-Georgel, 2011). Der Einsatz in der Produktion erfordert, dass die Systeme von den Anwendern in ihren Arbeitsprozessen selbstständig und ohne die Anwesenheit der Entwickler nutzbar sind (Fite-Georgel, 2011; Wang, Ong & Nee, 2016a). Weitere Herausforderung werden in der nutzerfreundlichen Gestaltung der Geräte und Anwendungen (Wächter & Bullinger, 2015), der Gestaltung von Hinweissignalen (Kerber, Hirtz, Gehring, Löchtfeld & Krüger, 2016; Okoshi et al., 2015), der geringen Ablenkung durch die Bedienung (Rammelmeier, Galka & Günthner, 2012) und der Bereitschaft potenzieller Anwender zur Nutzung der Geräte gesehen (Günthner et al., 2011; Jost et al., 2017; Pasher et al., 2010; Seyrkammer, 2015; Teucke et al., 2017).

Zusammengefasst sind Wearable Devices am Körper getragene Endgeräte, die ohne Einsatz der Hände parallel zu manuellen Tätigkeiten nutzbar sein sollen. Auf dem Konsumentenmarkt verfügbare Smartwatches und Smartglasses ermöglichen theoretisch verschiedene industrielle Nutzungskonzepte. Fortlaufend wird der Begriff Wearable Devices auf Smartwatches und Smartglasses bezogen.

2.3.1.1. Smartwatches

Smartwatches sind am Handgelenk getragene Minicomputer zur Aufnahme, Eingabe und Ausgabe von Daten, die sich am Körper, doch nicht dauerhaft im Sichtfeld befinden (Chuah et al., 2016; Rawassizadeh et al., 2015). Sie verfügen oft über Displays und Bedienelemente, Schnittstellen, Sensorik sowie Vibrationsmotoren zur vibrotaktilen Alarmierung. Smartwatches unterscheiden sich zwischen Geräten, die eine Smartphone-Anbindung erfordern (z. B. Samsung Gear S 3) und eigenständigen Geräten (Stand-Alone, z. B. IconBit Callisto 300). Letztere können vergleichbare Funktionsumfänge zu Smartphones aufweisen (Display, Eingabemöglichkeiten über Tasten oder Touch, Telefonie, WLAN). Da sich Smartwatches nicht permanent im Sichtfeld befinden und über Alarmierungsfunktionen verfügen, können sie für periodisch genutzte Informationen eingesetzt werden. Ihre Bedienung kann eine Hand erfordern oder freihändig (z. B. durch Sprachein-

gabe) erfolgen (Starner, 2016). Daher könnten Smartwatches zur Informationsassistentz außerhalb des Sichtfeldes in der Montage eingesetzt werden.

2.3.1.2. Head-Mounted Displays und Smartglasses

Head-Mounted Displays (HMDs) sind am Kopf getragene IKT-Geräte zur Informationsanzeige im Sichtfeld. Es werden verschiedene HMD-Typen mit diversen Eigenschaften und Anwendungsszenarien unterschieden (Kiyokawa, 2016; Kress, 2016; Starner, 2016). Die Displaytechnologien können in binokulare oder monokulare, durchsichtige See-Through (ST) oder opake Look-Around (LA) Displays verschiedener Größe und Position der Anzeige im Sichtfeld (Field of View, FoV) eingeteilt werden (Kiyokawa, 2016; Kress, 2016). Für industrielle Anwendungen sind monokulare ST oder LA HMDs verbreitet, um die Sicht auf die Primäraufgaben minimal zu verdecken (Starner, 2016). Bisher wurde die Verbreitung industrieller HMDs durch ihre Größe und das Gewicht beeinträchtigt. Smartglasses sind eine kleine und leichtere HMD-Klasse für Industrie- oder Konsumenten Anwendungen, die kürzlich Serienreife erlangten (ebd.). Deren ST- (z. B. Google Glass) oder LA-Displays (z. B. Vuzix M100) sind oft außer- oder innerhalb von Brillengestellen o. ä. Halterungen angebracht. Das FoV ist oft klein und außerhalb des zentralen Sichtfeldes (Kiyokawa, 2016; Kress, 2016). Smartglasses verfügen häufig über Sensorik und Konnektivität (WLAN, Bluetooth, GPS etc.), Kameras, Betriebssysteme (z. B. Android), verschiedene Eingabekonzepte (z. B. Tasten, Gesten oder Sprachsteuerung) und auditive Ausgabemöglichkeiten (Kiyokawa, 2016; Kress, 2016). Mobile Dateneingaben in Bewegung und parallel zu Primäraufgaben bleiben Herausforderungen der Bedienkonzepte von Smartglasses (Starner, 2016).

Inkonsistente Definitionen von HMD-Anzeigekonzepten tragen dazu bei, dass die (kontextsensitive) Informationsanzeige (Augmented Vision, AV; Tümler, 2009) und die Visualisierung virtueller Elemente als Bestandteil der realen Umgebung (Augmented Reality, AR; Azuma, 1997) nicht eindeutig voneinander abgegrenzt werden (Mehler-Bicher & Steiger, 2014). AR umfasst heterogene Visualisierungskonzepte, die nicht auf HMDs begrenzt sind (Tönnis, Plecher & Klinker, 2013). Nach Azuma (1997) wird der virtuelle Inhalt in Bezug zur Position und Blickrichtung des Anwenders als Bestandteil der realen Umgebung visualisiert und kann durch Nutzerinteraktionen in Echtzeit manipuliert werden (vgl. Billinghurst, Clark & Lee, 2015; Milgram & Colquhoun, 1999). AR unterscheidet sich von AV durch höhere technische Anforderungen und Restriktionen sowie Anpassungsaufwände, die dem AR-Einsatz in der Fließmontage entgegenstehen (z. B. Chimienti, Iliano, Dassisti, Dini & Failli, 2010; Han & Zhao, 2017; Kreft, Gausemeier & Matysczok, 2010; Kress, 2016; Wang, Ong & Nee, 2016a). AR kann die Informations-

verarbeitung beeinflussen, z. B. Tiefenwahrnehmung (z. B. Nalivaiko, Davis, Blackmore, Vakulin & Nesbitt, 2015; Solari, Chessa, Garibotti & Sabatini, 2013), was die Vergleichbarkeit mit AV einschränkt. Aus Anwendungsperspektive ist AR eine intensiv beforschte Umsetzungstechnologie für Montageassistenzsysteme zur Visualisierung von Montageanleitungen für nicht repetitive, hochflexible oder unbekannte Aufgaben, z. B. Montage-training und Manufaktur (z. B. Fite-Georgel, 2011; Nee, Ong, Chryssolouris & Mourtzis, 2012; Ong, Yuan & Nee, 2008; Wang, Ong & Nee, 2016a; Yang, Yu, Zo & Choi, 2016), was jedoch weniger auf die repetitive Fließmontage zutrifft. AR kann die Interpretation von Montageanleitungen und deren Abarbeitung im Vergleich zu AV unterstützen (z. B. Büttner et al., 2016; Funk et al., 2016; Henderson & Feiner, 2011; Stork & Schubö, 2010), was jedoch von der Aufgabenschwierigkeit (Wiedenmaier et al., 2003), den Visualisierungs- (Radkowski, 2015) und Interaktionskonzepten beeinflusst wird (Wang, Ong & Nee, 2016b). Gegenüber Instruktionen von Trainern wurde bisher keine höhere Effizienz von AR für die initiale Ausführung gezeigt (Li et al., 2016; Wiedenmaier et al., 2003). Aufgrund der segmentierten, repetitiven Tätigkeiten der Automobilmontage wird sie nicht als AR-Anwendungsszenario betrachtet (Stork & Schubö, 2010; Wiedenmaier et al., 2003). Um Konfundierungen auszuschließen kommt in dieser Arbeit ausschließlich AV zur Anwendung. Entsprechend ermöglichen monokulare AV-Smartglasses die Anzeige von Prozess- oder Produktinformationen im Sichtfeld der Anwender zur Informationsassistentz für die Fließmontage, ohne die technischen Anforderungen und Möglichkeiten von AR mit sich zu bringen.

2.3.2. Erprobung und Evaluation von Wearable Devices im Montagekontext

Das mobile, freihändige Nutzungskonzept von Wearable Devices bietet umfassende Einsatzpotenziale zur Assistenz manueller Produktionstätigkeiten. Für Wearable Devices, v. a. HMDs und Smartglasses, werden diverse Assistenzkonzepte in Produktion, Logistik, Qualitätskontrolle sowie in der Wartung und Instandhaltung beschrieben (Aleksy & Rissanen, 2014; Kim et al., 2016; Teucke et al., 2017; Wölflle, 2014; Ziegler, Heinze & Urbas, 2015). Die ortsunabhängige, papierlose Verfügbarkeit prozessrelevanter Informationen zum Zeitpunkt und in der Form des Bedarfs, z. B. für den mobilen Zugriff auf Echtzeit-Produktionsdaten oder zum Anlernen, stellt ein zentrales Anwendungsziel für Wearable Devices in der Produktion dar (Aromaa, Aaltonen, Kaasinen, Elo & Parkkinen, 2016; Hein & Rauschnabel, 2016; Quint & Loch, 2015; Stocker et al., 2016; Weber et al., 2016). Laut einer Umfrage nutzten nur 3.5 % der befragten Unternehmen Smartglasses in der Produktion, obwohl die Mehrheit ein hohes Interesse deren Einsatz äußerte (Plutz

et al., 2016). Trotz ihrer geringeren Verbreitung als Smartglasses werden auch diverse Anwendungsfälle für Smartwatches und ähnliche Displays (z. B. Smartphones) beschrieben (Ziegler et al., 2015) und getestet (z. B. Fast-Berglund & Blom, 2014; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010; Thorvald et al., 2014). Die Vielzahl an Anwendungsfällen zeigt die flexiblen Einsatzmöglichkeiten für Wearable Devices im Produktionsumfeld. Ein Großteil dieser Anwendungsfälle wurde bisher nur theoretisch beschrieben. Ob sie tatsächlich zur Assistenz von Produktionsaufgaben beitragen, zeigt hingegen nur die formale Evaluation ihrer Einflüsse auf Tätigkeit und Anwender.

Um Assistenzsysteme an die Anforderungen von Kontexten und Anwendern anzupassen und deren reale Unterstützungspotenziale zu überprüfen, sind Evaluationen unter Einbezug potenzieller Anwender von zentraler Bedeutung (Brau, 2012; DIN EN ISO 9241 - 11, 1998; Sarodnick & Brau, 2011; Teucke et al., 2017). Im Vergleich zur Technikentwicklung sind Evaluationsstudien zur Überprüfung postulierter Einsatzpotenziale jedoch stark unterrepräsentiert und oft von geringer methodischer Belastbarkeit (Bai & Blackwell, 2012; Dünser et al., 2008; Fite-Georgel, 2011; Wang, Ong & Nee, 2016a; Zobel et al., 2016). Bspw. berichten nur 10 % der Publikationen von AR-Systemen und bis zu 20 % der AR-Montageassistenzsysteme formale oder informale Evaluationen (Dünser et al., 2008; Fite-Georgel, 2011; Wang, Ong & Nee, 2016a). Formale Evaluationen beinhalten Angaben zu Stichproben, Studiendesigns und statistische Analysen. Informale Evaluationen geben Stichproben oder Prozeduren unvollständig an, berichten Ergebnisse deskriptiv oder als narrative Nutzererfahrungen und sind dadurch kaum interpretierbar (Bai & Blackwell, 2012). Für Wearable Devices liegen kaum Übersichtsarbeiten über Evaluationsstudien vor. Zobel et al. (2016) bieten zwar eine Übersicht über Evaluationsstudien von HMDs und Smartglasses, unterscheiden aber nicht zwischen AR und AV.

Formale Evaluationsstudien von Wearable Devices für Montageaufgaben werden primär im Laborkontext mit anwendungsfernen Stichproben (z. B. Studierende) oder Aufgaben (z. B. Lego) durchgeführt (z. B. Büttner et al., 2016; Wille, Grauel & Adolph, 2014). Für die Kommissionierung in der Logistik liegen recht anwendungsnahe formale Laborstudien an simulierten Arbeitsplätzen für Smartglasses vor (z. B. Baumann, 2013; Friemert, Ellegast & Hartmann, 2016; Guo et al., 2014; Paelke & Röcker, 2015; Wölffe, 2014; Wu et al., 2015). Über den Einsatz von Wearable Devices im Produktionskontext liegen primär informale Evaluationen vor (z. B. Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Quint et al., 2016; Seyrkammer, 2015; Stocker et al., 2016; Syberfeldt, Danielsson, Holm & Wang, 2015; Weber et al., 2016). Bspw. wurden Smartglasses für die Kollaboration (Weber et al., 2016), zum Wissensaustausch, zur Dokumentation (Quint et al., 2016) und als mobile Checklisten (Stocker et al., 2016) informal in der Produktion (z. B. Instandhal-

tung) getestet und informales Nutzerfeedback berichtet (z. B. Brandenburg, Woll & Stark, 2016). HMDs wurden z. B. von Maurtua (2009) informal in einem Automobilmontage-Trainingszentrum evaluiert. Am Unterarm getragene Displays wurden bereits informal für Anwendungen in der variantenreichen Fließmontage getestet, z. B. zur Anzeige von Prozessinformationen im Takt während der Automobilmontage (z. B. Fast-Berglund & Blom, 2014; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010; Thorvald, 2011). Auch wurden sie für die Instandhaltung oder die Logistik informal erprobt (z. B. Rügge, 2007; Wölfle, 2014; Ziegler, 2016).

Diese Übersicht zeigt, dass Evaluationen von Wearable Devices zur Überprüfung der postulierten Assistenz im Anwendungskontext deutlich unterrepräsentiert und von informellen Studien dominiert sind. Die Vielfältigkeit der Wearable Devices mit unterschiedlichen Endgeräten und deren technischen Entwicklungsständen, die diversen Anwendungsszenarien sowie die verbreitete Beschränkung auf informale Evaluationen reduziert die Vergleichbarkeit und die Aussagekraft bisheriger Ergebnisse (Zheng et al., 2015). Daraus resultieren Forschungslücken der formalen Evaluation von Wearable Devices zur Informationsassistenz in der Produktion. Im Folgenden werden daher Kriterien für die Evaluation von Wearable Devices als Arbeitsmittel zur Assistenz der variantenreichen Automobilmontage analysiert.

2.3.3. Evaluationskriterien für Wearable Devices im industriellen Kontext

Die Leistungssteigerung in Produktionsaufgaben sowie die Bereitschaft der Mitarbeiter, Wearable Devices zu nutzen, werden als zentrale Erfolgskriterien für deren Anwendung in der Produktion diskutiert und finden sich in der Definition der Gebrauchstauglichkeit wieder (z. B. Buenaflor & Kim, 2013; Fite-Georgel, 2011; Geihs, Leimeister, Rosnagel & Schmidt, 2012; Jost et al., 2017; Pasher et al., 2010; Seyrkammer, 2015; Teucke et al., 2017). Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt, inwiefern ein technisches System die Anwenderzielgruppe (Montagemitarbeiter) unterstützt, ihre spezifischen Ziele bzw. Aufgaben (Montagetätigkeiten) im Anwendungskontext (Produktionsbedingungen, Taktung, etc.) effektiv (Fehlerfreiheit), effizient (Bearbeitungszeiten) sowie zufriedenstellend auszuführen. Die Zufriedenheit (Akzeptanz) schließt die Freiheit von Beanspruchungen oder Beeinträchtigungen durch die Systemnutzung (ergonomische Faktoren bzw. Nutzungsbarrieren) ein (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998, S. 4). Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 2.6 visualisiert.

Der Anwendungskontext besteht aus der Umgebung (z. B. Arbeitsbedingungen, Störfaktoren), den Arbeitsaufgaben (z. B. Komplexität, Prozess, Informationsbedarf) und den

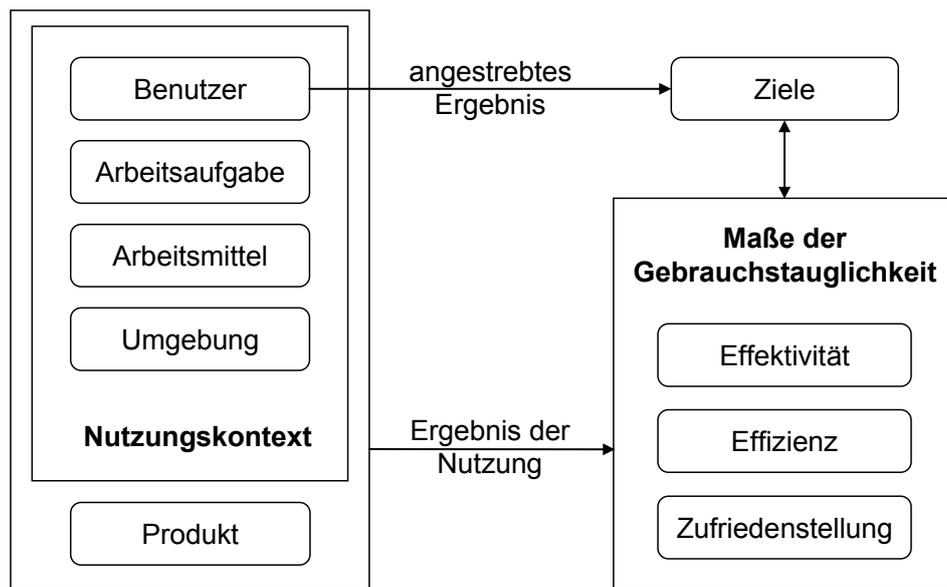


Abbildung 2.6. Gebrauchstauglichkeit von Assistenzsystemen (Brau, 2012, S. 185).

verfügbaren Arbeitsmitteln (z. B. Werkzeuge, Informationssysteme) (Brau, 2012; Bravo et al., 2014; Coursaris & Kim, 2011). Die Charakteristika der Anwender beziehen sich auf deren Erfahrungen mit den Aufgaben und Anwendungskontexten sowie demographische Merkmale, wodurch sich Personen der Zielgruppe des Systems (z. B. Produktionsmitarbeiter) von Personen, die nicht zur Zielgruppe gehören (z. B. Studierende) unterscheiden (Bravo et al., 2014; Venkatesh et al., 2003). Charakteristika des Informationssystems betreffen dessen Handhabbarkeit (z. B. Interaktionskonzepte) sowie dessen Anpassung an Anforderungen von Kontext, Aufgaben und Anwendern (z. B. die Integration in bestehende Produktionsprozesse, Bedienungsaufwand) (Bravo et al., 2014; Coursaris & Kim, 2011).

Bei der Evaluation von Wearable Devices werden die Anwendungsziele sowie die Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit primär auf deren Nutzung zur Bearbeitung manueller Tätigkeiten (z. B. Theis et al., 2015; Thorvald et al., 2014; Tümler, 2009; Wille, 2016) statt auf die Bearbeitung von Aufgaben am Wearable Device (z. B. Menüführung, Dateneingaben) bezogen (z. B. Stocker et al., 2016; Ziegler, 2016). Daher erfordern mobile Anwendungen und Wearable Devices für manuelle Aufgaben andere Evaluationskonzepte als Desktop-Anwendungen (Harrison, Flood & Duce, 2013; Zobel et al., 2016). Die Effektivität und Effizienz wird anhand von Ausführungsfehlern und Bearbeitungszeiten manueller Primäraufgaben, also der Montagetätigkeiten, erfasst und in dieser Arbeit als Unterstützungspotenzial bezeichnet.

Beanspruchungen oder Beeinträchtigung durch ergonomische Faktoren des Tragens am Körper nehmen für Wearable Devices einen zentralen Raum ein (z. B. Tümler, 2009). Sie

können sich aus erwarteten oder wahrgenommenen Stressoren und Risiken der Nutzung zusammensetzen (Brau, 2012) und die Zufriedenheit beeinträchtigen (z. B. Brau, 2012; Coursaris, Hassanein, Head & Bontis, 2012; DIN EN ISO 9241 - 11, 1998; Spagnolli, Guardigli, Orso, Varotto & Gamberini, 2014; Wille, 2016; Zobel et al., 2016). Daher wird die Beanspruchung (Workload, siehe Kapitel 2.3.3.2.1) bei Tätigkeiten unter Nutzung von Wearable Devices oft einhergehend mit dem Unterstützungspotenzial analysiert (z. B. Theis et al., 2015; Wille et al., 2014). Auch der Tragekomfort von Wearable Devices gilt als potenzielle Beeinträchtigung (Bryson, 2007; Knight & Baber, 2005; Stocker et al., 2016).

Die Wahrnehmung von Informationen auf Wearable Devices stellt eine Voraussetzung für deren Unterstützungspotenzial dar (z. B. Mustonen, Berg, Kaistinen, Kawai & Hakkinen, 2013), wodurch die Informationsverarbeitung sowie Unterbrechungen oder Ablenkungen von den Primärtätigkeiten zu den Evaluationskriterien für Wearable Devices zählen (Coursaris et al., 2012; Kolbeinsson, Thorvald & Lindblom, 2017; Okoshi et al., 2015). Insbesondere HMDs und Smartglasses können die Wahrnehmung und Informationsverarbeitung beeinflussen (Bai & Blackwell, 2012; Dünser et al., 2008; Rash, Russo, Letowski & Schmeisser, 2009; Wickens et al., 2013; Wille, 2016) und zu visuellen oder generellen Beschwerden, z. B. Ermüdung oder Kopfschmerzen, führen (Ames, Wolffsohn & McBrien, 2005; Kampmeier et al., 2007; Theis et al., 2015; Tümler, 2009; Wille, 2016). Im Hinblick auf den Einsatz von Wearable Devices als Arbeitsmittel sollten diese ergonomischen Faktoren beachtet werden, um deren Schädigungslosigkeit zu überprüfen (Brau, 2012; Hacker & Sachse, 2014; Schwerdtfeger, 2010; Tümler, 2009; Wille, 2016). Diese potenziell der Nutzung von Wearable Devices entgegenstehenden Faktoren werden in dieser Arbeit zusammenfassend als Nutzungsbarrieren bezeichnet.

Die Zufriedenheit mit einem System steht in Bezug zur Technikakzeptanz (Davis, 1989; Hoehle et al., 2016; Van der Laan, Heino & de Waard, 1997; Venkatesh et al., 2003). Diese beschreibt das Nutzungsverhalten bzw. die Bereitschaft der Anwender ein technisches System zu verwenden und wird durch die wahrgenommene Handhabbarkeit und Nützlichkeit für die Aufgabenbearbeitung sowie weitere Faktoren beeinflusst (Venkatesh et al., 2003). Die Akzeptanz stellt eine Voraussetzung des Unterstützungspotenzials von Wearable Devices dar, welche die Effektivität und Effizienz manueller Tätigkeiten nur beeinflussen, wenn sie auch von der Zielgruppe genutzt werden.

Charakteristika der Aufgaben, Anwender und Informationssysteme wirken sich auf das Unterstützungspotenzial (Bravo et al., 2014, 2015; Coursaris & Kim, 2011; Staples & Seddon, 2004) und die Akzeptanz (Gebauer & Tang, 2007; Hollingsworth, 2015) von Systemen der Informationsassistenten aus. Ergonomische Nutzungsbarrieren könnten das Unterstüt-

zungspotenzial oder die Akzeptanz beeinträchtigen, was sich bei Wearable Devices jedoch primär auf informale Berichte und Annahmen stützt (z. B. Brau, 2012; Buenaflor & Kim, 2013; Coursaris et al., 2012; Gribel, Regier & Stengel, 2016; Seeling, 2015; Tümler, 2009; Zobel et al., 2016). Daraus resultieren konzeptionelle und empirische Zusammenhänge zwischen Gebrauchstauglichkeit und Technikakzeptanz (Coursaris et al., 2012; Hoehle et al., 2016; Wixom & Todd, 2005). Um Wearable Devices als Arbeitsmittel zu bewerten erscheinen daher mehrdimensionale Evaluationsansätze der Kategorien Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz unter Berücksichtigung des Montagekontextes, anwendungsbezogener Aufgaben sowie der Zielgruppe der Montagemitarbeiter zielführender als unidimensionale oder kontextferne Laborstudien (Brau, 2012; Coursaris & Kim, 2011; Pasher et al., 2010; Sarodnick & Brau, 2011; Venkatesh, Brown & Bala, 2013; Wille, 2016). In Kombination sollten diese Faktoren zur Evaluation von Wearable Devices zur Informationsassistentz beitragen. In der bisherigen Forschung wurden diese zwar einzeln, doch nicht in Verbindung für Wearable Devices erfasst oder ausschließlich informal berichtet, sodass sich aus dem Forschungsstand keine umfassenden Einschätzungen ableiten lassen.

Die Anpassung von Assistenzsystemen an Anwendungsbedingungen der Automobilmontage sowie Charakteristika der Montagemitarbeiter und -aufgaben beeinflusst deren Gebrauchstauglichkeit zur effizienten, effektiven und zufriedenstellenden Bearbeitung der Montageaufgaben, die sie unterstützen sollen. Da die bisherige Forschung einerseits aus formalen Evaluationen im Laborkontext mit Nichtanwendern (z. B. Studierenden) und geringem Anwendungsbezug (z. B. Wille, 2016) und andererseits aus informalen, wenig aussagekräftigen Befragungen im Produktionsumfeld weniger (potenzieller) Anwender (z. B. Weber et al., 2016) besteht, resultiert eine Lücke formaler Evaluationen im Produktionsumfeld, die mit dieser Arbeit geschlossen werden soll. Inhaltlich ergeben die Kriterien der Gebrauchstauglichkeit mit Fokus auf die Besonderheiten von Wearable Devices und deren Einsatz zur Assistenz manueller Tätigkeiten die Evaluationskriterien der Unterstützungspotenziale (Effektivität und Effizienz der Montagetätigkeit mit Wearable Devices), der Zufriedenheit bzw. Akzeptanz sowie potenzielle ergonomische Nutzungsbarrieren. Die Dimension der Zufriedenheit beinhaltet demnach für oder gegen die Nutzung von Wearable Devices als Arbeitsmittel sprechende Faktoren und deren Beziehung zueinander. Im Folgenden wird der bisherige Forschungsstand zu Wearable Devices für die Montage auf den genannten Dimensionen anhand verschiedener Anwendungskonzepte und -aufgaben dargestellt.

2.3.3.1. Unterstützungspotenzial von Wearable Devices bei Montagetätigkeiten

Montageinstruktionen und deren Anzeige auf Wearable Devices können verschiedene Strukturierungen und Detailgrade aufweisen (z. B. Agrawala et al., 2003; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Thorvald, 2011). Da ein Informationskonzept nicht für alle Aufgaben geeignet ist, sind anwendungsspezifische Differenzierungen erforderlich (Wickens, 2000). Das Unterstützungspotenzial von Wearable Devices ergibt ein heterogenes Bild und hängt mit den Anwendungsfällen, bzw. unterstützten Aufgaben, und den dargestellten Informationen zusammen. Daher werden bisherige Erkenntnisse nach verschiedenen Anwendungsfällen bzw. Informationskonzepten eingeteilt, woran sich Unterschiede in Unterstützungspotenzialen und Evaluationsansätzen zeigen.

Abbildung 2.7 stellt Informationskonzepte und mögliche technische Assistenzkonzepte als Kontinuum abnehmender Detailgrade dar. Mit der Informationsreduktion steigt das erforderliche Vorwissen zu deren Interpretation, sodass sie für die Automobilmontage parallel zum Expertiseanstieg verläuft. Montageanleitungen werden im Assistenzkonzept *Assembly Guiding* dargestellt. Prozess- und Produktinformationen sind durch Konzepte der Informationsassistenz, wie *Auftragslisten* und *Hinweissignale*, darstellbar. Daraus ergeben sich die Assistenzkonzepte *Order Sequence Guiding*, *Pick-by-Vision* und *Order Attention Guiding*. *Order Sequence Guiding* visualisiert Prozessinformationen, also Handlungsschritte in der Montagereihenfolge. *Pick-by-Vision* gibt Sequenzierinformationen zur Teileauswahl an. Obwohl es sich an Logistik-Kommissionieraufgaben richtet, ist es auf die Montage übertragbar (Büttner et al., 2016) und kann sich auf Prozess- oder Produktinformationen beziehen. Produktinformationen sind bei variantenreichen Takten auf orderspezifische Informationen zur Variantenauswahl (Prozess B) oder auf Hinweise, dass Variationen vorliegen (Prozess C), reduzierbar, ohne nicht variiierende Teile anzuzeigen (vgl. Wickens, 2000). Die Ausgabe von Hinweissignalen, um die Salienz von Variationen zu erhöhen, wird als *Order Attention Guiding* bezeichnet. Die hier getrennt dargestellten Konzepte können fließend ineinander übergehen oder in Kombination auftreten (z. B. Kerber & Lessel, 2015; Maurtua, 2009; Nordin et al., 2010). Während sich Montageanleitungen deutlich von Prozess- und Produktinformationen unterscheiden, differenzieren sich letztere primär durch Reihenfolgeinformationen (Thorvald, 2011). Die Konzepte *Order Sequence Guiding* und *Order Attention Guiding* werden in dieser Arbeit zu bestehenden Konzepten hinzugefügt, da diese zuvor nicht klar definiert oder von anderen Assistenzkonzepten für Wearable Devices abgegrenzt wurden.

Anschließend werden die Unterstützungspotenziale von Wearable Devices anhand der Assistenzkonzepte dargestellt. Da die Wahrnehmung von Informationen auf Wearable Devices eine Voraussetzung für ihr Unterstützungspotenzial darstellt, wird sie im Rahmen

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

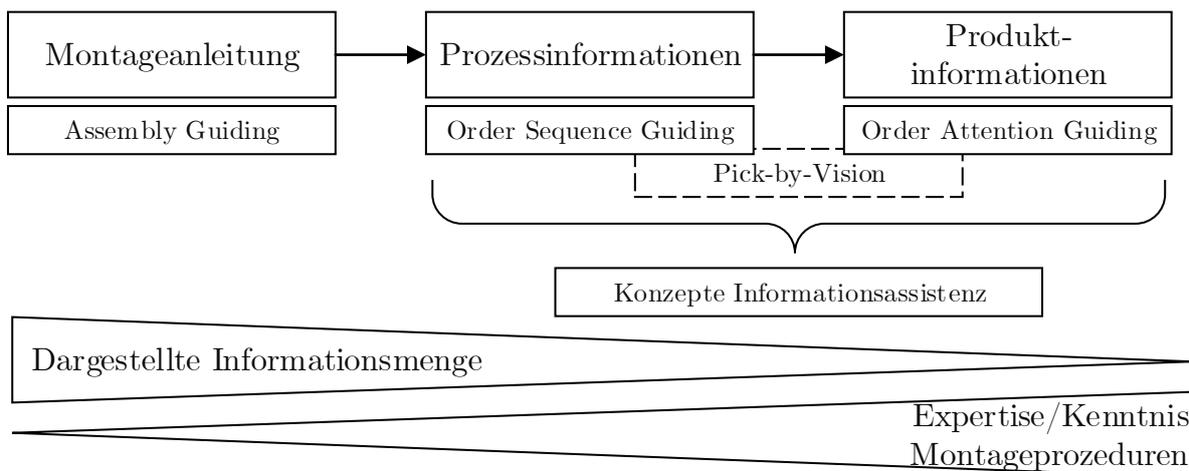


Abbildung 2.7. Spezifizierungen von Montageinformationen anhand der Informationsmenge und Anwenderexpertise.

der Assistenzkonzepte aufgeführt. Insgesamt sind die heterogenen Studien aufgrund verschiedener Endgeräte, Automatisierungsgrade, Visualisierungs-, Bedien- und Informationskonzepte sowie Montageaufgaben und Evaluationsansätze nur eingeschränkt vergleichbar. Bspw. beeinflussen Gerätefaktoren (z. B. Entwicklungsstand, Bedienkonzepte, Lag) die Unterstützungspotenziale (Wille & Wischniewski, 2015). Evaluationen von HMDs und Smartglasses sind verbreiteter als Smartwatches o. ä. Unterarm-Displays ohne, dass direkte Vergleiche zwischen beiden Geräteklassen vorliegen. Auf Basis des Forschungsstandes zum Unterstützungspotenzial werden Assistenzkonzepte zur Evaluation in der variantenreichen Automobilmontage ausgewählt.

2.3.3.1.1. Assembly Guiding

Als Assembly Guiding wird die Darstellung text- und bildbasierter Montageanleitungen (z. B. Möbel-Bauanleitungen, Schaltpläne) durch Wearable Devices (z. B. Büttner et al., 2016; Nakanishi & Sato, 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016; Wille et al., 2014) oder AR Systeme (z. B. Aehnelt & Bader, 2015; Bleser et al., 2015; Fite-Georgel, 2011; Funk et al., 2016; Henderson & Feiner, 2011; Nee et al., 2012; Ong et al., 2008; Pirvu et al., 2016; Regenbrecht, Baratoff & Wilke, 2005; Stork & Schubö, 2010; Wang, Ong & Nee, 2016a, 2016b; Yang et al., 2016) bezeichnet, um Anwender durch die Montage unbekannter Werkstücke oder Konfigurationen zu leiten. Es richtet sich primär an die hochindividualisierte Montage (Prozess D), z. B. die Unikatfertigung oder Manufaktur und wird nicht als Anwendungsfall für die Serienproduktion vorgesehen (z. B. Stork & Schubö, 2010; Wiedenmaier et al., 2003).

Assembly Guiding das verbreitetste montagebezogene Evaluationsszenario für Wearable Devices, v. a. HMDs (z. B. Nakanishi & Sato, 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016). Smartwatches sind dabei kaum repräsentiert. Für Assembly Guiding sind formale und methodisch belastbare Evaluationsstudien im Laborcontext mit anwendungsfernen Montageaufgaben (z. B. Lego) und -stichproben verbreitet. Evaluationsszenarien für Assembly Guiding beinhalten primär die Bearbeitung von Montageaufgaben mit HMDs oder Smartglasses an Tischen, in sitzenden oder stehenden Positionen, im Vergleich zu uneingeschränkt einsehbaren Referenzmedien.

Entscheidend für das Unterstützungspotenzial von Assembly Guiding Montageanleitungen erscheint deren eindeutige Interpretierbarkeit, die von Visualisierungen und Anzeigesystemen beeinflusst wird (z. B. Büttner et al., 2016; Nakanishi & Sato, 2015; Radkowski, 2015; Wang, Ong & Nee, 2016b). Assembly Guiding kann sich bei der initialen Ausführung auf Montagefehler, die Teileauswahl oder Positionierung am Werkstück sowie Reihenfolge- oder Auslassungsfehler, Folgefehler und Bearbeitungszeiten (z. B. Büttner et al., 2016; Tang et al., 2003) oder die Lernleistung beim Montagetraining auswirken (z. B. Gavish et al., 2013). Nachfolgend werden die Wahrnehmung von Informationen auf HMDs ohne Anwendermobilität und daraufhin Assembly Guiding für die initiale Ausführung und zum Montagetraining dargestellt.

Informationswahrnehmung auf HMDs in Ruhepositionen. Die Bearbeitung von Montageaufgaben mit Assembly Guiding auf HMDs erfordert die Wahrnehmung der Montageanleitung parallel zur, i. d. R. nicht mobil ausgeführten, manuellen Tätigkeit (z. B. Theis et al., 2015). Obwohl HMDs im Sichtfeld zuverlässig wahrnehmbar sein sollten (Wickens, 2014), zeigen formale, standardisierte Labor-Evaluationen Wahrnehmungseinschränkungen im Vergleich zu Monitoren und Einflüsse des Displaytyps (Huckauf et al., 2010; Mustonen et al., 2013; Schega et al., 2014; Wille, 2016; Wille et al., 2014; Yeh & Wickens, 2001; Yeh et al., 2001; Zheng et al., 2015). Beim Aufmerksamkeitswechsel zwischen HMD und Monitor können Wechselkosten bezüglich Wahrnehmung und Bearbeitungszeit auftreten (Huckauf et al., 2010; Schega et al., 2014). Demnach ist die Fähigkeit eingeschränkt, die Aufmerksamkeit zwischen HMD und anderen Informationsträgern oder manuellen Aufgaben zu teilen (Rash et al., 2009; Yeh et al., 2001; Young, Stephens, Stephan & Stuart, 2016). Auch können Nebenaufgaben mit Smartglasses (z. B. Lesen, Systemeingaben) die Leistung in kognitiv beanspruchenden Hauptaufgaben (z. B. Fahraufgaben) erheblich einschränken (He, Choi, McCarley, Chaparro & Wang, 2015; Sawyer, Finomore, Calvo & Hancock, 2014; Young et al., 2016). Die Einschränkungen mit Smartglasses sind jedoch zumeist geringer als bei der Nutzung von Handheld Devices

(ebd.). Dies zeigt, dass die Wahrnehmung von HMDs in Ruhepositionen eingeschränkt sein kann, was jedoch Einflüssen von Displaytypen, Referenzmedien, Aufgaben und der Interaktionsgestaltung unterliegt.

Assembly Guiding für die initiale Ausführung. Für Assembly Guiding werden HMDs und Smartglasses primär unter der Fragestellung evaluiert, wie sich deren Nutzung auf die Anwender bzw. die einmalige Ausführung unbekannter Montageaufgaben im Vergleich zu Referenzmedien auswirkt. Unter optimalen Laborbedingungen zeigten sich bei z. T. mehrstündigen Montageaufgaben keine Unterschiede oder erhöhte Bearbeitungszeiten bzw. Montagefehler mit AV-HMDs gegenüber im Arbeitsbereich verfügbaren Papierlisten, Tablets oder Monitoren (z. B. Büttner et al., 2016; Kunze, Wagner, Kartal, Morales Kluge & Lukowicz, 2009; Tang et al., 2003; Theis et al., 2015; Wille et al., 2014; Wille & Wischniewski, 2015; Witt & Kluge, 2008; Zheng et al., 2015). Die (geringere) Ausführungsleistung mit HMDs könnte mit dem Aufmerksamkeitswechsel zwischen Anleitung und Werkstück (z. B. Schega et al., 2014), der Displaytechnologie (Theis et al., 2015; Wille & Wischniewski, 2015; Zheng et al., 2015), der Bedienkonzepte (Kunze et al., 2009) oder dem Instruktionsmaterial und der Interpretierbarkeit komplexer AV-Visualisierungen zusammenhängen (z. B. Nakanishi & Sato, 2015). Bspw. fanden Wille & Wischniewski (2015) höhere Bearbeitungszeiten mit industriellen LA-HMDs und ST-Smartglasses als mit Tablets. Odenthal, Mayer, Kabuß & Schlick (2014) hingegen zeigten Fehlerreduktionen bei visuellen Kontrollaufgaben mit ST-HMDs ohne Aufmerksamkeitswechsel im Vergleich zu Monitoren mit leichter Kopfdrehung. Weitere Einflüsse der Visualisierung zeigen sich bei AR-Assembly Guiding. Im Fokus der Aufmerksamkeit stehende AR-Visualisierungen weisen oft, doch nicht immer (z. B. Petersen & Stricker, 2015; Syberfeldt et al., 2015), höhere Unterstützungspotenziale im Vergleich zu Monitoren ohne AR (z. B. Stork & Schubö, 2010), Papierinstruktionen oder AV-HMDs auf (z. B. Büttner et al., 2016; Hou, Wang & Truijens, 2015; Tang et al., 2003). Demnach sollten die Anforderungen der Aufgaben und die Instruktionsgestaltung übereinstimmen (Nakanishi, Taguchi & Okada, 2010).

Der derzeitige Forschungsstand spricht eher gegen Assembly Guiding mit AV-Smartglasses zur Assistenz der initialen Ausführung, zumal sich die Arbeitsbedingungen der variantenreichen Automobilmontage von den Assembly Guiding Szenarien unterscheiden. Soll nicht kontinuierlich nach Instruktionen gearbeitet, sondern die intuitive Automobilmontage gelernt werden, bieten Instruktionen von Trainern höhere Unterstützungspotenziale als AR- oder AV-HMDs (Li et al., 2016; Wiedenmaier et al., 2003). Daher scheint Assembly Guiding mit AV-Smartglasses zur Assistenz der intuitiven Automobilmontage nach aktuellem Forschungsstand kaum Unterstützungspotenzial zu bieten.

Assembly Guiding für das Montagetraining. Zur Assistenz des Montagetrainings schließen sich der initialen Ausführungsleistung mit Wearable Devices die Fragen an, wie sich deren Nutzung auf das Lernen und den Transfer zur selbstständigen Montage ohne Assistenz auswirkt (Eiriksdottir & Catrambone, 2011; Yuviler-Gavish, Yechiam & Kallai, 2011). Wie sich verschiedene Montageassistenzsysteme auf das Lernen von Montageaufgaben auswirken wird in formalen Evaluationsstudien oft durch das Lernen mit Systemnutzung und Leistungstests ohne Assistenz erfasst. Technische Systeme, die Lernen durch Handlung beinhalten, führen in im Test ohne Assistenz zu einer höheren Leistung als Systeme, die auf Beobachtungslernen basieren (z. B. Borsci, Lawson, Jha, Burges & Salanitri, 2016; Borsci, Lawson, Salanitri & Jha, 2016; Gavish et al., 2013; Hsu & Hwang, 2014; Langley et al., 2016). Andere Evaluationsansätze basieren auf der Erfassung von Lernkurven bei wiederholter Systemnutzung (z. B. Hou, Wang, Bernold & Love, 2013; Li et al., 2016). Das Verhältnis zwischen der individuellen Leistung mit und ohne Systemnutzung wird nicht thematisiert.

Inwiefern sich die Leistung mit Systemnutzung vom Transfer zur selbstständigen Montage ohne Assistenz, bspw. beim Übergang vom unterstützten Training zur intuitiven Montage oder bei Systemausfällen, unterscheidet ist weitestgehend ungeklärt. Parasuraman et al. (2000) betonen, dass Systeme der Informationsassistenz zwar die initiale Ausführungsleistung steigern, doch Funktions- oder Nutzungsabbrüche in Leistungseinbußen resultieren können. Wurde zuvor mit einem System gearbeitet, können beim Nutzungsabbruch höhere Ausführungsfehler und Bearbeitungszeiten auftreten als bei vorheriger Ausführung ohne Systemnutzung (Bravo Orellana, 2015; Parasuraman et al., 2000; Yuviler-Gavish et al., 2011). Evidenz für Einflüsse der Nutzung und des Nutzungsabbruchs visueller Assistenzsysteme auf die Lernleistung zeigten Yuviler-Gavish et al. (2011) formal in einer montageähnlichen Laboraufgabe. Bei der initialen Ausführung führten verbale Instruktionen mit visueller Hervorhebung von Bauteilen und Positionen zu einer höheren Leistung als rein verbale Instruktionen. Beim anschließenden Test ohne Systemnutzung drehte sich der Effekt um sodass die Leistung bei vorheriger visueller Unterstützung gegenüber verbalen Instruktionen reduziert war. Dies zeigt, dass sich Teilnehmende auf die Assistenz verließen und diese die Lernleistung inhibierte (Yuviler-Gavish et al., 2011). Maurtua (2009) verglich die HMD-Nutzung zur mobilen Montage einer Übungskarosse mit der anschließenden Ausführung ohne Assistenz informal und deskriptiv in methodisch wenig belastbaren Studien. In einem Automobilmontage-Trainingszentrum wurde die initiale Ausführungsleistung mehrerer Gruppen mit Assistenz (HMD Assembly Guiding, Papierinstruktionen, Monitor im Sichtfeld) untereinander und mit der anschließenden Montage ohne Assistenz verglichen. Sowohl mit als auch ohne Assistenz war die Leistung

der HMD-Gruppe gegenüber den Referenzgruppen reduziert, was jedoch mit dem technischen Entwicklungsstand des HMDs oder der Instruktionskomplexität zusammenhängen könnte (vgl. Kreft et al., 2010; Matysczok & Maurtua, 2008; Maurtua, 2009; Maurtua, Unceta & Pérez, 2007). Aufbauend auf diesem Ansatz könnte eine konzeptuelle, formale Replikation des Versuchsdesigns von Maurtua (2009) zur Analyse der Assistenz des Anlernens durch Wearable Devices, der Leistung ohne Nutzung und des Verhältnisses zwischen Nutzung und selbstständiger Ausführung beitragen. Durch den Leistungsvergleich zwischen Systemnutzung und anschließendem Test ohne Assistenz könnte auf zugrundeliegende Lernprozesse geschlossen und Einflüsse von Unterbrechungen der Assistenz auf die Qualität ermittelt werden (Eiriksdottir & Catrambone, 2011; Yuviler-Gavish et al., 2011).

Obwohl Assembly Guiding einen zentralen Anwendungsfall für hochindividualisierte Montagekontexte und zur Evaluation von HMDs darstellt, entspricht es nur bedingt den Anforderungen der variantenreichen Automobilmontage. Es bildet die erste Phase des Trainings zum Erlernen der Bauteilhandhabung ab, die in der Praxis Trainer demonstrieren. Im späteren Verlauf des Anlernens wird die Bauteilhandhabung durch Repetition trainiert und die Einhaltung der Reihenfolgen sowie die Beachtung von Bauteilvarianten, also Prozess- und Produktinformationen, treten in den Vordergrund. Daher und aufgrund des geringen Unterstützungspotenzials von Assembly Guiding mit AV-HMDs stellt sich die Frage inwiefern alternative Informationskonzepte wie Order Sequence Guiding (s. u.) das Lernen unterstützen können. Zusätzlich zur Evaluation von Smartglasses könnten Smartwatches Erkenntnisse über mobile Informationen außerhalb des Sichtfeldes liefern. Die Frage, wie sich die Systemnutzung und der Nutzungsabbruch auf die Leistung auswirken, erscheint hingegen als zentral für Training und Produktion. Daher soll dieser Ansatz im Rahmen dieser Arbeit auf Prozessinformationen übertragen und für Wearable Devices beantwortet werden.

2.3.3.1.2. Order Sequence Guiding

Die Interpretation von Prozess- und Produktinformationen, die Bauteile oder Aufgabenblöcke der Fahrzeugvarianten darstellen ohne deren Montage zu visualisieren setzt Grundkenntnisse der Bauteilmontage voraus (z. B. Thorvald et al., 2014). Die Anzeige solcher Informationen auf Wearable Devices wird im Rahmen dieser Arbeit, zur Abgrenzung von Assembly Guiding, als Order Sequence Guiding bezeichnet. Dabei steht der ortsunabhängige Zugriff auf takt- bzw. fahrzeugspezifische Informationen als Gedächtnisstütze während mobiler Montagetätigkeiten im Vordergrund (Bayen et al., 2013; Thorvald

et al., 2014). Diese Auftrags- bzw. Checklisten zählen zu den Konzepten der Informationsassistenten (Parasuraman et al., 2000).

Die mobile Verfügbarkeit von Auftragslisten sollte den Aufwand der Informationsbeschaffung und die Anforderung, sie im Gedächtnis zu halten reduzieren und so ihre Wahrnehmung und Nutzung erhöhen (vgl. Dix et al., 2004; Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Ihre Verfügbarkeit während der Montage (Fast-Berglund et al., 2013) oder des Anlernens (Jeske et al., 2013) kann das Bewusstsein über zu erfüllende Aufgaben unterstützen (Wickens, 2000) und zur Prävention von Slips und Lapses bzw. Varianten- und Sequenzfehlern beitragen (z. B. Bayen et al., 2013; Degani & Wiener, 1993; Thorvald et al., 2014; Wickens et al., 2013). Die Schritt-für-Schritt Darstellung kann sich im Vergleich zu vollständigen Listen positiv auf die Leistung auswirken (Heiser, Phan, Agrawala, Tversky & Hanrahan, 2004; Stork & Schubö, 2010; Stork, Stöbel & Schubö, 2008). Ihre mobile Nutzung setzt die Wahrnehmung der Informationsträger bei Bewegung voraus, wobei die Forschung HMDs doch kaum Smartwatches thematisiert.

Informationswahrnehmung auf HMDs in Bewegung. Die Nutzung von Smartglasses während des Gehens kann die Informationsverarbeitung im Vergleich zum Sitzen sowie die Geschwindigkeit des Gehens beeinträchtigen (Mustonen et al., 2013; Woodham, Billinghurst & Helton, 2016). Woodham et al. (2016) verglichen die Wahrnehmung von Worten auf Smartglasses beim Klettern und im Sitzen. Zum Lesen der Worte sank die Klettergeschwindigkeit und es wurden weniger Worte wahrgenommen als im Sitzen. Harrison, Thompson & Sanderson (2010) zeigten, dass visuelle Signale auf HMDs beim Gehen weniger mit Umgebungssignalen koordiniert werden. Physische Nebenaufgaben schränken die Informationsverarbeitung mit HMDs stärker ein als kognitive (Thompson, Tear & Sanderson, 2010). Dies zeigt, dass die Wahrnehmung von Smartglasses während der mobilen Nutzung überprüft werden sollte.

Order Sequence Guiding auf Wearable Devices. Mobile Auftragslisten auf Smartglasses oder Smartwatch-ähnlichen Displays bieten durch ihre flexiblere Verfügbarkeit als stationäre Systeme diverse Anwendungsszenarien für Produktionsaufgaben, z. B. Prüfpunkte zur Qualitätskontrolle (z. B. Stocker et al., 2016), zur Dokumentation (z. B. Aromaa et al., 2016; Quint & Loch, 2015) oder zur Anzeige von Arbeitsschritten für mobile Wartungs- oder Montagetätigkeiten (z. B. Brandenburg et al., 2016; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010; Rauh, Zsebedits, Tamplon, Bolch & Meixner, 2015; Thorvald et al., 2014). Die Mehrheit dieser Publikationen beinhaltet zwar informale, narrativ berichtete Erkenntnisse aus der Erprobung solcher Systeme, doch keine formalen Evaluationen. Bspw. entwickelten Makris et al. (2015) und Nordin et al. (2010) Systeme zur automatisierten,

fahrzeugspezifischen Anzeige von Prozess- und Produktinformationen für die Automobilmontage. Makris et al. (2015) halbierten nach eigenen Angaben die Suchzeiten von Montageinformationen gegenüber Papierordnern, gaben jedoch keine Daten an. Nordin et al. (2010) gaben Prozessinformationen stationärer Monitore sowie Hinweissignale bei Arbeitsschritten mit Fehlerhistorie pro Fahrzeug auf einem Unterarm-Display aus. Nach kurzen Produktionstests berichteten sie narrativ, die Darstellung aller Arbeitsschritte auf dem Display würde als unübersichtlich, die Alarmierung hingegen positiv bewertet. Die Mitarbeiter schlugen die salientere Hervorhebung von Prozessvarianten und das Auslassen repetitiver Arbeitsschritte vor (vgl. Fässberg, 2012; Nordin et al., 2010; Thorvald, 2011). Das Unterstützungspotenzial dieses Systems wurde von Thorvald et al. (2014) ohne Hinweissignale formal in einer Laborstudie mit kleiner Studierendenstichprobe evaluiert. Prozessinformationen auf Unterarm-Displays senkten Varianten- und Sequenzfehler bei einer variantenreichen Montageaufgabe an einer simulierten Holz-Karosserie signifikant im Vergleich zur Anzeige auf einem stationären Monitor, ohne Bearbeitungszeiten zu beeinflussen. Trotz eingeschränkter Übertragbarkeit und kleiner Stichprobe zeigen sich formal Unterstützungspotenziale von Order Sequence Guiding mit Smartwatch-ähnlichen Displays. Jedoch liegen weder formale Evaluationen im Produktions- oder Trainingskontext noch Vergleiche zwischen am Arm und im Sichtfeld angezeigten Informationen vor. Trotz einiger informaler Machbarkeitsstudien steht die formale Evaluation dieses Ansatzes im Montagekontext aus.

Durch mobil verfügbare Auftragsinformationen sollte Order Sequence Guiding auf Wearable Devices gemäß des SEEV-Modells die Informationswahrnehmung steigern (Wickens, 2014) und die Wahrscheinlichkeit von Ausführungsfehlern senken (Reason, 1990). Order Sequence Guiding ist direkt auf die variantenreiche Automobilmontage übertragbar, da bereits im Prozess genutzte und auf stationären Informationsträgern dargestellte Prozessinformationen (Case et al., 2008; Nordin et al., 2010) auf Wearable Devices darstellbar sind. Dies könnte sowohl zur Assistenz der routinierten Montage als auch des Anlernens beitragen. Aus bisherigen informellen Studien geht jedoch nicht hervor, wie das Konzept Experten oder das Training von Montagesequenzen im Produktionskontext unterstützt. Auch bleibt offen, wie sich Funktions- oder Nutzungsabbrüche auf die Ausführungsqualität auswirken. Daher wird Order Sequence Guiding als zentraler Anwendungsfall der Informationsassistenz durch Wearable Devices betrachtet, um die Auswirkungen von Nutzungsabbrüchen ergänzt und im Rahmen dieser Arbeit evaluiert.

2.3.3.1.3. *Pick-by-Vision*

Die textbasierte oder schematische Darstellung von Sequenzierinformationen auf Wearable Devices, v. a. HMDs, wird primär für die Kommissionierung zum Zusammenstellen von Bauteilsets in der Logistik erforscht und als Pick-by-Vision bezeichnet (Günthner et al., 2011; Rammelmeier et al., 2012). Sequenzier- und Montageinformationen können ineinander übergehen, z. B. zur Bauteilauswahl anhand von Ordnernummern (Prozess B), wobei diese bei der Montage nur eine Teilaufgabe darstellt. Da bei Pick-by-Vision die sequenzielle Abarbeitung orderspezifischer Auftragslisten im Vordergrund steht, kann es dem Konzept Order Sequence Guiding zugeordnet werden. Beide unterstützen die freihändige Abarbeitung von Auftragslisten während mobiler Tätigkeiten. Da Pick-by-Vision für Kommissionieraufgaben ohne Montagekomponenten evaluiert wird, sind die Konzepte getrennt dargestellt.

Pick-by-Vision wird meist mit HMDs oder Smartglasses formal im Labor oder informal in der Logistik evaluiert (z. B. Baumann, 2013; Wölflé, 2014). Im Labor zeigen HMDs und Smartglasses überwiegend höhere Unterstützungspotenziale zur Zeit- bzw. Fehlerreduktion als Papierlisten, stationäre Monitore oder andere Referenzmedien (z. B. Baumann, 2013; Guo et al., 2014; Guo et al., 2015; Rammelmeier et al., 2012; Reif et al., 2010; Schwerdtfeger, 2010; Tümmler, 2009; Weaver, Baumann, Starner, Iben & Lawo, 2010; Wölflé, 2014; Wu, Wu & Chang, 2016; Wu et al., 2015). Guo et al. (2015) zeigten, dass sich monokulare LA-Smartglasses positiver auf die Leistung auswirken als ST-Smartglasses, was der Leistungsreduktion mit LA- gegenüber ST-HMDs beim Assembly Guiding von Theis et al. (2015) widerspricht. Unterschiedliche Visualisierungs- und Bedienkonzepte oder additive Automatisierungen (z. B. Wu et al., 2016) reduzieren zwar die Vergleichbarkeit, zeigen aber überwiegend hohe Unterstützungspotenziale sowie geringere Beanspruchungen mit Smartglasses gegenüber Referenzinformationsträgern.

Pick-by-Vision wird im Rahmen dieser Arbeit dem Konzept Order Sequence Guiding zugeordnet. Pick-by-Vision wurde intensiver formal evaluiert als Order Sequence Guiding und zeigt relativ konsistent positive Unterstützungspotenziale zur mobilen Kommissionierung. Trotz unterschiedlicher Einsatzbedingungen weist dies auf Potenziale von Order Sequence Guiding zur Assistenz mobiler Montagetätigkeiten hin. Während bei der Evaluation von Order Sequence Guiding Smartwatch-ähnliche Displays im Vordergrund stehen, fokussiert Pick-by-Vision HMDs und Smartglasses. Vergleiche zwischen verschiedenen Wearable Devices und die kontextspezifische Evaluation von Order Sequence Guiding stehen bisher aus.

2.3.3.1.4. *Order Attention Guiding*

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Assistenzkonzept, die Aufmerksamkeit durch saliente Bottom-Up-Hinweissignale auf spezifische Ereignisse einer Montagesequenz zu lenken (z. B. Sonderausstattungen, Prozess C), als Order Attention Guiding bezeichnet (Brunyé et al., 2008; Lu et al., 2011; Sarter, 2013; Sarter, 2006; Wickens et al., 2011; Wickens, 2000, 2014). Attention Guiding bezeichnet die Steigerung der Informationswahrnehmung nach dem SEEV-Modell (Wickens et al., 2013). Demnach bezieht sich Order Attention Guiding auf die Steigerung der Wahrnehmung orderspezifischer Montageanforderungen (z. B. Bauteilvarianten) und soll zur Unterscheidung seltener Variationen vom Routineprozess beitragen (Wickens, 2000). Hinweissignale können bei der Anzeige von Prozess- oder Produktinformationen für den gesamten Verbauumfang am Takt (z. B. Nordin et al., 2010) oder ausschließlich für spezifische Ereignisse ohne die Anzeige von Routineaufgaben eingesetzt werden (vgl. Kolbeinsson et al., 2017; Schultheis, 2015). In dieser Form wurde das Konzept noch nicht für Wearable Devices zur Informationsassistenz in der Montage evaluiert. Daher wird zunächst auf Unterstützungspotenziale von Hinweissignalen und anschließend auf Wearable Devices und verwandte Konzepte in der Montage eingegangen.

Unterstützungspotenzial und Wahrnehmung von Hinweissignalen. Externe Erinnerungshilfen und Hinweissignale zählen zu den Konzepten der Informationsassistenz (Parasuraman et al., 2000). Sie unterstützen die Ausführung von Aufgaben, welche von der Routine abweichen (Loft, Smith & Bhaskara, 2009; Loft, Smith & Remington, 2013), Zusatzaufgaben (Hopp-Levine, Smith, Clegg & Heggstad, 2006) und die Einhaltung der Reihenfolge von Aufgabensequenzen (Bayen et al., 2013). Hinweissignale sollten zuverlässig wahrnehmbar sowie eindeutig interpretierbar sein und sich nicht negativ auf die Leistung in Primäraufgaben auswirken (Sarter, 2013). Auditiv und taktile Modalitäten können die Salienz und die Wahrnehmung von Reizen verstärken (Lu et al., 2011; Sarter, 2013). Ähnlich wie bei kollektiven (z. B. Monitor) und individuellen Informationsträgern (z. B. Wearable Devices) können kollektive (z. B. auditiv) und individuelle (z. B. taktil) Hinweissignale unterschieden werden (Sarter, 2013). Auditiv Signale führen bei dringlichen Unterbrechungen zu schnelleren Reaktionen und taktile Signale bei weniger dringlichen Unterbrechungen (Lu et al., 2011). Vibrotaktile Signale werden mit hoher Wahrscheinlichkeit wahrgenommen, wobei mehrere Signalvarianten unterscheidbar sind (Lee & Starner, 2010; Schultheis, 2015; Wang, Millet & Smith, 2016). Vibrotaktile Hinweissignale während Hauptaufgaben können zur schnelleren und zuverlässigeren Bearbeitung von Nebenaufgaben führen als ausschließlich visuelle Signale, ohne dass die Leistung in Hauptaufgaben beeinträchtigt wird (Hopp-Levine et al., 2006).

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Die Nähe zwischen Hinweis und Ausführung reduziert die Anforderungen, die Information (Dix et al., 2004) oder die Intention zur Abweichung von der Routine im Gedächtnis zu behalten (Loft et al., 2009; Loft et al., 2013) und erhöht so die Zuverlässigkeit der Ausführung entsprechender Aufgaben (Hopp-Levine et al., 2006). Besteht das Risiko, seltene Ereignisse wie Prozessvarianten zu übersehen (Wolfe et al., 2005), können saliente, multimodale Bottom-Up-Hinweissignale die Aufmerksamkeit zu einem spezifischen Zeitpunkt auf relevante Informationen lenken (Lu et al., 2011; Sarter, 2013; Sarter, 2006; Wickens et al., 2011). Hinweissignale können jedoch den Arbeitsfluss der Hauptaufgabe unterbrechen. Die Signalgestaltung und die Unterbrechungszeitpunkte können sich auf deren Wahrnehmung sowie die Leistung in Hauptaufgaben auswirken (Okoshi et al., 2015). Willkürliche Unterbrechungen von Haupttätigkeiten durch mobile Endgeräte können die Wahrnehmung reduzieren und die Beanspruchung gegenüber Signalen zwischen Teilaufgaben erhöhen (Afergan, Hincks, Shibata & Jacob, 2015; Okoshi et al., 2015; Rasche, Mertens, Schlick & Choe, 2015). Daher sind zeitlich an Aufgaben gebundene Signale vorzuziehen (Dix et al., 2004).

Signalwahrnehmung bei Wearable Devices. Die Einschränkungen der Informationsverarbeitung mit Smartglasses bei Bewegung (Mustonen et al., 2013; Woodham et al., 2016) können durch die Salienzsteigerung von Informationen mit auditiven Hinweissignalen reduziert werden (Woodham et al., 2016). Diese können die Aufmerksamkeit auf Informationen der Smartglasses lenken, auch wenn sie durch physische Aufgaben oder Bewegung beansprucht wird (Woodham et al., 2016). Die kontinuierliche Visualisierung des Anzeigefeldes von ST-Smartglasses für visuelle Hinweissignale kann deren Wahrnehmung parallel zu visuellen Hauptaufgaben unterstützen (Lauber, 2015), was für den Einsatz von LA-Displays spricht. Vibrotaktile Hinweissignale von Smartwatches werden zuverlässig identifiziert und unterschieden (Wang, Millet & Smith, 2016) und wahrscheinlicher wahrgenommen als Hinweissignale auf Smartphones (Lee & Starner, 2010) wodurch schneller auf Smartwatches reagiert werden kann (Giang, Hoekstra-Atwood & Donmez, 2014). Die manuelle Bedienung von Smartwatches parallel zu visuellen Hauptaufgaben kann hingegen mehr Zeit erfordern als bei Smartphones (Giang et al., 2014), was vom Bedienkonzept beeinflusst wird (Samost et al., 2015).

Hinweissignale auf Wearable Devices im Montagekontext. Im Montagekontext werden individuelle Hinweissignale (Sarter, 2013) über Wearable Devices oft in Verbindung mit anderen Informationskonzepten oder Nebenaufgaben gesetzt und kaum formal evaluiert (z. B. Kolbeinsson et al., 2017; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010; Schultheis, 2015). Ihre Einflüsse auf die Zuverlässigkeit der Montage seltener Variationen wurden bisher

nicht betrachtet. Aufgrund diverser visueller, auditiver und vibrotaktiler Störsignale von Montageumgebungen (z. B. Werkzeuge, benachbarte Takte), ist die Evaluation der Wahrnehmung von Hinweissignalen unter möglichst vergleichbaren Bedingungen erforderlich (z. B. Schultheis, 2015).

Im Montagekontext werden individuelle vibrotaktile Hinweise auf Ausführungsfehler als angenehmer bewertet als kollektive auditive Signale (Funk et al., 2016). Kolbeinsson et al. (2017) verglichen formal verschiedene Alarmierungskonzepte zum Hinweis auf eine Mobilität erfordernde Nebenaufgabe während einer simulierten Fließbandmontageaufgabe. Dabei führten zufällige, eindringliche Unterbrechungen durch ein mobiles IKT-Gerät ohne Einschränkung der Montagequalität zur zuverlässigeren Bearbeitung der Nebenaufgabe als andere Unterbrechungsformen. Somit sollten Unterbrechungen der Montage durch Hinweissignale in zeitlicher Relation zur Variation der Aufgaben stehen (Dix et al., 2004; Reason, 1990) und dadurch zu direkten Reaktionen führen (Kolbeinsson et al., 2017). Weitere Einsätze von Hinweissignalen im Montagekontext wurden informal berichtet. Nordin et al. (2010) setzten Hinweissignale zusätzlich zu Prozessinformationen ein, um auf fehlerbehaftete Arbeitsschritte hinzuweisen. Makris et al. (2015) ermöglichten es Anwendern, Hinweise auf Arbeitsschritte selbst zu konfigurieren. Schultheis (2015) zeigte in Laborstudien die Wahrnehmbarkeit vibrotaktiler und visueller Alarmierungen bei simulierten Gefahrensituationen während der Montage. Die bisherige Forschung impliziert zwar Potenziale von Order Attention Guiding zur Fehlerreduktion in der Automobilmontage, liefert jedoch keine formalen Belege.

Hinweissignale auf Wearable Devices sollten theoretisch die Einschränkungen stationärer Informationsträger reduzieren (Sarter, 2013; Wickens et al., 2013) und die Wahrnehmung von Informationen unterstützen (Woodham et al., 2016). Da unregelmäßige Variationen in Montageprozess C eine hohe Fehlerquelle darstellen, könnten Hinweissignale zur Reduktion von Variantenfehlern beitragen (Reason, 1990; Wickens, 2014; Wolfe et al., 2005). Im Gegensatz zur Anzeige aller Montageaufgaben beim Order Sequence Guiding, soll Order Attention Guiding ausschließlich auf unregelmäßige bzw. variierende Bauteile oder Teilaufgaben hinweisen. Aufgrund der erwarteten Unterstützungspotenziale für seltene Ausstattungsvarianten (Prozess C) und der Forschungslücken soll Order Attention Guiding im Rahmen dieser Arbeit zur Informationsassistenz der variantenreichen Automobilmontage mit Wearable Devices evaluiert werden.

2.3.3.1.5. Zusammenfassung Unterstützungspotenzial

Zusammenfassend zeigen sich anhand verschiedener Assistenzkonzepte heterogene Unterstützungspotenziale von Wearable Devices. Die Assistenzkonzepte werden jeweils pri-

mär durch Smartglasses oder Smartwatches (o. ä.) abgebildet, die jedoch nicht verglichen werden. Assembly Guiding erscheint aufgrund der geringen Unterstützungspotenziale von AV-HMDs sowie der Unterschiede in den Instruktionen und Montageaufgaben derzeit nicht als zielführendes Assistenzkonzept für Wearable Devices in der variantenreichen Automobilmontage. Die Ursachen der geringen Unterstützungspotenziale sind kaum thematisiert, könnten jedoch mit den HMDs, der Instruktionsgestaltung oder den vorherrschenden nicht-mobilen Evaluationsdesigns zusammenhängen. Order Sequence Guiding und das konzeptuell ähnliche Pick-by-Vision setzen hingegen Grundkenntnisse der Ausführung (wie) voraus und vermitteln, welche Aufgaben zu bearbeiten sind (was). Deren mobile Evaluation im Laborkontext zeigt Unterstützungspotenziale zur Reduktion von Sequenzfehlern, es fehlen jedoch formale Evaluationen im Montage- oder Trainingskontext, um zu ermitteln, ob und wie sie zur Assistenz der Ausführung oder des Lernens von Montagetätigkeiten beitragen. Der Vergleich zwischen der Montage mit Wearable Devices und der anschließenden Ausführung ohne Assistenz könnte zur Analyse ihrer Effekte auf die initiale Ausführung und das Lernen beitragen. Aufgrund möglicher Unterstützungspotenziale und der konzeptionellen Nähe zu Informationskonzepten und Aufgabenstrukturen der variantenreichen Automobilmontage wird Order Sequence Guiding im Rahmen dieser Arbeit als Assistenzkonzept für Wearable Devices evaluiert. Das Konzept Order Attention Guiding bietet theoretisch hohe Unterstützungspotenziale zur Reduktion von Variantenfehlern durch Hinweissignale. Jedoch stehen Evaluationen im Produktionskontext und Vergleiche verschiedener Endgeräte und Signalbedingungen aus. Da bisherige formale Evaluationen von Informationskonzepten, die Order Sequence Guiding und Order Attention Guiding ähneln, primär im Labor mit unterschiedlichen Wearable Devices, Assistenzkonzepten und Studiendesigns durchgeführt wurden, bleibt unklar, ob und unter welchen Bedingungen sie die Automobilmontage unterstützen. Gegenstand dieser Arbeit ist demnach die Evaluation von Wearable Devices mit den Informationskonzepten Order Sequence und Order Attention Guiding in Training und Produktion, um die Dimensionen Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz zu verbinden und Lücken zwischen Labor und Praxis zu schließen.

2.3.3.2. Nutzungsbarrieren von Wearable Devices

Das Tragen von Wearable Devices am Körper kann diverse Einflüsse auf die Anwender ausüben. Zentrale Faktoren liegen in Beanspruchungen, visuellen oder generellen Beschwerden durch HMDs im Sichtfeld und dem Tragekomfort der Geräte. Da Montagetätigkeiten bereits mit Beanspruchungen und Empfindungen von Diskomfort im Muskel-Skelett-Apparat in Verbindung stehen (Jansen et al., 2013), sollten Wearable Devices

keinen bzw. minimalen zusätzlichen Workload, Beschwerden oder Diskomfort verursachen. Um diese Faktoren einzubinden, werden sie als potenzielle Nutzungsbarrieren von Wearable Devices betrachtet.

2.3.3.2.1. Workload beim Einsatz von Wearable Devices

Während der Tätigkeitsausführung wirken objektive physische und informatorische Belastungen auf den Organismus ein und lösen auf individuellen Ressourcen und Erfahrungen basierende physische oder mentale Beanspruchungen, auch als Workload bezeichnet, aus (vgl. Hacker & Sachse, 2014; Hart, 2006; Theis et al., 2015; Wickens et al., 2013). Zu niedrige oder zu hohe Belastungen, z. B. durch repetitive Montagetätigkeiten, können zu Fehlbeanspruchungen führen, welche die Aufmerksamkeitsleistung reduzieren und Fehlerisiken erhöhen (Hacker & Sachse, 2014). Die parallele Verarbeitung von Informationen oder Aufgaben unter Beanspruchung gleicher Ressourcen kann die mentale Beanspruchung (Wickens, 2008) und die Leistung negativ beeinflussen (Wickens, 2002). Verteilte oder redundante Informationen auf unterschiedlichen Modalitäten können sich positiv auf die mentale Beanspruchung und Leistung auswirken (Stork & Schubö, 2010; Wickens, 2008; Wickens, 2002; Wickens et al., 2013). Beanspruchungsindikatoren können sich in physiologischen und subjektiven Effekten und der Leistung (Fehler, Bearbeitungszeit) äußern und durch entsprechende Maße erfasst werden (Theis et al., 2015; Wickens et al., 2013). Zur Erfassung von Workload oder Beschwerden bei der Nutzung von HMDs sind multidimensionale subjektive Methoden verbreiteter als physiologische Maße, da letztere die subjektiven Beschwerden oft nur eingeschränkt abbilden (Kampmeier et al., 2007; Kawai et al., 2011; Nakanishi & Sato, 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016; Wille et al., 2014). Im Gegensatz zur Verbreitung formaler Evaluationen von HMDs liegen kaum Referenzen für Smartwatches vor.

Workload und Beschwerden bei der HMD-Nutzung. HMDs können diverse Einflüsse auf die visuelle Wahrnehmung ausüben (Huang, Alem & Livingston, 2013; Livingston, 2005; Patterson, Winterbottom & Pierce, 2006). Je nach Displaytyp, Gewicht und Ausmaß der Sichtfeldverdeckung (Böckelmann, Chegrynets, Mecke, Darius & Sánchez Márquez, 2015; Darius, Sánchez Márquez, Chegrynets, Mecke & Böckelmann, 2015; Moss & Muth, 2011; Theis et al., 2015) können HMDs zu einem erhöhten Workload (z. B. Wille, 2016), Akkommodationsschwierigkeiten zwischen Display und Umgebung (Reuss & Menozzi, 2002), Veränderungen der Tiefenwahrnehmung (Winterbottom, Patterson, Pierce, Covas & Winner, 2007) sowie visuellen Beschwerden, z. B. schmerzenden Augen (Ames et al., 2005; Theis et al., 2015; Tümler, 2009; Wille, 2016) oder okkulomotorischen Symptomen, Übelkeit und Desorientierung führen sowie Herzrate und Blutdruck beeinflussen

(Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993; Nalivaiko et al., 2015; Stanney, Kennedy & Drexler, 1997). Zudem wirken sich Displayeigenschaften auf Reaktionszeiten aus (Schega et al., 2014; Theis et al., 2015; Wille, 2016). Bereits nach kurzer HMD-Nutzung können visuelle (z. B. verschwommene Sicht) oder allgemeine (z. B. Kopfschmerzen) Beschwerden auftreten (Ames et al., 2005). Auch können industrielle HMDs zu Veränderungen der Körperhaltung, v. a. der Nackenmuskulatur, führen und Kopfbewegungen reduzieren (Knight & Baber, 2007; Theis et al., 2015), was sich jedoch nicht konsistent zeigt (Kampmeier et al., 2007).

Die Nutzung von HMDs kann zur Erhöhung von Workload, Ermüdung und Beschwerden führen (Kawai et al., 2011; Pfendler, Thun, Alexander & Schlick, 2011; Wille, 2016), es können keine Unterschiede auftreten (Kampmeier et al., 2007; Theis et al., 2015) oder der Workload kann bei HMD-Nutzung sinken (z. B. Guo et al., 2014). Diese Effekte könnten mit den HMDs (z. B. Gewicht, Auflösung), der Informationsgestaltung sowie den Assistenzkonzepten, Aufgaben und Referenzbedingungen zusammenhängen. Z. B. fanden Wille & Wischniewski (2015) für Assembly Guiding mit Smartglasses weniger Workload und Beschwerden als mit industriellen HMDs. Kawai et al. (2011) zeigten, dass aufgabenbezogene HMD-Informationen den Workload weniger erhöhten als Informationen ohne Aufgabenbezug. Guo et al. (2014) zeigten Workload-Reduktionen bei Pick-by-Vision mit HMDs gegenüber Standardmethoden.

Die Nutzung von HMDs oder Smartglasses für Assembly Guiding kann mit Workload-Anstiegen (z. B. Wille, 2016), für Pick-by-Vision in der Logistik hingegen mit Workload-Reduktionen einhergehen (z. B. Guo et al., 2014). Diese Differenzen könnten mit verschiedenen Faktoren zusammenhängen (z. B. HMD-Hardware, Gewicht, Assistenzkonzepte, Nutzungsdauer, Aufgaben), doch genaue Ursachen bleiben oft unklar. Auch liegen keine Analysen von Smartwatches vor, welche die HMD-Effekte nicht aufweisen sollten. Bei bereits stark beanspruchenden Montagetätigkeiten könnte die Relation zwischen dem Workload ohne und mit Wearable Devices Aufschlüsse über die Einflüsse der Assistenz geben (relativer Workload). Da Wearable Devices Montagemitarbeiter unterstützen statt zusätzlich beanspruchen sollen, werden in dieser Arbeit Beschwerden und Workload durch Wearable Devices erfasst.

2.3.3.2.2. Tragekomfort von Wearable Devices

Vink & Hallbeck (2012) definieren Komfort als angenehmen und Diskomfort als unangenehmen Zustand des menschlichen Körpers in Reaktion auf die Umgebung, wobei das Fehlen von Komfort nicht zu Diskomfort führt und umgekehrt. Beide resultieren aus der Interaktion mit einem Produkt am Körper, die durch Umweltfaktoren, Eigenschaften

der Person, des Produktes, der mit dem Produkt bearbeiteten Aufgaben und des Nutzungskontextes beeinflusst wird. Komfort und Diskomfort von Wearable Devices können durch deren Größe, Form, Sitz bzw. Befestigung am Körper, Bewegungseinschränkungen, Gewicht und, bei HMDs, den Displayeigenschaften, beeinflusst werden (Baber, Knight, Haniff & Cooper, 1999; Knight & Baber, 2005, 2007; Knight et al., 2006). Der Tragekomfort trägt zur Wahrnehmung der Geräte als Wearable oder Unwearable bei (Bryson, 2007) und wird mit Schädigungen durch die Geräte (Jadad, Fandino & Lennox, 2015) und somit auch potenziellen Beschwerden in Verbindung gesetzt. Auch Einflüsse auf die Körperhaltung stehen in Verbindung zum Diskomfort (Knight & Baber, 2007; Theis et al., 2015). Zudem können Diskomfort und die wahrgenommene Funktionalität von Wearable Devices zusammenhängen (Bodine & Gemperle, 2003). Er wird konzeptuell und informal als Einflussfaktor auf die Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices diskutiert, jedoch kaum formal geprüft (z. B. Bryson, 2007; Buenaflor & Kim, 2013; Jadad et al., 2015; Motti & Caine, 2014). V. a. für Wearable Devices als Arbeitsmittel steht die Analyse und Minimierung des Diskomforts stärker im Vordergrund als der Komfort. Daher soll dieses in formalen Evaluation unterrepräsentierte Nutzungskriterium in dieser Arbeit evaluiert werden.

2.3.3.2.3. Zusammenfassung Nutzungsbarrieren

Bei der Nutzung von Wearable Devices, v. a. HMDs, sind Anstiege von Workload, Beschwerden oder Diskomfort möglich. Aus ergonomischer Perspektive wird physiologischen oder subjektiven Auswirkungen der HMD-Nutzung eine hohe Bedeutung beigemessen. Für den Einsatz von Wearable Devices, v. a. HMDs, im Produktionskontext wird daher die Absicherung von Beanspruchungen und Beschwerden empfohlen (Theis, Pfendler & Alexander, 2016; Wille, 2016) und z. T. auch überprüft (z. B. Schwerdtfeger, 2010; Tümler, 2009). Formale Analysen beschränken sich primär auf Laborkontexte, in denen Aufgaben und Arbeitsumgebungen von Montagehallen nur eingeschränkt nachstellbar sind. In der Produktion werden potenzielle Beschwerden bei der HMD-Nutzung primär in informalen Berichten erwähnt und Smartwatches vernachlässigt, was zeigt, dass Forschungsbedarf zu Nutzungsbarrieren und zum Gerätevergleich besteht (z. B. Stocker et al., 2016). Grundsätzlich sollten Arbeitsgeräte nicht zu zusätzlichen ergonomischen Beeinträchtigungen für Mitarbeiter führen (Hacker & Sachse, 2014), weshalb Nutzungsbarrieren erfasst werden sollten. Zudem ermöglicht ihre Erfassung, sie perspektivisch durch Systemgestaltung zu reduzieren und ihre Auswirkungen auf die Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices zu analysieren.

2.3.3.3. Akzeptanz von Wearable Devices

Die Unterstützung der Tätigkeitsausführung durch Systeme der Informationsassistentz setzt deren Nutzung voraus. Der Akzeptanz von Wearable Devices durch Mitarbeiter wird eine hohe Bedeutung für deren Anwendung in Unternehmen beigemessen, damit sie zur Assistentz von Produktionsaufgaben genutzt und keine Widerstände oder ablehnendes Verhalten gegenüber den Neuerungen aufgebaut werden (z. B. Brau, 2012; Jost et al., 2017; Pasher et al., 2010; Teucke et al., 2017; Van der Laan, 1998). Die Technikakzeptanz bezeichnet das Ausmaß an Zustimmung oder Ablehnung gegenüber einem technischen System und die Bereitschaft es zu nutzen (Brau, 2012; Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003; Vishwanath, 2015). Sie kann auf Erwartungen im Vorfeld der Nutzung oder auf Erfahrungen der Systemnutzung beruhen (z. B. Brau, 2012; Davis, 1989; Van der Laan et al., 1997; Venkatesh et al., 2003), die zu unterschiedlichen Bewertungen führen können (z. B. Alapetite, Boje Andersen & Hertzum, 2009; Brown, Venkatesh & Goyal, 2012; Davis & Venkatesh, 2004; Lyons et al., 2016; Soscia, Arbore & Hofacker, 2011; Van der Laan et al., 1997). Bei mandatorischer Nutzung im Arbeitskontext kann die Akzeptanz die Arbeitsqualität positiv beeinflussen und Nutzungsfehler reduzieren (Buche, Davis & Vician, 2012), die Ablehnung kann zu geringer oder fehlerhafter Nutzung beitragen (z. B. Bala & Venkatesh, 2015; Brau, 2012; Burkolter, Weyers, Kluge & Luther, 2014). Brau (2012) sieht die Akzeptanz technischer Arbeitssysteme als individuellen Abwägungsprozess aus deren Nützlichkeit sowie subjektiven Risiken und Stressoren, die mit der Nutzung oder einhergehenden Veränderungen verbunden sind. Diese Abwägung wird vom Vertrauen und der Kommunikation der Einführungsprozesse beeinflusst. Daher empfiehlt Brau (2012) die Integration von Akzeptanzanalysen, bzw. Faktoren, die für oder gegen die Systemnutzung sprechen, in die Entwicklungs- und Einführungsprozesse im Arbeitskontext.

Durch Zusammenhänge zwischen der Gebrauchstauglichkeit technischer Systeme und deren Akzeptanz (Brau, 2012; Wixom & Todd, 2005) könnte die Identifikation akzeptanzfördernder und -hemmender Faktoren zur Systemanpassung an die Anforderungen der Anwender, Arbeitsprozesse und Organisation und so zur Akzeptanzsteigerung beitragen (Brau, 2012; Brauer, Fischer & Grande, 2015; Brown et al., 2012; Burkolter et al., 2014; Davis & Venkatesh, 2004; Van der Laan et al., 1997; Venkatesh, Thong & Xu, 2016). Durch Zusammenhänge zwischen Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz können sich Einfluss- bzw. Bewertungsfaktoren überschneiden (z. B. Davis & Venkatesh, 2004; Hoehle et al., 2016; Zobel et al., 2016). Zudem können identifizierte Faktoren die Entwicklung von Maßnahmen zur Begleitung der Einführungsprozesse von Wearable Devices in Unternehmen unterstützen (Bala & Venkatesh, 2015; Brau, 2012; Schade & Schlag, 2003; Verberne, Ham & Midden, 2012; Ziefle & Röcker, 2010).

Die Technikakzeptanz gilt als wesentlicher Faktor, ob und wie Wearable Devices von Montagemitarbeitern genutzt werden. Für Wearable Devices sind Einflüsse von Nutzungsbarrieren wahrscheinlich, doch kaum belegt. Die Technikakzeptanz kann durch verschiedene Ansätze erfasst und als Aspekt der Zufriedenheit bei der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit betrachtet werden. Daher werden im Anschluss Modelle der Technikakzeptanz, im Wesentlichen die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, dargestellt. Darauf aufbauend wird die Akzeptanzforschung zu Wearable Devices beleuchtet. Zur Berücksichtigung von Anwenderbedarfen und -kontexten der variantenreichen Automobilmontage werden zusätzliche Einflussfaktoren, insbesondere Nutzungsbarrieren, auf die Akzeptanz von Wearable Devices postuliert. Der Analyse der Akzeptanz durch die Nutzung von Wearable Devices schließt sich die Frage an, ob und wie Mitarbeiter ohne Systemkenntnisse von ihrer Erprobung überzeugt werden können. Falls Wearable Devices in die Montage eingeführt werden, sollte diese Zielgruppe durch die unternehmensinterne Kommunikation über die Neuerungen informiert werden. Daher wird ein Ansatz zur Gestaltung der Innovationskommunikation vorgeschlagen, der zur Beeinflussung der erwartungsbasierten Akzeptanz beitragen könnte. Die nachfolgenden Kapitel widmen sich diesen Themen in der genannten Reihenfolge.

2.3.3.3.1. Modelle der Technikakzeptanz

Modelle der Technikakzeptanz bieten theoretische Grundlagen und Modellbeziehungen zur formalen Evaluation der Akzeptanz von Wearable Devices im Arbeitskontext. Je nach Ansatz werden verschiedene Kriterien der Systemnutzung, wie die Nützlichkeit des Systems für spezifische Aufgaben und die Anwenderzufriedenheit, erfasst und zwischen Systemen oder Entwicklungsständen verglichen (Van der Laan et al., 1997) oder die Nutzungsintention bzw. das Nutzungsverhalten vorhergesagt (Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003). Die einflussreichsten Vorhersagemodelle der Technikakzeptanz sind das Technikakzeptanzmodell (TAM, Davis, 1989) und die daraus weiterentwickelte Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT, Venkatesh et al., 2003). Beide wurden für die individuelle Akzeptanz von IKT-Systemen entwickelt und bauen auf mehreren sozialpsychologischen Theorien auf, wobei die UTAUT mit etwa 69 % eine höhere Varianzaufklärung als das TAM aufweist (Venkatesh et al., 2016; Vishwanath, 2015). Die in der UTAUT postulierten Zusammenhänge sollen allgemeingültig für alle technischen Systeme (Venkatesh et al., 2003) und somit auch für Wearable Devices im Montagekontext gelten.

Abbildung 2.8 stellt die Modellzusammenhänge der UTAUT dar. Die erwartete Nützlichkeit, der erwartete Aufwand und der soziale Einfluss wirken auf die Nutzungsintention.

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Die Nutzungsintention und erleichternde Begleitumstände beeinflussen das Nutzungsverhalten. Die Nützlichkeit beinhaltet die Bewertung des Unterstützungspotenzials eines Systems für die Ziele der Anwender. Der erwartete Aufwand bezieht sich auf die Einfachheit bzw. den Aufwand die Systemhandhabung zu erlernen. Die erwartete Nützlichkeit und der erwartete Aufwand entsprechen den Konstrukten der wahrgenommenen Nützlichkeit und Handhabbarkeit des TAM (Davis, 1989) und stellen ebenfalls Bewertungskriterien der Gebrauchstauglichkeit dar (Hoehle et al., 2016; Hoehle & Venkatesh, 2015). Der soziale Einfluss bildet die Überzeugung ab, dass relevante Dritte die Systemnutzung befürworten. Erleichternde Bedingungen beinhalten Support oder Systemkenntnisse. Als Moderatoren können Geschlecht, Alter, Erfahrung mit dem System bzw. Nutzungskontext und die Freiwilligkeit der Nutzung, außer sie ist mandatorisch, auftreten (Venkatesh et al., 2003). Die Einflussfaktoren können auf Erwartungen oder Erfahrungen mit der Systemnutzung basieren (Khechine, Lakhal & Ndjambou, 2016; Kim & Crowston, 2011; Venkatesh et al., 2003; Venkatesh, Thong, Chan, Hu & Brown, 2011).

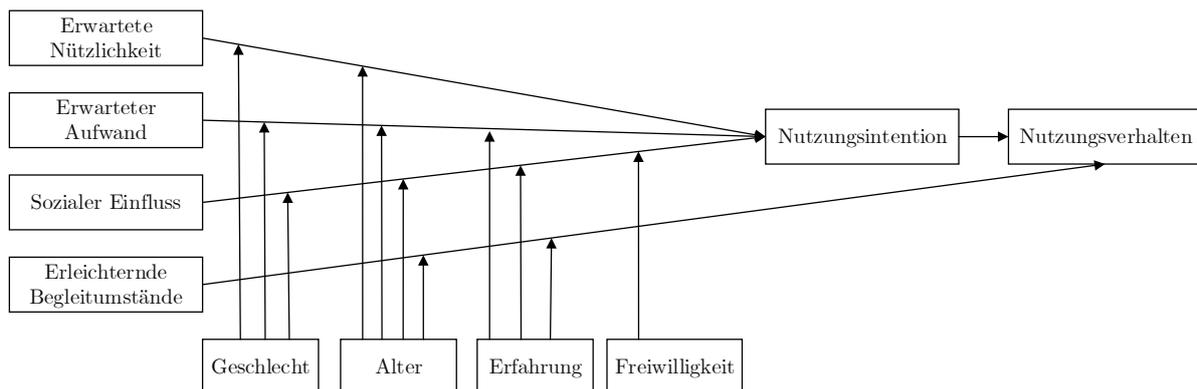


Abbildung 2.8. Unified Theory of Acceptance and Use of Technology nach Venkatesh et al., (2003).

Diese Zusammenhänge werden in der Empirie jedoch nicht konsistent bestätigt (z. B. Khechine et al., 2016). Während die Nützlichkeit in Metaanalysen konsistent den stärksten Prädiktor der Nutzungsintention darstellt, sind weitere Modellbeziehungen, v. a. die Moderatoren, oft schwach ausgeprägt oder tragen nicht konsistent zur Varianzaufklärung bei (Goswami & Dutta, 2016; Khechine et al., 2016; Taiwo & Downe, 2013). Die UTAUT wird häufig nur bis zur Nutzungsintention erfasst, z. B. wenn ein System noch nicht vollständig entwickelt oder eingeführt wurde (z. B. Davis & Venkatesh, 2004; Pfeiffer, von Entress-Fürsteneck, Urbach & Buchwald, 2016).

Die UTAUT stellt durch allgemeine und systemübergreifende Einflussfaktoren ein Basismodell dar, welches durch Erweiterungen flexibel an spezifische Kontexte anpassbar ist.

Die Erweiterung der UTAUT zur Anpassung an Kontexte, Zielgruppen oder Technologien kann maßgeblich zur Steigerung der Vorhersagequalität beitragen (Taiwo & Downe, 2013; Venkatesh, Thong & Xu, 2012, 2016), sodass individuelle, einzelfallspezifische Modellerweiterungen die Mehrheit der UTAUT-Publikationen ausmachen und den Publikationen des Basismodells überwiegen (Taiwo & Downe, 2013; Venkatesh et al., 2016). Bspw. werden grundlegende Unterschiede zwischen Einflussfaktoren auf die Nutzung von Arbeitssystemen im organisationalen Kontext und Einflüssen auf die Kaufintention eines Systems zur privaten Nutzung gesehen, die sich in unterschiedlichen Modellvariationen äußern (Venkatesh et al., 2012). Konsumentenmodelle sollen zumeist Eigenschaften potenzieller Käufergruppen identifizieren. Im organisationalen Kontext stehen Belegschaft und Ziel der Systemanwendung bereits fest, sodass akzeptanzfördernde und -hemmende Faktoren im Vordergrund stehen, um das System ggf. anzupassen (z. B. Davis & Venkatesh, 2004) oder Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung abzuleiten. Einflussfaktoren auf die Akzeptanz unterscheiden sich demnach zwischen Konsumenten und Mitarbeitern (Brau, 2012; Brown, Venkatesh & Hoehle, 2015; Venkatesh et al., 2003; Venkatesh et al., 2012) sowie Erfahrungen von Anwendern und Erwartungen von potenziellen Anwendern im Vorfeld der Nutzung (Thong, Venkatesh, Xu, Hong & Tam, 2011).

Akzeptanzanalysen ermöglichen die Erfassung der Zufriedenheit mit und der Nützlichkeit von spezifischen Technologien und deren Vergleich (Van der Laan et al., 1997), z. B. den Vergleich der Akzeptanz von Wearable Devices über Endgeräte, wie Smartwatch und Smartglasses, Anwendergruppen, wie Mitarbeiter mit unterschiedlicher Erfahrung, und Nutzungskontexten, etwa Training oder Montage. Vorhersagemodelle, wie die UTAUT, ermöglichen die Analyse von Zusammenhängen und Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention. Die UTAUT erhebt einen Anspruch auf Allgemeingültigkeit über verschiedene technische Systeme. Parallel dazu wird ihre flexible Anpassbarkeit an spezifische Kontext- oder Systemeigenschaften durch Modellerweiterungen betont. Dies zeigt sich bspw. an der Differenzierung zwischen Arbeits- und Konsumentensystemen (Venkatesh et al., 2012) oder daran, dass Erweiterungen verbreiteter sind als Tests des Basismodells (Venkatesh et al., 2016). Daraus ergibt sich die Frage, ob die UTAUT auf Wearable Devices zur Informationsassistenz in der Automobilmontage übertragbar ist und welche Modellerweiterungen zur Erklärung der Nutzungsintention beitragen. Folgend wird der Forschungsstand zur Akzeptanz von Wearable Devices mit Fokus auf Akzeptanzmodelle und den Produktionskontext dargestellt.

2.3.3.3.2. Akzeptanzforschung zu Wearable Devices

Für Wearable Devices dominieren Modelltestungen auf die Nutzungsintention mit flexiblen Erweiterungen. Es lassen sich drei grundlegende Richtungen der Akzeptanzforschung unterscheiden: die gesellschaftliche Akzeptanz unabhängig von Nutzergruppen oder Anwendungsfällen (z. B. Flanagan, Papadopoulos & Voss, 2016; Hein, Jodoin, Rauschnabel & Ivens, 2017), die Akzeptanz privater Konsumenten, zum Teil mit Anwendungsbezug (z. B. Rauschnabel, Brem & Ivens, 2015) und die Akzeptanz von Mitarbeitern in organisationalen Kontexten mit konkreten Anwendergruppen und Anwendungsfällen (z. B. Pasher et al., 2010; Seyrkammer, 2015; Teucke et al., 2017). Formale Erweiterungen von Vorhersagemodellen, wie der UTAUT, für Wearable Devices werden für die gesellschaftliche und konsumentenbezogene Akzeptanz, nicht jedoch für organisationale Kontexte berichtet.

Konsumenten-Akzeptanzmodelle beinhalten Erweiterungen zur Identifikation multipler Einflussfaktoren auf die Kaufintention von Wearable Devices, z. B. deren Bewertung als Technik- oder Modeprodukt, hedonische Faktoren, Technikaffinität oder Persönlichkeit. Im Konsumentenbereich wird die Akzeptanz zumeist auf Basis der Erwartungen potenzieller Anwender ohne Nutzungserfahrung analysiert, z. B. mittels Beschreibungen von Wearable Devices. Die Erfassung der Akzeptanz von Anwendern mit Nutzungserfahrung ist deutlich weniger verbreitet. Bei (potenziellen) Konsumenten überwiegen konsistente Einflüsse der Nützlichkeit, während die Handhabbarkeit nur einen inkonsistenten Prädiktor darstellt. Die Moderatoren Alter, Geschlecht und Erfahrung werden nicht kontinuierlich erfasst und stellen nur inkonsistente Einflussfaktoren dar (z. B. Choi & Kim, 2016; Chuah et al., 2016; Gao, Li & Luo, 2015; Hong, Lin & Hsieh, 2017; Hwang, Chung & Sanders, 2016; Jeong, Kim, Park & Choi, 2017; Jung, Kim & Choi, 2016; Kim & Shin, 2015; Kwee-Meier, Bützler & Schlick, 2016; Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016; Rauschnabel et al., 2015; Rauschnabel, Hein et al., 2016; Rauschnabel & Ro, 2016; Rupp, Michaelis, McConnell & Smither, 2016; Wu et al., 2016; Yang et al., 2016). Dies zeigt die Bestrebungen zur Analyse der Kaufintention von Wearable Devices für den Konsumentenmarkt, wobei nicht auf Arbeitssysteme und kaum auf ergonomische Faktoren und Nutzungsbarrieren eingegangen wird.

Für Wearable Devices im Produktionskontext liegen keine formalen Modelltestungen, sondern qualitative, deskriptive sowie informale Ergebnisse oder narrative Berichte vor (z. B. Seyrkammer, 2015). Trotz Einschränkungen der Interpretierbarkeit deuten informale Akzeptanzbewertungen von Wearable Devices im Produktionskontext an, dass Diskrepanzen zwischen hohen Erwartungen (Seyrkammer, 2015) und ernüchternden Erfahrungen (z. B. Stocker et al., 2016) ebenso auftreten könnten wie geringe Erwartungen

bzw. hohe Nutzungshemmschwellen während zeitgebundener Produktionstätigkeiten und anschließende positive Einstellungen (Baumann, 2013). Mögliche Ansätze zur Überwindung von Nutzungshürden von Wearable Devices während der Arbeit könnten in Testumgebungen außerhalb der getakteten Produktion (z. B. Brau, 2008) oder in der Gestaltung realistischer, akzeptanzfördernder Informationen im Vorfeld der Nutzung liegen (z. B. Brau, 2012). Beim Test von Smartglasses in Workshops oder in der Produktion weisen Anwenderkommentare und Berichte auf akzeptanzhemmende Einflüsse ergonomischer Hardware-Faktoren bzw. Nutzungsbarrieren hin, z. B. hohes Gewicht, Diskomfort, Beschwerden oder Lesbarkeitseinschränkungen (z. B. Quint et al., 2016; Stocker et al., 2016). Auch in ergänzenden informalen Berichten im Rahmen formaler Laborstudien wurden Nutzerbeschwerden über erhöhte Beanspruchungen, Kopfschmerzen oder visuelle Beschwerden bei der Montage mit HMDs angeführt, die jeweils mit einer geringeren Befürwortung der Geräte einhergingen (z. B. Büttner et al., 2016; Kampmeier et al., 2007; Wille, 2016). Die Anwendungen oder Bedienbarkeit wurden in der Produktion deskriptiv als positiv oder mittelmäßig mit hoher Streuung bewertet (z. B. Quint et al., 2016; Weber et al., 2016). Deskriptiv werden mögliche Einflüsse akzeptanzhemmender Faktoren wie Hardware, Tragekomfort oder Beschwerden als Nutzungsbarrieren auf die Nutzungsintention durch informale Studien unterstrichen (z. B. Baumann, 2013; Quint et al., 2016; Stocker et al., 2016). Die Verbindung akzeptanzhemmender und -fördernder Faktoren wird durch Literaturanalysen unterstützt, die positive oder negative Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention von Wearable Devices theoretisch postulieren (z. B. Tragekomfort, Beschwerden, Wahrnehmungseffekte, subjektive Risiken, Vertrauen, Gebrauchstauglichkeit), jedoch nicht überprüfen (Buenaflor & Kim, 2012, 2013; Chen & Shih, 2014; Geihs et al., 2012; Karahanoglu & Erbuğ, 2011; Nasir & Yurder, 2015). Durch unterschiedliche Systeme und Testbedingungen und die deskriptiven Analysen zeigen sich deutliche Lücken in der Akzeptanzforschung zu Wearable Devices für Produktionsaufgaben sowie der Einflüsse von Nutzungsbarrieren auf die Akzeptanz.

Diese Übersicht zeigt, dass formale Modelle primär zur Analyse von Einflüssen auf die Kaufentscheidung potenzieller Konsumenten dienen und flexibel erweitert werden. Dabei wird kaum zwischen Nutzern mit und potenziellen Nutzern ohne Nutzungserfahrung differenziert. Für Wearable Devices im Produktionskontext dominieren hingegen methodisch wenig belastbare narrative oder deskriptive Befragungen. Trotz ihrer geringen Aussagekraft deuten sie akzeptanzhemmende Einflüsse von Nutzungsbarrieren an. Aufgrund multipler, kaum kontrollierbarer Einflussfaktoren im Produktionskontext können informale Befragungen Zusatzinformationen zur Interpretation von Akzeptanzanalysen bieten, sollten jedoch nicht die alleinige Datengrundlage darstellen. Dies zeigt Forschungslücken der

Erfassung und Erweiterung formaler Akzeptanzmodelle, wie der UTAUT, für Wearable Devices im Produktionsumfeld.

Durch ihren Anspruch auf Allgemeingültigkeit, die hohe Varianzaufklärung und die flexible Anpassbarkeit sollte die UTAUT auch für Wearable Devices im Produktionskontext anwendbar sein (Taiwo & Downe, 2013; Venkatesh et al., 2003; Venkatesh et al., 2012), was im Rahmen dieser Arbeit überprüft werden soll. Im Einklang mit der konsumentenbezogenen Akzeptanzforschung zu Wearable Devices (z. B. Pfeiffer et al., 2016; Yang et al., 2016) und da diese noch nicht als Arbeitsmittel eingeführt sind (Davis & Venkatesh, 2004), wird dem verbreiteten Ansatz der Modellerfassung bis zur Nutzungsintention gefolgt (vgl. Venkatesh et al., 2016). In Anbetracht potenzieller Nutzungsbarrieren wird angenommen, dass akzeptanzfördernde und -hemmende geräte- und kontextspezifische Faktoren die Akzeptanz von Wearable Devices beeinflussen (vgl. Brau, 2012), was bisher nicht nachgewiesen wurde. Zur Anpassung der UTAUT an Wearable Devices im Produktionskontext werden daher weitere potenzielle Einflussfaktoren wie Workload, Beschwerden oder Diskomfort vorgeschlagen und im Folgenden dargestellt. Konsumentenorientierte Faktoren, z. B. hedonische Qualitäten, werden aufgrund der Unterschiede von privaten und organisationalen Kontexten nicht betrachtet.

2.3.3.3. Postulierte Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von Wearable Devices zur Informationsassistenten der Automobilmontage

Aufgrund des lückenhaften Forschungsstandes zur Akzeptanz von Wearable Devices im Produktionskontext und der starken konsumentenorientierung formaler Akzeptanzmodelle bleibt unklar, ob diese auf Wearable Devices im Produktionskontext übertragbar sind und welche weiteren kontext- und gerätespezifischen Faktoren die Nutzungsintention beeinflussen. Formale Akzeptanzmodelle mobiler, nicht am Körper getragener Endgeräte zeigen, dass sich Faktoren der Gebrauchstauglichkeit, die sich aus Charakteristika der Nutzer, der Umgebung, der Aufgaben und Technologien zusammensetzen (Coursaris & Kim, 2011), sowie die Anpassung des Systems an diese Faktoren und die Arbeitsprozesse (Kompatibilität) auf die initiale Nutzungsintention auf die Nutzungsintention auswirken können (Coursaris et al., 2012; Hoehle et al., 2016; Hoehle & Venkatesh, 2015). Bei Konsumenten wurde das Vertrauen in technische Systeme, z. B. in die zuverlässige Funktionalität oder den Schutz der Privatsphäre, wiederholt als Einflussfaktor auf die Akzeptanz von Wearable Devices identifiziert (z. B. Kwee-Meier et al., 2016; Pfeiffer et al., 2016; Rupp et al., 2016). Das Tragen der Wearable Devices am Körper kann mit Nutzungsbarrieren, wie Effekte auf Workload, Beschwerden oder Diskomfort einhergehen. Sie könnten bei hoher Ausprägung die Akzeptanz beeinträchtigen (Vink & Hallbeck, 2012),

was informale Berichte im Produktionskontext nahelegen (z. B. Baumann, 2013; Quint et al., 2016; Stocker et al., 2016). Um diese Annahmen formal zu überprüfen sollen potenziell akzeptanzhemmende Faktoren im Rahmen dieser Arbeit analysiert werden. Da der Workload durch Wearable Devices erhöht (z. B. Wille, 2016) oder gesenkt werden kann (z. B. Guo et al., 2014), könnte der relative Workload zwischen Tätigkeit mit und ohne Assistenz als Einflussfaktor auf die Akzeptanz überprüft werden (Huang & Hsu, 2010). Gemeinsam sollten die Einflussfaktoren der UTAUT und die nachfolgenden, postulierten Erweiterungen dazu beitragen, Einflüsse auf die Akzeptanz oder Ablehnung von Wearable Devices im Montagekontext zu identifizieren (vgl. Kirlidog & Kaynak, 2011).

Vertrauen. Das Vertrauen bezeichnet die Überzeugung bzw. Zuversicht in die Ehrlichkeit anderer Personen, Gruppen, Organisationen sowie die Zuverlässigkeit oder Sicherheit technischer Systeme (Hoff & Bashir, 2015). Das Vertrauen in technische Systeme wird durch Eigenschaften des Systems, der Person und des Nutzungskontextes beeinflusst (Schaefer, Chen, Szalma & Hancock, 2016) und kann auf Nutzungserfahrungen sowie auf Empfehlungen oder Meinungen Dritter beruhen (de Vries, van den Berg & Midden, 2015; Merritt & Ilgen, 2008). Die Relation zwischen dem Vertrauen in technische Systeme und deren objektiver Zuverlässigkeit beeinflusst deren Nutzung und das Ausmaß, in dem sich Anwender auf diese verlassen (Hancock et al., 2011; Hoff & Bashir, 2015). Hohes Vertrauen trotz geringer Funktionalität kann zur Reduktion der Überwachung des Systemstatus (overreliance) führen, wodurch Systemfehler nicht entdeckt werden. Ein geringes Vertrauen hingegen reduziert die Nutzung des Systems (underreliance) (Wickens et al., 2013). Es sollte daher im Verhältnis zur objektiven Funktionalität stehen. Das Vertrauen in technische Systeme stellt über die Faktoren der Akzeptanzmodelle hinaus einen konsistenten Einflussfaktor auf die Nutzungsintention dar (z. B. Ghazizadeh, Peng, Lee & Boyle, 2012; Heerink, Kröse, Evers & Wielinga, 2010). Auch die Kauf- bzw. Nutzungsintention von Wearable Devices bei Konsumenten wird durch Vertrauen (Gu, Wei & Xu, 2015; Li et al., 2016; Pfeiffer et al., 2016; Rupp et al., 2016) oder Bedenken zur Privatsphäre und Datensicherheit beeinflusst (Gu et al., 2015; Lee, Lee, Egelman & Wagner, 2016). Daher sollte sich das Vertrauen auch im Arbeitskontext auf die Nutzungsintention auswirken.

Workload. Obwohl sich Wearable Devices auf den Workload auswirken können und informale Berichte Einflüsse auf die Akzeptanz nahelegen, wird er kaum in formale Modelle einbezogen. Der Workload bei der Nutzung mobiler (Coursaris et al., 2012) und nicht mobiler (Regal et al., 2013) technischer Systeme kann sich auf die Nutzungsintention oder auf die Leistung bei der Systemnutzung auswirken (Arning, Ziefle, Li & Kobbelt, 2012). Bspw. zeigten Coursaris et al. (2012) dass die Ablenkung durch den

Aufmerksamkeitswechsel zwischen mobilem Endgerät und Kontextfaktoren, z. B. visuelle und auditive Störquellen oder Bewegung der Anwender, den Workload erhöhen. Dieser wiederum kann sich negativ auf die wahrgenommene Nützlichkeit und Handhabbarkeit auswirken und dadurch die Nutzungsintention senken. Rasche et al. (2015) zeigten, dass Vibrationsarten eines Smartphones die wahrgenommene Nützlichkeit sowie den Workload negativ beeinflussen können.

Relativer Workload. Der Workload bei Nutzung der jeweiligen Informationsträger ist zwar für kontrollierte Nutzungsbedingungen, doch kaum für unterschiedliche Montageakte oder individuelle Expertisen vergleichbar und könnte somit in der Praxis zu Verzerrungen führen. Der relative Workload bildet den Vergleich zwischen dem Workload ohne Assistenz, also des regulären Arbeitsprozesses, und dem Workload mit Assistenz, z. B. durch Wearable Devices, ab. Da taktgebundene Montagefähigkeiten oft mit einem hohen Workload einhergehen und die Nutzung von Wearable Devices zur Informationsassistenz den Workload im Vergleich zu Referenzmedien sowohl erhöhen als auch senken kann (z. B. Guo et al., 2014), sollte der relative Workload Aufschluss über die Auswirkungen von Wearable Devices auf Montagefähigkeiten bieten (Huang & Hsu, 2010). So können Effekte der Wearable Devices auf die Tätigkeit, etwa Erleichterung in Form eines reduzierten Workloads oder Erschwernisse durch einen erhöhten Workload, auch bei unterschiedlich beanspruchenden Takten und Arbeitsbedingungen verglichen werden. Huang & Hsu (2010) zeigten bspw., dass eine hohe Nützlichkeit eines mandatorischen IT-Systems und dessen Anpassung an die Arbeitsbedingungen und -aufgaben (Kompatibilität) den relativen Workload einer bestehenden Arbeitssituation senkte. Erhöhungen des relativen Workloads im Vergleich zur Arbeit ohne das System reduzierten hingegen die Bereitschaft, den Umgang mit dem System zu erlernen.

Beschwerden. Visuelle und generelle Beschwerden bei der Nutzung von HMDs und Smartglasses (z. B. Ames et al., 2005; Wille et al., 2014) stehen informal mit der Bereitschaft potenzieller Anwender zur Nutzung der Geräte für Produktions- und Montageaufgaben in Verbindung (z. B. Baumann, 2013; Quint et al., 2016; Stocker et al., 2016; Wille, 2016). Bisher wurde dieser Faktor nicht in formale Akzeptanzmodelle aufgenommen.

Diskomfort. Der Diskomfort von Wearable Devices wird mit Einschränkungen ihrer „Tragbarkeit“ (Bryson, 2007; Cancela et al., 2014; Knight & Baber, 2005) und mit ihrer wahrgenommener Funktionalität sowie der Nutzungsintention assoziiert (Bodine & Gemperle, 2003). Bei Befragungen im Produktionskontext wurde der Diskomfort oft als Kritikpunkt genannt (z. B. Kampmeier et al., 2007; Stocker et al., 2016). Bei formalen

Akzeptanzmodellen im Konsumentenbereich wird der Tragekomfort kaum strukturiert analysiert (z. B. Gamberini et al., 2015; Spagnoli et al., 2014). Hwang et al. (2016) zeigten in einer Modellerweiterung Auswirkungen des wahrgenommenen Tragekomforts auf die Bewertung der Nützlichkeit, Handhabbarkeit und Risiken von Smart Clothes bei Konsumenten. Die Nützlichkeit und Risiken beeinflussten die Einstellung und diese die Kaufintention. Daher sollte der Diskomfort im Arbeitskontext erfasst und Effekte auf die Akzeptanz ermittelt werden.

Kompatibilität. Der Faktor der Kompatibilität bezeichnet die Anpassung der Technik an die Aufgaben und Prozesse der Anwender bzw. inwieweit sich Anwender an das System anpassen müssen (Agarwal & Prasad, 1997; Goodhue & Thompson, 1995). Die Kompatibilität zwischen Anwender, Aufgabe und Technologie kann sich sowohl auf die Leistung (Bravo et al., 2014) als auch die Nutzungsintention mobiler Systeme (Coursaris et al., 2012; Hollingsworth, 2015) auswirken und sich zwischen verschiedenen Nutzungskontexten unterscheiden (Hwang et al., 2016). Auch die Kompatibilität von Smart Clothes beeinflusst nach Hwang et al. (2016) deren wahrgenommene Nützlichkeit.

Diese kontextspezifischen Modellerweiterungen der UTAUT für Wearable Devices als Arbeitsmittel umfassen verschiedene Faktoren, deren Ausprägung die Akzeptanz fördern oder beeinträchtigen könnte. Sie basieren sowohl auf bereits bestätigten Einflussfaktoren (z. B. Vertrauen, Kompatibilität), als auch auf kaum getesteten Annahmen, die aus informellen Befragungen zu Wearable Devices im Produktionskontext abgeleitet wurden (z. B. Beschwerden, Diskomfort, Workload). Ein hohes Vertrauen sollte die Nutzungsintention positiv, ein hoher Workload hingegen negativ beeinflussen. Der relative Workload sollte bei Unterstützung durch Wearable Devices sinken und die Akzeptanz steigern. Hohe Beschwerden und Diskomfort bei der Nutzung sowie eine niedrige Kompatibilität zur Tätigkeit sollten die Nutzungsintention negativ beeinflussen. Ob diese Faktoren zur UTAUT-Erweiterung für Wearable Devices in der Automobilmontage beitragen, soll im Rahmen dieser Arbeit analysiert werden.

Im Szenario einer Einführung von Wearable Devices als Arbeitsmittel in die Produktion läge eine Aufgabe darin, Mitarbeiter ohne Systemkenntnisse zu informieren und von ihrer Nutzung zu überzeugen. Dabei stellen sich die Fragen, welche Faktoren die erwartungsbasierte Akzeptanz von Wearable Devices beeinflussen und zu ihrer Steigerung beitragen könnten. Daher werden im Folgenden Ansätze zur Akzeptanzsteigerung dargestellt.

2.3.3.3.4. Ansätze zur Akzeptanzsteigerung

Aufbauend auf der Identifikation akzeptanzfördernder und -hemmender Einflussfaktoren lassen sich Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung ableiten. Insbesondere akzeptanz-

hemmende Einflüsse können auf den Optimierungsbedarf der Anwendungen oder Endgeräte hinweisen und als Grundlage zur iterativen Weiterentwicklung dienen (z. B. Davis & Venkatesh, 2004; Van der Laan et al., 1997). Eine höhere Anpassung der Systeme an Nutzer- und Kontextanforderungen sollte zur Akzeptanzsteigerung beitragen (z. B. Brau, 2012; Hoehle et al., 2016). Da das Vertrauen in ein System und die Bereitschaft, es zu nutzen, von eigenen Erfahrungen, Wissen über das System und Meinungen Dritter beeinflusst werden können (Huang & Korfiatis, 2015; Merritt & Ilgen, 2008), ist es wahrscheinlich, dass sich Akzeptanzbewertungen auf Basis eigener Erfahrungen von wissens- oder erwartungsbasierten Bewertungen ohne eigene Erfahrungen unterscheiden (z. B. Van der Laan et al., 1997; Yang et al., 2016).

Soll ein System als Arbeitsmittel in Unternehmen eingeführt werden, wird die Mehrheit der Betroffenen noch keine Erfahrung mit dessen Nutzung haben. Ein Weg um Mitarbeiter über Veränderungen und Innovationen, z. B. neue Arbeitsmittel oder -prozesse, zu informieren und Wissen zu vermitteln ist die interne Kommunikation, die in diesem Zusammenhang auch als Innovationskommunikation bezeichnet wird (Banholzer, 2018). Insbesondere bei weitreichenden Veränderungen von Arbeitssystemen, -abläufen und Qualifikationsanforderungen im Zuge der Digitalisierung (Hirsch-Kreinsen, 2015) könnte die Innovationskommunikation das Verständnis und die Akzeptanz der Veränderungen beeinflussen (Banholzer, 2018; Brau, 2012).

Da die Innovationskommunikation eine potenzielle Maßnahme zur Akzeptanzsteigerung im Zuge der Systemeinführung darstellen könnte (Brau, 2012), ergibt sich die Frage, wie sie inhaltlich gestaltet werden sollte, um die Nutzungsintention im Vorfeld eigener Erfahrungen zu beeinflussen. Dass die Vermittlung von Wissen über Wearable Devices Akzeptanzbewertungen auch ohne Systemkenntnisse ermöglicht, zeigt die Vielzahl von Modelltestungen im Konsumentenbereich, die ausschließlich auf Vignetten-Informationsmaterialien basieren (z. B. Gu et al., 2015; Hwang et al., 2016; Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016; Rupp et al., 2016). Da sie keine Vergleiche verschiedener Varianten der inhaltlichen Informationsgestaltung beinhalten (ebd.) bleiben deren mögliche Einflüsse auf die Akzeptanz unklar. Aufgrund der Auswirkungen von Erfahrungsberichten auf die Akzeptanz, sind Einflüsse der inhaltlichen Informationsgestaltung wahrscheinlich (Huang & Korfiatis, 2015). Weder die Akzeptanz ohne Nutzung noch Ansätze zu ihrer Beeinflussung wurden für Wearable Devices im Produktionskontext überprüft.

Ein Ansatz zur Gestaltung der Innovationskommunikation könnte in der Vermittlung von Informationen auf Basis akzeptanzfördernder Faktoren liegen. Demnach könnte grundlegendes Wissen über Wearable Devices thematisch anhand der UTAUT-Faktoren der Handhabbarkeit und Nützlichkeit von Wearable Devices für konkrete Anwendungsfäl-

le sowie über soziale Einflüsse in Form von Kollegenmeinungen dargestellt werden. Dabei sollten realistische Informationen über Wearable Devices vermittelt werden, um keine überhöhten Erwartungen zu erzeugen, die potenzielle Enttäuschungen nach der Nutzung hervorrufen könnten (vgl. Van der Laan et al., 1997). Zusätzlich zur aktiv beeinflussten Informationsgestaltung könnten sich Erwartungen über Nutzungsbarrieren oder der erlebte Workload bei potenziell durch Wearable Devices unterstützbaren Montagetätigkeiten auf die Akzeptanz auswirken (Huang & Hsu, 2010). Da bisher keine Beeinflussungskonzepte zur Akzeptanz von Wearable Devices als Assistenzsysteme getestet wurden, soll in dieser Arbeit ein akzeptanzbasierter Ansatz der Innovationskommunikation zur Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in die Produktion entwickelt und evaluiert werden.

2.3.3.3.5. Zusammenfassung Akzeptanz von Wearable Devices

Die Akzeptanz von Wearable Devices stellt ein wesentliches Nutzungskriterium dar, da deren Nutzung die Voraussetzung für ihre Unterstützungspotenziale bildet. Während formale Akzeptanzanalysen von Wearable Devices für Konsumenten verbreitet sind, bestehen deutliche Forschungslücken für Wearable Devices als Arbeitssysteme im Produktionskontext. Aufgrund der Defizite im Forschungsstand zur Akzeptanz von Wearable Devices im Produktionskontext wurden zur Erweiterung formaler Akzeptanzmodelle, wie der UTAUT, spezifische akzeptanzfördernde und -hemmende Faktoren vorgeschlagen. Diese Arbeit soll die Fragen beantworten, ob die UTAUT auf Wearable Devices im Produktionskontext übertragbar ist und inwiefern die Modellerweiterungen zur Steigerung der Vorhersagequalität beitragen. Zudem soll analysiert werden, inwiefern sich die Akzeptanz zwischen Endgeräten, Nutzungskontexten und Anwendergruppen unterscheidet, was bisher ebenfalls nicht im Fokus der Forschung stand. Anhand von Akzeptanzanalysen in verschiedenen Nutzungsszenarien könnten Optimierungspotenziale der Endgeräte oder Anwendungen identifiziert und zur Systemgestaltung genutzt werden.

Falls die Evaluation unter Anwendungsbedingungen für den Einsatz von Wearable Devices spricht, könnten diese in das Unternehmen eingeführt werden. Im Zuge der Einführung bestünde die Zielgruppe aus Mitarbeitern ohne Nutzungserfahrung, die von den Wearable Devices überzeugt werden sollen. Daher sollten mögliche Unterschiede zwischen der Akzeptanz auf Basis eigener Nutzungserfahrungen und auf Basis von Erwartungen ermittelt werden. Da Erwartungen durch Informationen über Wearable Devices und deren Anwendungsfälle beeinflusst werden könnten, was bisher auch im Konsumentenmarkt kaum untersucht wurde, ergibt sich die Frage, inwiefern sich Informationen auf Basis von UTAUT-Faktoren auf die erwartungsbasierte Akzeptanz auswirken. Daraus ließe sich ein

Ansatz zur Innovationskommunikation für die Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in das Unternehmen gestalten, um Mitarbeiter von deren Nutzung zu überzeugen. Die offenen Fragen zur Akzeptanz mit oder ohne Nutzung, sowie zum Vergleich verschiedener Geräte und Einsatzbedingungen sollen in dieser Arbeit beantwortet werden.

2.4. Zielstellung und Forschungsfragen

2.4.1. Zusammenfassung des theoretischen Hintergrundes

Zunehmende Derivatenvielfalt und Individualisierbarkeit führen zum Anstieg der Komplexität und Flexibilität der variantenreichen Automobilmontage (Volling et al., 2013), welche sich durch eine Zunahme der Produktvarianten sowie der Häufigkeit des Neu- und Umlernens von Montageaufgaben negativ auf die Qualität der getakteten Fließmontage auswirken (Antani, 2015; Hu et al., 2008; Zaeh et al., 2012). Die dadurch erhöhte Wahrscheinlichkeit von Sequenz- und Variantenfehlern hängt mit Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen sowie der Wahrnehmung und Nutzung montagerelevanter Informationen zusammen (Reason, 1990; Wickens et al., 2013). Die im Montagebereich verbreiteten stationären Informationsträger sind in Zusammenhang mit dem Aufwand der Informationsbeschaffung während der mobilen Montagetätigkeiten und der reduzierten Salienz durch multiple Störquellen der Montagehallen oft nur eingeschränkt wahrnehmbar (z. B. Bäckstrand et al., 2008; Case et al., 2008), was die Fehlerwahrscheinlichkeit erhöht (Hacker & Sachse, 2014; Reason, 1990; Wickens et al., 2013).

Ansätze zur Reduktion von Sequenz- und Variantenfehlern in der Automobilmontage liegen in der Informationsassistenz zur Unterstützung von Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozessen durch Hinweissignale und Auftragslisten (Parasuraman et al., 2000) sowie der Reduktion des Aufwandes und der Steigerung der Salienz, der Erwartung bzw. des Wertes der Informationen (Wickens, 2014). Diese Konzepte könnten durch Wearable Devices zur Informationsassistenz umgesetzt werden. Obwohl vielfältige Einsatzszenarien für Wearable Devices in der Produktion postuliert (z. B. Seyrkammer, 2015; Ziegler et al., 2015) und vereinzelt informal erprobt wurden (z. B. Baumann, 2013; Quint et al., 2016; Stocker et al., 2016; Weber et al., 2016), sind formale Evaluationen deutlich unterrepräsentiert, von heterogener Belastbarkeit und oft auf Laborkontexte mit anwendungsfernen Stichproben bzw. Aufgaben begrenzt (Bai & Blackwell, 2012; Dünser et al., 2008; Guo et al., 2014; Guo et al., 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016). Zentrale Evaluationskriterien liegen im Unterstützungspotenzial, in ergonomischen Nutzungsbarrieren und in der Akzeptanz von Wearable Devices (Bai & Blackwell, 2012; Coursaris & Kim, 2011; Dünser et al., 2008). Da diese vernetzten Kriterien durch Anwenderzielgruppen, Aufgaben und

Nutzungskontexte beeinflusst werden können, sollten sie möglichst unter Anwendungsbedingungen evaluiert werden (z. B. DIN EN ISO 9241 - 11, 1998; Sarodnick & Brau, 2011). Diese Kriterien wurden bisher nicht zusammenhängend formal für Wearable Devices im Produktionskontext erfasst. Daher soll diese Forschungslücke durch die mehrdimensionale Evaluation von Wearable Devices für die variantenreiche Automobilmontage geschlossen werden.

Das heterogene Unterstützungspotenzial von Wearable Devices unterscheidet sich zwischen Informationskonzepten, Aufgaben und Anwendungsbedingungen, Endgeräten, Automatisierungsgraden, Bedienkonzepten und Zielgruppen, wobei kaum Vergleiche zwischen den Bedingungen hergestellt werden (z. B. Bravo et al., 2014, 2015; Coursaris & Kim, 2011; Zheng et al., 2015). Direkte Vergleiche zwischen Informationsträgern am Handgelenk (Smartwatches) und im Sichtfeld (Smartglasses) werden nicht berichtet.

Das Informationskonzept Assembly Guiding mit HMDs wird in der Forschung im Laborkontext stark präferiert, entspricht jedoch weniger den Anforderungen der repetitiven Fließmontage oder dem Lernen von Handlungssequenzen (z. B. Fast-Berglund et al., 2013; Stork & Schubö, 2010; Wiedenmaier et al., 2003). Bei uneingeschränkt verfügbaren Referenzmedien zeigen sich kaum Unterstützungspotenziale durch HMDs, was mit ergonomischen Faktoren (z. B. Theis et al., 2015) oder der Interpretierbarkeit komplexer piktoraler Anleitungen einhergehen kann (z. B. Nakanishi & Sato, 2015; Zheng et al., 2015). Daher sollen Instruktionen für die initiale Ausführung im Rahmen der Arbeit weiterhin durch Trainer statt durch Assembly Guiding vermittelt werden (Li et al., 2016; Wiedenmaier et al., 2003).

Das Informationskonzept Order Sequence Guiding soll durch die Anzeige von Auftragslisten zur Unterstützung von Gedächtnisprozessen und Reduktion von Sequenzfehlern beitragen. In einer formalen Laborstudie wurden für mobile Montageaufgaben deutliche Unterstützungspotenziale von Order Sequence Guiding auf Smartwatch-ähnlichen Endgeräten im Vergleich zu stationären Informationsträgern gezeigt (Thorvald et al., 2014). Vielfältige Anwendungen in der Produktion wurden berichtet, jedoch nicht systematisch evaluiert (Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010). Die mobile Nutzung des inhaltlich verwandten Pick-by-Vision zur Anzeige von Kommissionierpositionen in der Logistik zeigt in mehreren formalen Laborstudien relativ konstante Unterstützungspotenziale von HMDs und Smartglasses im Vergleich zu Referenzmedien (z. B. Baumann, 2013; Guo et al., 2014; Guo et al., 2015). Zur Unterstützung der Flexibilität könnte Order Sequence Guiding zum Training der Montagesequenzen aufbauend auf den initialen Ausführungsinstruktionen durch Trainer eingesetzt werden, was jedoch bisher nicht evaluiert wurde. Daran schließen sich Fragen nach dem Unterstützungspotenzial von Order Sequence Guiding

bei der routinierten Ausführung bzw. beim Lernen von Montagetätigkeiten und nach den Auswirkungen des Abbruchs der Nutzung auf die Ausführungsleistung an. Bei der Handlungsausführung mit Instruktionen können diese zwar die Leistung steigern, doch der Abbruch dieser Unterstützung kann das Leistungsniveau unter das von Kontrollbedingungen ohne Informationsassistenten senken (Yuviler-Gavish et al., 2011). Die praktische Relevanz äußert sich in Risiken für die Montagequalität bei unzuverlässigen Informationssystemen. Dieser Effekt wurde bisher weder für AR- oder VR-Trainingsysteme (z. B. Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016) noch für Wearable Devices formal analysiert (vgl. Maurtua, 2009).

Das Konzept Order Attention Guiding soll die Aufmerksamkeit durch Hinweissignale auf irreguläre Varianten lenken, um Variantenfehler zu reduzieren (Parasuraman et al., 2000). Während das Unterstützungspotenzial von Hinweissignalen für Aufgaben, die von der Routine abweichen, konsistent im Labor gezeigt wurde (z. B. Hopp-Levine et al., 2006; Kolbeinsson et al., 2017; Loft et al., 2009; Schultheis, 2015) und ähnliche Anwendungen in der Produktion beschrieben werden (z. B. Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010), stehen formale Evaluationen des Assistenzkonzeptes unter Produktionsbedingungen aus. Die Voraussetzung dafür ist die Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Wearable Devices, die für HMDs mit und ohne Bewegung bereits eingeschränkt sein kann (z. B. Mustonen et al., 2013; Schega et al., 2014) und für Smartwatches kaum thematisiert wird. Zusätzliche auditive oder vibrotaktile Hinweissignale können die Wahrnehmung auch parallel zu manuellen Aufgaben unterstützen (z. B. Woodham et al., 2016), was jedoch noch nicht für Wearable Devices im Produktionskontext gezeigt und zwischen individuellen und kollektiven Informationsträgern verglichen wurde (Sarter, 2013). Daraus resultieren Fragen, inwiefern visuelle bzw. zusätzliche auditive oder vibrotaktile Signale durch Wearable Devices auf Veränderungen von Primärtätigkeiten hinweisen und zur Reduktion von Variantenfehlern im Vergleich zu stationären Informationsträgern beitragen.

Ergonomische Analysen von HMDs implizieren potenzielle Nutzungsbarrieren durch Diskomfort, Anstieg des Workload oder visuelle bzw. generelle Beschwerden (Kampmeier et al., 2007; Theis et al., 2015; Wille, 2016), wobei keine Referenzen für Smartwatches vorliegen. Durch HMD-Nutzung kann der Workload ansteigen (z. B. Wille, 2016) oder sinken (z. B. Guo et al., 2014), was ggf. mit Referenzbedingungen, Endgeräten und Evaluations-szenarien zusammenhängt. Der Tragekomfort der Geräte wirkt sich auf den Diskomfort (Knight & Baber, 2005) und ggf. die Nutzungsbereitschaft aus (Hwang et al., 2016). Informale Berichte im Produktionskontext legen Nutzungsbarrieren und deren Einfluss auf die Akzeptanz nahe. Um die Schädigungslosigkeit von Wearable Devices abzusichern,

sollten daher potenzielle Nutzungsbarrieren im Produktionskontext erfasst und reduziert werden (Hacker & Sachse, 2014).

Der Akzeptanz von Wearable Devices für die Produktion wird eine hohe praktische Relevanz beigemessen, ohne diese formal zu evaluieren (z. B. Pasher et al., 2010; Teucke et al., 2017; Weber et al., 2016). Formale Akzeptanzevaluationen für Wearable Devices begrenzen sich auf Konsumenten Anwendungen (z. B. Moon, 2016; Rauschnabel et al., 2015), könnten aber im Produktionskontext Einflussfaktoren auf die Befürwortung oder Ablehnung von Wearable Devices als Arbeitsmittel sowie Optimierungspotenziale der Endgeräte und Anwendungen identifizieren (Brau, 2012; Davis & Venkatesh, 2004; Venkatesh et al., 2003; Venkatesh et al., 2016). Einflüsse von Nutzungsbarrieren werden informal berichtet, sind aber formal kaum belegt. Mögliche Verbindungen zwischen Nutzungsbereitschaft, Unterstützungspotenzial und Nutzungsbarrieren sollen im Rahmen der Arbeit überprüft werden. Identifizierte Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von Wearable Devices im Produktionskontext könnten zur Unterstützung von Einführungsprozessen ins Unternehmen beitragen, um die Akzeptanz durch Mitarbeiter ohne Nutzungserfahrungen zu beeinflussen (Brau, 2012). Die Informationsgestaltung im Rahmen der internen Innovationskommunikation soll die Bereitschaft erhöhen, Wearable Devices auszuprobieren und kontinuierlich zu nutzen. Die Fragen, ob und unter welchen Bedingungen Wearable Devices die Montagetätigkeit in der variantenreichen Serienproduktion unterstützen und welche Faktoren aus Anwenderperspektive für oder gegen deren Einsatz sprechen, sind bisher offen und sollen in dieser Arbeit beantwortet werden.

2.4.2. Zielstellungen und Forschungsfragen

Die Zielstellung der Arbeit liegt in der Evaluation von Wearable Devices zur Informationsassistenz anhand von Order Sequence Guiding und Order Attention Guiding für die variantenreiche Automobilmontage aus den Perspektiven Unterstützungspotenzial, potenzielle Nutzungsbarrieren des Workloads, Diskomforts und Beschwerden, sowie deren Akzeptanz. Die Analyse des Forschungsstandes verdeutlicht mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren, die jedoch bisher nicht zusammenhängend für Wearable Devices evaluiert wurden. Die Zusammenhänge können vereinfacht anhand der Integration der Wearable Devices in den Handlungsverlauf nachvollzogen werden und sind in Abbildung 2.9 konzeptuell veranschaulicht.

Demnach führt die Ausführung der Montagehandlungen mit einem gewissen Risiko für Ausführungsfehler zum Erreichen eines Ergebnisses hinsichtlich definierter Qualitäts- und Zeitkriterien. Die Nutzung der Wearable Devices zur Informationsassistenz wirkt sich auf die Handlung aus und beeinflusst über das Fehlerrisiko das Ergebnis, was sich in nach-

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

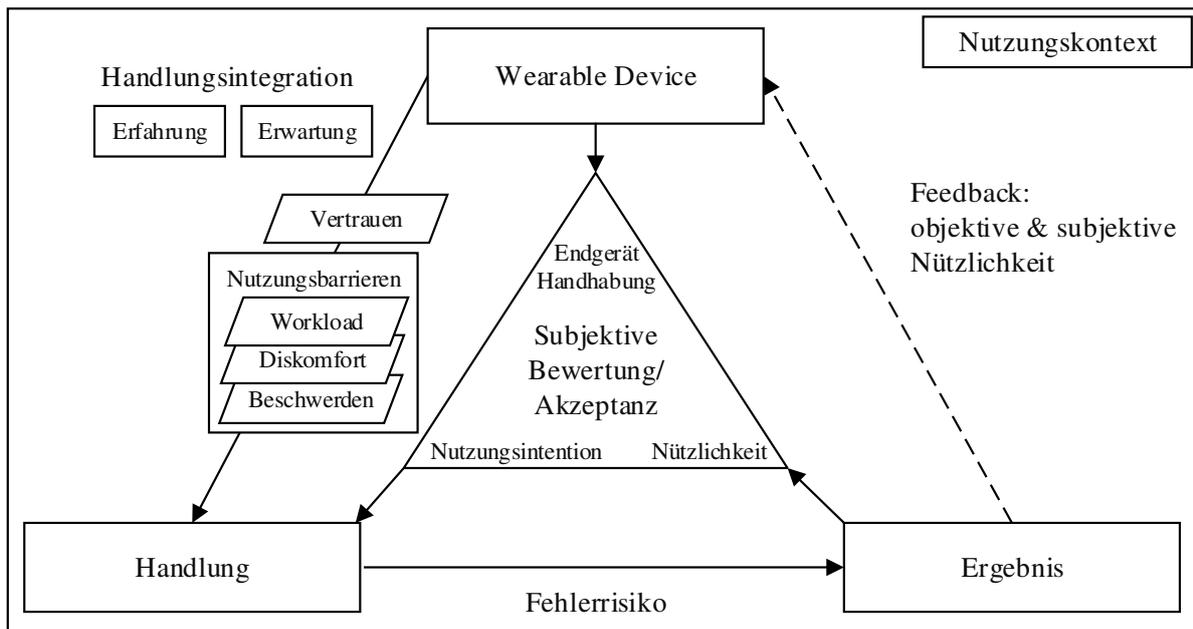


Abbildung 2.9. Konzeptuelle Darstellung der Evaluationsdimensionen für Wearable Devices.

weisbaren Unterstützungspotenzialen der Informationskonzepte und Endgeräte äußert. Die Beeinflussung des Ergebnisses erfordert die Wahrnehmung der Informationen auf den Wearable Devices. Die Wahrnehmung der Informationen setzt wiederum die Nutzung der Geräte voraus. Die individuelle Nutzung wird als Resultat der Akzeptanz der Wearable Devices betrachtet (Brau, 2012; Venkatesh et al., 2003). Die Akzeptanz wird durch die subjektive Bewertung des Unterstützungspotenzials anhand der Sichtbarkeit der Montageergebnisse, die durch die Nutzung der Wearable Devices erreicht werden (Nützlichkeit), deren Handhabbarkeit sowie durch die Befürwortung der Systemnutzung durch Kollegen und Vorgesetzte (sozialer Einfluss) beeinflusst (Venkatesh et al., 2003). Darüber hinaus könnten sich weitere Faktoren, wie das Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Wearable Devices, auf deren Nutzung auswirken (Gu et al., 2015; Pfeiffer et al., 2016; Rupp et al., 2016). Nutzungsbarrieren durch die Eigenschaften der Endgeräte, wie Diskomfort, Workload oder Beschwerden, könnten der Akzeptanz entgegenstehen und müssen daher für die Nutzung „überwunden“ werden. Der relative Workload verdeutlicht, ob die Wearable Devices die Montagetätigkeit im Vergleich zum Status Quo erleichtern oder erschweren. Die Kompatibilität zwischen Wearable Devices und Montageprozess könnte auf deren Anpassung an die Anforderungen der Anwender, Aufgaben und Anwendungskontexte hinweisen. Diese Faktoren könnten die Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices beeinflussen. Durch Informationen über Wearable Devices auf Basis relevanter

Einflussfaktoren auf die Akzeptanz könnten Erwartungen und darüber die Nutzungsbereitschaft bei potenziellen Anwendern ohne Nutzungserfahrungen beeinflusst werden. Die in Abbildung 2.9 dargestellten Zusammenhänge werden mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Eigenschaften der Anwender und der Nutzungskontexte beeinflusst, sodass sie anhand konkreter Arbeitsaufgaben und Montagekontexte sowie Zielgruppen potenzieller Anwender, wie in diesem Falle angehende oder erfahrene Montagemitarbeiter, evaluiert werden (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998).

Aus der Verbindung theoretischer und praktischer Ziele ergeben sich folgende Forschungsschwerpunkte, damit Wearable Devices eine Unterstützung darstellen und in Arbeitsabläufe integriert werden: (1)... sollten die Informationen während manueller Haupttätigkeiten zuverlässig wahrgenommen werden, (2) ... sollte ein objektives Unterstützungspotenzial durch die Nutzung der Wearable Devices nachweisbar sein, (3)... sollte ihre Nutzung nicht zu erhöhten Beanspruchungen, Beschwerden oder Diskomfort führen, und (4) ... es sollte eine Bereitschaft zur Nutzung der Wearable Devices im Arbeitsprozess bestehen. Weiterhin ergibt sich die Frage (5), ob sich die Bewertung über lange Nutzungszeiträume verändert. Daraus resultieren folgende spezifizierte Forschungsschwerpunkte und -fragen. Diese übergeordneten Fragestellungen werden in den jeweiligen Studien präzisiert und konkrete Hypothesen aufgestellt. Daher werden die Schwerpunkte je nach Studie unterschiedlich gewichtet.

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

1. Signalwahrnehmung:

- Wie unterscheidet sich die Signalwahrnehmung visueller Ereignisinformationen zwischen den Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses, sowie einem Monitor als Referenzinformationsträger?
- Wie wirken sich zusätzliche multimodale Hinweissignale auf die Signalwahrnehmung bei den Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses im Vergleich zum Monitor aus?
- Wie wirken sich visuelle Darstellungen bzw. zusätzliche multimodale Hinweissignale auf die Ausführungsleistung der Montageaufgabe hinsichtlich der Bearbeitungszeit und des Workloads aus?

2. Unterstützungspotenzial:

- Wie wirkt sich die Nutzung der Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses im Vergleich zu papierbasierten Informationsträgern auf die Effektivität und Effizienz der Ausführung bzw. das Lernen von Montagefähigkeiten aus?
- Wie wirkt sich das Beenden der Nutzung von Wearable Devices auf die Effektivität und Effizienz der Ausführung von Montagefähigkeiten aus?
- Trägt Order Attention Guiding mit Wearable Devices zur Reduktion von Variantenfehlern bei der routinierten Automobilmontage bei?

3. Nutzungsbarrieren:

- Workload: Wie verändert sich der Workload bzw. der relative Workload durch die Wearable Devices in Bezug auf die Referenz- bzw. Arbeitsbedingungen?
- Beschwerden: Führt die Nutzung von Wearable Devices zu Beschwerden?
- Diskomfort: Wie unterscheidet sich der Tragekomfort zwischen verschiedenen Wearable Devices oder Einsatzbedingungen?

4. Akzeptanz:

- Unterscheidet sich die Akzeptanz zwischen verschiedenen Informationsträgern, Anwendungsfällen oder Anwendergruppen?
- Kann die UTAUT im Produktionskontext unter Nutzung der Wearable Devices (Erfahrungen) oder ohne Nutzung der Wearable Devices (Erwartungen) bestätigt werden?
- Welche Faktoren zur Modellerweiterung beeinflussen die Nutzungsintention im Produktionskontext zusätzlich zur UTAUT?

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

- Kann die Gestaltung von Informationen über Wearable Devices auf Basis der UTAUT-Faktoren zur Steigerung der Akzeptanz im Vorfeld ihrer Nutzung beitragen?
- Wirken sich Erwartungen zu Nutzungsbarrieren oder erlebte Beanspruchungen bei Montageaufgaben auf die Akzeptanz von Wearable Devices im Vorfeld der Nutzung aus?

5. Langfristige Nutzung:

- Wie verändern sich Bewertungen innerhalb der Untersuchungsschwerpunkte (2) – (4) bei langfristiger Nutzung in der Produktion?

3. Empirischer Teil

In diesem Kapitel werden die Wearable Devices, Assistenzkonzepte und Kontexte dargestellt. Im Anschluss werden die vier Studien mit Hintergrund, konkretisierten Fragestellungen und Hypothesen, Methoden, Ergebnissen und Diskussionen aufgeführt.

3.1. Systemgestaltung und Untersuchungskontext

3.1.1. Endgeräte und Anwendungen

Anforderungen und Anwendungskonzepte für Wearable Devices in der Automobilmontage wurden gemeinsam mit Fachkräften aus der Produktions- und Prozessplanung sowie Meistern und Führungskräften aus mehreren Montagebereichen entwickelt und abgestimmt. Die genannten Anwendungsfälle wurden nach thematischer Ähnlichkeit und technischer Umsetzungskomplexität kategorisiert und die Assistenzkonzepte Order Attention und Order Sequence Guiding abgeleitet. Anforderungen an die Wearable Devices bestanden in robusten, stoßsicheren und reinigbaren Stand-Alone-Testgeräten mit WLAN-Schnittstelle und einer mindestens achtstündigen Akkulaufzeit. Die Smartwatch sollte über einen Kratzerschutz für den Fahrzeuglack verfügen. Die Smartglasses sollten die Sicht auf die Montage nicht verdecken, nicht verrutschen und keine visuellen Beschwerden auslösen. Die Anwendungen sollten mit geringem Schulungsaufwand erlernbar sowie fehlerhandlungssicher bedienbar und flexibel an Veränderungen der Produktionsbedingungen anpassbar sein. Die Anwendungskonzepte und -umsetzungen wurden iterativ konkretisiert und angepasst. Aufbauend auf den Anforderungen und einer Marktanalyse wurden potenzielle Endgeräte ausgewählt und Applikationen zum Order Attention Guiding und zum Order Sequence Guiding sowie Manuale und Bedienungsanweisungen entwickelt. Nachfolgend werden die Endgeräte und die für Smartwatch und Smartglasses identischen Applikationen beschrieben.

3. EMPIRISCHER TEIL

3.1.1.1. Endgeräte

Auf Basis der Anforderungen und einer Marktanalyse wurden die Stand-Alone-Smartglasses Vuzix M100 (Display: monokular, LA, Wahrnehmung entspricht einem 40 cm entfernten 4" Display; Gewicht mit Schutzbrille: ca. 300 g; Ausgabe: visuelle Anzeige, Tonausgabe mit Lautstärkeregelung; Bedienung: Tasten, Sprachsteuerung, siehe Abbildung 3.1 links) und die Stand-Alone-Smartwatch IconBit Callisto 300 (Display: 1.54"; Gewicht: 76 g; Ausgabe: visuelle Anzeige, anpassbare Vibrationsmuster, Bedienung: Tasten, Touch, siehe Abbildung 3.1 rechts) mit dem Betriebssystem Android 4.2.2 ausgewählt. Die Schutzbrille der Smartglasses ermöglichte die individuelle Display-Anpassung und ein Brillenband verhinderte das Verrutschen. Die Bedienung der Smartglasses erfolgte über Tasten auf Höhe des Ohres. Die Sprachsteuerung wurde wegen ihrer Unzuverlässigkeit bei Störgeräuschen nicht angewendet. Die Smartwatch wurde am Handgelenk befestigt und über Touch oder über Tasten, wegen der Inkompatibilität einiger Arbeitshandschuhe mit dem Touchscreen, bedient. Für die Smartwatch wurde ein Kratzerschutz mit Sichtfenster angefertigt (Abbildung 3.1 mitte).



Abbildung 3.1. Smartwatch IconBit Callisto 300 (links, mitte); Smartglasses Vuzix M100 (rechts).

3.1.1.2. Anwendung Order Attention Guiding

Die Applikation Order Attention Guiding gab automatisiert multimodale Hinweissignale für definierte, von der Routinesequenz abweichende Fahrzeugkonfigurationen aus (z. B. Bauteilvarianten, Zusatzbauteile). Die Applikation wurde über WLAN mit dem Produktionssteuerungssystem verbunden und an einen Montagetakt und eine Variante gekoppelt. Die Hinweissignale wurden ausgelöst, sobald ein Fahrzeug mit der definierten Konfiguration in den Arbeitsbereich einfuhr und konnten zu spezifischen Zeitpunkten, etwa dem Montagezeitpunkt der Konfiguration, ausgegeben werden. Signale für mehre-

3. EMPIRISCHER TEIL

re Fahrzeugvarianten eines Taktes waren in der prototypischen Applikation noch nicht vorgesehen. Die Applikation startete automatisch mit dem Einschalten der Geräte und erforderte keine aktive Bedienung. Die oben aufgeführte Abbildung 3.1 (links, mitte) zeigt die für Smartwatch und Smartglasses identische Applikation bei einem Ereignis (mitte) und keinem Ereignis (links) anhand der Smartwatch. Ereignisinformationen wurden durch eine saliente Farbgestaltung des Displays sowie adaptierbare vibrotaktile (Smartwatch) oder auditive (Smartglasses) Signale ausgegeben. Trat kein Ereignis ein, zeigte das Display ein grünes OK-Symbol. Um den Abgleich der Wearable Devices mit dem Montageinformationssystem zu ermöglichen, wurden die Fahrzeugnummern angezeigt. Zur Funktionalitätskontrolle wurden der WLAN-Verbindungsstatus (verbunden: grün; getrennt: rot) und der Akku-Ladezustand (Alarmierung bei unter 20 % Akkuleistung) angezeigt.

3.1.1.3. Anwendung Order Sequence Guiding

Die Applikation Order Sequence Guiding zeigte Prozessinformationen als Aufgabenblöcke einer Montagesequenz in der Durchführungsreihenfolge an. Die Montagesequenzen basierten auf dem Standardarbeitsblatt des jeweiligen Taktes (siehe Anhang B.1), das zur Lesbarkeit auf dem Display in Absprache mit Fachexperten gekürzt wurde. Auf den Displays der Smartwatch oder der Smartglasses wurden je ein Aufgabenblock und erforderliche Werkzeuge als Piktogramme (z. B. Akkuschauber) angezeigt (siehe Abbildung 3.2 links für Smartwatch und rechts für Smartglasses).

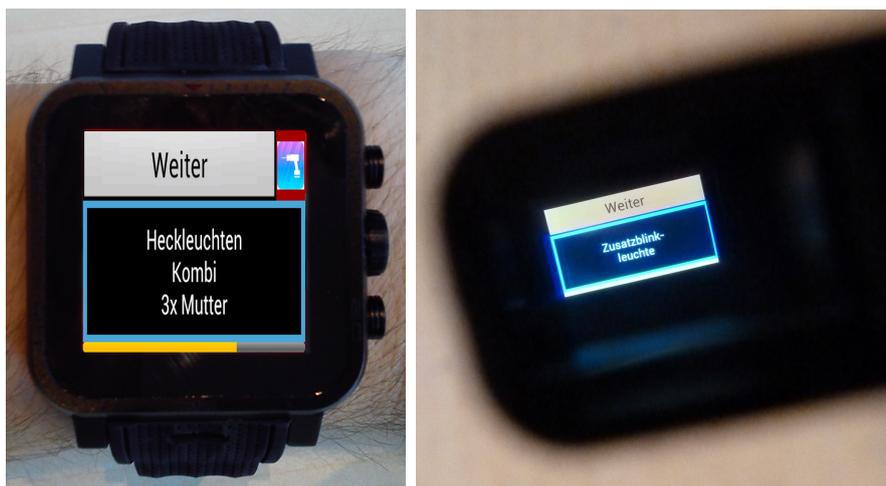


Abbildung 3.2. Order Sequence Guiding auf der Smartwatch IconBit Callisto 300 (links) bzw. auf Smartglasses Vuzix M100 (rechts).

Die Zeitvorgaben nach MTM konnten hinterlegt und als fortschreitender gelber Balken pro Aufgabenblock angezeigt werden, sodass sich Anwender über die verbleibende Zeit informieren konnten. Besonders wichtige Arbeitsschritte konnten farblich oder durch vibrotaktile oder auditive Signale markiert werden. Der nächste Arbeitsschritt wurde durch manuelle Bedienung oder nach Zeitvorgaben angezeigt. Die Anwendung startete beim Einschalten des Gerätes automatisch mit einer Übersicht zur Auswahl des Taktes. Konzeptionell ähnelt die Applikation dem von Nordin et al. (2010) in der Produktion und von Thorvald et al. (2014) im Labor getesteten Anzeigesystem für Prozessinformationen.

3.1.2. Rahmenbedingungen und Untersuchungskontexte

Der Betriebsrat und der Gesundheitsdienst wurden in die Abstimmungsprozesse zur Evaluation der Wearable Devices einbezogen und befürworteten v. a. die Analyse von Nutzungsbarrieren. Aufgrund des geringen Frauenanteils von unter 10 % in der Montage forderte der Betriebsrat den Verzicht auf die Analyse von Geschlechtsunterschieden. Eine weitere Bedingung bestand in der Freiwilligkeit der Studienteilnahme. Die Überprüfung der Funktionalität, Unterstützungspotenziale und Nutzungsbarrieren der Wearable Devices in einem nicht produktiven Umfeld, wie im Trainingszentrum, war Voraussetzung für die Evaluation in der laufenden Produktion. Die Erhebung und Auswertung personenbezogener Leistungsdaten war Bestandteil des Montagetrainings und somit auch für die Evaluation der Wearable Devices möglich. In der laufenden Produktion wurde die personenbezogene Leistungserfassung nicht gestattet. Daher wurden die Wearable Devices zuerst im Trainingszentrum und anschließend in der Produktion getestet. Es wurde gefordert so wenig wie möglich in bestehende Prozesse einzugreifen. Für die Evaluation in der Produktion wurde daher ein Vorgehenskonzept abgestimmt, bei dem die Wearable Devices den Vorarbeitern der Einsatzbereiche übergeben und von ihnen verwaltet wurden. Die Versuchsleitung schulte die Vorarbeiter im Umgang mit den Geräten (u. a. Bedienung, Sicherheit, Reinigung) und stand mit ihnen in regelmäßigem Austausch. Dadurch sollten Risiken der Wearable Devices für die Qualität und Effizienz der Produktion minimiert werden. Restriktionen für Studiendurchführungen im Produktionskontext sind üblich (z. B. Baumann, 2013; Nukta, 2012), was jedoch die ökologische Validität der Aussagen und den Erkenntnisgewinn über das System steigert (z. B. Fite-Georgel, 2011; Nukta, 2012; Sarodnick & Brau, 2011). Nachfolgend sind die Untersuchungskontexte dargestellt.

3.1.2.1. Kontext Trainingszentrum

Im Trainingszentrum des Unternehmens wurde bei Bedarf ein obligatorisches zweitägiges Montagebasistraining für neue Montagemitarbeiter und Praktikanten mit schwankenden Teilnehmerzahlen durchgeführt. Das Training diente durch theoretische Schulungen und praktische Übungen montagerelevanter Fähigkeiten der Qualifizierung der Teilnehmenden für die Arbeit in der Automobilmontage. Die Übungen basierten auf Produktionstätigkeiten und waren nach einheitlichen MTM-Zeitvorgaben abgetaktet. Die Erfassung von Bearbeitungszeiten und Ausführungsfehlern in den jeweiligen Übungen war Bestandteil des Montagetrainings und somit auch für die Studiendurchführung möglich. Die Wiederholung der Übungen mit allen Teilnehmergruppen von bis zu acht Personen unter ähnlichen Ausführungsbedingungen ermöglichte die Entwicklung standardisierter Studiendesigns auf Basis bestehender Trainingsaufgaben. Das Trainingszentrum ermöglichte ein standardisiertes Evaluationsumfeld unter produktionsnahen Bedingungen, wobei Aufgaben und Anwender den Praxisbedingungen entsprechen.

3.1.2.2. Kontext Fließmontage

Die Automobilmontage beim Anwendungspartner erfolgte auf drei Montagelinien (A, B, C) mit unterschiedlichen Taktzeiten. Die Montagelinien gliederten sich in Meisterbereiche, denen mehrere Vorarbeiterbereiche mit Mitarbeiterteams zugeordnet waren. Die Mitarbeiter arbeiteten an festgelegten Montagetakten und wechselten diese innerhalb des Teams durch Job-Rotation. Die Anzahl der am entsprechenden Takt arbeitenden Mitarbeiter gab die Anzahl potenzieller Versuchsteilnehmer und die Dauer, die diese am Takt arbeiteten, die Nutzungsdauer der Wearable Devices vor. In den Montagelinien traten keine identischen Takte auf. Die Takte konnten die Wiederholung einer Montagesequenz pro Fahrzeug bzw. -modell (Prozess A), die Wiederholung einer Sequenz mit unregelmäßigen Ausstattungsvarianten (Prozess C) oder Montagesequenzen mit regelmäßiger Auswahl von Bauteilvarianten mit unterschiedlicher Frequenz (Prozess B) beinhalten. Grundlegende Unterschiede zwischen den Montagelinien waren die Taktzeiten und das Ausmaß an Variantenvielfalt. In Montagebereich A wurden mehrere variantenreiche Fahrzeugmodelle auf einem Fließband mit einer Taktzeit von 76 s gefertigt. Die Arbeitszone eines Taktes, auf der sich Mitarbeiter mit dem Fließband bewegten, umfasste 6 m. An einigen Takten arbeiten mehrere Personen versetzt an jedem x-ten Fahrzeug, z. B. an jedem zweiten in einem Doppeltakt, mit entsprechend längeren Arbeitszonen und Taktzeiten. Im Montagebereich B wurde ein variantenreiches Fahrzeugmodell in einer Taktzeit von etwa 5 min in Fließmontage montiert, d. h. die Karosserie wurde erst nach Ablauf der Taktzeit in die nächste Arbeitszone bewegt. Entsprechend wurden höhere Montageumfänge

3. EMPIRISCHER TEIL

pro Taktzyklus verbaut, sodass alle oben genannten Montagesequenzen innerhalb eines Taktes auftreten konnten. In Montagebereichen A und B wechselten Mitarbeiter durch Job-Rotation alle zwei Stunden den Takt. In Montagebereich C wurde ein Fahrzeugmodell mit geringer Variantenvielfalt in einer Taktzeit von etwa fünfunddreißig Minuten in mehreren Montagezonen montiert und erst nach Ende der Taktzeit bewegt. Die meisten Takte wurden im Team mit sich ergänzenden Aufgaben bearbeitet. Mitarbeiter wechselten den Takt täglich.

3.1.3. Übersicht über die Studien

Alle Studien wurden im Trainings- oder Produktionskontext durchgeführt. Die Teilnehmer waren Mitarbeiter und Praktikanten, die in der Montage arbeiteten oder sich im Trainingszentrum vorbereiteten. Die Studien fanden im Nutzungskontext der Wearable Devices mit anwendungsbezogenen Aufgaben und potenziellen Anwendern statt. Abbildung 3.3 bietet eine Übersicht der Studien mit Kontexten und Stichproben.

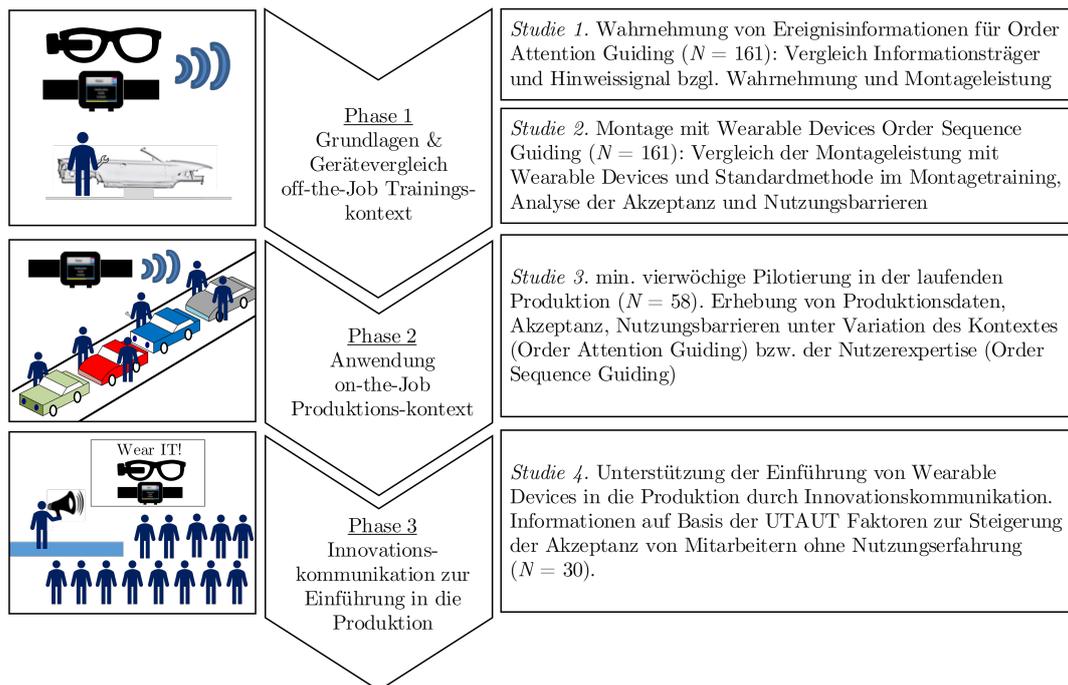


Abbildung 3.3. Übersicht über die Implementierungsphasen und Studien.

Die Studiendurchführung erfolgte in drei aufeinander aufbauenden Phasen. In der ersten Phase wurden zwei Studien im Trainingszentrum durchgeführt, um die Wearable Devices unabhängig von der laufenden Produktion zu testen. Für das Assistenzkonzept Order Attention Guiding wurde in Studie 1 die Zuverlässigkeit der Wahrnehmung von

Ereignisinformationen mit und ohne Hinweissignal auf Smartglasses, Smartwatch und einem Monitor als Standard-Informationsträger verglichen. Für das Assistenzkonzept Order Sequence Guiding wurden in Studie 2 Smartglasses und Smartwatch mit der standardmäßig eingesetzten Papierliste zum Training der Montage einer Übungskarosse verglichen. Dabei wurden Leistungsdaten, Nutzungsbarrieren sowie die Akzeptanz der Wearable Devices und Effekte des Nutzungsabbruchs erfasst. In der zweiten Phase (Studie 3) wurden beide Assistenzkonzepte während der laufenden Produktion durch je drei Anwendergruppen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen evaluiert. Order Attention Guiding wurde in Montagebereichen A und B, mit Gruppenunterschieden in der Taktzeit und der Art der Prozessvarianten, durchgeführt. Order Sequence Guiding wurde in Montagebereich C evaluiert. Gruppenunterschiede lagen in der Erfahrung der Anwender mit den Montageprozeduren. Die dritte Phase, Studie 4, rundet die Arbeit durch die Gestaltung und Evaluation der internen Innovationskommunikation ab. Dabei wurde erfasst, inwiefern die Intention zur Nutzung von Wearable Devices bei Mitarbeitern ohne Vorkenntnisse durch Informationsgestaltung erhöht werden kann.

3.2. Studie 1. Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Wearable Devices während der Montage

Das Konzept Order Attention Guiding soll durch Hinweissignale die Salienz von Variationen in Montagesequenzen erhöhen, um Variantenfehler zu reduzieren. Dies setzt die zuverlässige Wahrnehmung der Ereignisinformationen auf den jeweiligen Informationsträgern während der Montage voraus, ohne deren Ausführung zu beeinträchtigen oder den Workload zu erhöhen (Wickens et al., 2013). Um das Unterstützungspotenzial von Order Attention Guiding auf individuellen Wearable Devices im Vergleich zu standardmäßig an Montagelinien eingesetzten kollektiven Monitoren nachzuweisen, sollten Informationen auf Wearable Devices mindestens so zuverlässig wahrgenommen werden wie auf dem Monitor. Gemäß des SEEV-Modells wird die Wahrnehmung von Informationen durch deren Salienz und Aufwand beeinflusst, weshalb sich die Signalentdeckung zwischen den Informationsträgern unterscheiden sollte. Dabei sollten Informationsträger außerhalb des Sichtfeldes durch den höheren Bewegungsaufwand (Armbewegung bei Smartwatch, Kopfbewegung bei Monitor) weniger zuverlässig wahrgenommen werden als Informationsträger im Sichtfeld (Smartglasses, Stork & Schubö, 2010; Wickens, 2014). Da die Wahrnehmung randomisierter Ereignisinformationen auf Smartglasses sowohl mit als auch ohne die Ausführung manueller Paralleltätigkeiten beeinträchtigt sein kann (Huckauf et al., 2010; Mustonen et al., 2013; Schega et al., 2014; Wille et al., 2014; Woodham

3. EMPIRISCHER TEIL

et al., 2016), stellt sich die Frage, wie zuverlässig deren Wahrnehmung sowie die der Smartwatch parallel zu repetitiven und Konzentration erfordernden Montagetätigkeiten ist (z. B. Wille et al., 2014). Zusätzlich zur visuellen Anzeige sollten multimodale Hinweissignale die Salienz und Wahrnehmung der Informationsträger steigern (Wickens et al., 2013), was für Smartglasses bei Bewegung gezeigt wurde (Woodham et al., 2016). Es stellt sich die Frage, ob durch das Tragen der Wearable Devices am Körper deren multimodale Hinweissignale zuverlässiger wahrgenommen werden als die des Monitors (Lu et al., 2011; Sarter, 2013; Wang, Millet & Smith, 2016). Zusammengefasst resultiert die Frage, wie sich die Signalentdeckung zwischen den Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses sowie einem stationären Monitor unterscheidet, wenn die Hinweissignale rein visuell oder multimodal ausgegeben werden (H 1.1).

Anhand von Bearbeitungszeiten der Montageaufgabe und des subjektiven Workloads sollten sich Auswirkungen der Informationsträger (z. B. Wille et al., 2014) und Hinweissignale, z. B. durch Unterbrechungen des Arbeitsflusses (z. B. Kolbeinsson et al., 2017; Okoshi et al., 2015; Wickens, 2002), auf die Ausführungsleistung bei der Montage zeigen. Dies führt zu den Fragen, wie sich Bearbeitungszeiten und Workload bei Nutzung der Informationsträger mit rein visuellen oder multimodalen Hinweissignalen unterscheiden und wie sich die Hinweissignale auf die Bearbeitungszeit und den Workload bei dem jeweiligen Informationsträger auswirken (H 1.2 und H 1.3). Die Analyse der Signalentdeckung soll zeigen, wie zuverlässig Wearable Devices wahrgenommen werden. Anhand der Bearbeitungszeiten und des Workloads werden Effekte der Wearable Devices auf die Primäraufgabe, also die Ausführungsleistung und die subjektive Beanspruchung bei der Montage, deutlich.

Bisher liegen noch keine Vergleiche zwischen der Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Smartglasses und Smartwatches ohne oder mit multimodalen Hinweissignalen sowie der Auswirkungen auf Bearbeitungszeiten und Workload vor. Diese stellen jedoch eine wesentliche Voraussetzung für deren Anwendung in der Produktion dar. Daher sollten diese Fragen im Rahmen von Studie 1 anhand einer simulierten Montageaufgabe im Trainingskontext, dem Anbringen von Steckverbindungen auf Zeit, beantwortet werden. Als Referenz wurde ein Monitor gesetzt, der dem Status Quo der Informationsanzeige in der Montage entspricht, wobei die Simulation durch die Nähe des Monitors zum Teilnehmenden und die geringe Mobilität nur annähernde Vergleiche zur Montagelinie ermöglichte. Die Fragestellungen und Hypothesen bezüglich der Signalentdeckung, der Bearbeitungszeiten und des Workloads sind in Tabelle 3.1 gezeigt.

3. EMPIRISCHER TEIL

Tabelle 3.1.

Fragestellungen und Hypothesen in Studie 1

Signalwahrnehmung: Wie wird die Signalwahrnehmung durch Informationsträger und Hinweissignale beeinflusst?

- H 1.1* (a) Die Signalwahrnehmung ohne Hinweissignal unterscheidet sich zwischen Informationsträgern im Sichtfeld (Smartglasses) und Informationsträgern außerhalb des Sichtfeldes (Smartwatch, Monitor).
- (b) Multimodale Hinweissignale steigern die Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Informationsträgern im Sichtfeld und außerhalb des Sichtfeldes im Vergleich zu rein visuellen Ereignisinformationen.
- (c) Mit multimodalen Hinweissignalen werden am Körper getragene Informationsträger (Smartwatch, Smartglasses) zuverlässiger wahrgenommen als nicht am Körper getragene Informationsträger (Monitor).
-

Bearbeitungszeit: Beeinflussen Endgeräte und Hinweissignale die Bearbeitungszeit?

- H 1.2* Die Bearbeitungszeit in der Montageaufgabe wird durch a) die Informationsträger (Smartglasses, Smartwatch, Monitor) und b) das Hinweissignal beeinflusst.
-

Workload Montage: Beeinflussen Endgeräte und Hinweissignale den Workload?

- H 1.3* Der Workload der Montageaufgabe wird durch a) die Informationsträger (Smartglasses, Smartwatch, Monitor) und b) das Hinweissignal beeinflusst
-

3.2.1. Methodik

3.2.1.1. Stichprobe

Teilnehmende eines Montagetrainings im Trainingszentrum eines Automobilherstellers wurden um die freiwilligen Partizipation gebeten. Alle Teilnehmenden erklärten ihr Einverständnis zur anonymen Datennutzung. Es erfolgte eine zufällige Zuordnung der Teilnehmenden zu den Bedingungen Anzeigegerät (Monitor, Smartwatch, Smartglasses) und Hinweissignal (mit, ohne). Tabelle 3.2 zeigt die demographischen Daten.

3. EMPIRISCHER TEIL

Tabelle 3.2.

Demographische Daten zu Studie 1

Informationsträger Hinweissignal	Smartwatch		Smartglass		Monitor	
	Mit	Ohne	Mit	Ohne	Mit	Ohne
N (Teilnehmer)	32	22	20	41	17	29
n (weiblich)	2	1	4	1	3	1
M (Alter)/Jahre (SD)	27.67 (4.57)	27.00 (6.79)	35.05 (9.63)	29.61 (7.43)	30.31 (8.51)	28.43 (6.60)

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung

3.2.1.2. Material und Geräte

3.2.1.2.1. Steckerboard

Das zum Training des Anbringens von Steckverbindungen genutzte Übungsboard (Länge: 2.00 m, Höhe: 1.80 m, Breite: 1.50 m; siehe Abbildung 3.4) war in vier Arbeitsplätze (je 1 m x 1.20 m) eingeteilt. Jeder verfügte über 35 Anschlüsse für diverse elektrische Mehrfachstecker in variierter Ausrichtung. Nur die Anschlüsse der untersten Reihe unterschieden sich zwischen benachbarten Arbeitsplätzen. Die Stecker lagen nach Reihen sortiert in vier beschrifteten Behältern. Die Aufgabe zum Anbringen und Überprüfen von Steckverbindungen war nach MTM abgetaktet und war somit hinsichtlich Zeitvorgaben pro Stecker mit den Produktionsbedingungen vergleichbar. Für die Studie wurden in der Montage übliche Farbmarkierungen angebracht.



Abbildung 3.4. Steckerboard.

3.2.1.2.2. Informationsträger und Software

Die Ereignisinformationen wurden, je nach Bedingung, auf einem Notebook, einer Smartwatch (IconBit Callisto 300) oder Smartglasses (Vuzix M100) angezeigt. Eine Applikation für Windows 7 und Android zeigte innerhalb von 150 s in variierenden Abständen und zufälliger Reihenfolge insgesamt zehn Mal die Worte „blau“ oder „gelb“ in weißer Schrift auf schwarzem Hintergrund. Ohne Ereignis blieb das Display schwarz. In der Bedingung Hinweissignal wurden die Worte durch ein auditives (Monitor, Smartglasses) oder vibrotaktilen (Smartwatch) Hinweissignal begleitet.

3.2.1.2.3. Datenerhebung

Die Leistungsdaten der wahrgenommenen Signale und Bearbeitungszeiten wurden anhand der Farbmarkierungen und mit einer Stoppuhr erfasst. Über einen Fragebogen wurden demographische Daten erhoben. Der Workload wurde mit dem NASA Raw TLX (Byers, Bittner & Hill, 1989; Hill et al., 1992) erfasst. Für die verwendeten Fragen siehe Anhang A.1.

Der NASA Task Load Index (NASA TLX) ist eine verbreitete Erhebungsmethode des subjektiven Workloads beim Einsatz von Wearable Devices. Er erfasst den Workload als multidimensionales Konstrukt auf den Dimensionen der mentalen und körperlichen Beanspruchung, der zeitlichen Anforderung, der wahrgenommenen Leistung, der Anstrengung, um die Aufgabe zu lösen und der erlebten Frustration (Hart, 2006; Hart & Staveland,

3. EMPIRISCHER TEIL

1988). Während die Kategorien beim NASA TLX nach Relevanz gewichtet werden, verzichtet der zeitsparendere, methodisch vergleichbare NASA Raw TLX (Byers et al., 1989) auf diese Gewichtung (Hart, 2006). Beide NASA TLX Varianten sind für die Workload-Erfassung bei Wearable Devices geeignet.

3.2.1.3. Prozedur

Die Studienteilnehmer trainierten das Anbringen von Steckverbindungen zwei- bis dreimal im Zuge des Montagetrainings, bis die Bearbeitungszeit von 150s erreicht wurde. Darauf folgte die Studiendurchführung, für die jeder Teilnehmer randomisiert einer Bedingung (Informationsträger, Hinweissignal) zugeteilt wurde. Das Assistenzkonzept Order Attention Guiding wurde erläutert und die Studie als dessen Simulation vorgestellt. Danach wurden die Aufgaben und Geräte erläutert. Die Informationsträger gaben visuelle Ereignisinformationen aus (ohne Hinweissignal), die in der Bedingung mit Hinweissignal von akustischen bzw. vibrotaktilen Signalen begleitet wurden. Die Stecker sollten so schnell wie möglich angebracht und parallel dazu die auf den Geräten in randomisierter Frequenz angezeigten Ereignisinformationen (zehn Anweisungen „blau“ oder „gelb“) durch Markierungen in der entsprechenden Farbe bestätigt werden. Die Wearable Devices wurden am Körper getragen. Das Notebook war neben dem Steckerboard platziert und von allen Positionen einsehbar. Die Applikation und das Anbringen der Stecker wurden parallel begonnen. Die Bearbeitungszeit sowie die Anzahl der geklebten Pfeile wurden von der Versuchsleitung individuell erfasst. Im Anschluss wurden der Fragebogen und die Bearbeitung des NASA Raw TLX von der Versuchsleitung erläutert und von den Teilnehmern ausgefüllt. Die Studie dauerte ca. 20 min.

3.2.1.4. Auswertungsdesign

Es wurde je eine Varianzanalyse für die Zwischensubjektfaktoren Informationsträger (Monitor, Smartwatch, Smartglasses) und multimodales Hinweissignal (mit, ohne) zur Analyse der Signalentdeckungsrate, der Bearbeitungszeit und des Workloads durchgeführt. Für die Signalentdeckungsrate wurden die entdeckten Ereignisse nach Snodgrass & Corwin (1988) um falsche Alarme korrigiert und ein Quotient mit der Gesamtzahl der Ereignisse gebildet.

3.2.2. Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den Analysen der Signalwahrnehmung, der Bearbeitungszeit und des Workloads dargestellt. Um die Heterogenität der Anwender von Wearable Devices zu berücksichtigen, wurden keine Ausreißer ausgeschlossen.

3.2.2.1. Signalwahrnehmung

Die Signalentdeckung wurde mit einer 3 (Informationsträger: Smartwatch, Smartglases, Monitor) x 2 (Hinweissignal: ohne, mit) Varianzanalyse analysiert. Diese ergab Haupteffekte des Informationsträgers ($F[2, 152] = 4.29, p = .015, \eta^2 = .053$) und des Hinweissignals ($F[1, 152] = 24.90, p = .000, \eta^2 = .141$), doch keine Interaktion ($F[2, 152] = 2.43, p = .091, \eta^2 = .031$).¹ Abbildung 3.5 zeigt deskriptive Daten und p -adjustierte signifikante Unterschiede nach Informationsträger und Hinweissignal.

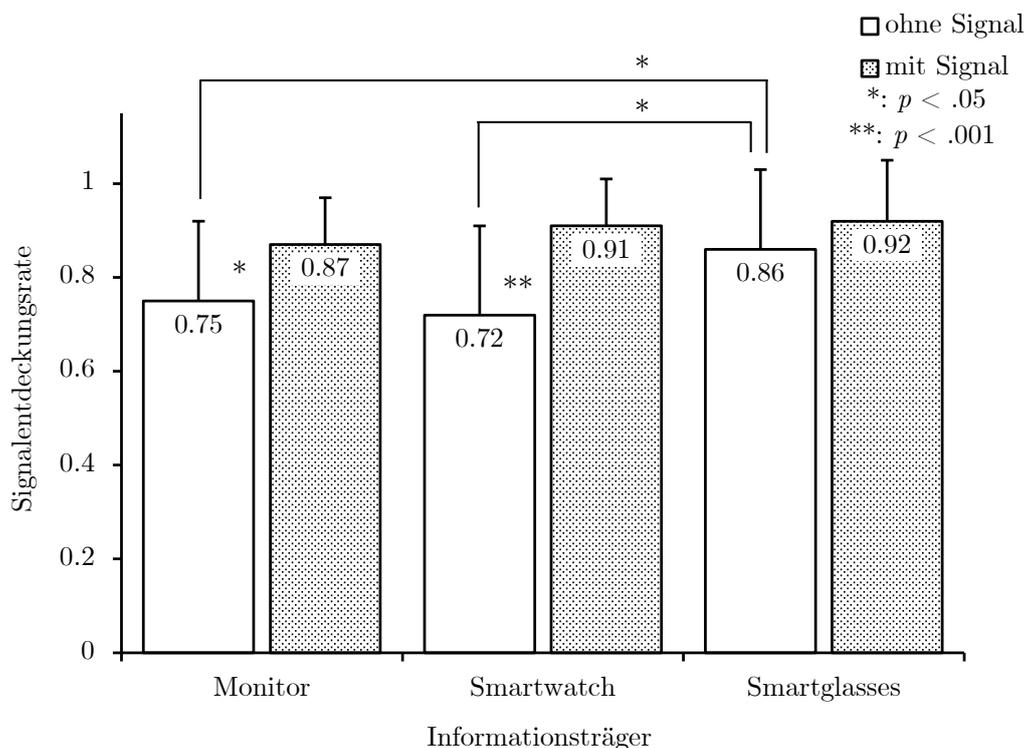


Abbildung 3.5. Signalentdeckungsrate Informationsträger und Hinweissignal.

Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests (siehe Anhang A.2.1) zeigten positive Einflüsse des Hinweissignals auf die Signalentdeckung bei Informationsträgern außerhalb des Sichtfeldes (Monitor, Smartwatch), doch nicht bei Informationsträgern im Sichtfeld (Smartglases). Ohne Hinweissignal wurden visuelle Anzeigen im Sichtfeld (Smartglases) si-

¹Signifikante Interaktion unter Ausschluss der Ausreißer

3. EMPIRISCHER TEIL

gnifikant zuverlässiger wahrgenommen als visuelle Anzeigen außerhalb des Sichtfeldes (Monitor, Smartwatch). Mit multimodalem Hinweissignal unterschieden sich die Informationsträger nicht.

3.2.2.2. Bearbeitungszeit

Eine 3 (Smartwatch, Smartglasses, Monitor) x 2 (ohne, mit Hinweissignal) Varianzanalyse ergab weder für den Informationsträger ($F[2, 155] = 2.18, p = .117, ns.$) noch für das Hinweissignal ($F[2, 155] = 2.43, p = .091, \eta^2 = .031$) Haupteffekte auf die Bearbeitungszeit und zeigte keine Interaktion ($F[2, 152] = 1.94, p = .147, ns.$). Abbildung 3.6 zeigt die deskriptiven Daten und p -adjustierten signifikanten Unterschiede. Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche (siehe Anhang A.2.2) zeigten in der Bedingung ohne Hinweissignal eine signifikant niedrigere Bearbeitungszeit mit dem Monitor als mit den Smartglasses während mit Hinweissignal keine Unterschiede mehr zwischen den Informationsträgern auftraten. Das Hinweissignal senkte die Bearbeitungszeit bei der Smartwatch, nicht aber bei Monitor und Smartglasses.

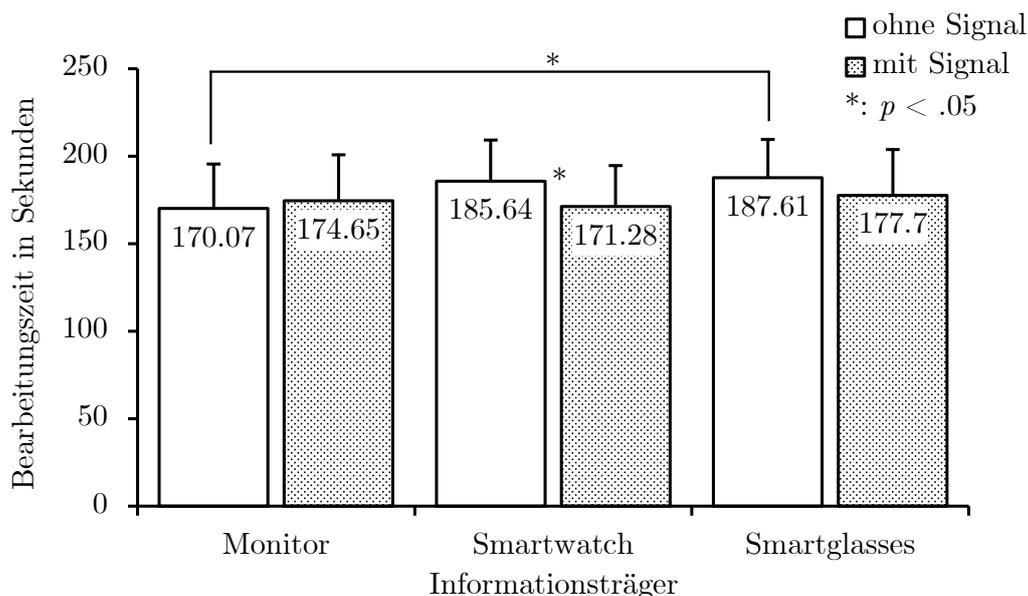


Abbildung 3.6. Bearbeitungszeit nach Informationsträger und Hinweissignal.

3.2.2.3. Beanspruchung

Die subjektive Beanspruchung anhand des Summenscores des Nasa Raw TLX wurde in einer 3 (Informationsträger: Monitor, Smartwatch, Smartglasses) x 2 (ohne, mit Hinweissignal) Varianzanalyse berechnet. Insgesamt zeigte sich kein Haupteffekt des Informations-

3. EMPIRISCHER TEIL

trägers ($F[2, 150] < 1$, *ns.*), jedoch ein Haupteffekt des Hinweissignals ($F[1, 150] = 8.76$, $p = .004$, $\eta^2 = .06$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen Informationsträger und Hinweissignal ($F[2, 150] = 5.25$, $p = .006$, $\eta^2 = .065$). Den deskriptiven Gesamtworkload sowie die p -adjustierten statistisch signifikanten Unterschiede visualisiert Abbildung 3.7. Bonferroni-adjustierte Post-Hoc-Tests (siehe Anhang A.2.3) zeigten eine Erhöhung des Workloads ohne Hinweissignal bei der Smartwatch im Vergleich zu Monitor und Smartglasses, während mit Hinweissignal keine signifikanten Unterschiede mehr auftraten. Das Hinweissignal senkte den Workload bei der Smartwatch, nicht jedoch bei Smartglasses und Monitor.

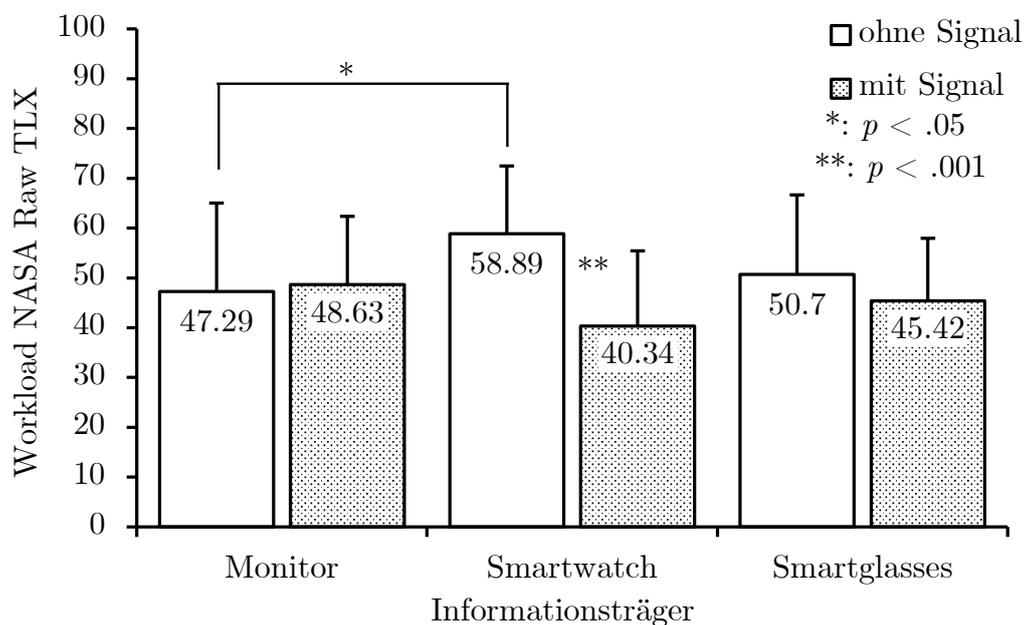


Abbildung 3.7. Workload nach Informationsträger und Hinweissignal.

3.2.3. Diskussion

Die Wahrnehmung unregelmäßiger Ereignisinformationen ist die Voraussetzung für das Assistenzkonzept Order Attention Guiding. Zur Abschätzung der Wahrnehmung unregelmäßiger Ereignisinformationen auf Wearable Devices (Smartwatch, Smartglasses) im Vergleich zu einem Monitor wurden Signalentdeckung, Bearbeitungszeit und Workload mit und ohne zusätzlichem Hinweissignal während einer Montageaufgabe im Trainingskontext erfasst. Die Signalentdeckung unterschied sich zwischen den Informationsträgern und das Hinweissignal übte einen positiven Einfluss gegenüber rein visuellen Informationen aus. Damit wird Hypothese H 1.1 unterstützt. Visuelle Ereignisinformationen ohne Hinweissignal wurden auf Smartglasses zuverlässiger entdeckt als auf Informationsträgern außer-

3. EMPIRISCHER TEIL

halb des zentralen Sichtfeldes, die Bewegung (Kopfdrehung bei Monitor, Armbewegung bei Smartwatch) erforderten. Damit wurde Hypothese H 1.1.a bestätigt. Auch Lauber (2015) zeigte, dass die kontinuierliche Sichtbarkeit des Displays die Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Smartglasses unterstützt. Einschränkungen der Informationsverarbeitung mit Smartglasses durch die Displaytechnologie (Huckauf et al., 2010; Schega et al., 2014) oder die Montagetätigkeit (Theis et al., 2015; Wille, 2016; Woodham et al., 2016) wurden nicht bestätigt, was aus der kurzen Nutzungsdauer resultieren kann. Die Anzeige von Ereignisinformationen unterscheidet Studie 1 von anderen montagebezogenen Evaluationen von Wearable Devices, die primär Montageanleitungen anzeigen. Wille et al. (2014) fanden bei der Anzeige von Montageanleitungen und randomisierten Ereignisinformationen auf HMDs Reduktionen der Bearbeitungszeit und Signalentdeckung gegenüber Tablets.

Die Salienzsteigerung durch Hinweissignale auf einer weiteren Modalität erhöhte die Signalentdeckung auf Informationsträgern außerhalb des Sichtfeldes (Smartwatch, Monitor), während im Sichtfeld (Smartglasses) nur eine deskriptive Steigerung auftrat, was mit Deckeneffekten und hohen Standardabweichungen zusammenhängen kann (vgl. Wickens, 2014). Daher wurde Hypothese H 1.1.b nur für Informationsträger außerhalb des Sichtfeldes bestätigt. Die hohe Steigerung der Signalentdeckung auf Smartwatches durch Hinweissignale unterstützt bisherige Erkenntnisse zur Zuverlässigkeit der Wahrnehmung vibrotakter Signale (Wang, Millet & Smith, 2016) parallel zur Ausführung von Montagetätigkeiten (z. B. Kolbeinsson et al., 2017; Schultheis, 2015). Bei mobilen Primärtätigkeiten können Hinweissignale auch die Signalentdeckung bei Smartglasses unterstützen (Woodham et al., 2016). Während Fahraufgaben führen Hinweissignale bei Smartglasses (He et al., 2015; Sawyer et al., 2014; Young et al., 2016) sowie Smartwatches (Giang et al., 2014) zu zuverlässigeren und schnelleren Reaktionen als Alarmierungen mit Smartphones. Mit Hinweissignal unterschieden sich Smartwatch und Smartglasses nicht und wurden deskriptiv, doch nicht signifikant zuverlässiger wahrgenommen als der Monitor. Da sich individuelle und kollektive Informationsträger nicht unterschieden, wurde Hypothese H 1.1.c abgelehnt.

Entgegen Hypothesen H 1.2.a und H 1.2.b beeinflussten weder Informationsträger noch Hinweissignale die Bearbeitungszeit. Dies könnte in Zusammenhang mit der kurzen Aufgabe, vorheriger Übung oder den Ereignisinformationen stehen, da sich bei längerer Nutzung Einflüsse von HMDs auf die Bearbeitungszeit zeigen können (Theis et al., 2015). Montagefehler wurden nicht erfasst, da sie sich in höheren Bearbeitungszeiten äußerten (ebd.). Post-Hoc-Tests zeigten, dass die Bearbeitungszeit mit dem Monitor ohne Hinweissignal niedriger war als mit den Wearable Devices, was an der Platzierung des Monitors im

3. EMPIRISCHER TEIL

Blickwinkel oder dem gewohnten Umgang mit Monitoren liegen könnte. Mit Hinweissignal ergaben sich keine Unterschiede mehr. Das Hinweissignal reduzierte die Bearbeitungszeit mit der Smartwatch, indem die Armbewegung zum Lesen der Informationen nur noch bei Ereignissen erforderlich war.

Der Workload wurde, wie in Hypothese H 1.3.a und H 1.3.b vermutet, durch das Hinweissignal und die Interaktion aus Informationsträger und Hinweissignal beeinflusst. Ohne Hinweissignal war der Workload mit der Smartwatch höher als mit Monitor und Smartglasses. Das Hinweissignal senkte den Workload mit der Smartwatch signifikant gegenüber rein visuellen Ereignisinformationen. Mit Hinweissignal unterschied sich der Workload zwischen den Informationsträgern nicht, war aber bei der Smartwatch deskriptiv niedriger als beim Monitor. Die Ereignisse stellten willkürliche, nicht an reale Situationen gekoppelte Unterbrechungen der Montage dar, was sich negativ auf Workload und Wahrnehmung auswirken kann (Kawai et al., 2011; Okoshi et al., 2015). In Verbindung zu relevanten Sekundäraufgaben können Hinweissignale die Leistung unterstützen (Kolbeinsson et al., 2017).

Zusammengefasst werden Smartglasses ohne Hinweissignal zuverlässiger wahrgenommen als Monitor und Smartwatch. Mit Hinweissignal werden die drei Informationsträger vergleichbar zuverlässig wahrgenommen. Bei Smartwatches ohne Hinweissignal ist die Signalentdeckung gegenüber Smartwatch und Monitor reduziert und der Workload erhöht. Das Hinweissignal wirkt sich positiv auf beide Faktoren aus, sodass sich die Smartwatch mit Hinweissignal nicht mehr von Smartglasses und Monitor unterscheidet. Dies könnte auf den Aufwand ständig (ohne Signal) bzw. nur bei Hinweissignal erforderlicher Armbewegungen zurückzuführen sein. Die zum Monitor vergleichbare Wahrnehmung von Ereignisinformationen auf Wearable Devices mit Hinweissignal während der Steckermontage unterstützt die Anwendbarkeit des Assistenzkonzeptes Order Attention Guiding.

Studie 1 wies durch die Untersuchungsbedingungen im Trainingszentrum unterschiedliche Stichprobengrößen in den einzelnen Gruppen auf. Die Aufgabe war zwar zeitlich beanspruchend, doch kurz und erforderte keine Mobilität der Anwender. Die Bearbeitungszeit weist ähnliche Kriterien zu kurzen Taktzeiten auf, während sich andere Faktoren von der Fließmontage unterschieden. Zudem erforderte die Reaktion auf die Ereignisinformation die Auswahl aus zwei Alternativen (blau oder gelb) und entspricht demnach eher Prozess B als Prozess C, welcher Informationen erfordert, dass eine Veränderung vorliegt. Zusätzlich traten weniger Störgeräusche als in der Fließmontage auf und der Monitor war deutlich näher im Sichtfeld und nicht durch die Montage am Fahrzeug verdeckt. Dadurch sind die Studienergebnisse nicht uneingeschränkt auf den Produktionskontext übertragbar.

Aus Studie 1 geht nicht hervor, wie sich das dauerhafte Tragen von Smartglasses oder Smartwatches bei selten eintretenden Ereignisinformationen auf die Montageleistung oder die Beanspruchung auswirkt. Dabei ist es wahrscheinlich, dass Smartwatches bei seltenen Ereignisinformationen und Smartglasses für kontinuierliche Informationsanzeigen geeigneter sind. Um die Aufmerksamkeit von der Montage auf die Ereignisinformation zu lenken, sollten im Produktionskontext für beide multimodale Hinweissignale eingesetzt werden (z. B. Woodham et al., 2016). Obwohl in Studie 1 die grundlegende Anwendbarkeit von Wearable Devices mit Hinweissignal für Order Attention Guiding gezeigt wurde, bleibt die Überprüfung des Assistenzkonzeptes in der laufenden Produktion erforderlich (siehe Studie 3).

3.3. Studie 2: Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz von Wearable Devices für das Montagetraining

Das Ziel von Studie 2 ist die mehrdimensionale Evaluation von Wearable Devices mit dem Assistenzkonzept Order Sequence Guiding bezüglich ihres Unterstützungspotenzials zum Montagetraining, potenzieller Nutzungsbarrieren und der Akzeptanz in einer Stichprobe von Montagemitarbeitern. Diese Evaluationsaspekte bieten Grundlagen zur Bewertung der Einsatzpotenziale bzw. Nutzungskriterien von Wearable Devices für die Produktion anhand ihrer Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998). In der bisherigen Forschung wurden zwar Ausschnitte der Aspekte, doch keine gemeinsame Evaluation im Produktionskontext berichtet. Auch wurden bisher entweder Smartglasses oder Smartwatches untersucht. Daher soll Studie 2 Beiträge zur Anwendbarkeit von Wearable Devices für die Automobilmontage im Vorfeld eines Produktionseinsatzes sowie zum Forschungsfeld leisten.

Zur Assistenz des Montagetrainings sollten Wearable Devices mit Order Sequence Guiding die initiale Ausführung (Reason, 1990) und das Lernen von Montagesequenzen unterstützen (Eiriksdottir & Catrambone, 2011). In der bisherigen Forschung zu Assembly Guiding unterstützen HMDs die initiale Ausführung gegenüber Referenzmedien nicht (z. B. Theis et al., 2015; Wille, 2016). Für Order Sequence Guiding auf Unterarm-Displays für mobile Montagetätigkeiten zeigt hingegen eine formale, doch artifizielle Laborstudie von Thorvald et al. (2014) Unterstützungspotenzial zur Fehlerreduktion bei der initialen Ausführung im Vergleich zu stationären Informationsträgern. Im Produktionskontext werden jedoch nur kurze, informale Tests von Order Sequence Guiding oder ähnlichen Konzep-

ten berichtet (z. B. Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010). Auch bei Pick-by-Vision für mobile Kommissionieraufgaben zeigten sich überwiegend Effektivitäts- oder Effizienzsteigerungen durch HMDs gegenüber standardmäßig genutzten stationären Anzeigen oder Papierlisten (z. B. Guo et al., 2014; Wu et al., 2015). Der Forschungsstand verdeutlicht Lücken formaler Evaluationen im Labor- und v. a. im Produktionskontext. Zudem zeigt sich, dass für spezifische Informationskonzepte entweder Smartwatches oder Smartglasses evaluiert, doch diese nicht verglichen werden. Die offen gebliebenen Fragen nach dem Unterstützungspotenzial von Smartwatches und Smartglasses für das Montagetraining unter Anwendungsbedingungen und deren Vergleich sollen mit Studie 2 beantwortet werden. Basierend auf dem Forschungsstand wird erwartet, dass die Nutzung von Wearable Devices Ausführungsfehler gegenüber der Nutzung eines Papier-Standardarbeitsblattes senkt (H 2.1). Bearbeitungszeiten könnten durch die mobile Verfügbarkeit der Informationen sinken oder durch die Bedienung der Wearable Devices ansteigen (z. B. Thorvald et al., 2014). Daher sollten sich die Bearbeitungszeiten zwischen den Informationsträgern unterscheiden (H 2.2).

Bezüglich des Lernens von Montagesequenzen stellen sich die Fragen nach der Ausführungsleistung bei wiederholter Montage mit Wearable Devices und dem Lernen der intuitiven Ausführung ohne Assistenz. Zur mehrmaligen Nutzung von Wearable Devices liegen keine formalen Forschungsergebnisse im Produktionskontext vor. Bisherige Analysen der Leistung mit Wearable Devices mit Assembly Guiding ließen keine Schlüsse auf das Lernen der Montage ohne Instruktionsnutzung zu (z. B. Wille et al., 2014), die jedoch für die intuitive Automobilmontage erforderlich ist (Hermawati et al., 2015; Jeske et al., 2013). Das Beenden der Assistenz könnte sich im Vergleich zur Systemnutzung oder zu Kontrollgruppen negativ auf die Leistung auswirken (Parasuraman et al., 2000; Yuviler-Gavish et al., 2011). Die Fragen nach der Montageleistung bei wiederholter Nutzung und der intuitiven Montage nach Assistenzabbruch sind von praktischer Relevanz (z. B. Systemausfälle oder Ende der Lernphase) und stellen Forschungslücken für Montageassistenzsysteme dar (z. B. Borsci, Lawson, Salanitri & Jha, 2016; Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016; Maurtua, 2009; Syberfeldt et al., 2015; Theis et al., 2015). Da diese Fragen nicht formal für Wearable Devices zur Informationsassistenz beantwortet wurden (vgl. Maurtua, 2009), soll Studie 2 diese Lücke schließen. Aufgrund des Handlungslernens bei der Montage wird erwartet, dass Ausführungsfehler (H 2.3) und Bearbeitungszeiten (H 2.4) bei der wiederholten Montage mit Wearable Devices und der Papierliste gegenüber der vorherigen Ausführung sinken. Der Vergleich zwischen der Nutzung von Wearable Devices und der anschließenden intuitiven Ausführung ohne Informationsassistenz sollte Erkenntnisse zu deren Auswirkungen auf zugrundeliegende Lernprozesse liefern. Aufgrund potenzieller

Risiken des Nutzungsabbruchs wird angenommen, dass sich das Beenden der Nutzung, v. a. wenn die Aufgabe noch nicht vollständig gelernt wurde, negativ auf die Ausführungsleistung auswirkt. Daher könnten die Ausführungsfehler bei der Montage ohne Assistenz gegenüber der Assistenz durch Wearable Devices ansteigen (H 2.7) und höher sein als bei vorheriger Nutzung des Referenzinformationsträgers (H 2.5). Die Bearbeitungszeiten ohne Assistenz sollten sich zwischen den Gruppen (H 2.6) sowie zwischen der Montage mit und ohne Assistenz (H 2.8) unterscheiden.

Potenzielle Nutzungsbarrieren könnten der Nutzung von Wearable Devices zur Montageassistenz entgegenstehen, z. B. wenn die Geräte bei der Montage behindern. Als Nutzungsbarrieren werden der Workload und Beschwerden durch die Tätigkeit bzw. die Nutzung der Wearable Devices (z. B. Wille, 2016) sowie der Tragekomfort der Geräte erfasst (Knight & Baber, 2005). V. a. beim Workload werden sowohl Anstiege (z. B. Wille, 2016) als auch Reduktionen (z. B. Guo et al., 2015) beim HMD-Einsatz berichtet, ohne Zusammenhänge zwischen Endgeräten und Aufgaben abzuleiten. Beschwerden gelten als Risikofaktor für den langfristigen HMD-Einsatz, für die Smartwatchnutzung liegen keine Referenzen vor. Der Tragekomfort wird zwar oft thematisiert, doch letztendlich kaum erfasst. Daraus resultieren die Fragen, wie sich der Workload zwischen den Informationsträgern (H 2.9) bzw. Beschwerden (H 2.10) und Tragekomfort (H 2.11) zwischen Smartwatch und Smartglasses unterscheiden.

Die Akzeptanz stellt ein zentrales Nutzungskriterium für die Anwendung von Wearable Devices im Produktionskontext dar, wird jedoch in der Forschung nur unzureichend thematisiert. Die Akzeptanzanalyse kann zum Vergleich der Informationsträger beitragen, um deren Nützlichkeit für das Montagetraining und die Zufriedenheit der Anwender zu analysieren (Van der Laan et al., 1997). Es wird angenommen, dass sich die Akzeptanz der drei Informationsträger unterscheidet (H 2.12). Während die Nutzungsintention von Wearable Devices für den Konsumentenmarkt anhand diverser formaler Akzeptanzmodelle wie z. B. der UTAUT (Venkatesh et al., 2003), vorhergesagt wurde (z. B. Pfeiffer et al., 2016), bestehen Forschungsdesiderate für Wearable Devices im Produktionskontext. Daher soll überprüft werden, ob die allgemeingültige UTAUT auf Wearable Devices für die Automobilmontage übertragbar ist (H 2.13). Aufgrund der Anpassbarkeit der UTAUT an Systeme und Anwendungskontexte (z. B. Taiwo & Downe, 2013; Venkatesh et al., 2016) werden zusätzliche Faktoren zur Modellerweiterung hinzugezogen. Konkret soll geprüft werden, inwiefern die Bewertung der Wearable Devices als verlässliche Informationsquelle (Vertrauen) und Nutzungsbarrieren über die UTAUT-Faktoren hinaus zur Erklärung der Nutzungsintention beitragen (H 2.14). Die Modellerweiterung ergänzt Analyse der Ak-

3. EMPIRISCHER TEIL

zeptanz um das Verhältnis zwischen Nützlichkeit und Nutzungsbarrieren von Wearable Devices als Arbeitsmittel (vgl. Brau, 2012).

Der Ablauf der Studie baut auf dem Evaluationsansatz von Maurtua (2009) auf und beinhaltet zwei Montagedurchgänge mit und einen dritten ohne Informationsassistentz. In Tabelle 3.3 sind die Fragestellungen und Hypothesen gezeigt.

Tabelle 3.3.

Fragestellungen und Hypothesen in Studie 2

Unterstützungspotenzial mit Assistentz: Wie wirkt sich die Nutzung der Wearable Devices auf die Effektivität und Effizienz der Fahrzeugmontage aus und wie unterscheiden sich Smartwatch und Smartglasses?

H 2.1 Bei der Nutzung von Wearable Devices zur Informationsassistentz für die Montage (EG 1: Smartwatch, EG 2: Smartglasses) treten weniger Ausführungsfehler auf als bei der Nutzung einer Papierliste (KG). Dieser Effekt zeigt sich bei der Montage mit Assistentz, also in Durchgang 1 (H 2.1.a) und 2 (H 2.1.b).

H 2.2 In Montagedurchgang 1 (a) und 2 (b) unterscheiden sich die Bearbeitungszeiten zwischen Nutzung der Smartwatch (EG 1), den Smartglasses (EG 2) und der Papierliste (KG).

3. EMPIRISCHER TEIL

Lerneffekte mit Assistenz: Zeigen sich Lerneffekte bei der Wiederholung der Montageaufgabe mit Assistenz?

H 2.3 In Durchgang 1 treten bei jeder Gruppe (EG 1: Smartwatch, EG 2: Smartglasses, KG: Papierliste) mehr Ausführungsfehler auf als in Durchgang 2.

H 2.4 Im zweiten Durchgang ist die Bearbeitungszeit bei jeder Gruppe (EG 1: Smartwatch, EG 2: Smartglasses, KG: Papierliste) niedriger als im ersten Durchgang.

Leistung nach Abbruch der Assistenz: Wie wirkt sich das Beenden der Nutzung von Wearable Devices auf die Effektivität und Effizienz der Ausführung von Montagetätigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe aus?

H 2.5 Bei den Experimentalgruppen (EG 1 und EG 2) sind die Ausführungsfehler ohne Assistenz (Durchgang 3) höher als bei der Kontrollgruppe (KG).

H 2.6 Bei der Montage ohne Assistenz unterscheidet sich die Bearbeitungszeit zwischen den Experimentalgruppen (EG 1 und EG 2) und der Kontrollgruppe (KG).

Vergleich mit/ ohne Assistenz: Wie wirkt sich das Beenden der Assistenz auf die Effektivität und Effizienz der Montage im Vergleich zur Ausführung mit Assistenz aus?

H 2.7 In den Experimentalgruppen EG 1 und EG 2 sind Ausführungsfehler ohne Assistenz (Durchgang 3) höher als bei der Montage mit Assistenz (Durchgang 2).

H 2.8 Die Bearbeitungszeit unterscheidet sich in allen Gruppen zwischen dem zweiten Durchgang mit Assistenz und dem dritten Durchgang ohne Assistenz.

3. EMPIRISCHER TEIL

Nutzungsbarrieren: Wie unterscheidet sich die Beanspruchungen durch die Montage zwischen Smartwatch (EG 1), Smartglasses (EG 2) und Papierinstruktionen (KG)?

H 2.9 Der Workload unterscheidet sich zwischen den drei Informationsträgern.

H 2.10 Die Beschwerden unterscheiden sich zwischen Smartwatch, Smartglasses und Kontrollgruppe (H 2.10.a) und sind bei Smartglasses am höchsten (H 2.10.b).

H 2.11 Der Diskomfort unterscheidet sich zwischen Smartwatch und Smartglasses.

Akzeptanz: Unterscheidet sich die Akzeptanz zwischen den Informationsträgern?

H 2.12 Die Akzeptanzbewertung (Nützlichkeit und Zufriedenheit) unterscheidet sich zwischen Smartwatch, Smartglasses und Kontrollgruppe.

UTAUT: Kann die UTAUT für Wearable Devices für die Montage bestätigt werden? Tragen die Modellerweiterungen zur Erklärung der Nutzungsintention bei?

H 2.13 Die UTAUT lässt sich für Wearable Devices im Produktionskontext bestätigen.

H 2.14 Die Modellerweiterungen tragen zur Varianzaufklärung der UTAUT bei.

- (a) Das Vertrauen beeinflusst die Nutzungsintention positiv.
- (b) Beschwerden beeinflussen die Nutzungsintention negativ.
- (c) Der Diskomfort beeinflusst die Nutzungsintention negativ.

3.3.1. Methodik

3.3.1.1. Stichprobe

Teilnehmende eines Montagetrainings wurden um die freiwillige Partizipation gebeten und gaben ihr Einverständnis zur Datennutzung. Jede Trainingsgruppe wurde randomisiert einer der Experimentalgruppen (Smartwatch, Smartglasses) oder der Kontrollgruppe (Papierliste) zugewiesen. Tabelle 3.4 stellt die demographischen Daten aller Probanden (Gesamt) und der in die Analyse der Leistungsdaten eingehenden Teilstichprobe (Leistung) dar. Datensätze gingen in die Leistungsdaten ein, wenn die Montage dreimal durchgeführt wurde und die Experimentalgruppen die Wearable Devices in den ersten beiden, doch nicht im dritten Durchgang nutzten. Ursachen für Abweichungen lagen in Verkürzungen der Übung auf weniger als drei Durchgänge durch Verzögerungen im Trainingsablauf, Abordnungen von Teilnehmenden in die Montagelinie oder deren Wünsche,

3. EMPIRISCHER TEIL

die Wearable Devices häufiger oder seltener zu nutzen. In die Analyse der Akzeptanz und Nutzungsbarrieren gingen alle vollständigen Fragebögen ein.

Tabelle 3.4.

Demographische Daten zu Studie 2

Gruppe	Experimental- gruppe 1		Experimental- gruppe 2		Kontrollgruppe	
	Gesamt	Leistung	Gesamt	Leistung	Gesamt	Leistung
<i>N</i> (Teilnehmer)	49	28	56	48	56	33
<i>n</i> (weiblich)	3	2	8	8	2	0
<i>M</i> (Alter)/Jahre (<i>SD</i>)	28.73 (6.94)	28.96 (6.50)	29.20 (6.46)	29.66 (6.87)	29.43 (7.57)	29.80 (8.93)
<i>M</i> (Erfahrung)/Monate (<i>SD</i>)	5.12 (17.81)	8.03 (23.86)	11.44 (30.76)	12.92 (33.19)	4.83 (9.14)	4.89 (8.75)

Anmerkung. *M* = Mittelwert, *SD* = Standardabweichung

3.3.1.2. Material und Geräte

3.3.1.2.1. Übungskarosse

Eine Cabriolet-Karosse war zu Übungszwecken auf einem abgetrennten Fließbandsegment in Montagebereich A aufgestellt. Die Montage der Übungskarosse war regulärer Bestandteil des Montagetrainings. Zwei Personen konnten parallel an der linken und rechten Karosseite arbeiten. Die Montagesequenz bestand aus 17 Schritten von Front bis Heck, die nach MTM auf 4 min 33 s abgetaktet wurden. Die Montageschritte erforderten diverse Arbeitspositionen, bspw. im Fußraum, über Kopf, in der Hocke, mit Sichteinschränkung, in engen, schwer erreichbaren Verbauräumen und mit Kleinteilen. Die Bauteile und ein Akkuschauber wurden in einem Montagewagen mitgeführt (siehe Abbildung 3.8). Die Montagesequenz und Taktzeit entsprach keinem realen Takt in der Produktion, waren aber nach Angaben der Trainer mit den Anforderungen und Tätigkeiten der Fließmontage vergleichbar.



Abbildung 3.8. Montagewagen mit Standardarbeitsblatt.

3.3.1.2.2. *Instruktionsmaterial*

Die Montageanweisungen für die Übungskarosse wurden in einem Standardarbeitsblatt des Trainingszentrums identisch für die linke und rechte Karosseite definiert und die jeweiligen Verbauorte visualisiert (siehe Anhang B.1.1). Anhang B.1.2 stellt die Aufgaben der Sequenz des Standardarbeitsblattes, einschließlich der gekürzten Formulierung für die Wearable Devices und deren durch MTM vorgegebene Bearbeitungszeiten dar. Abbildung 3.9 visualisiert die Montageposition der Bauteile an der Karosse. Das Standardarbeitsblatt war in ca. 1.5 m Abstand zur Front der Karosse an der Wand sowie, für die Kontrollgruppe, am Montagewagen angebracht. Standardarbeitsblätter wurden in der Produktion für jeden Takt in allen Montagebereichen eingesetzt.

3.3.1.2.3. *Informationsträger*

Die Anwendung Order Sequence Guiding (Anhang B.1.2) wurde auf der Smartwatch IconBit Callisto 300B und den Smartglasses Vuzix M100 angezeigt und manuell bedient. Die hinterlegten MTM-Zeitvorgaben wurden als fortschreitender Balken zur zeitlichen Orientierung angezeigt. Nach Sequenzende wurden Soll- und Ist-Zeiten verglichen.

3.3.1.2.4. *Datenerhebung*

Objektive Daten. Pro Durchgang und Person wurden Ausführungsfehler und Bearbeitungszeiten mit der Prozessaufnahmesoftware s.w.an Suite (Version vom 14.06.2014)

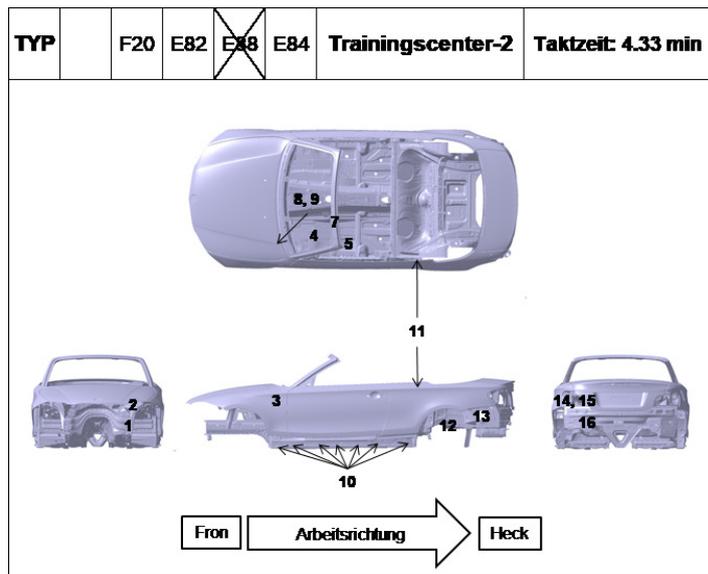


Abbildung 3.9. Ausschnitt eines Standardarbeitsblatts.

digital erfasst. Die Ausführungsfehler wurden in die Kategorien Verwechslung, Auslassung und Montagefehler eingeteilt.

Subjektive Daten. Mittels Fragebögen wurden die Nutzungsbarrieren Workload, Diskomfort und Beschwerden erfasst. Die Akzeptanz wurde anhand der Van der Laan Skala und der UTAUT erhoben. Die verwendeten Skalen sind in Tabelle 3.5 und die verwendeten Fragen in Anhang B.2 dargestellt. Die Skalen wurden übersetzt und zum Teil an den Untersuchungskontext angepasst.

Die Nutzungsbarrieren wurden mit dem NASA Raw TLX (Byers et al., 1989), dem Diskomfort-Fragebogen für Wearable Devices (Knight & Baber, 2005) und dem VRSQ-Fragebogen für generelle und visuelle Beschwerden (Ames et al., 2005) erfasst. Der NASA Raw TLX wurde in Studie 1 erläutert. Der Diskomfort-Fragebogen (Comfort Assessment of Wearable Computers) beinhaltet die Bewertung des Tragekomforts von Wearable Devices auf einer 21 Punkte Skala mit folgenden Dimensionen: Bedenken über die eigene Erscheinung, Befestigung am Körper, Schädigung des Körpers, wahrgenommene Veränderung, Bewegungseinschränkungen sowie Bedenken über Sicherheit und Zuverlässigkeit (Knight & Baber, 2005). Dadurch können Ausprägungen des Diskomforts eingeschätzt und verschiedene Endgeräte verglichen werden (Knight et al., 2006). Der VRSQ ist ein sensitiver Fragebogen zur Erfassung allgemeiner (z. B. Kopfschmerzen) und visueller (z. B. verschwommene Sicht) Beschwerden nach kurzer Nutzungsdauer von HMDs (Ames et al., 2005). Er stellt eine Abwandlung des Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy et al., 1993) für HMDs dar.

3. EMPIRISCHER TEIL

Die Akzeptanz wurde mit der Van der Laan Skala (Van der Laan et al., 1997) in einer von den Autoren empfohlenen Übersetzung von Kondzior (o. J) erfasst. Die Van der Laan Skala erfasst die Akzeptanz zeitökonomisch anhand der Nützlichkeit eines Systems und der Zufriedenheit der Anwender mit diesem auf semantischen Differenzialen zwischen den Polen der Ablehnung (-2) und Befürwortung (+2) (Van der Laan et al., 1997). Dadurch kann die Akzeptanz von Wearable Devices über Endgeräte, Anwendergruppen und Nutzungskontexte verglichen werden.

Die UTAUT wurde anhand von Übersetzungen formaler Akzeptanzskalen erfasst. Diese beinhalteten von 1 (trifft nicht zu) – 6 (trifft voll und ganz zu) kodierte Skalen der Handhabung (Ghazizadeh et al., 2012), der Nützlichkeit, des sozialen Einflusses und der Nutzungsintention (Venkatesh et al., 2003). Zur Modellerweiterung wurde, neben den Nutzungsbarrieren, das Vertrauen erfasst (Ghazizadeh et al., 2012).

Tabelle 3.5.

Verwendete Skalen für Studie 2

Fragebogen	Subskalen / Konstrukte	Quelle	Range	Itemzahl
Workload (NASA Raw TLX)	mentale, körperliche, zeitliche Beanspruchung, Leistung, Anstrengung, Stress, Frustration	Byers et al., 1989	0 – 20	7
Beschwerden (VRSQ)	Generelle Beschwerden Visuelle Beschwerden	Ames et al., 2005	0 – 10	8 5
Diskomfort (comfort assessment of wearable computers)	Emotion, Befestigung, Schädigung, wahrgenommene Veränderung, Bewegung, Angst	Knight et al., 2005	0 – 20	6
Akzeptanz (Van der Laan Skala)	Nützlichkeit Zufriedenheit	Van der Laan et al., 1997	-2 – +2	5 4
Akzeptanz UTAUT	Handhabung	Ghazizadeh et al., 2012	1 – 6	5
	Nützlichkeit	Venkatesh et al., 2003	1 – 6	3
	Sozialer Einfluss		1 – 6	3
	Nutzungsintention		1 – 6	3
Erweiterung UTAUT	Vertrauen	Ghazizadeh et al., 2012	1 – 6	3

3.3.1.3. Prozedur

Die Versuchsleitung wies die Teilnehmenden Gruppen zu. Die Experimentalgruppe 1 (EG 1) sollte die Smartwatch, die Experimentalgruppe 2 (EG 2) die Smartglasses und die Kontrollgruppe (KG) das Papier-Standardarbeitsblatt nutzen. Die Versuchsleitung erläuterte den Versuchsablauf, den Fragebogen und den Experimentalgruppen die Wearable Devices. Im Anschluss demonstrierten die Trainer die Montage der Bauteile. Die Teilnehmenden übten deren Handhabung einmal. Die Experimentalgruppen übten die Bedienung der Wearable Devices und wurden gebeten, sie zur Anzeige jedes Arbeitsschrittes zu nutzen. Die Kontrollgruppe wurde gebeten, das Standardarbeitsblatt zu nutzen. Das Ziel bestand in der fehlerfreien Montage der Übungskarosse in 4 min 33 s.

Den Ablauf der Montageaufgabe visualisiert Abbildung 3.10. Es wurden drei Montagedurchgänge durchgeführt. Je zwei Personen konnten parallel an der Übungskarosse arbeiten. Nach den Instruktionen wurde der erste Montagedurchgang durchgeführt und die Workflows (Ausführungsfehler, Bearbeitungszeit) von der Versuchsleitung aufgezeichnet. Die Experimentalgruppen EG 1 und EG 2 sollten die Smartwatch bzw. Smartglasses in den ersten beiden, aber nicht im dritten Durchgang nutzen. Die Kontrollgruppe nutzte ein Papier-Standardarbeitsblatt, aber keine Wearable Devices. Der dritte Durchgang wurde ohne Informationsassistenz durchgeführt und war für alle Gruppen gleich. Die Versuchsleitung erläuterte die Fragebogenbearbeitung. Nach jedem Montage-Durchgang füllten die Teilnehmenden einen Fragebogen-Teil aus, während die Trainer und die Versuchsleitung die Karosse auf den Ausgangszustand zurückbauten. Die Montageübung dauerte drei bis vier Stunden und wurde durch die Studie um ca. 30 min verlängert. Zur Illustration zeigt in Abbildung 3.11 die Montage einer Heckleuchte mit Smartglasses.

3. EMPIRISCHER TEIL

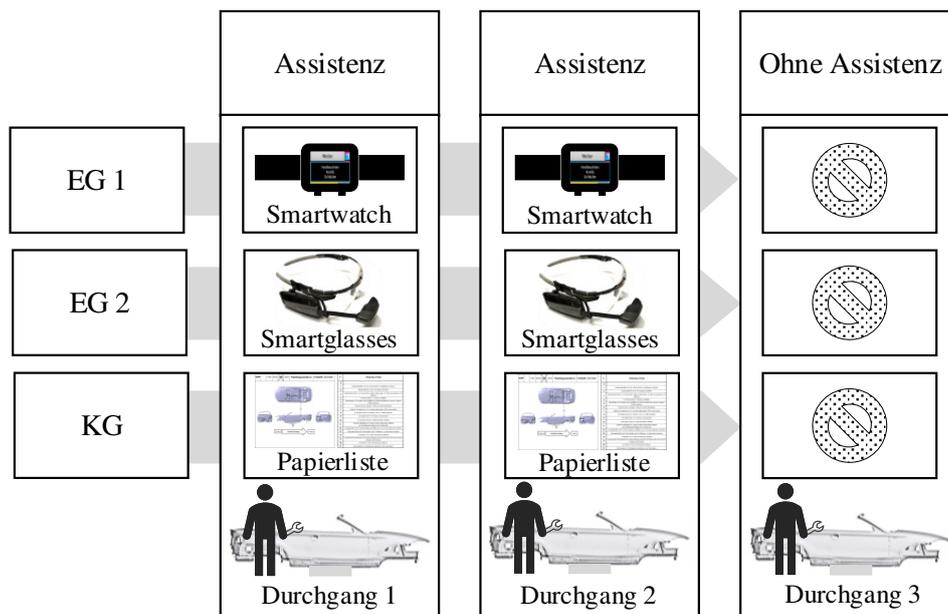


Abbildung 3.10. Ablauf der Montage mit bzw. ohne Informationsassistenten in Studie 2.



Abbildung 3.11. Montage der Heckleuchte mit Smartglasses.

3.3.1.4. Auswertungsdesign

Die Ausführungsfehler und Bearbeitungszeiten wurden jeweils in einer Mixed Design Varianzanalyse mit Durchgang als Innersubjekt- und Gruppe als Zwischensubjektvariable verglichen. Das Unterstützungspotenzial der Wearable Devices wurde in Vergleich zum Standardarbeitsblatt in den ersten beiden Durchgängen mit Informationsassistenten berechnet. Die Lerneffekte mit den Informationsträgern wurden vom ersten zum zweiten Durchgang verglichen. Im dritten Durchgang wurde die Ausführung ohne Informations-

assistenz zwischen den Gruppen verglichen. Die Auswirkungen des Nutzungsabbruchs ergeben sich aus dem Vergleich zwischen Durchgang zwei und drei. Die Fragebogendaten (Van der Laan Skala, Workload, Beschwerden) wurden zwischen den Gruppen, gerätespezifische Fragebogendaten zwischen der Smartwatch und den Smartglasses verglichen. Das UTAUT-Modell und die Einflussfaktoren auf die Akzeptanz wurden in einer mehrstufigen Regressionsanalyse für Smartwatch und Smartglasses berechnet.

3.3.2. Ergebnisse

In Studie 2 wurden Smartwatch und Smartglasses mit Order Sequence Guiding zum On-The-Job Montagetraining mit Papierinstruktionen verglichen. Zur Analyse der Auswirkungen des Informationsträgers auf die Lernleistung sowie Effekte des Assistenzabbruchs wurde eine Montageaufgabe zwei mal mit und einmal ohne Assistenz ausgeführt. Nachfolgend sind Ergebnisse der Ausführungsfehler und Bearbeitungszeit mit Assistenz der Wearable Devices sowie nach Assistenzabbruch dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Nutzungsbarrieren und Akzeptanz diskutiert.

Aufgrund der Heterogenität potenzieller Anwender wurden keine Ausreißer ausgeschlossen. Um mögliche Verzerrungen abzuschätzen wurden die Analysen ergänzend unter Ausschluss der Ausreißer berechnet. Der Ausschluss von Ausreißern führte zu keinen nennenswerten Unterschieden, sodass dieses Vorgehen konservative Resultate liefert.

3.3.2.1. Unterstützungspotenzial

3.3.2.1.1. Ausführungsfehler

Die Ausführungsfehler wurden in einer 3 (Zwischensubjektfaktor: EG 1, EG 2, KG), mal 3 (Innersubjektfaktor: Durchgang 1, 2, 3) Mixed Design Anova berechnet. Die Experimentalgruppen nutzten die Wearable Devices in Durchgang 1 und 2, aber nicht in Durchgang 3. Aufgrund einer Sphärizitätsverletzung ($\hat{\epsilon} = .900$, $p < .002$) wurde der Huynh-Feldt Estimate verwendet (Field, 2013). Die Analyse ergab signifikante Haupteffekte des Durchgangs ($F[1.86, 199.40] = 4.72$, $p = .012$, $\eta^2 = .04$), der Gruppe ($F[2, 107] = 21.26$, $p < .001$, $\eta^2 = .28$) sowie eine signifikante Interaktion von Gruppe und Durchgang ($F[3.73, 199.40] = 5.71$, $p < .001$, $\eta^2 = .10$). Wiederholte Kontraste (Anhang B.3.3) zeigten signifikante Unterschiede vom ersten zum zweiten und vom zweiten zum dritten Durchgang. Vom zweiten zum dritten Durchgang zeigte sich zudem eine signifikante Interaktion zwischen Durchgang und Gruppe. Abbildung 3.12 stellt die deskriptiven Daten sowie die signifikanten Unterschiede Bonferroni-adjustierter Post-Hoc-Tests dar. Die statistischen Daten sind in Anhang B.3.4 aufgeführt.

3. EMPIRISCHER TEIL

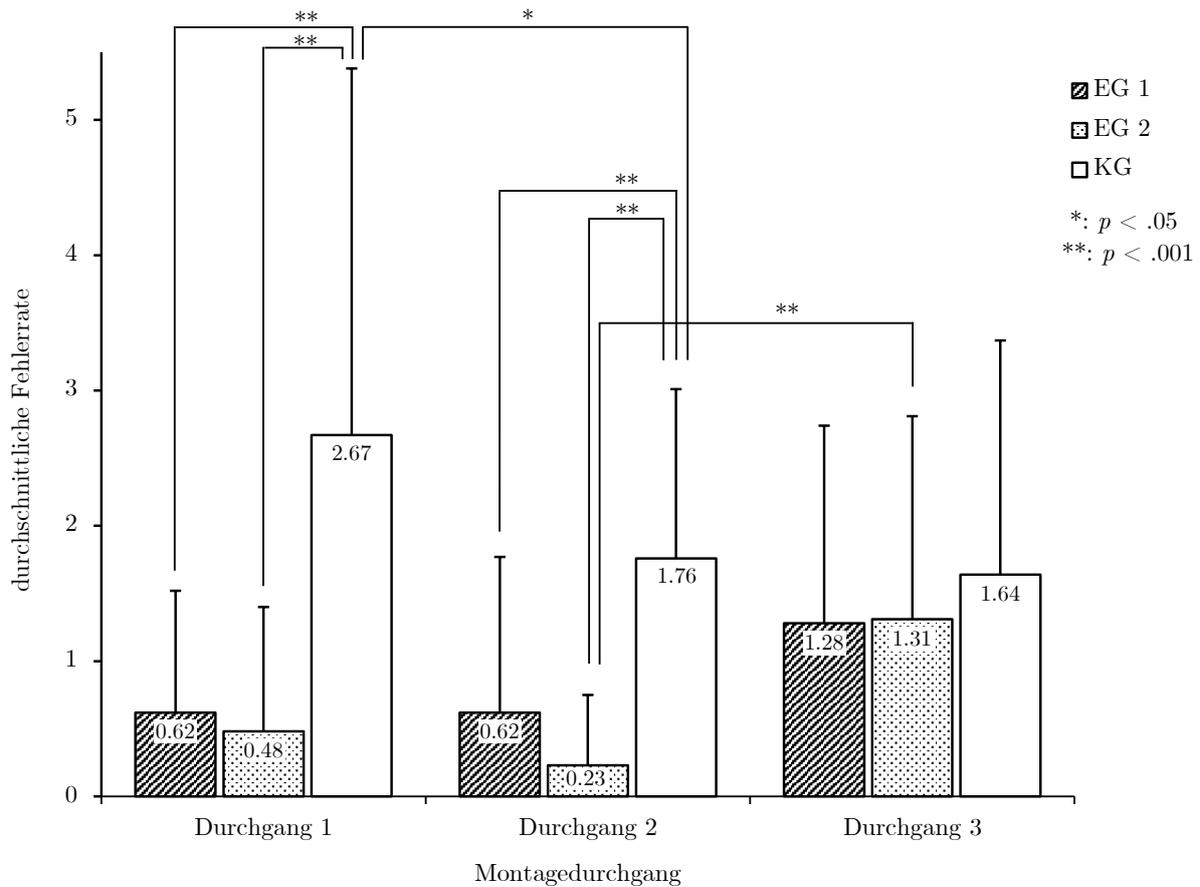


Abbildung 3.12. Ausführungsfehler pro Gruppe und Durchgang.

In den Durchgängen 1 und 2 traten bei der EG 1 (Smartwatch) und 2 (Smartglasses) im Vergleich zur KG (Papierliste) signifikant weniger Fehler auf. Die Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses unterschieden sich nicht. Vom ersten zum zweiten Durchgang sanken die Ausführungsfehler mit Papierliste (KG), während sie mit Nutzung der Wearable Devices (EG 1 und EG 2) konstant niedrig blieben. Vom zweiten Durchgang mit Assistenz zum dritten Durchgang ohne Assistenz stiegen die Ausführungsfehler bei EG 2 signifikant und EG 1 deskriptiv, da letztere bereits im zweiten Durchgang deskriptiv höher waren als bei EG 2². Die KG zeigte vom zweiten zum dritten Durchgang keine Fehlerreduktion. Die Ausführungsfehler von EG 1 und EG 2 stiegen auf dasselbe Niveau der KG, sodass sich die Gruppen im dritten Durchgang nicht unterschieden.

²Der Ausschluss von Ausreißern beeinflusst einen Effekt: Die Smartwatch-Fehlerrate ist im zweiten Durchgang niedriger und steigt so vom zweiten zum dritten Durchgang signifikant an ($p = .043$), ebenso wie bei den Smartglasses ($p = .017$).

3. EMPIRISCHER TEIL

3.3.2.1.2. Bearbeitungszeit

Die Bearbeitungszeit wurde mit einer 3 (Zwischensubjektfaktor: EG 1, EG 2, KG), mal 3 (Innersubjektfaktor: Durchgang 1, 2, 3) Mixed Design Anova berechnet. Aufgrund einer Verletzung der Sphärizitätsannahme ($\hat{\epsilon} = .739$, $p < .001$) wurde der Greenhouse-Geisser Estimate zur Korrektur genutzt (Field, 2013). Die Analyse ergab einen Haupteffekt des Durchgangs ($F[1.48, 158.07] = 196.88$, $p < .001$, $\eta^2 = .65$), keinen Haupteffekt der Gruppe ($F[2, 107] = 1.03$, $p = .359$, $\eta^2 = .02$), doch eine Interaktion zwischen Gruppe und Durchgang ($F[2.95, 158.07] = 7.30$, $p < .001$, $\eta^2 = .12$). Abbildung 3.13 visualisiert die Mittelwerte und Standardabweichungen.

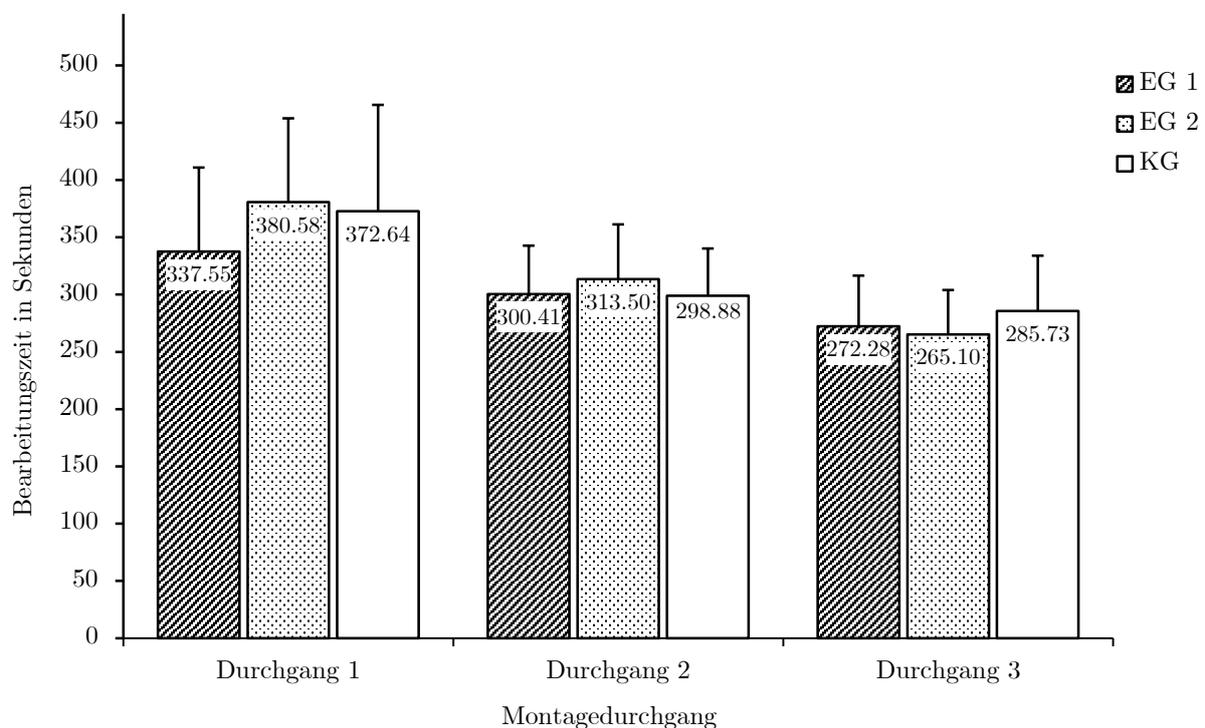


Abbildung 3.13. Bearbeitungszeit über drei Durchgänge nach Bedingung.

Wiederholte Kontraste (Anhang B.3.5) zeigten, dass die Bearbeitungszeiten zwischen Durchgang 1 und 2 sowie 2 und 3 signifikant sanken. Sie zeigten zudem signifikante Interaktionen mit der Gruppe bei Durchgang 1 und 2 sowie 2 und 3. Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests, die in Anhang B.3.6 aufgeführt sind, ergaben, dass die Bearbeitungszeiten innerhalb jeder Gruppe vom ersten zum zweiten und vom zweiten zum dritten Durchgang sanken. Doch sie zeigten keine Gruppenunterschiede in der Bearbeitungszeit.

3.3.2.2. Nutzungsbarrieren

3.3.2.2.1. Workload

Der in Abbildung 3.14 dargestellte Workload der Gesamtstichprobe ergab in einer univariaten Varianzanalyse keine Unterschiede zwischen den Gruppen ($F[2, 153] = 1.26$, $p = .287$, *ns.*). Auch einzelne Workload-Dimensionen zeigen keine Gruppenunterschiede.

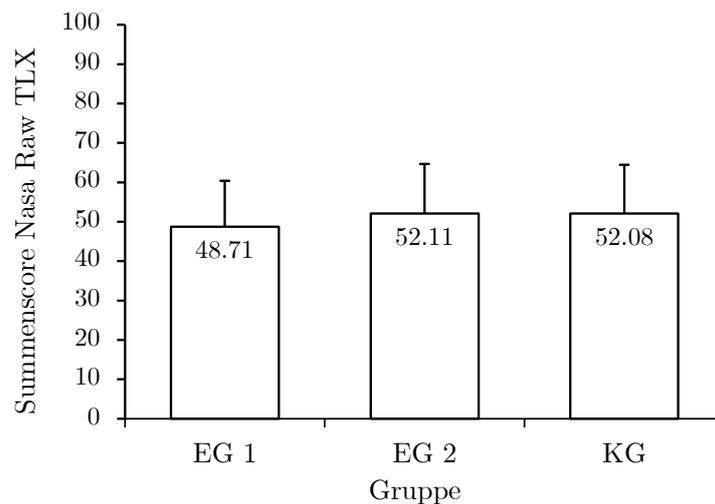


Abbildung 3.14. Summenscore Workload nach Bedingung.

3.3.2.2.2. Beschwerden

Die Beschwerden (VRSQ) wurden anhand einer 3 (EG 1, EG 2, KG) mal 2 (Beschwerden: generell, visuell) Mixed Design Anova analysiert. Die Analyse ergab keinen Haupteffekt der Art der Beschwerden ($F[1, 135] < 1$, *ns.*), einen Haupteffekt der Gruppe ($F[2, 135] = 10.07$, $p < .001$, $\eta^2 = .13$) und eine Interaktion ($F[2, 135] = 10.45$, $p < .001$, $\eta^2 = .13$). Die niedrig ausgeprägten deskriptiven Werte und signifikanten Unterschiede sind in Abbildung 3.15 visualisiert.

Die Post-Hoc-Tests (siehe Anhang B.3.7) zeigten niedrigere generelle Beschwerden bei der Smartwatch (EG 1) im Vergleich zu den Smartglasses (EG 2). Beide Gruppen unterscheiden sich nicht von der Papierliste (KG). Gegenüber Smartwatch und Papierinstruktionen sind Augenbeschwerden bei den Smartglasses signifikant erhöht. Weiterhin sind in EG 2 die Augenbeschwerden signifikant höher als die generellen Beschwerden. Bei der Papierliste sind die generellen Beschwerden höher als die Augenbeschwerden, während bei der Smartwatch keine Unterschiede auftreten.

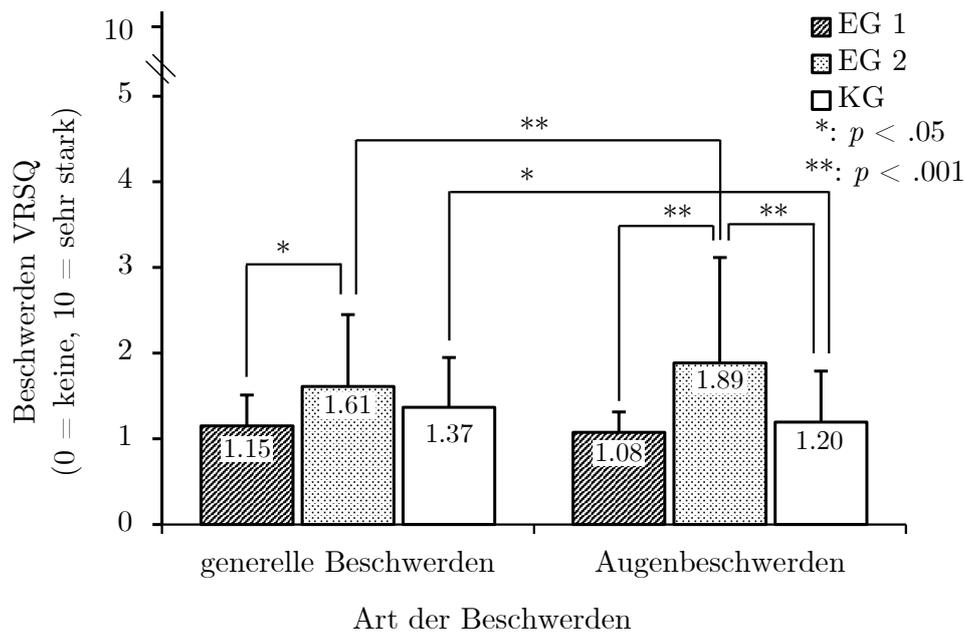


Abbildung 3.15. Generelle und Augenbeschwerden.

3.3.2.2.3. Diskomfort

Der Diskomfort wurde in einer 2 (EG 1, EG 2) mal 7 (Diskomfort-Rating: Aussehen, Gewicht, Befestigung, Tragekomfort, körperlicher Einfluss, Unsicherheit, Einfluss auf Bewegung) Mixed Design Anova analysiert. Wegen einer Sphärizitätsverletzung ($\hat{\epsilon} = .75$, $p < .001$) wurde der Huynh-Feldt Estimate genutzt. Sie zeigte einen Haupteffekt der Wearable Devices ($F[1, 93] = 13.30$, $p < .001$, $\eta^2 = .16$) und des Diskomforts ($F[4.83, 449.11] = 18.03$, $p < .001$, $\eta^2 = .16$) ohne Interaktion ($F[4.83, 449.11] = 1.19$, $p = .312$, *ns.*). Abbildung 3.16 visualisiert die deskriptiven Daten und die signifikanten Unterschiede Bonferroni-korrigierter Post-Hoc-Tests. Diese sind in Anhang B.3.8 aufgeführt. Sie ergaben einen signifikant höheren Diskomfort bei den Smartglasses auf allen Dimensionen außer der Unsicherheit beim Tragen des Gerätes.

Die Analyse weiterer Nutzungsbarrieren (siehe Anhang B.3.9) ergab, dass Wearable Devices nicht als Störfaktor bei der Montage wahrgenommen wurden. Die Smartwatch reduzierte die gefühlte Informationsmenge. Form und Gewicht der Smartglasses wurden als störender und die Bedienung als stärker aufhaltend und verlangsamer empfunden als die der Smartwatch. Im Vergleich zur Kontrollgruppe traten mit Wearable Devices höhere Bedenken auf, die Karosserie zu beschädigen.

3. EMPIRISCHER TEIL

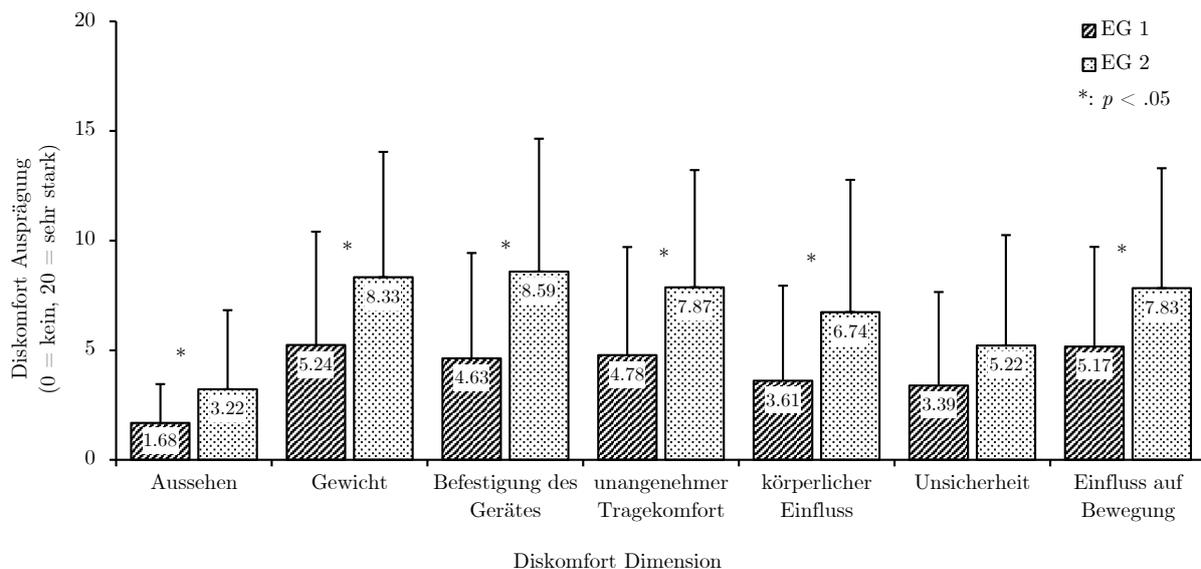


Abbildung 3.16. Ausprägung des Diskomforts zwischen den Wearable Devices.

3.3.2.3. Akzeptanz

3.3.2.3.1. Van der Laan Skala

Die Bewertung der Nützlichkeit und Zufriedenheit mit Smartwatch und Smartglasses und dem bekannten Arbeitsmittel Papier-Standardarbeitsblatt wurde in einer 3 (EG 1, EG 2, KG) mal 2 (Nützlichkeit, Zufriedenheit) Mixed Design Anova verglichen. Diese ergab einen signifikanten Haupteffekt des Unterschiedes zwischen Nützlichkeit und Zufriedenheit ($F[1, 140] = 62.01, p < .001, \eta^2 = .31$) und einen Haupteffekt der Gruppenunterschiede zwischen der Nutzung der Smartwatch (EG 1), der Smartglasses (EG 2) und der Papierliste (KG) ($F[2, 140] = 7.94, p = .001, \eta^2 = .10$) sowie eine signifikante Interaktion ($F[2, 140] = 3.19, p = .044, \eta^2 = .04$). Abbildung 3.17 stellt die deskriptiven Daten sowie die signifikanten Unterschiede Bonferroni-korrigierter Post-Hoc-Tests dar.

Insgesamt wurde die Akzeptanz positiv bewertet (je > 0). Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche, die in Anhang B.3.10 aufgeführt sind, zeigen eine signifikant höhere Bewertung der Nützlichkeit aller Informationsträger im Vergleich zur Zufriedenheit. Smartwatch und Smartglasses unterschieden sich nicht hinsichtlich der Bewertung ihrer Nützlichkeit sowie der Zufriedenheit der Anwender mit ihnen. Die Nützlichkeit des bekannten Informationsträgers Papier-Standardarbeitsblatt wurde hingegen als signifikant höher bewertet, als die des neuen Informationsträgers Smartglasses und marginal ($p = .052$) höher als die der Smartwatch. Auch die Bewertung der Zufriedenheit mit dem Informationsträger war höher für die Papierliste als für die Smartglasses, ohne Unterschied zur Smartwatch.

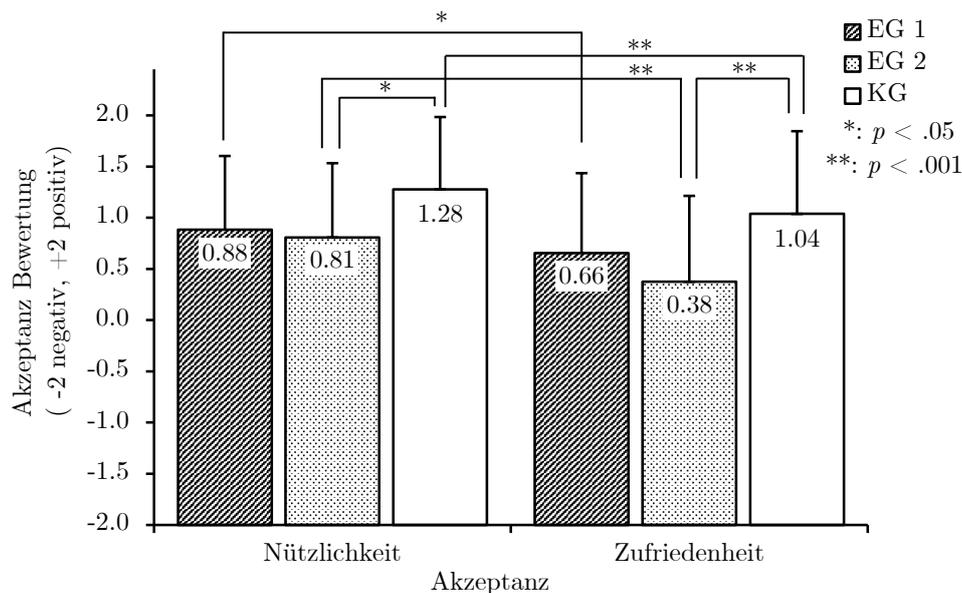


Abbildung 3.17. Nützlichkeit und Zufriedenheit der Informationsträger.

3.3.2.3.2. Einflussfaktoren auf die Akzeptanz

Zur Modelltestung akzeptanzfördernder und -hemmender Faktoren wurde die UTAUT analysiert sowie um Vertrauen und Nutzungsbarrieren erweitert. Da nicht alle Fragebögen vollständig beantwortet wurden (z. B. aufgrund von Anonymitätsbedenken), gingen nur $n = 73$ vollständige Datensätze in die Regressionsanalyse ein. Die Stichprobengröße von min. 50 Personen und einer weiteren Person pro Prädiktor wird dennoch erfüllt (Bühner & Ziegler, 2009). Die Regression wurde in drei Blöcken auf die abhängige Variable der Nutzungsintention berechnet. Der erste Block enthielt die Intervention (Smartwatch oder Smartglasses, Methode: Einschluss). Im zweiten Block wurde die UTAUT mit den Moderatoren Erfahrung und Alter getestet (Methode: Einschluss). Der dritte Block beinhaltete die Erweiterungen Beschwerden, Beanspruchung und Diskomfort sowie Vertrauen (Methode: Einschluss). Zur Reduktion von Multikollinearität der Interaktionen wurden die Variablen z -standardisiert. Eine erste Analyse ergab eine Multikollinearität zwischen Erfahrung und der Interaktion Erfahrung mit sozialer Einfluss. Da sie nicht signifikant war und die Ergebnisse nicht beeinflusste, wurde die Interaktion zugunsten der Verallgemeinerbarkeit ausgeschlossen (Field, 2013). Abbildung 3.18 visualisiert die Ergebnisse der Regression. Die Regressionstabelle ist in Anhang B.3.11 aufgeführt.

Block 1 zeigt keine Einflüsse der Endgeräte auf die Nutzungsintention. Block 2 bestätigt die UTAUT anhand der Einflussfaktoren Nützlichkeit und sozialer Einfluss auf die Nutzungsintention ($\Delta R^2 = .33$). Die Handhabbarkeit wurde nicht signifikant. Weder Alter noch Erfahrung zeigten moderierende Einflüsse. In Block 3 wurden das Vertrauen als

3. EMPIRISCHER TEIL

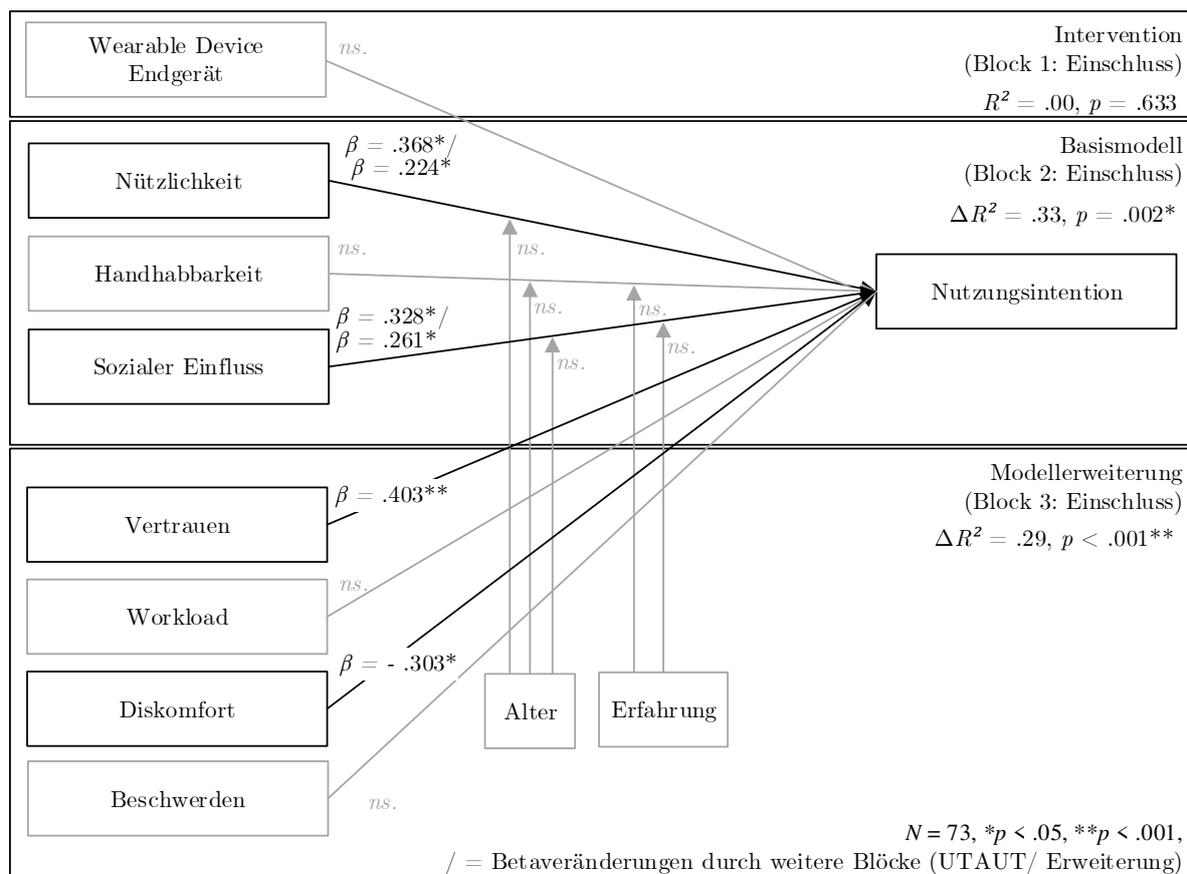


Abbildung 3.18. Regression UTAUT (Basismodell) und Modellerweiterung.

positiver und der Diskomfort als negativer Einflussfaktor bestätigt und dadurch zusätzlich $\Delta R^2 = .29$ Varianz erklärt. Workload und Beschwerden zeigten keine Einflüsse, was aus der niedrigen Ausprägung der Beschwerden sowie fehlenden Workload-Unterschieden resultieren könnte. Die UTAUT Faktoren blieben trotz der Erweiterungen signifikant. Die veränderten Beta-Werte sind in der Grafik hinter den Werten des Basismodells aufgeführt. Die UTAUT und die Erweiterung führen zu einer Gesamtvarianzaufklärung von $R^2 = .62$, bzw. $R^2_{\text{korrr}} = .53$.

3.3.3. Diskussion

Wearable Devices mit Order Sequence Guiding wurden für die Fahrzeugmontage in einem Trainingszentrum eines Automobilherstellers anhand der Kriterien der Gebrauchstauglichkeit mit einer Mitarbeiterstichprobe evaluiert. Die Ergebnisse des Unterstützungspotenzials, der Beanspruchung und der Akzeptanz werden nachfolgend diskutiert.

3.3.3.1. Unterstützungspotenzial

Die Ausführungsleistung (Ausführungsfehler, Bearbeitungszeiten) bei der Fahrzeugmontage wurde in drei Gruppen über je drei Montagedurchgänge evaluiert. In Durchgang 1 und 2 wurden zur Informationsassistenz die Wearable Devices Smartwatch (EG 1) und Smartglasses (EG 2) sowie ein Papier-Standardarbeitsblatt (KG) genutzt und deren Unterstützungspotenzial verglichen (vgl. Maurtua, 2009; Thorvald et al., 2014). Der dritte Durchgang wurde ohne Assistenz ausgeführt, um das Lernen mit den jeweiligen Informationsträgern zu analysieren. Nachfolgend werden die Ergebnisse mit Assistenz (Durchgang 1 und 2) und danach ohne Assistenz (Durchgang 3) sowie der Vergleich mit und ohne Assistenz (Durchgang 2 und 3) diskutiert.

3.3.3.1.1. Unterstützungspotenzial der Nutzung von Wearable Devices

Ausführungsfehler. Bei der Nutzung von Wearable Devices mit Order Sequence Guiding in Durchgang 1 und 2 traten jeweils weniger Ausführungsfehler auf als mit der Papierliste. Die Smartglasses und die Smartwatch unterschieden sich nicht signifikant voneinander, obwohl mit den Smartglasses deskriptiv weniger Ausführungsfehler auftraten als mit der Smartwatch. Dies unterstützt Hypothesen H 2.1.a und H 2.1.b und bestätigt das Unterstützungspotenzial von Wearable Devices mit Order Sequence Guiding zur Prozesssicherheit und Fehlerreduktion in der Montage. Vom ersten zum zweiten Durchgang sanken die Ausführungsfehler mit der Papierliste, während sie mit den Wearable Devices stabil niedrig blieben. Damit wird Hypothese H 2.3 nur für die Kontrollgruppe, aber nicht für Wearable Devices bestätigt. Gemäß des SEEV-Modells basiert das Unterstützungspotenzial der Wearable Devices auf der Verfügbarkeit von arbeitsrelevanten Informationen am Körper, was den Aufwand der Informationsbeschaffung senkt und so deren Wahrnehmung bzw. Nutzung erhöht (Wickens, 2014; Wickens et al., 2013). Auch die Schritt-für-Schritt Anzeige der Informationen auf den Wearable Devices kann sich im Vergleich zur Darstellung als Liste positiv auf die Leistung auswirken (Heiser et al., 2004; Stork & Schubö, 2010; Stork et al., 2008). Dass Informationen im Sichtfeld besser wahrgenommen werden als deren Verfügbarkeit am Handgelenk (Wickens, 2014) konnte nicht bestätigt werden. Da sich im Sichtfeld und am Handgelenk getragene Wearable Devices hinsichtlich der Ausführungsfehler nicht unterscheiden, bleibt weiterer Forschungsbedarf bestehen.

Informale Berichte über die Informationsnutzung in der Automobilmontage deuten hohe Einflüsse des zeitlichen Aufwandes an. Somit könnten Wearable Devices in Situationen angewendet werden, in denen stationäre Informationsträger nicht sichtbar sind und die Tätigkeiten daher aus dem Gedächtnis ausgeführt werden (Case et al., 2008; Fässberg,

3. EMPIRISCHER TEIL

2012; Nordin et al., 2010; Thorvald, 2011; Thorvald et al., 2014), was die Fehlerwahrscheinlichkeit steigert (Fast-Berglund et al., 2013; Reason, 1990). Die Fehlerreduktion mit Wearable Devices in Studie 2 bestätigte das von Thorvald et al. (2014) im Labor gezeigte Unterstützungspotenzial von Prozessinformationen auf Unterarm-Displays gegenüber stationären Monitoren bei der variantenreichen Montage. Ähnliche Fehlerreduktionen mit Smartglasses gegenüber Monitoren oder Papierlisten wurden bisher nicht für mobile Montageaufgaben, doch für Pick-by-Vision berichtet (Baumann, 2013; Guo et al., 2014; Guo et al., 2015; Reif et al., 2010; Schwerdtfeger, 2010; Tümler, 2009; Weaver et al., 2010; Wölflé, 2014; Wu et al., 2015). Wahrnehmungseinschränkungen durch Smartglasses bei Bewegung zeigte Studie 2 nicht (Kawai et al., 2011; Mustonen et al., 2013; Woodham et al., 2016).

Mit der Assistenz durch Wearable Devices traten dennoch Ausführungsfehler auf. Diese könnten mit Wahrnehmungseinschränkungen einhergehen oder dadurch bedingt sein, dass die Wearable Devices nicht zur Anzeige jedes Arbeitsschrittes bedient wurden. Da alle Informationsträger textbasierte Prozessinformationen zeigten, sind Auswirkungen auf Montagefehler (z. B. fehlerhafter Anbau) unwahrscheinlich. Assembly Guiding würde Montagefehler durch piktorale Anleitungen beeinflussen. Bisherige Ergebnisse zeigen jedoch ein höheres Unterstützungspotenzial für Order Sequence Guiding und Pick-by-Vision als für Assembly Guiding mit Wearable Devices (z. B. Büttner et al., 2016; Nakanishi & Sato, 2015; Theis et al., 2015; Wille, 2016; Zheng et al., 2015). Ggf. erhöhen komplexe Assembly Guiding-Visualisierungen auf HMDs die visuelle Beanspruchung und erschweren deren Interpretation gegenüber Monitoren (z. B. Theis et al., 2015; Wille & Wischniewski, 2015). Vergleiche zwischen Assistenzkonzepten und Analysen, für welche Aufgaben sich welche Konzepte oder Wearable Devices eignen, stehen noch aus.

Bearbeitungszeit. In Durchgang 1 und 2 unterschieden sich die Bearbeitungszeiten nicht zwischen den genutzten Informationsträgern. Nur in Durchgang 1 war die Bearbeitungszeit mit Smartglasses deskriptiv erhöht. Daher werden Hypothesen H 2.2.a und H 2.2.b nicht bestätigt. Vom ersten zum zweiten Durchgang sanken die Bearbeitungszeiten bei allen Gruppen. Dies spricht für das Lernen der Montage sowie das Erlernen der Handhabung der Wearable Devices und unterstützt Hypothese H 2.4. Im Unterschied zu Thorvald et al. (2014), die auch keine Einflüsse auf Bearbeitungszeiten fanden, wurden die Prozessinformationen für Order Sequence Guiding in Studie 2 Schritt für Schritt angezeigt. Die manuelle Bedienung zur Anzeige aller 17 Arbeitsschritte erhöhte den zeitlichen Bedienaufwand der Wearable Devices und könnte dazu beitragen, dass sich keine Effizienzsteigerung zeigte. Die vom Bedienaufwand unabhängige Analyse der Bear-

beitungszeiten würde andere Bedienkonzepte, wie Sprachsteuerung oder automatisierte Weiterschaltung, erfordern. Auch könnten die Bearbeitungszeiten durch Reduktionen der Bewegungsgeschwindigkeit zum Lesen auf Smartglasses erhöht werden (Kawai et al., 2011; Mustonen et al., 2013; Woodham et al., 2016). Die Reduktion der Bearbeitungszeit in Durchgang 2 könnte eine Gewöhnung an die Smartglasses andeuten. Studien mit mehrstündiger HMD-Nutzung für Montage- (z. B. Theis et al., 2015; Wille & Wischniewski, 2015) oder Logistikaufgaben (z. B. Reif et al., 2010; Tümler, 2009) berichten teilweise Gewöhnungen an die Displays, teilweise höhere Beanspruchungen. Da die von Wille (2016) und Theis et al. (2015) berichteten Bearbeitungszeiten durch den Rückbau fehlerhafter Montageschritte konfundiert waren und sich die Evaluation von Wearable Devices primär auf die einmalige Ausführung begrenzt, liegen keine konkreten Referenzen vor.

3.3.3.1.2. Montageleistung nach Beenden der Assistenz durch Wearable Devices

Von Durchgang 2 mit Wearable Devices zu Durchgang 3 ohne Assistenz stiegen die Ausführungsfehler bei den Experimentalgruppen an und bestätigten damit Hypothese H 2.7. Die Ausführungsfehler der Kontrollgruppe veränderten sich nicht von Durchgang 2 zu 3. Entgegen Hypothese H 2.5 unterschieden sich die Ausführungsfehler in Durchgang 3 nicht zwischen den Gruppen. Die Bearbeitungszeit sank von Durchgang 2 zu 3 in allen Gruppen vergleichbar. In Durchgang 3 traten keine Gruppenunterschiede auf. Dies bestätigt Hypothese H 2.8, doch nicht H 2.6. Durch das abrupte Ende der Assistenz stiegen Ausführungsfehler in den Experimentalgruppen deutlich an. Die vergleichsweise hohe Fehlerrate zeigt einerseits, dass ein geringer Transfer der Nutzung von Wearable Devices auf die Montage ohne Assistenz stattfand. Andererseits deuten die fehlenden Unterschiede bei Ausführungsfehlern und Bearbeitungszeit an, dass bei Experimental- und Kontrollgruppe vergleichbare Lernprozesse zugrunde liegen (vgl. Eiriksdottir & Catrambone, 2011). Zwar trat mit dem Nutzungsende eine Leistungsreduktion ein, doch das Lernen der Montagesequenz wurde durch die Wearable Devices nicht in dem Maße beeinträchtigt, wie es bisherige Ansätze zum Abbruch der Informationsassistenz nahelegten (Parasuraman et al., 2000; Yuviler-Gavish et al., 2011). Im Einklang mit den Ergebnissen von Studie 2 zeigten Yuviler-Gavish et al. (2011), dass die initiale Aufgabenausführung mit Informationsassistenz zu höherer Leistung führte als ohne Systemunterstützung. Jedoch traten bei der Wiederholung der Aufgabe ohne Systemnutzung höhere Fehlerraten auf als wenn von vornherein nicht mit dem System gearbeitet wurde. Solche Leistungseinbußen, die für eine Inhibition des Lernens sprechen, wurden in Studie 2 nicht bestätigt. Die Assistenz der initialen Ausführungsleistung in Studie 2 spricht für den Einsatz von Wearable Devices mit Order Sequence Guiding in der Produktion, z. B. zum Montagetraining. Die

Leistungsreduktion durch einen abrupten Assistenzabbruch weist jedoch auf potenzielle Risiken von Systemausfällen hin und verdeutlicht, dass Übergänge zwischen Assistenz und intuitiver Ausführung anders gestaltet werden sollten. Beispielsweise könnte der Übergang zur intuitiven Ausführung durch die schrittweise Reduktion der Assistenz bei steigender Kompetenz (Fading) unterstützt werden (Eiriksdottir & Catrambone, 2011). Daher sollten beim Einsatz von Wearable Devices mögliche Leistungsreduktionen bei Nutzungsunterbrechung beachtet werden. Offen bleibt die Frage, inwiefern Order Sequence Guiding das On-The-Job Anlernen in der Produktion unterstützt und sich Einflüsse der Expertise zeigen.

3.3.3.2. Nutzungsbarrieren

Workload. Der Workload unterschied sich nicht zwischen Smartglasses, Smartwatch und Kontrollgruppe, weshalb Hypothese H 2.9 abgelehnt wird. Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen zur HMD-Nutzung für mehrstündige Montageaufgaben an stationären Arbeitsplätzen von Theis et al. (2015), widerspricht aber Wille (2016), der in mehreren Studien einen höheren Workload mit HMD fand. Für mobile Kommissionieraufgaben wird oft ein reduzierter Workload sowie eine höhere Leistung mit HMDs im Vergleich zu Papierlisten berichtet (z. B. Reif et al., 2010; Wu et al., 2015). In Navigationsaufgaben hingegen kann auch ein erhöhter Workload auftreten (Kawai et al., 2011; Pfendler et al., 2011). Dies weist auf Einflüsse der Ausführungs- bzw. Vergleichsbedingungen oder der Displaytechnologie und der Instruktionsgestaltung auf dem Workload hin (z. B. Theis et al., 2016; Wille, 2016). Der Workload scheint anzusteigen, wenn die Schwierigkeit der Interpretation von Instruktionen zu- oder der Aufgabenbezug abnimmt (Kawai et al., 2011; Nakanishi & Sato, 2015). Da sich aus bisherigen Forschungsergebnissen keine Systematik erkennen lässt, erfordert die Prädiktion des Workloads weitere Untersuchungen.

Beschwerden. Die generellen und visuellen Beschwerden (Ames et al., 2005) waren sehr niedrig ausgeprägt und für Smartglasses leicht erhöht, während sich Smartwatch und Papierliste nicht unterschieden. Dies bestätigt Hypothese H 2.10.b, doch nicht H 2.10.a. Trotz niedriger Ausprägung der Beschwerden bleiben Überprüfungen von Smartglasses mit längerer Nutzung erforderlich (z. B. Nalivaiko et al., 2015). Erhöhungen der Beschwerden bei langen Montagetätigkeiten mit HMDs berichten auch Theis et al. (2015) und Wille (2016). Laborstudien und informelle Berichte aus dem Produktionsumfeld implizieren, dass Beschwerden auch für aktuelle Smartglasses von Bedeutung sind und nicht nur mit schweren industriellen HMDs assoziiert werden sollten (z. B. Stocker et al., 2016; Wille et al., 2014; Wille & Wischniewski, 2015).

Tragekomfort. Der Diskomfort (Knight & Baber, 2005) wurde über alle Dimensionen höher bei den Smartglasses als bei der Smartwatch bewertet, was Hypothese H 2.11 bestätigt. Bspw. wurden das Gewicht der Smartglasses und deren Befestigung negativer bewertet als bei der Smartwatch. Dies impliziert zwar nicht, dass die Smartwatch komfortabel ist, zeigt aber, dass geringere negative Empfindungen bei ihrer Nutzung auftraten (Vink & Hallbeck, 2012). Analysen des Tragekomforts von Wearable Devices fokussieren v. a. den mit Größe, Form und Gewicht einhergehenden Diskomfort (Baber et al., 1999; Bryson, 2007; Knight & Baber, 2005, 2007; Knight et al., 2006). Die sensorische und physiologische Wahrnehmung von Diskomfort wird in Verbindung mit erlebten Beschwerden der HMD-Nutzung (Wille, 2016) und Einflüssen auf die Körperhaltung (Knight & Baber, 2007; Theis et al., 2015) gesetzt. In informellen Berichten wird Diskomfort häufig als negative Nutzungserfahrung bei Smartglasses genannt (z. B. Stocker et al., 2016), aber selten konkret erfasst. Der Fragebogen von Knight & Baber (2005) stellt jedoch kein validiertes Verfahren dar, sodass der Vergleich verschiedener Studien erschwert wird und weitere Instrumentenentwicklung zielführend wäre.

3.3.3.3. Akzeptanz

3.3.3.3.1. Van der Laan Skala

Die Van der Laan Skala (Van der Laan et al., 1997) ergab positive Bewertungen der drei Informationsträger, was für ihre Akzeptanz spricht. Es zeigte sich jeweils eine höhere Nützlichkeits- als Zufriedenheitsbewertung, was Optimierungspotenziale aus Anwendersicht andeutet. Die höhere Nützlichkeit könnte auch mit der Übersetzung der Nützlichkeitsskala einhergehen, die eine nicht eindeutige Frage beinhaltet (Kondzior, o. J.). Zwischen Smartglasses und Smartwatch ergaben sich keine Unterschiede. Die Smartwatch unterschied sich nicht vom bekannten Arbeitsmittel Papier-Standardarbeitsblatt, welches jedoch als nützlicher und zufriedenstellender bewertet wurde als die Smartglasses. Daher wird Hypothese H 2.12 nur für den Unterschied zwischen Papierliste und Smartglasses bestätigt. Die Bewertung steht im Kontrast zu der höheren objektiven Ausführungsleistung mit Smartglasses gegenüber der Papierliste. Differenzen zwischen subjektiven Bewertungen und objektiven Effekten von IT-Systemen werden in der Forschung berichtet (z. B. Andre & Wickens, 1995). Die Bewertung des Standardarbeitsblattes kann darauf basieren, dass jeder Takt durch ein solches beschrieben wird und dessen Funktion vor der Studie im Montagetraining behandelt wurde. Die geringere Akzeptanz der Smartglasses könnte mit Diskomfort und Beschwerden zusammenhängen, was informale Berichte nahelegen (z. B. Kampmeier et al., 2007; Wille, 2016). Auch die Bedienung könnte den objektiven

oder subjektiven Nutzungsaufwand erhöhen und so die Akzeptanz senken (Wickens et al., 2013).

3.3.3.3.2. UTAUT und Modellerweiterung

Da die Nutzung der Wearable Devices gegeben war, wurde die UTAUT bis zur Nutzungsintention erfasst (Venkatesh et al., 2003). Die Analyse der Nutzungsintention stellt ein übliches Vorgehen für noch nicht eingeführte oder verfügbare Technologien dar (Davis & Venkatesh, 2004) und dominiert, in Verbindung mit Modellerweiterungen, die Akzeptanzforschung zu Wearable Devices (z. B. Jeong et al., 2017; Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016; Salinas Segura, 2016). Die UTAUT wurde mit einer Varianzaufklärung von 33 % auf Wearable Devices im Produktionskontext übertragen, was Hypothese H 2.13 bestätigt. Die Faktoren Nützlichkeit und sozialer Einfluss wirken sich positiv auf die Nutzungsintention der Wearable Devices aus. Die Nützlichkeit gilt als stärkster Prädiktor der UTAUT (Khechine et al., 2016). Der soziale Einfluss könnte mit dem sichtbaren Tragen der Geräte am Körper zusammenhängen (Knight & Baber, 2005). Beide wurden konsistent als Einflussfaktoren auf die Nutzungs- bzw. Kaufintention von Wearable Devices durch Konsumenten identifiziert (z. B. Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016; Yang et al., 2016). Die Handhabbarkeit zeigte keinen Einfluss, was konsistent zu den unregelmäßig identifizierten Einflüssen der Handhabbarkeit bei Konsumenten von Wearable Devices ist (z. B. Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016). Ein Erklärungsansatz ergibt sich aus der Definition der Handhabbarkeit und den Nutzungskonzepten von Wearable Devices. Daran zeigt sich, dass der Faktor Handhabbarkeit den Nutzungsaufwand von Wearable Devices nur eingeschränkt abbildet. Obwohl Venkatesh et al. (2003) den Begriff des Nutzungsaufwandes anstelle der Handhabbarkeit des TAM (Davis, 1989) einführten, bilden beide Skalen den Lernaufwand zur Bedienung von IT-Systemen ab und werden in späteren Publikationen wieder gleichgesetzt (Venkatesh et al., 2003; 2011). Ein hoher Lernaufwand oder eine komplizierte Bedienung widersprechen den Grundkonzepten von Wearable Devices, die unter minimalem Aufwand neben manuellen Primärtätigkeiten nutzbar sein sollen (Rügge, 2007). Einfach erlernbare Bedienkonzepte, wie die Betätigung einer Taste für Order Sequence Guiding, entsprechen daher einer einfachen Handhabbarkeit, spiegeln inhaltlich jedoch nicht den erlebten Bedienaufwand in Relation zur zeitkritischen Montage wider. Trotz der Einbindung des Nutzungsaufwandes in die Handhabbarkeitsskala in Studie 2 (Ghazizadeh et al., 2012), scheint die Evaluation des Nutzungsaufwandes von Wearable Devices andere Ansätze zu erfordern. Dies sollte künftig bei Akzeptanzmodellen beachtet werden. Die Moderatoren Alter und Erfahrung zeigten, ggf. durch die heterogene Stichprobe, keinen Einfluss. Das Geschlecht wurde aufgrund des geringen Frauenanteils

und der Vorgaben des Betriebsrates nicht einbezogen. Die Freiwilligkeit lag bereits in der Studienteilnahme. Moderatoren werden in Konsumentenmodellen nicht konsequent analysiert und zeigten, wenn berichtet, inkonsistente Einflüsse (z. B. Jeong et al., 2017; Pfeiffer et al., 2016).

Die Modellerweiterung trug zusätzlich mit 29 % zur Erklärung der Nutzungsintention von Wearable Devices zur Montageassistenz bei. Die UTAUT-Erweiterung basierte auf der Identifikation potenzieller Akzeptanzbarrieren (Vertrauen, Workload, Beschwerden, Diskomfort) nach Brau (2012). Das Vertrauen in Wearable Devices beeinflusste die Nutzungsintention positiv, was Hypothese H 2.14.a bestätigt. Es kann einen akzeptanzfördernden oder -hemmenden Faktor, v. a. bei geringem Vertrauen in die Funktionalität oder die Datensicherheit, darstellen (z. B. Gu et al., 2015; Pfeiffer et al., 2016; Rupp et al., 2016) und wurde in konsumentenorientierten Akzeptanzmodellen wiederholt als Einflussfaktor auf die Nutzungsintention von Wearable Devices bestätigt (z. B. Kwee-Meier et al., 2016). Die Nutzungsbarrieren Workload und Beschwerden zeigen keine Einflüsse auf die Nutzungsintention, weshalb Hypothese H 2.14.b und H 2.3.c abgelehnt werden. Der Diskomfort senkte die Nutzungsintention, was Hypothese H 2.14.d unterstützt. Da Diskomfort, Beschwerden und Workload bisher kaum in Akzeptanzmodelle für Wearable Devices einbezogen wurden (z. B. Coursaris et al., 2012), stützten sich Annahmen über deren Einflüsse auf die Nutzungsintention bisher primär auf informelle Berichte im Labor bzw. in diversen Produktionstests (z. B. Baumann, 2013; Stocker et al., 2016). Obwohl nur der Diskomfort bestätigt wurde, zeigt die Studie mögliche Einflüsse von Nutzungsbarrieren auf die Nutzungsintention von Wearable Devices im Produktionskontext.

Basismodell und Erweiterung ergeben zusammen eine Varianzaufklärung von 62 %, die der von Venkatesh et al. (2003) berichteten 69 % Varianzaufklärung der UTAUT ähnelt. Die zusätzliche Varianzaufklärung durch kontext-, system- und anwendungsspezifische Faktoren bestätigt bisherige Erkenntnisse zu deren Ergänzungspotenzial für Akzeptanzmodelle (Taiwo & Downe, 2013). Erweiterte Akzeptanzmodelle mit und ohne Nutzung von Wearable Devices zeigen eine ähnliche Varianzaufklärung, ohne jedoch Basismodell und Erweiterung zu vergleichen. Pfeiffer et al. (2016) ermittelten mit einer UTAUT-Erweiterung eine Varianzaufklärung von 62 % für die Akzeptanz von Wearable Devices ohne Nutzung durch Personen ohne Kenntnis der Geräte. Die Nützlichkeit, das Vertrauen, soziale Einflüsse und individuelle Faktoren, nicht aber die Handhabbarkeit erklärten die Nutzungsintention. Für die Akzeptanz von Smartwatches ohne Nutzung fanden Chuah et al. (2016) 65 % Varianzaufklärung und ebenfalls keinen Effekt der Handhabbarkeit. Rauschnabel & Ro (2016) fanden in Modellerweiterungen zur Kaufabsicht von Smartglases 60 % Varianzaufklärung. Moon (2016) verglich Nutzer und Nichtnutzer von Wearable

Devices in einer Modellerweiterung mit einer Varianzaufklärung von 61 %. Dies zeigt die Übertragbarkeit der UTAUT-Erweiterung von Studie 2 auf Wearable Devices im Produktionskontext und die Vergleichbarkeit der Varianzaufklärung zur bisherigen Forschung. Da Akzeptanzmodelle für Wearable Devices bisher primär für Konsumenten getestet wurden (z. B. Jeong et al., 2017; Pfeiffer et al., 2016), die sich vom organisationalen Kontext unterscheiden (Venkatesh et al., 2012), bietet die Übertragung und Erweiterung der UTAUT für Wearable Devices im Produktionskontext einen Beitrag zum Forschungsstand.

3.3.3.4. Zusammenfassung

Über einen mehrdimensionalen Evaluationsansatz wurden das Potenzial des Assistenzkonzeptes Order Sequence Guiding und die Anwendbarkeit von Wearable Devices in der Produktion nachgewiesen und deren Akzeptanz sowie Nutzungsbarrieren erfasst. Studie 2 ergänzt die bisherige Forschung durch den Vergleich von Smartwatches und Smartglasses im Produktionsumfeld für das wenig beforschte Order Sequence Guiding für Prozessinformationen. Dabei bieten Wearable Devices Unterstützungspotenziale zur prozesssicheren Ausführung neuer, mobiler Montageaufgaben für die Zielgruppe angehender oder erfahrener Montagemitarbeiter, insofern die Bauteilmontage zuvor demonstriert wurde. Der Vergleich zwischen Assistenz mit Wearable Devices und selbstständiger Ausführung (vgl. Maurtua, 2009; Yuviler-Gavish et al., 2011) stellt eine Erweiterung bisheriger Evaluationskonzepte von Wearable Devices sowie Montageassistenten- und Trainingssystemen dar, die durch einmalige oder mehrmalige Nutzung (z. B. Hou & Wang, 2013; Sanna et al., 2015; Stork & Schubö, 2010; Syberfeldt et al., 2015; Wiedenmaier et al., 2003) oder im Test nach einer Lernphase mit dem System (z. B. Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016), nicht aber durch die Verbindung beider Ansätze evaluiert wurden. Insgesamt zeigten sich wenige Einschränkungen und eine positive Akzeptanz der Informationsträger. Bei Smartglasses traten trotz relativ kurzer Nutzungsdauer Erhöhungen des Diskomforts und der Beschwerden auf, die sich bei längerer Nutzung intensivieren könnten und daher weiterhin überprüft werden sollten (Kampmeier et al., 2007; Theis et al., 2015; Tümler, 2009; Wille, 2016). Diese Faktoren sprechen gegen einen Einsatz der Smartglasses Vuzix M100 in der Produktion, lassen jedoch nur bedingt Aussagen über andere Modelle zu.

3.4. Studie 3. Mobile Informationsassistentz in der variantenreichen Automobilmontage

Die Evaluation von Wearable Devices im Trainingskontext zeigte deren Anwendbarkeit für produktionsnahe Montageaufgaben. Studie 1 zeigte, dass multimodale Hinweissignale von Wearable Devices vergleichbar zu Monitoren wahrgenommen werden und die Montage nicht beeinträchtigen. Daher sollte Order Attention Guiding die Produktion nicht beeinträchtigen, wobei Potenziale zur Reduktion von Variantenfehlern noch überprüft werden sollten. Studie 2 zeigte, dass Order Sequence Guiding zur Fehlerreduktion im Off-The-Job Montagetraining beiträgt, während die Assistentz des Trainings On-The-Job und von Montageexperten offen bleibt.

Studie 3 soll das Unterstützungspotenzial von Wearable Devices mit Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding, deren Akzeptanz und Nutzungsbarrieren in der laufenden Produktion überprüfen. Der Praxistest ermöglicht die Analyse, inwiefern Wearable Devices und Assistentzkonzepte unter Produktionsbedingungen zur Qualitätssteigerung beitragen und den Anforderungen der Mitarbeiter und Aufgabenstrukturen der Automobilmontage entsprechen (Bravo et al., 2014; Coursaris & Kim, 2011). Formale Evaluationen dieser aus der Gebrauchstauglichkeit abgeleiteten Aspekte (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998), sowie Vergleiche zwischen verschiedenen Nutzungskontexten wurden bisher nicht zusammenhängend für Wearable Devices im Produktionskontext berichtet.

Zur Analyse von Nutzungskriterien werden Anwendungsbedingungen nach Takt (Order Attention Guiding) und Montageerfahrung (Order Sequence Guiding) variiert. Bei Order Attention Guiding variieren Taktzeit und Variantenvielfalt, also die Menge an Variationen, von denen eine durch ein Hinweissignal begleitet wird. Dadurch unterscheiden sich die Signalanpassung an die Montagezeitpunkte der Varianten und der Informationsgehalt der Alarmierung bezüglich der Gesamtvariationen. Gemäß des SEEV-Modells sollten Hinweissignale die Salienz von Ausstattungsvarianten steigern und der Informationsgehalt den Informationswert beeinflussen (Wickens, 2014). Der Zeitpunkt der Alarmierung könnte sich auf den Workload auswirken (z. B. Kolbeinsson et al., 2017) und zur wahrgenommenen Anpassung des Systems an die Aufgabe beitragen und so das objektive oder subjektive Unterstützungspotenzial beeinflussen (z. B. Coursaris et al., 2012). Daher wird angenommen, dass Order Attention Guiding Variantenfehler durch die Nichtmontage von Ausstattungsvarianten gegenüber Monitoren senkt (H 3.1). Bei Order Sequence Guiding wird der Einsatzzweck bzw. die Montageerfahrung im On-The-Job Montagetraining bei geringer Montageerfahrung, beim Training lange nicht ausgeführter Takte und

3. EMPIRISCHER TEIL

der Assistenz von Montageexperten ohne Trainingsbedarf variiert. Somit könnte sich der Informationsgehalt bezüglich des -bedarfs unterscheiden.

Die Systemanpassung an den Arbeitsprozess und den Bedarf der Anwender könnte die Leistung (z. B. Bravo et al., 2015) und die Akzeptanz (z. B. Hollingsworth, 2015) beeinflussen. Dabei sollten sich die Akzeptanzfaktoren der Nützlichkeit und Zufriedenheit (H 3.4) zwischen Anwendungsbedingungen unterscheiden (z. B. Van der Laan et al., 1997; Venkatesh et al., 2003). Sowohl die Nutzung von Wearable Devices als auch Unterschiede in den Anwendungsbedingungen könnten sich auf den Workload auswirken. Um Einflüsse der Wearable Devices von den Arbeitsbedingungen zu differenzieren, wird der relative Workload der Montage mit und ohne Assistenz erfasst. Es wird erwartet, dass sich die Smartwatch-Assistenz auf den Workload auswirkt (H 3.2a) und dass sich Gruppenunterschiede beim relativen Workload zeigen (H 3.2b).

Die Übertragbarkeit der UTAUT für Wearable Devices unter produktionsnahen Bedingungen zeigte Studie 2, wobei Workload und Beschwerden keine Prädiktoren waren. Daher werden Beschwerden nicht erfasst und der relative Workload wird in die Modellerweiterung aufgenommen. Wie bei Studie 2 wird das Vertrauen einbezogen. Zudem werden die subjektive Kompatibilität der Wearable Devices zum Arbeitsprozess und die Einstellung zu diesen, ein Faktor des TAM (Davis, 1989), erfasst. Es wird angenommen, dass die Modellzusammenhänge der UTAUT auch im Produktionskontext bestätigt werden (H 3.5) und dass die Modellerweiterung zur Varianzaufklärung der Nutzungsintention beiträgt (H 3.6). Auch sollte sich die subjektive Nutzung der Wearable Devices (H 3.7) und die Einstellung zu diesen (H 3.8.5) zwischen den Gruppen unterscheiden. Beeinflusst die Anpassung an Kontexte und Anwenderbedarfe die Bewertung der Wearable Devices, sollten gruppenspezifische Bewertungsmuster für Akzeptanz und Nutzungsbarrieren auftreten. Zudem wird erwartet, dass sich die langfristige Nutzung auf das Unterstützungspotenzial, die Akzeptanz und die Nutzungsbarrieren auswirkt (H 3.9). Der Vergleich diverser Nutzungskontexte kann zur Analyse von Nutzungskriterien der Wearable Devices für verschiedene Nutzungskontexte und Anwenderbedarfe sowie deren Anpassung an die Arbeitsprozesse beitragen.

Zur Analyse der Anwendbarkeit unter Produktionsbedingungen (Fite-Georgel, 2011) wurde die Smartwatch von den Fachbereichen selbstständig in mehrwöchigen Testphasen verwaltet. Die Smartglasses werden aufgrund des Zeitaufwandes der Display-Anpassung und der in Studie 2 ermittelten Nutzungsbarrieren von Diskomfort und Beschwerden nicht eingesetzt. Während das Vorgehen durch die geringe Standardisierung die interne Validität senkt, steigert es die ökologische Validität, der im Anwendungskontext eine hohe Relevanz beigemessen wird. Da die Smartwatch-Nutzung die einzige aktive Verände-

3. EMPIRISCHER TEIL

rung des Produktionsablaufes darstellt, sollten die jeweiligen Effekte auf der Smartwatch statt auf Störfaktoren basieren. In Tabelle 3.6 sind die Fragestellungen und zugehörigen Hypothesen aufgeführt.

3. EMPIRISCHER TEIL

Tabelle 3.6.

Fragestellungen und Hypothesen in Studie 3

Unterstützungspotenzial: Können multimodale Hinweissignale von Order Attention Guiding Variantenfehler bei seltenen Ausstattungsvarianten reduzieren?

H 3.1 Hinweise durch Order Attention Guiding reduzieren die Anzahl nicht montierter Ausstattungsvarianten.

Nutzungsbarrieren: Unterscheiden sich die Beanspruchungen (Workload, Diskomfort) zwischen den Gruppen? Beeinflusst die Nutzung der Smartwatch den Workload?

H 3.2 (a) Der Workload wird durch die Nutzung der Smartwatch beeinflusst.
(b) Der relative Workload unterscheidet sich zwischen den Anwendergruppen.

H 3.3 Der Diskomfort unterscheidet sich zwischen den Anwendergruppen.

Akzeptanz: Unterscheidet sich die Akzeptanz zwischen Anwendungsfällen oder Anwendergruppen?

H 3.4 Die Akzeptanz (Nützlichkeit, Zufriedenheit) unterscheidet sich zwischen den Anwendergruppen.

H 3.5 Das Modell der UTAUT wird im Produktionskontext bestätigt.

H 3.6 Die Modellerweiterungen tragen zur Varianzaufklärung der UTAUT bei.
(a) das Vertrauen beeinflusst die Nutzungsintention positiv.
(b) der relative Workload beeinflusst die Nutzungsintention.
(c) die Anpassung an den Arbeitsprozess verbessert die Nutzungsintention.

H 3.7 Die Nutzung der Wearable Devices unterscheidet sich zwischen den Gruppen.

H 3.8 Die Einstellung zu Wearable Devices unterscheidet sich zwischen den Gruppen.

Langzeit: Beeinflusst langfristige Smartwatch-Nutzung Unterstützungspotenzial, Barrieren und Akzeptanz?

H 3.9 Langfristige Smartwatch-Nutzung beeinflusst (a) Unterstützungspotenzial, (b) Nutzungsbarrieren und (c) Akzeptanz zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt.

3.4.1. Methodik

3.4.1.1. Stichprobe

Die Auswahl der Testbereiche erfolgte auf Anfrage und in Absprache mit den Meistern. An der freiwilligen Feldstudie nahmen Mitarbeiter und Vorarbeiter der Einsatz- takte teil und erklärten ihr Einverständnis zur Datennutzung. Die Teilnahme bestand aus der Smartwatch-Nutzung während der Montage und der anschließenden Befragung und konnte jederzeit abgebrochen werden. Aus dem taktgebundenen Smartwatch-Einsatz resultierten natürliche Gruppen mit begrenzter Teilnehmerzahl der am jeweiligen Takt arbeitenden Personen. Tabelle 3.7 zeigt demographische Daten der Gruppen nach Anwendungsfall (Order Attention Guiding: Anwendergruppen OAG 1 – 3, Order Sequence Guiding: Anwendergruppen OSG 1 – 3), die Automobilmontageerfahrung und den Status als Mitarbeiter, Vorarbeiter (fachliche Vorgesetzte) oder Springer, die bei Personalbedarf zwischen Montagebereichen wechseln.

Tabelle 3.7.

Demographische Daten zu Studie 3 nach Anwenderfall / Anwendergruppen

Gruppe	Order Attention Guiding			Order Sequence Guiding		
	OAG 1	OAG 2	OAG 3	OSG 1	OSG 2	OSG 3
N (Teilnehmer)	17	8	10	7	8	8
n (weiblich)	0	1	2	0	1	0
n (Mitarbeiter)	15	4	8	6	6	7
n (Vorarbeiter)	2	2	2	1	2	1
n (Springer)	0	2	0	0	0	0
M (Alter)/Jahre (SD)	32.41 (9.80)	41.13 (7.38)	33.30 (5.98)	35.86 (13.33)	26.88 (4.22)	29.00 (4.27)
M (Erfahrung)/Monate (SD)	56.27 (51.01)	205.88 (116.83)	63.30 (63.86)	20.86 (21.93)	46.38 (52.12)	28.12 (27.62)

Anmerkung. N = Stichprobengröße, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Auch wird gezeigt, wie viele Personen nicht an der Studie teilnahmen oder nicht befragt werden konnten. In OAG 1 lehnten 3 Personen aufgrund hygienischer Bedenken die Teilnahme ab. bei OSG 2 konnten 4 Personen aufgrund von Personalwechseln während der Studienlaufzeit nicht befragt werden. OAG 3, OSG 1 und 2 sind Vollerhebungen aller am Takt arbeitenden Personen, die anderen Gruppen sind annähernd Vollerhebungen. Die Gruppe OAG 3 wurde zu zwei Zeitpunkten mit je 10 Teilnehmenden befragt. Durch einen Personalwechsel (ein Vorarbeiter und ein Mitarbeiter) waren nur 8 Personen an

3. EMPIRISCHER TEIL

beiden Erhebungszeitpunkten beteiligt. Da die Mittelwerte sich kaum änderten sind sie nicht in Tabelle 3.7 aufgeführt.

3.4.1.2. *Untersuchungskontext*

Ergänzend zum bereits dargestellten Produktionskontext wird hier auf Unterschiede der Anwendergruppen eingegangen. Tabelle 3.8 zeigt eine Übersicht der Nutzungs- bzw. Arbeitsbedingungen. Diese werden anschließend im Detail mit geschätzten Smartwatch-Nutzungszeiten und Veränderungen über die Versuchslaufzeit beschrieben.

Tabelle 3.8.

Übersicht Anwendergruppen Studie 3

Gruppe	Order Attention Guiding		
	OAG 1	OAG 2	OAG 3
Untersuchungsansatz	Variation des Kontexts bei gleichem Einsatzzweck		
Variantenvielfalt	1/1	1/3 Varianten eines	1/x multiple
Prozess	Sonderausstattung	Bauteils	Varianten
Alarmierungszeitpunkt	C	B	B/C
	±2s	Ungenau durch Doppeltakt	± 15s
Gruppe	Order Sequence Guiding		
	OSG 1	OSG 2	OSG 3
Untersuchungsansatz	Variation des Einsatzzwecks bzw. der Nutzerexpertise bei gleichem Kontext		
Einsatzbedingungen	Anlernen eines neuen Takts	Auffrischen eines Takts	Experten zur langfristigen Nutzung
Bedienung	Tasteneingabe pro Arbeitsschritt		

3.4.1.2.1. *Order Attention Guiding*

Mit dem Ziel der Reduktion von Variantenfehlern wurde Order Attention Guiding an drei Takten mit unregelmäßigen Ausstattungsvarianten eingesetzt. Die auftretenden Variantenfehler äußerten sich in nicht montierten Zusatzbauteilen (Prozess C: OAG 1, OAG 3) oder Verwechslungen regulärer Bauteilvarianten (Prozess B: OAG 2). Order Attention Guiding war je an einen Takt und eine Ausstattungsvariante gebunden, auch wenn am Takt mehrere Bauteilvarianten auftraten. Die Smartwatch sollte kontinuierlich über die Testlaufzeit genutzt werden. Taktwechsel durch Job-Rotation begrenzten die Nutzungszeit der Smartwatch pro Person auf ca. zwei bis drei Stunden pro Tag und ein bis vier Mal pro Woche.

3. EMPIRISCHER TEIL

OAG 1 Kurze Taktzeit. In Montagebereich A arbeiteten zwei Mitarbeiter parallel mit einer Taktzeit von 76 s. Die Montagesequenz wurde unabhängig vom Derivat für jedes Fahrzeug wiederholt, außer bei ca. 20 % der Fahrzeuge, bei denen eine zusätzliche Sonderausstattung (Antenne) auftrat (Prozess C). Aufgrund hoher Auslassungsfehler der Sonderausstattung wurden im Vorfeld der Testphase Fehlerreduktionsmaßnahmen (Bauteile abzählen, Blinken des Monitors) eingesetzt, die bereits zur Fehlerreduktion beitrugen. Order Attention Guiding gab ein Hinweissignal für die Sonderausstattung zu ihrem Montagezeitpunkt nach MTM-Abtaktung aus. Die Testphase wurde nach vier Wochen durch eine Produktumstellung beendet.

OAG 2 Doppeltakt. Zwei Mitarbeiter arbeiteten versetzt an einem Doppeltakt in Montagebereich A. Ein Bauteil (Klimaleitung) trat in drei Varianten mit variierender Häufigkeit auf (Prozess B). Ein Monitor zeigte die erforderliche Variante in Sequenzierinformationen an. Order Attention Guiding unterstützte die seltenste Variante (unter 20 % der Fahrzeuge), da diese mit erhöhten Variantenfehlern einherging. Da das Signal an den Doppeltakt statt an den Mitarbeiter gebunden war, stimmten Alarmierungs- und Montagezeitpunkt nicht exakt überein. Während der vierwöchigen Laufzeit stieg die Anzahl der Bauteilvarianten und die Häufigkeit der unterstützten Variante, was den Informationsgehalt der Order Attention Guiding Signale reduzierte.

OAG 3 Mittlere Taktzeit. Eine Person arbeitete mit einer Taktzeit von ca. 5 min (Montagebereich B). Pro Fahrzeug traten diverse Variationen auf (Prozess B und C), die ein Monitor ausgab. Eine Sonderausstattung trat bei 35 % der Fahrzeuge auf (Prozess C) und wurde durch Blinken am Monitor angezeigt. Wegen hoher Auslassungsfehler wurde diese mit Order Attention Guiding unterstützt. Das Variationsspektrum des Taktes limitierte die Alarmierungsgenauigkeit auf ± 15 s Sekunden um den Montagezeitpunkt. Auf Anfrage der Meister und Vorarbeiter wurde der Test nach vier Wochen (erster Messzeitpunkt) um sechs Monate (zweiter Messzeitpunkt) verlängert. In diesem Zeitraum wurden die Taktzeit, das Schichtmodell sowie zwei Mitarbeiter gewechselt. Die Häufigkeit des Bauteils stieg auf 45 % der Fahrzeuge. Gegen Ende der Testphase nahm die Smartwatch-Nutzung ab. Als Ursache nannten die Teilnehmer die Hitze der Montagehalle im Sommer und die Schweißbildung durch das Gummiarmband. Da sie die Smartwatch auf den Montagewagen legten, blieb das Vibrationssignal wahrnehmbar.

3.4.1.2.2. Order Sequence Guiding

Die Anwendergruppen umfassten Personen, die einen neuen Takt lernten (OSG 1), die einen Takt nach einer Pause auffrischten (OSG 2) und Experten ohne Lernbedarf

(OSG 3). Sie arbeiteten in Teams an sich ergänzenden Aufgaben mit einer Taktzeit von ca. 35 min (Montagebereich C) in Schichten von 10 Stunden und täglichem Taktwechsel. Die Smartwatch zeigte Kurzfassungen der Arbeitsblöcke des Standardarbeitsblattes an (vgl. Anhang B.1.1). Fehleranfällige Aufgaben wurden markiert (Vibration, Farbe) (vgl. Fässberg, 2012; Thorvald, 2011).

OSG 1 Anlernen. Während des Anlernprozesses wurden neue Mitarbeiter mehrere Tage von erfahrenen Mitarbeitern als Anlernpaten begleitet. Das Lernen der Takte dauerte nach Angaben der Vorarbeiter sieben Tage bis mehrere Wochen, nach Angaben der Mitarbeiter drei bis fünf Tage ($M = 4.17$ Tage, $SD = .40$). Order Sequence Guiding wurde neuen Mitarbeitern während des Anlernens zusätzlich zur Unterstützung durch Anlernpaten zur Verfügung gestellt und angewendet, bis sie sich sicher im Montageprozess fühlten. Die Smartwatch wurde von 3.5 bis 50 Stunden ($M = 18.08$ h, $SD = 7.09$ h), also von einem halben bis zu fünf Tagen genutzt.

OSG 2 Auffrischen. Über vier Wochen nicht durchgeführte Takte erforderten die erneute Einarbeitung, um sie nach den Qualitäts- und Zeitkriterien intuitiv auszuführen und Prozessveränderungen zu lernen. Sie erfolgte, je nach Verfügbarkeit, mit oder ohne Anlernpaten. Ohne Anlernpate wurden Informationen von Kollegen oder vom mehrere Meter entfernten Standardarbeitsblatt beschafft, was den Arbeitsfluss unterbrach und Verzögerungen im Montageablauf des Teams sowie Ausführungsfehler begünstigte. Das Auffrischen erforderte i. d. R. eine Lernzeit von einem halben bis ganzen Arbeitstag (5 bis 10 Stunden). Order Sequence Guiding wurde ohne Anlernpaten genutzt, bis sich die Anwender sicher im Montageprozess fühlten und die Nutzung einstellten. Nach Angaben der Anwender dauerte das Auffrischen des Taktes mit Order Sequence Guiding eine bis drei Stunden ($M = 2.5$ h, $SD = 0.03$ h), wovon sie die Smartwatch eine bis fünf Stunden nutzten ($M = 2.63$ h, $SD = 0.46$ h).

OSG 3 Experten. Die Experten beherrschten den Takt ohne Lernbedarf. Sie nutzten die Smartwatch kontinuierlich zur Informationsanzeige im Montageprozess (vgl. Fässberg, 2012), um ein Fehlerbild nicht montierter Stecker zu reduzieren. Die Nutzung erfolgte für einen bis fünfeinhalb Tage ($M = 8.36$ h, $SD = 3.55$ h), zwischen 30 Minuten und 28 Stunden. Als Ursachen für das Beenden der Nutzung wurden der Bedienaufwand des manuellen Weiterschaltens und der Zeitdruck, um trotz Bedienung die Taktzeit einzuhalten, genannt.

3.4.1.3. Material und Geräte

3.4.1.3.1. Informationsträger und Anwendungen

Die Smartwatch IconBit Callisto 300 wurde mit den Anwendungen Order Attention und Order Sequence Guiding eingesetzt, die in Absprache mit den Vorarbeiten an die Takte angepasst wurden. Bei Order Attention Guiding wurde der Vibrationszeitpunkt so exakt wie möglich auf den Montagezeitpunkt der Variante gelegt. Bei Order Sequence Guiding wurden je 35 Aufgabenblöcke angezeigt und spezielle Aufgaben durch Vibration bzw. farblich hervorgehoben.

3.4.1.3.2. Datenerhebung

Objektive Daten. Es wurden keine personenbezogenen Leistungsdaten in der Produktion erfasst. Für OAG 1 und 3 konnte auf das Qualitätsmanagementsystem zugegriffen und nicht montierte Sonderausstattungen vor, während, und für OAG 3 nach der Studie, erfasst werden.

Subjektive Daten. Der Fragebogen aus Studie 2 kam leicht angepasst zum Einsatz und wurde um die Kompatibilität der Wearable Devices zum Arbeitsprozess (Agarwal & Prasad, 1997) und um die Einstellung zu Technik aus dem TAM (Davis, 1989) ergänzt. Der NASA Raw TLX (Byers et al., 1989) wurde für die Montage ohne und mit Smartwatch-Assistenz ausgefüllt. Zudem wurden Einzelfragen gestellt. Die verwendeten Fragen zeigt Anhang C.1.

3.4.1.4. Prozedur

Zum minimalen Eingriff in den Produktionsprozess wurde eine Test- und anschließende Befragungsphase abgestimmt. Die Teilnahme bestand aus der Smartwatch-Nutzung während der Montage am jeweiligen Takt und der Befragung, die das Ausfüllen des Fragebogens und ein teilstrukturiertes Interview beinhaltete. Die Smartwatches wurden den Vorarbeitern der Einsatzbereiche übergeben und von ihnen verwaltet. Die Vorarbeiter stimmten den Aufgaben zu, wurden im Umgang mit den Smartwatches geschult und standen in regelmäßigem Austausch mit der Versuchsleitung. Ihre Aufgaben umfassten das Austeilen und Einsammeln, das Auswechseln und Laden sowie die Reinigung der Geräte, das Starten der Anwendung und das Prüfen der Funktionalität und WLAN-Verbindung. Aufgrund der kurzen Akkulaufzeit wurde die doppelte Anzahl benötigter Geräte bereitgestellt und zur Mittagspause gewechselt. Zum Schutz des Fahrzeuglacks wurde ein Kratzerschutz mit Sichtfenster über und aus hygienischen Gründen ein dünnes

3. EMPIRISCHER TEIL

Schweißband unter der Smartwatch getragen und regelmäßig ausgetauscht. Die Studienlaufzeit für Order Attention Guiding betrug je vier Wochen für OAG 1 und 2, zu deren Ende die Befragungen erfolgten. Bei OAG 3 erfolgte die erste Befragung nach vier Wochen und die zweite nach weiteren sechs Monaten. Für Order Sequence Guiding wurden die Geräte den Vorarbeitern vier Monate zur Verfügung gestellt, die sie an die jeweiligen Anwendergruppen verteilten. Die Befragungen im Anschluss an die Smartwatch-Nutzung wurden während der Arbeitszeit durch Ablösen einzelner Mitarbeiter vom Fließband (z. B. durch Vorarbeiter) realisiert, wobei die verfügbare Zeit für die Befragung stark variierte.

3.4.1.5. Auswertungsdesign

Es handelt sich um ein quasiexperimentelles Design mit natürlichen Gruppen. Die Anwendergruppen wurden als unabhängige Zwischensubjektvariablen in Varianzanalysen der jeweiligen Fragebogenkonstrukte (Nutzungsbarrieren, Akzeptanz) einbezogen. Die UTAUT und die Einflussfaktoren auf die Akzeptanz wurden in einer Regressionsanalyse berechnet.

3.4.2. Ergebnisse

3.4.2.1. Unterstützungspotenzial Order Attention Guiding

Die für OAG 1 und OAG 3 erfassten deskriptiven Daten des Qualitätsmanagementsystems zeigten über die gesamte Testphase eine deutliche Reduktion der Auslassungsfehler von Sonderausstattungen, auf die mit Order Attention Guiding hingewiesen wurde. Tabelle 3.9 zeigt die Auslassungsfehler des unterstützten Bauteils und die Erhebungszeiträume in Wochen für OAG 1 und 3 vor Start, während der Laufzeit und, für OAG 3, nach Studienende. Abbildung 3.19 zeigt die durchschnittliche Fehlerrate pro Woche, wobei unterschiedliche Erhebungszeiträume zugrunde liegen.

Tabelle 3.9.

Absolute Fehlerwerte Order Attention Guiding nach Anwendungsfällen

	OAG 1		OAG 3	
	Fehler	Zeitraum/Wochen	Fehler	Zeitraum/Wochen
Vor Pilotstart	8	2	20	7
Während Pilot	3	8	4	29
Nach Pilot	–	–	5	7

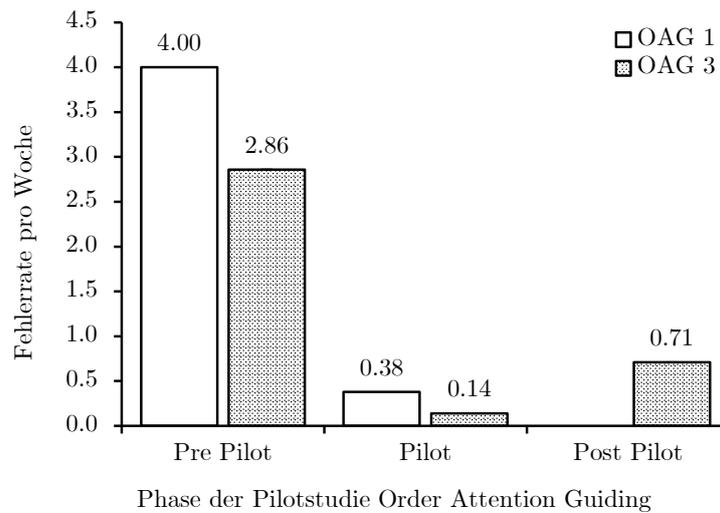


Abbildung 3.19. Fehlerraten im Zusammenhang mit Order Attention Guiding.

3.4.2.2. Nutzungsbarrieren

3.4.2.2.1. Relativer Workload

Die Veränderung des Workloads durch die Assistenz wurde in einer 2 (Workload ohne, mit Smartwatch) mal 6 (OAG 1, OAG 2, OAG 3, OSG 1, OSG 2, OSG 3) Mixed Design Anova³ berechnet. Sie ergab keinen Haupteffekt der Assistenz ($F[1, 49] < 1$, *ns.*), doch einen signifikanten Haupteffekt der Gruppe ($F[5, 49] = 4.15$, $p = .003$, $\eta^2 = .30$) und eine signifikante Interaktion ($F[5, 49] = 3.00$, $p = .019$, $\eta^2 = .23$). Dies zeigt, dass sich der Workload unabhängig von der Smartwatch zwischen den Takten unterscheidet und dass er in diesem Kontext von der Assistenz beeinflusst wird. Abbildung 3.20 zeigt die deskriptiven Daten sowie zentrale Unterschiede. Die vollständigen Bonferroni-korrigierten Post-Hoc-Tests sind in Anhang C.2.1 und C.2.2 aufgeführt.

Die Smartwatch-Assistenz senkte den Workload beim Order Attention Guiding Hinweis auf Ausstattungsvarianten bei OAG 1 und OAG 3. Bei Experten (OSG 3) hingegen stieg der Workload durch die Order Sequence Guiding Assistenz an. Dies wird in der Analyse des relativen Workloads bestätigt, bei der sich OAG 1 und OAG 3 signifikant von OSG 3 unterschieden. Bei OAG 1 und 3 sank der Workload durch die Assistenz, bei OSG 3 stieg er hingegen an. Die Langzeitanalyse von OAG 3 ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Messzeitpunkt 1 und 2 ($F[1, 7] < 1$, *ns.*).

³Aufgrund der kleinen Stichproben wurde jede Analyse von Studie 3 mit nichtparametrischen Verfahren überprüft, wobei keine Unterschiede zu den hier berichteten Ergebnissen auftraten.

3. EMPIRISCHER TEIL

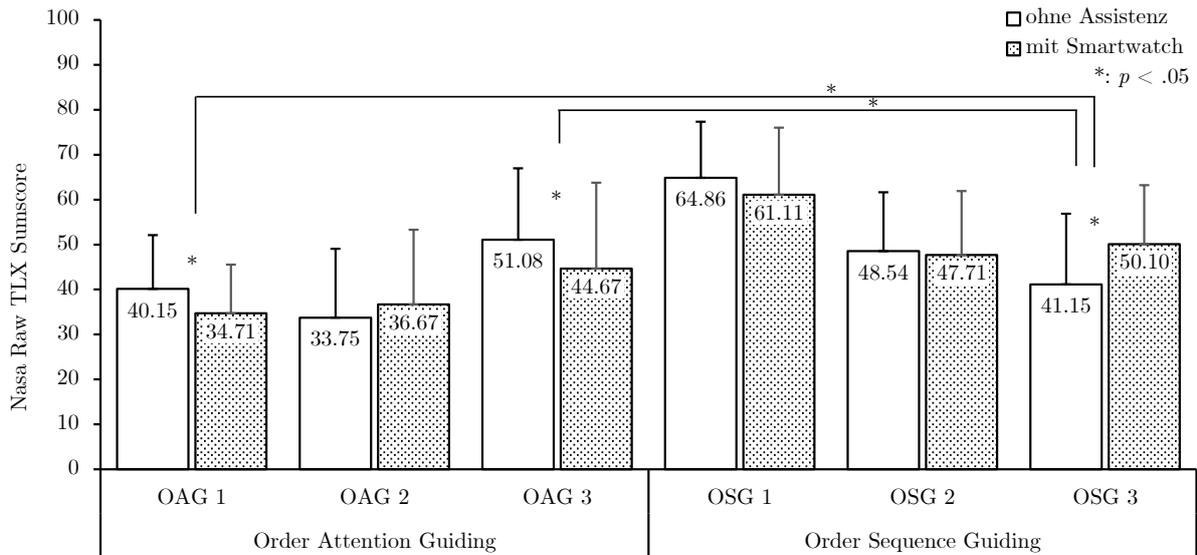


Abbildung 3.20. Workload pro Gruppe mit und ohne Smartwatch-Assistenz.

3.4.2.2.2. Diskomfort

Die Varianzanalyse des Diskomforts ergab keinen Gruppenunterschied ($F[4, 26] = 2.23$, $p = .093$, $\eta^2 = .26$). Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests zeigten keine weiteren Unterschiede, was mit den kleinen Stichproben und hohen Standardabweichungen, durch Restriktionen der Befragungszeiten, zusammenhängen könnte. Abbildung 3.21 zeigt die deskriptiven Daten. Bei OAG 3 ergab sich trotz deskriptivem Anstieg kein signifikanter Unterschied zwischen Messzeitpunkt 1 ($M = 4.12$, $SD = 2.26$) und Messzeitpunkt 2 ($M = 6.35$, $SD = 3.74$) ($F[1, 6] = 2.00$, $p = .207$, *ns.*).

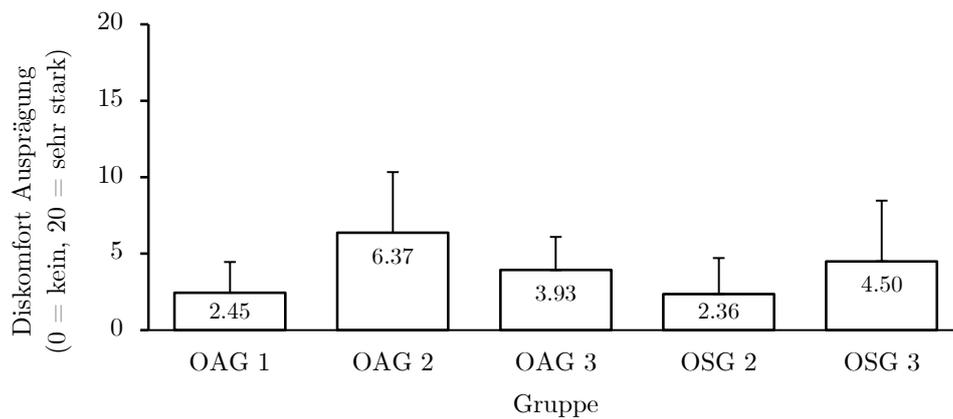


Abbildung 3.21. Diskomfort bei Nutzung der Smartwatch.

3.4.2.3. Akzeptanz

3.4.2.3.1. Van der Laan Skala

Die Akzeptanz wurde in einer 2 (Nützlichkeit, Zufriedenheit) mal 6 (Gruppe) Varianzanalyse berechnet. Sie ergab eine signifikant höhere Nützlichkeits- als Zufriedenheitsbewertung ($F[1, 50] = 28.63, p < .001, \eta^2 = .36$) und einen Gruppenunterschied ($F[5, 50] = 5.31, p = .001, \eta^2 = .35$), doch keine Interaktion ($F[5, 50] < 1, ns.$). Die deskriptiven Daten und p -adjustierten Unterschiede sind in Abbildung 3.22 dargestellt.

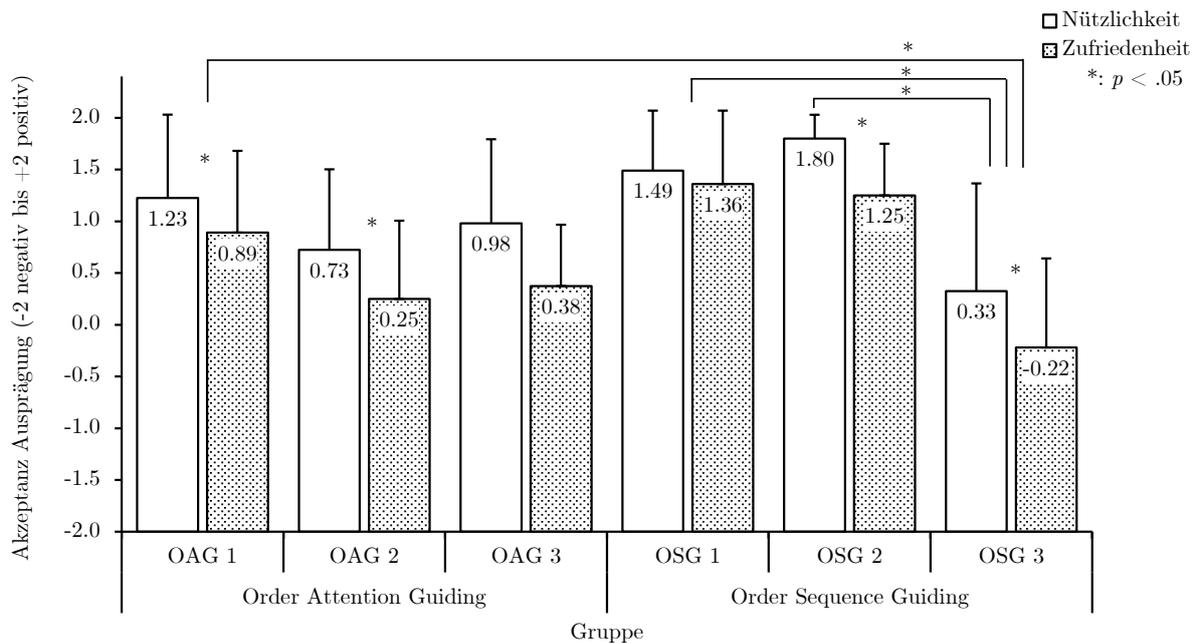


Abbildung 3.22. Akzeptanzbewertung gemäß der Van der Laan Skala.

Die vollständigen Bonferroni-korrigierten Post-Hoc-Tests sind in Anhang C.2.3 aufgeführt. Diese zeigten eine signifikant höhere Akzeptanz der Smartwatch beim Hinweis auf die einzige im Prozess auftretende Ausstattungsvariante (OAG 1) sowie der Assistenz durch Order Sequence Guiding zum Anlernen (OSG 1) und zum Auffrischen (OSG 2) gegenüber der kontinuierlichen Nutzung von Order Sequence Guiding durch Experten (OSG 3). Die Order Attention Guiding Hinweissignale wurden weniger positiv bewertet, wenn mehr als eine Variation am Takt auftrat, doch durch die Smartwatch nur auf eine davon hingewiesen wurde (OAG 2 und OAG 3). Somit unterschied sich die Bewertung von OAG 2 und OAG 3 nicht von der Bewertung von Order Sequence Guiding durch Experten (OSG 3). Die Nützlichkeit wurde bei allen Gruppen, außer bei der Order Sequence Guiding Assistenz zum Anlernen (OSG 1), positiver bewertet als die Zufriedenheit.

3. EMPIRISCHER TEIL

3.4.2.3.2. Einstellung zu den Wearable Devices

Der Vergleich der Einstellung zur Smartwatch als Informationsassistentz für Order Attention und Order Sequence Guiding in der Automobilmontage ergab einen signifikanten Gruppenunterschied ($F[1,52] = 9.22, p < .001, \eta^2 = .47$). Abbildung 3.23 visualisiert die deskriptiven Werte und signifikanten Unterschiede. Die vollständige Ergebnistabelle Bonferroni-korrigierter Post-Hoc-Tests ist in Anhang C.2.4 aufgeführt.

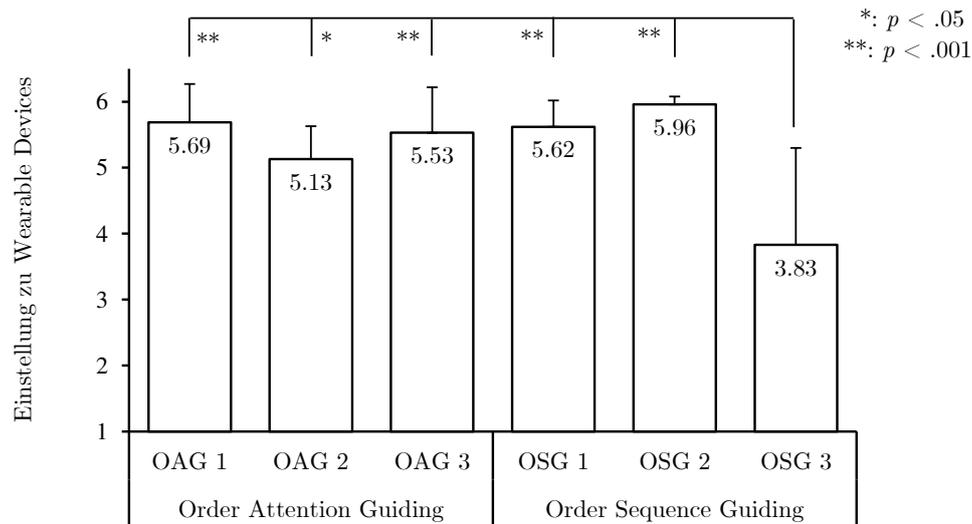


Abbildung 3.23. Einstellung zu Wearable Devices als Informationsassistentz.

Die Analyse zeigt, dass die Smartwatch insgesamt sehr positiv bewertet wurde. Die Experten (OSG 3) bewerteten Order Sequence Guiding für ihren Anwendungsfall, also die kontinuierliche Nutzung ohne Lernbedarf, signifikant negativer als alle anderen Anwendergruppen, die sich nicht unterschieden und ihre Anwendungsfälle als positiv bewerteten. Selbst bei langfristiger Nutzung bei OAG 3 blieb die Einstellung zur Smartwatch als Informationsassistentz stabil positiv zwischen dem ersten ($M = 5.42, SD = 0.73$) und zweiten ($M = 5.17, SD = 0.99$) Messzeitpunkt ($t[7] = 0.55, p = .598, ns.$).

3.4.2.3.3. Einflussfaktoren auf die Akzeptanz

Zur Analyse akzeptanzfördernder und -hemmender Faktoren wurden die UTAUT und Modellerweiterungen um das Vertrauen in Wearable Devices, deren Anpassung an den Arbeitsprozess und den relativen Workload analysiert. Fehlwerte resultierten aus unvollständig ausgefüllten Fragebögen durch Zeitrestriktionen. Zudem konnten Vorarbeiter nicht alle Fragen beantworten, da sie oft nicht kontinuierlich am Fließband und mit der Smartwatch arbeiteten. Die Nutzung wurde wegen unterschiedlicher Nutzungskonzepte und -zeitspannen der Anwendungsfälle nicht einbezogen. Die Regression wurde in drei

3. EMPIRISCHER TEIL

Blöcken berechnet. Der erste Block enthielt den Anwendungsfall (Methode: Einschluss). Der zweite Block enthielt das UTAUT-Modell mit den Moderatoren Alter und Erfahrung mit Fließbandmontage (Methode: Einschluss). Der dritte Block umfasste die Modellerweiterungen relativer Workload, Vertrauen und Anpassung an den Arbeitsprozess (Methode: Einschluss). Zur Multikollinearitätsreduktion der Moderatoren wurden die Variablen z -standardisiert. Die Ergebnisse der Regression sind in Abbildung 3.24 graphisch dargestellt. Die Regressionstabelle ist in Anhang C.2.5 aufgeführt.

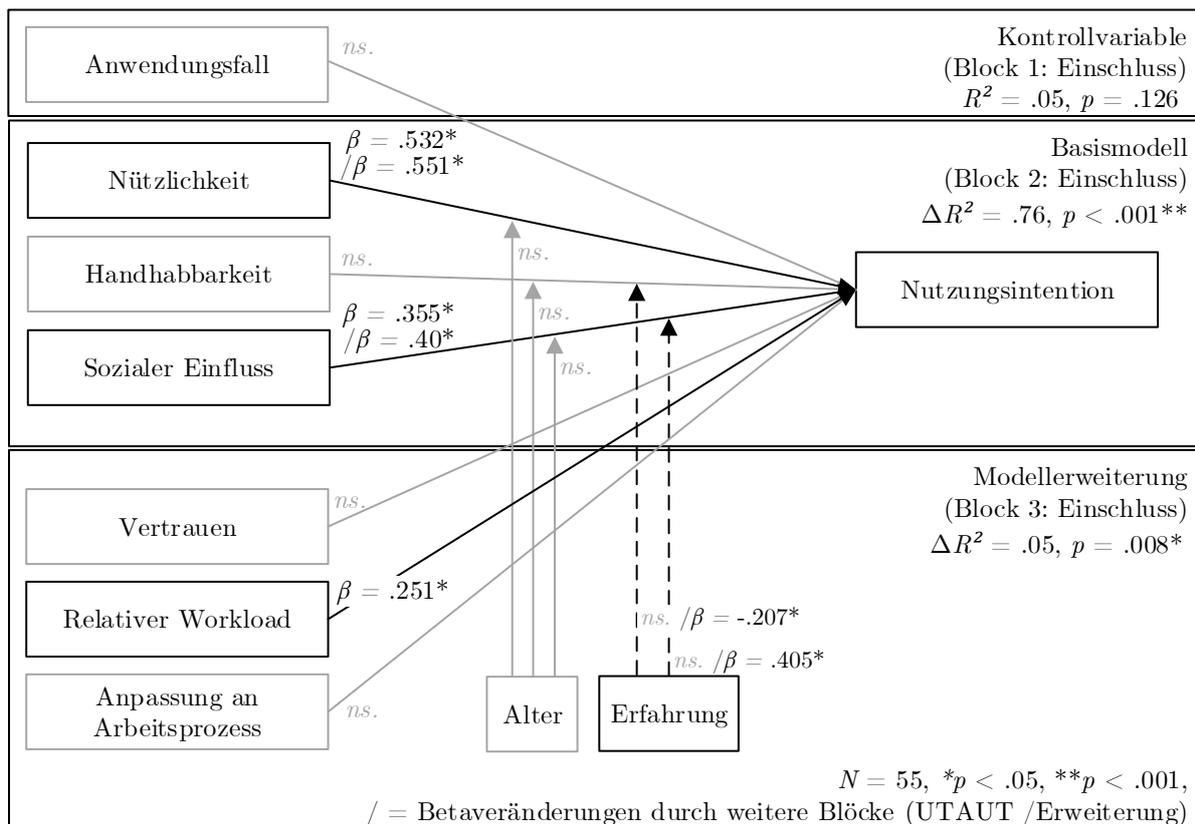


Abbildung 3.24. Regressionsanalyse UTAUT und Modellerweiterung Studie 3.

Der Anwendungsfall beeinflusste die Nutzungsintention nicht signifikant (Block 1). Die UTAUT (Block 2) erklärte durch die signifikant positiven Faktoren Nützlichkeit und sozialer Einfluss die Nutzungsintention, während die Handhabung keinen Einfluss zeigte ($\Delta R^2 = .76$). Weder Erfahrung noch Alter zeigten direkte oder moderierende Einflüsse. In Block 3 wirkte sich die relative Workloadreduktion (hier durch einen positiven Wert repräsentiert) positiv auf die Nutzungsintention aus. Das Vertrauen und die Anpassung an den Arbeitsprozess zeigten keine Effekte⁴. Die Erweiterung klärte $\Delta R^2 = .05$ zusätzliche

⁴Weitere Nutzungsbarrieren (Beschwerden, Komfort-Einzelfrage, Tragekomfort) wurden getestet und ausgeschlossen, da sie keine Einflüsse zeigten und die Stichprobengröße durch Fehlwerte reduzierten.

3. EMPIRISCHER TEIL

Varianz auf, sodass die gesamte Varianzaufklärung bei $R^2 = .85$, bzw. $R_{korr}^2 = .80$ lag. In Block 3 stellten Nützlichkeit und sozialer Einfluss weiter positive Einflussfaktoren dar. Zusätzlich zeigten sich moderierende Einflüsse von Erfahrung mit Handhabung (negativ) und Erfahrung mit sozialer Einfluss (positiv).

3.4.2.3.4. Nutzungsverhalten

Durch die kontextbedingt unterschiedlichen Nutzungszeiträume und -möglichkeiten waren die Nutzungszeiträume kaum vergleichbar und noch am ehesten über Selbsteinschätzungen ermittelbar. Gemäß der Selbsteinschätzungen unterschied sich das Nutzungsverhalten zwischen den Anwendergruppen ($F[5, 52] = 8.95, p < .001, \eta^2 = .49$). Die deskriptiven Statistiken sowie die signifikanten Unterschiede sind in Abbildung 3.25 dargestellt. Die Bonferroni-korrigierten Post-Hoc-Tests sind in Anhang C.2.6 aufgeführt. Die Analyse ergab eine niedrige Nutzung bei OAG 2 und OSG 3, die sich nicht unterschieden, sowie eine hohe Nutzung bei OAG 1, OAG 2, OSG 1, OSG 2, die sich ebenfalls nicht voneinander unterschieden. In den vier Gruppen mit hoher Nutzung wurde die Smartwatch signifikant mehr genutzt, als in den beiden Gruppen mit niedriger Nutzung. Als Ausnahme unterschied sich OSG 1 mit hoher Nutzung nicht von OSG 3 mit niedrigerer Nutzung, was mit den kleinen Stichproben zusammenhängen kann. Weitestgehend zeigten sich zur Workload- und Akzeptanzbewertung vergleichbare Muster. Bei OAG 3 nahm die selbstberichtete Nutzung zwischen Messzeitpunkt 1 ($M = 6, SD = 0.00$) und 2 ($M = 4.71, SD = 1.11$) signifikant ab ($t[6] = 3.06, p = .022$).

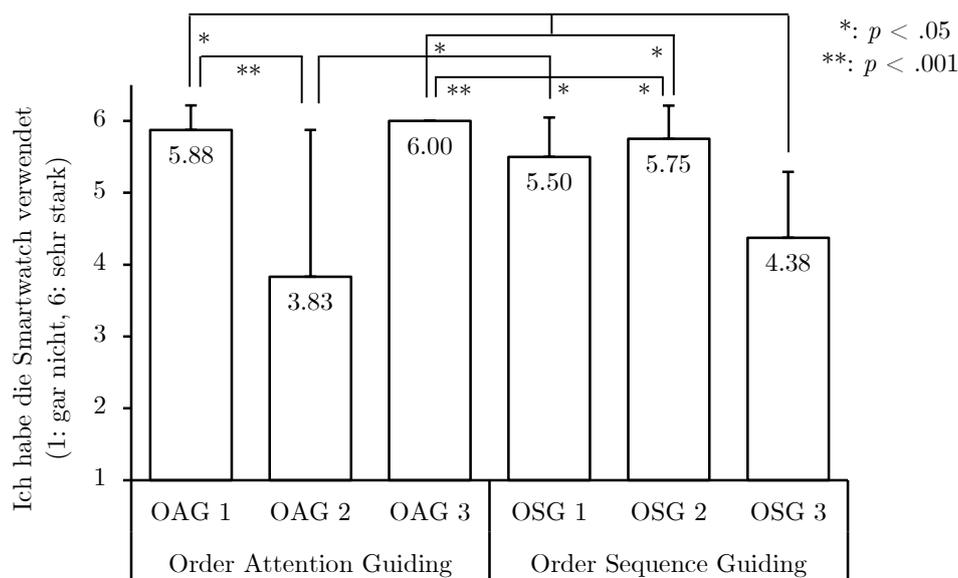


Abbildung 3.25. Selbsteinschätzung der Smartwatch-Nutzung.

3.4.2.4. Informales Anwenderfeedback

Zentrale Anforderungen der Anwender (außer OAG 1) lagen in der individuellen Anpassbarkeit der Anwendungen durch den Montagebereich um flexibel auf Prozessveränderungen zu reagieren. Auch kritisierten alle Gruppen, außer OAG 1, die Größe der Smartwatch, die bei der Montage in engen Verbauräumen störe. Außer von OSG 1 und 2 mit kurzer Nutzungsdauer, wurden hygienische Bedenken beim Teilen der Smartwatch mit anderen Personen und der Wunsch nach individuellen Geräten und anderen Materialien der Armbänder geäußert.

Bei OAG 1 trat kaum Kritik auf. Ausführungsfehler trotz Order Attention Guiding wurden auf einen leeren Akku, zeitliche Beanspruchungen durch Verzögerungen im Montageablauf und Ausfälle des Montageinformationssystems zurückgeführt. Da auf die einzige mögliche Ausstattungsvariante hingewiesen wurde (Prozess C), konnten sich die Teilnehmer vorstellen, den Monitor durch die Smartwatch zu ersetzen. Bei OAG 2 lagen Kritikpunkte in der geringen Übereinstimmung zwischen Signal und Montagezeitpunkt beim Doppeltakt und die Bindung an den Takt statt den Anwender. Der Hinweis auf eine von mehreren Varianten eines Bauteils (Prozess B), sowie der Varianten- und Häufigkeitsanstieg senkten den Informationsgehalt und die Nutzung. Das Ersetzen des Monitors erfordere mitarbeiterspezifische Sequenzierinformationen. Bei OAG 3 traten Variantenfehler ebenso bei stressigen Arbeitssituationen, leerem Akku oder ohne Nutzung auf. Der größte Kritikpunkt lag in der Schweißbildung durch das Gummiarmband bei Hitze, was die Nutzung senkte. Einige kritisierten den Signalzeitpunkt und den geringen Informationsgehalt gegenüber dem Monitor, der alle Varianten (Prozess B, C) zeigte. Hilfreich wären Hinweise am Taktanfang zur Vorbereitung sowie am Taktende zur Selbstkontrolle und eine aktive Quittierung. Nur die Anzeige aller Varianten könne den Monitor ersetzen.

Die Vorarbeiter von OSG 1 betonten, Order Sequence Guiding würde die Zeit und Zuverlässigkeit des Anlernprozesses positiv beeinflussen. Die OSG 2 Anwender berichteten, damit hätten sie die Einarbeitungszeit in die Takte fast halbiert und Unterbrechungen zur Informationssuche verringert. Bei OSG 3 lag die Kritik in der als zeitaufwändig empfundenen, manuellen Bedienung und in der Gestaltung der Anleitung. Diese bildete zwar das Standardarbeitsblatt ab, entsprach zum Teil jedoch nicht der zeitoptimierten Ausführungspraxis, in der Montageschritte kombiniert würden. Die Anwender würden der Anleitung folgen und so Wegezeiten erhöhen. Diese Zeitaufwände wurden als kritisch für die Einhaltung der Taktzeit bewertet. Zudem sei die Anzeige nicht detailliert genug, um das Stecker-Fehlerbild zu beheben, während ein höherer Detailgrad zu zeitaufwändig sei. Dies impliziert andere Bedienkonzepte. Dennoch waren die OSG 3 Anwender positiv ge-

genüber dem Ansatz eingestellt und berichteten diverse Anwendungsfälle für Wearable Devices in der Montage. Der Bedienaufwand wurde von OSG 1 und 2 nicht kritisiert.

3.4.3. Diskussion

Die Smartwatch mit Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding wurde von Montagemitarbeitern über längere Zeiträume während der Arbeitstätigkeit getestet. Jeder Anwendungsfall wurde mit drei Anwendergruppen bei unterschiedlicher Variantenvielfalt (Order Attention Guiding) bzw. Erfahrung (Order Sequence Guiding) untersucht. Order Attention Guiding gab dabei Hinweissignale auf selten auftretende Ausstattungsvarianten aus, während Order Sequence Guiding die Standard-Montagesequenz des jeweiligen Taktes anzeigte. Nachfolgend werden die Ergebnisse diskutiert.

3.4.3.1. Unterstützungspotenzial

3.4.3.1.1. Order Attention Guiding

Für die Gruppen OAG 1 und OAG 3 zeigten Daten des Qualitätsmanagementsystems eine deutliche Qualitätssteigerung durch die Reduktion nicht montierter Ausstattungsvarianten (Prozess C). Die Qualitätsdaten unterstützen Hypothese H 3.1. Bei OAG 1 konnten Variantenfehler über bereits bestehende Prozessoptimierungsmaßnahmen hinaus reduziert werden. Bei OAG 3 blieben die Ausführungsfehler über sieben Monate stabil niedrig und stiegen erst nach Ende der Testphase leicht an. Das Unterstützungspotenzial für Prozess C zeigt, dass aktive automatisierte und individuelle Hinweissignale zum Montagezeitpunkt unregelmäßiger Variationen des Montageprozesses die Wahrscheinlichkeit von Variantenfehlern nicht montierter Sonderbauteile senken (Reason, 1990). Gemäß des SEEV-Modells trägt Order Attention Guiding durch mobile, vibrotaktile und personen-gebundene Hinweissignale zur Steigerung der Salienz und Reduktion des Aufwandes der Informationsbeschaffung bei (Wickens, 2014). Es steigert die Erwartung und den Wert der Informationen, indem diese nicht mehr pro Fahrzeug eingeholt, sondern aktiv an die Anwender übermittelt werden (Wickens, 2014). Hinweise zum Zeitpunkt von Routineabweichungen können Fehler der Handlungsauswahl und -ausführung senken (Reason, 1990). Positive Effekte vibrotaktile Alarmierungen auf die Bearbeitung von der Routine abweichender Aufgaben wurden im Labor (z. B. Hopp-Levine et al., 2006) sowie in Studie 1 gezeigt und konnte mit Studie 3 auf die Automobilmontage übertragen werden. Dieser Assistenznachweis erweitert bisherige Erkenntnisse zu Hinweissignalen mit Wearable Devices in der Montage, die keine Qualitätsdaten berichteten (z. B. Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010).

3.4.3.2. Nutzungsbarrieren

3.4.3.2.1. Workload

Der Hinweis auf unregelmäßige Variationen (Prozess C) mit Order Attention Guiding trug zur Workload-Reduktion gegenüber der ausschließlichen Monitornutzung für OAG 1 und 3 bei. Bei OAG 2, mit einer geringeren zeitlichen Anpassung und regulärer Variation (Prozess B) zeigte sich kein Unterschied. Für Lernszenarien ergab Order Sequence Guiding keine Unterschiede. Bei der Nutzung durch Experten (OSG 3) ohne Lernbedarf stieg der Workload. Die Workload-Veränderung unterschied sich bei OAG 1 und 3 gegenüber OSG 3. Die Daten unterstützen Hypothesen H 3.2.a, den Einfluss der Assistenz auf den Workload und H 3.2.b, die Gruppenunterschiede im relativen Workload. Bei der langfristigen Nutzung wurden keine Workloadunterschiede nachgewiesen, weshalb Hypothese H 3.2.b (Workload) abgelehnt wird.

In Bezug auf den Anwendungskontext und informale Rückmeldungen verweist die Workload-Steigerung der Experten (OSG 3) auf die Zeitanforderungen der Bedienung und Differenzen zwischen formalem und ausgeführtem Montageprozess. Bei Order Attention Guiding sind Einflüsse des Informationsgehaltes bzw. des Alarmierungszeitpunktes möglich. Die Anpassung von Alarmierungs- und Montagezeitpunkt senkte den Workload (OAG 1 und 3), während ungenaue Alarmierungszeitpunkte (OSG 2) den Charakter willkürlicher Unterbrechungen aufweisen könnten, die den Workload erhöhen (Coursaris et al., 2012; Okoshi et al., 2015). Die Analysen zeigen, dass Wearable Devices zur Workload-Reduktion bei komplexen Montageprozessen beitragen können, wenn sie den Anforderungen entsprechen. Die systematischen Workload-Unterschiede zeigen Einflüsse der Kompatibilität der Endgeräte und Anwendungen mit Nutzern und ihren Aufgaben, Fähigkeiten und Kontexten (Brau, 2012; Bravo et al., 2014; Coursaris et al., 2012; DIN EN ISO 9241 - 11, 1998), wozu weiterer Forschungsbedarf besteht.

3.4.3.2.2. Diskomfort

Die Diskomfort-Analyse (Knight & Baber, 2005) ergab im Kontext kleiner Stichproben und hoher Standardabweichungen keine Gruppenunterschiede, sodass Hypothese H 3.3 abgelehnt wird. Die Langzeitnutzung bei OAG 3 ergab nur einen deskriptiven Anstieg des Diskomforts, was Hypothese H 3.9.b (Diskomfort) nicht unterstützt. In Befragungen wurden die Größe der Smartwatch und das Gummiarmband kritisiert, die jedoch nicht im Fragebogen abgebildet waren (Knight & Baber, 2005). Diese Differenzen sowie andere informale Produktionsstudien (z. B. Stocker et al., 2016; Weber et al., 2016) deuten einen Weiterentwicklungsbedarf der Erhebungsinstrumente zur Diskomfort-Analyse von Wearable Devices als Arbeitsmittel an.

3.4.3.3. Akzeptanz

3.4.3.3.1. Akzeptanz Van der Laan Skala und Einstellung zu Wearable Devices

Die Van der Laan Skala (Van der Laan et al., 1997) ergab wie bei Studie 2 eine höhere Nützlichkeitsbewertung als Zufriedenheit mit der Smartwatch bei den Anwendergruppen, außer beim Anlernen mit Order Sequence Guiding (OSG 1). Die Akzeptanz von Order Sequence Guiding war höher beim Anlernen (OSG 1 und 2) als für die Assistenz von Experten (OSG 3). Die Akzeptanz von Order Attention Guiding zum Hinweis auf eine auftretende Variante (OAG 1) war ebenfalls höher als die der Order Sequence Guiding-Expertengruppe (OSG 3). Zwischen den Order Attention Guiding-Gruppen zeigten sich keine signifikanten Akzeptanzunterschiede. Die Ergebnisse unterstützen Hypothese H 3.4. Die Gruppenunterschiede der Akzeptanzbewertung zeigen ein ähnliches Muster zu den Gruppenunterschieden bei der Bewertung des relativen Workloads. Dieses Bewertungsmuster scheint sich auf die Anpassung der Assistenz an Anwender und Aufgaben, v. a. die Nützlichkeit für die Arbeit, zu beziehen (Hollingsworth, 2015).

Die Einstellung gegenüber der Smartwatch (Davis, 1989) bezieht sich auf deren generelle Bewertung für den jeweils getesteten Anwendungsfall. Sie zeigte eine sehr positive Bewertung der Assistenz bei allen Gruppen, außer den Experten (OSG 3), was zu H 3.4 beiträgt und H 3.8 unterstützt. Die Langzeitnutzung (OAG 3) zeigte eine deskriptive Akzeptanzreduktion der Van der Laan Skala, während die Einstellung stabil positiv blieb, was Hypothese H 3.9.c nicht unterstützt.

Die positivere Bewertung der allgemeinen Einstellung im Vergleich zur konkreteren Van der Laan Skala deutet zwar Optimierungsbedarf der Endgeräte, Anwendungen und Informationskonzepte an, spricht aber grundlegend für die Anwendung von Wearable Devices zur Informationsassistenz. Demnach unterschieden die Anwender zwischen der Nützlichkeit für spezifische Aufgaben und der generellen Einstellung zu Smartwatches und deren Einsatzpotenzialen in der Produktion. Der Gruppenvergleich zeigt das Potenzial standardisierter Akzeptanzkonstrukte zur Differenzierung konkreter Anwendungsbedingungen gegenüber Einzelfragen oder isolierten Nutzungsszenarien.

3.4.3.3.2. UTAUT und Einflussfaktoren

Die Übertragbarkeit der UTAUT auf Wearable Devices im Produktionskontext und Hypothese H 3.5 wurden bestätigt. Die hohe Varianzaufklärung der UTAUT von 76 % übersteigt jene von Studie 2 und von Konsumenten-Akzeptanzmodellen für Wearable Devices (z. B. Pfeiffer et al., 2016). Wie es in der Forschung verbreitet ist, wurde die heterogene Nutzung nicht einbezogen (z. B. Taiwo & Downe, 2013; Venkatesh et al., 2016). Kohärent zu Studie 2 und zur Forschung zu Wearable Devices im Konsumentenbereich

sind die Nützlichkeit und der soziale Einfluss, nicht aber die Handhabbarkeit oder die Moderatoren zentrale Einflussfaktoren (z. B. Moon, 2016). Befragungen deuten an, dass die Handhabbarkeit den Nutzungsaufwand von Wearable Devices kaum abbildet, z. B. wurde die Bedienung von Order Sequence Guiding als zeitaufwändig, doch nicht als schwierig beschrieben. Ggf. könnte eine Differenzierung des Konstruktes die Interaktion mit Wearable Devices (Rhodes, 1997; Rügge, 2007) adäquater abbilden als das Lernen der Bedienung (Brau, 2012; Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003; 2011).

Die Erweiterung klärte durch den relativen Workload zusätzlich 5 % Varianz auf, was Hypothesen H 3.6 und H 3.6.b bestätigt. Die Workload-Reduktion durch die Assistenz steigerte die Nutzungsintention. Der relative Workload wurde bisher nicht als Einflussfaktor auf die Akzeptanz von Wearable Devices betrachtet. Im Gegensatz zu Studie 2 und entgegen der Annahme von Hypothese H 3.6.a erwies sich das Vertrauen nicht als Prädiktor, was ggf. mit der langen Nutzungszeit zusammenhängt. Die Anpassung der Smartwatch an den Arbeitsprozess zeigte keinen Einfluss (Agarwal & Prasad, 1997), was den systematischen Gruppenunterschieden der Akzeptanz und des Workloads in Studie 3 sowie der Anpassung als Einflussfaktor auf die Leistung (Bravo et al., 2014) oder die Nutzungsintention (Hollingsworth, 2015) in der Literatur widerspricht. Daher wird Hypothese H 3.6.c abgelehnt. Inhaltlich ist dies nachvollziehbar, da sich das Konstrukt auf das Ausmaß bezieht, in dem der Arbeitsprozess an die Systemnutzung angepasst werden muss (Agarwal & Prasad, 1997), während Abweichungen vom standardisierten Montageprozess unerwünscht sind. Im Kontext der Erweiterung wird die Erfahrung als Moderator signifikant. Sie beeinflusst die Handhabbarkeit negativ, was andeutet, dass die Bedienung von erfahrenen Mitarbeitern als störender empfunden wird als von weniger erfahrenen Mitarbeitern. Die Bedeutung des sozialen Einflusses scheint mit der Erfahrung zuzunehmen.

Diese Übertragung und Erweiterung der UTAUT stellt das bisher einzige publizierte Akzeptanzmodell für Wearable Devices im Montagekontext dar. Während Akzeptanzmodelle für Wearable Devices oft wenig anwendungs- und stark konsumentenbezogen sind, dominieren im Produktionskontext Einzelfragen und informale Berichte (z. B. Seyrkammer, 2015). Trotz der Betonung ihrer Relevanz wurde die Akzeptanz bisher kaum erfasst (Venkatesh et al., 2016).

3.4.3.3.3. Nutzungsverhalten

Die selbstberichtete Nutzung war bei Gruppen mit geringer Anpassung der Assistenzkonzepte an den Takt bzw. die Informationsbedarfe (OAG 2 und OSG 3) niedriger als bei höherer Anpassung bzw. Nützlichkeit der Assistenz (OAG 1, OAG 3, OSG 1, OSG 2).

Letztere berichteten eine sehr hohe Nutzung von Order Attention Guiding zum Hinweis auf Sonderausstattungen (Prozess C) und Order Sequence Guiding zum Anlernen. Davon abweichend zeigte sich nur ein deskriptiver Unterschied zwischen Anlernen (OSG 1) und Experten (OSG 3). Langfristig sank bei OAG 3 die Nutzung am Handgelenk, wobei die Smartwatch akustisch wahrnehmbar auf dem Montagewagen platziert wurde und die Fehlerrate niedrig blieb. Während die Smartwatch bei OAG 1 und 3 kontinuierlich genutzt wurde, war dies bei OSG 1 und 2 nur der Fall, bis kein subjektiver Lernbedarf mehr bestand. In OSG 3 wurde sie durch den erhöhten Zeitaufwand weniger genutzt. Dies bestätigt Hypothese H 3.7.

3.4.3.4. Kritik an der Studiendurchführung

Bei Studie 3 stand die Evaluation der Anwendung von Wearable Devices zur Informationsassistentz in der Automobilmontage anhand von zwei Anwendungsfallen im Vordergrund. Damit gingen einige methodische Einschränkungen, wie kleine heterogene Stichproben, unterschiedliche Takte und daraus resultierend das Fehlen von Kontrollgruppen, Fehlwerte durch schwankende Befragungszeiten sowie minimale Eingriffe der Versuchsleitung in den Studienverlauf einher. In diesem Zusammenhang erreichten einige deutliche deskriptive Unterschiede keine Signifikanz.

Das Vorgehen der Versuchsleitung, Rahmenbedingungen zu schaffen und Prozesse zu initiieren, doch nicht permanent einzugreifen, ist für Produktionsstudien verbreitet, da die Risikominimierung für Produktionsabläufe und Qualität im Mittelpunkt steht (z. B. Nukta, 2012; Wölflé, 2014). Die Erfassung von Kontextfaktoren, etwa Prozess- oder Personalveränderungen, durch informale Befragungen ist oft unerlässlich zur Ergebnisinterpretation (z. B. Nukta, 2012). Was aus der Sicht der Studienplanung einen Kritikpunkt darstellt, trägt zur ökologischen Validität und Erprobung der Systeme unter realen Bedingungen bei (Fite-Georgel, 2011).

Studie 3 zeigte trotz diverser Störfaktoren Effekte der Wearable Devices. Die Variation der Einsatzbedingungen innerhalb der Anwendungsfälle ermöglicht die Exploration von Nutzungskriterien und minimiert Risiken zufälliger Gruppenunterschiede. Durch die Erhebungszeiträume, die Methodik und die Variation der Einsatzbedingungen nach Variantenvielfalt und Anwenderexpertise trägt Studie 3 zum Forschungsfeld bei, das sich oft auf Kurzttests mit rein informalen Befragungen begrenzt (z. B. Nordin et al., 2010) und kaum mehrtägige Testphasen berichtet (z. B. Baumann, 2013; Wölflé, 2014). Daher könnte dieser Ansatz zur Steigerung der Aussagekraft zukünftiger Evaluationen von Wearable Devices in der Produktion beitragen.

3.4.3.5. Zusammenfassung und Ausblick

Studie 3 zeigt Zusammenhänge zwischen Workload, Akzeptanz und Nutzungsverhalten der Anwendergruppen, wodurch sich Nutzungskriterien ergeben. Order Attention Guiding zeigt ein hohes Unterstützungspotenzial, eine hohe Akzeptanz und Workload-Reduktionen beim Hinweis auf unregelmäßige Varianten (Prozess C). Hinweise auf regelmäßige Variationen (Prozess B) und ungenaue Alarmierungszeitpunkte reduzierten hingegen die Nutzung. Bei Order Sequence Guiding zeigten sich eine hohe Akzeptanz und Nutzung für Lernszenarien, doch nicht für Montageexperten. Für beide Anwendungsfälle zeigen sich Einflüsse des Informationsgehaltes bzw. der Kompatibilität zwischen System, Kontext und Anwendern (z. B. Bravo et al., 2015; Hollingsworth, 2015) auf die Bewertung der Wearable Devices. Bei Order Attention Guiding waren dies die Hinweise auf seltene statt häufige Ereignisse sowie die Verknüpfung zwischen Signal und Ausführung. Für Order Sequence Guiding war dies der subjektive Instruktionsbedarf beim Lernen im Gegensatz zur Ausführung zeitoptimierter Sequenzen aus dem Gedächtnis (Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016), was auch auf Einflüsse der Relation von Bedienungsaufwand und Nützlichkeit hinweist (Brau, 2012).

Diese Ergebnisse stehen in Beziehung zur Gebrauchstauglichkeit, wonach die Effizienz und Effektivität der Arbeit mit den Wearable Devices und die Zufriedenheit mit diesen durch ihre Anpassung an Anwender und Kontexte beeinflusst werden (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998). Einhergehend zeigt die Forschung Auswirkungen der Anpassung von System, Anwendern und Nutzungskontext auf die Leistung (Bravo et al., 2014, 2015) und die Akzeptanz (Hollingsworth, 2015), die v. a. bei mobilen Systemen einen zentralen Stellenwert einnehmen (z. B. Coursaris & Kim, 2011; Harrison et al., 2013). Die Verbindung zwischen Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz (Hoehle et al., 2016) zeigt sich z. B. anhand der Einflüsse der Nützlichkeit und Workload-Reduktion auf die Nutzungsintention bei der UTAUT im Produktionskontext.

Studie 3 zeigt die Einsetzbarkeit von Smartwatches in der Produktion zur Steigerung der Ausführungsqualität variantenreicher Takte und Assistenz des On-The-Job-Trainings. Wearable Devices können somit zur Mitarbeiterassistenz im Kontext der Industrie 4.0 beitragen (vgl. Fast-Berglund et al., 2013; Johansson et al., 2016; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016). Die Ergebnisse implizieren spezifische Einsatzbereiche der getesteten Anwendungsfälle, sodass die Erweiterung des Anwendungsspektrums auch die Anpassung der Informationskonzepte sowie weitere Evaluation zur Anpassung an die Bedarfe und Kontexte erfordert.

Auf Basis der positiven Bewertungen und unter Berücksichtigung weiterer Systemoptimierungen könnten Wearable Devices als Assistenzsysteme in die Automobilmontage

eingeführt werden. Daraus ergibt sich die Frage, wie die Einführung unterstützt werden könnte, um Personen ohne Kenntnis der Wearable Devices von deren Nutzung zu überzeugen. Ein Ansatz zur Akzeptanzsteigerung liegt in der Gestaltung der Kommunikation im Rahmen der Systemeingführung (Brau, 2012). Daher wird in Studie 4 die Frage adressiert, wie sich die Gestaltung der Innovationskommunikation auf die Akzeptanz der Wearable Devices ohne Nutzungserfahrung auswirkt.

3.5. Studie 4. Gestaltung der Innovationskommunikation zur Steigerung der Akzeptanz von Wearable Devices

Die Evaluation von Wearable Devices im Trainingszentrum und in der Produktion zeigte, dass sie zur Prozessstabilität der variantenreichen Automobilmontage beitragen und eine hohe Akzeptanz aufweisen, sodass sie in die Produktion eingeführt werden könnten. Daher stellt sich die Frage, wie die Kommunikation der Einführung in die Produktion inhaltlich gestaltet werden kann, um die Akzeptanz bzw. Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices bei potenziellen Anwendern ohne bisherige Nutzungserfahrung zu steigern.

Im Zuge der Einführungsprozesse in die Produktion ist ein Ziel die Erhöhung der Akzeptanz und damit zusammenhängend die Bereitschaft der Mitarbeiter, die Wearable Devices auszuprobieren. Da neue Arbeitssysteme den Mitarbeitern im Vorfeld ihrer Einführung zumeist unbekannt sind, bietet die interne Innovationskommunikation Möglichkeiten zur Information über Neuerungen. Die Kommunikation über ein System kann die Einstellungen potenzieller Anwender im Vorfeld der Systemnutzung beeinflussen, weshalb sie auch zur Steigerung der Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices beitragen könnte (Brau, 2012; Schade, 2005; Schade & Schlag, 2003). Für Wearable Devices im Konsumentenbereich wurde bereits gezeigt, dass Akzeptanzbewertungen nicht nur auf der Nutzung (Li et al., 2016), sondern auch ausschließlich auf Informationsmaterial ohne Nutzungserfahrungen basieren können (Yang et al., 2016). Bei rein informationsbasierten Modelltestungen ohne Nutzungserfahrung wurde bisher jedoch nicht geprüft, wie sich die Informationsgestaltung auf die Akzeptanz der Wearable Devices auswirkt bzw. ob sie durch verschiedene Informationen beeinflusst wird.

Ein Ansatz zur Gestaltung der Innovationskommunikation baut auf akzeptanzfördernden Faktoren auf. Entsprechend könnten Informationen über Wearable Devices nach aus der UTAUT bekannten zentralen Einflussfaktoren strukturiert werden. Diese beinhalten die Darstellung der Nützlichkeit der Geräte für die Montage, ihre Handhabung und die Meinungen von Kollegen und Führungskräften (sozialer Einfluss). Es sollten realis-

3. EMPIRISCHER TEIL

tische Informationen kommuniziert werden, da Beschönigungen zwar die initiale Nutzungsbereitschaft steigern, doch enttäuschte Erwartungen bei der Nutzung die Akzeptanz senken könnten. Ob Informationen auf Basis dieser Faktoren zur Steigerung der Akzeptanz beitragen, soll in Studie 4 untersucht werden. Daher wurde für Studie 4 ein Ansatz der Innovationskommunikation zur Information über Wearable Devices auf Basis der UTAUT-Faktoren (Nützlichkeit, Handhabbarkeit, sozialer Einfluss) gestaltet (Brau, 2012; Venkatesh et al., 2003). Zum Vergleich wurden nicht UTAUT-basierte, oberflächliche Informationen erstellt. Informationen anhand der UTAUT-Faktoren, nicht jedoch das Vergleichskonzept, sollten die drei Einflussfaktoren (Nützlichkeit, Handhabbarkeit, sozialer Einfluss) sowie die nicht direkt thematisierte Nutzungsintention steigern (H 4.1).

Die Forschung zeigte, dass sich Bewertungen durch Personen ohne und mit Nutzungserfahrungen von Wearable Devices unterscheiden können (z. B. Rauschnabel, Hein et al., 2016; Yang et al., 2016). In Studie 2 und 3 wurde die UTAUT für Wearable Devices nach deren Anwendung getestet. Für Studie 4 stellt sich daher die Frage, ob die UTAUT auf die Bewertung von Wearable Devices vor ihrer Nutzung im Produktionskontext übertragbar ist (H 4.2) und ob sich die Prädiktoren von denen nach der Nutzung unterscheiden. Zudem könnten weitere Erwartungen an die Wearable Devices (z. B. Antizipation von Diskomfort oder Vertrauen) oder Beanspruchungen in einer Montageaufgabe, die durch Wearable Devices unterstützbar wäre (erlebter Workload), die Nutzungsintention beeinflussen und zur Modellerweiterung beitragen (H 4.3). Sowohl die Analyse von Einflussfaktoren auf die Akzeptanz ohne Nutzungserfahrung als auch die Evaluation von Informationen auf Basis der UTAUT-Faktoren zur Akzeptanzsteigerung ergeben Ansätze zur Gestaltung der Innovationskommunikation für die Einführung von Wearable Devices in die Produktion. Um diese Ansätze im Kontext der Automobilmontage zu testen, wird Studie 4, wie Studie 2, im Trainingszentrum anhand der Montage einer Übungskarosse mit zwei Gruppen durchgeführt. Vor der Montage werden die Wearable Devices kurz vorgestellt, um eine Bewertungsgrundlage zu schaffen (T1). Nach der Montage wird der Experimentalgruppe (EG), doch nicht der Kontrollgruppe (KG), die UTAUT-Innovationskommunikation präsentiert (T2). Dieser Ansatz soll initiale Gruppenunterschiede (T1) kontrollieren. Daher sollten sich beide Gruppen zu T1 nicht unterscheiden. Wenn sich UTAUT-Informationen auf die Akzeptanz auswirken, sollte sie zu T2 bei der EG höher sein als bei der KG. In Tabelle 3.10 sind die Fragestellungen und Hypothesen aufgeführt.

Tabelle 3.10.

Fragestellungen und Hypothesen in Studie 4

Akzeptanz: Kann die Akzeptanz durch ein UTAUT-basiertes Kommunikationskonzept gesteigert werden?

- H 4.1* Ohne Innovationskommunikation (erster Messzeitpunkt) unterscheiden sich die Bewertungen der Akzeptanzfaktoren nicht zwischen der EG und KG.
- H 4.2* Nach der Präsentation der UTAUT-Innovationskommunikation für die EG (zweiter Messzeitpunkt) ist die Ausprägung der folgenden UTAUT-Faktoren bei dieser höher als der KG:
- (a) Nutzungsintention
 - (b) Handhabbarkeit
 - (c) Nützlichkeit
 - (d) Sozialer Einfluss

Einflussfaktoren Akzeptanz: Kann die UTAUT auf Wearable Devices im Produktionskontext übertragen werden? Welche Faktoren beeinflussen die Nutzungsintention ohne Anwendung der Geräte?

- H 4.3* Das UTAUT Modell lässt sich ohne Anwendung der Wearable Devices bestätigen.
- H 4.4* Die Modellerweiterung des erwarteten Vertrauens in die Geräte (a) und des erwarteten Diskomforts (b) sowie der erlebte Workload in der Montageaufgabe (c) stellen Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention dar.
-

3.5.1. Methodik

3.5.1.1. Stichprobe

Die Teilnehmergruppen des Trainingscenters wurden um die freiwillige Partizipation an der Studie gebeten, die von niemandem abgelehnt wurde, und gaben ihr Einverständnis zur Datennutzung. Tabelle 3.11 zeigt die demographischen Daten der Teilnehmer.

3. EMPIRISCHER TEIL

Tabelle 3.11.

Demographische Daten Studie 4

	Kontrollgruppe	Experimentalgruppe
N (Teilnehmer)	15	15
n (weiblich)	2	2
M (Alter)/Jahre (SD)	30.07 (12.49)	26.27 (7.93)
M (Erfahrung)/Monate (SD)	28.83 (48.40)	26.67 (37.69)

3.5.1.2. Material und Geräte

3.5.1.2.1. Übungskarosse und Instruktionsmaterial Montageaufgabe

Studie 4 wurde am Nachfolgemodell der in Studie 2 genutzten Cabriolet-Karosse durchgeführt. Das Instruktionsmaterial für die Montagesequenz ist in Anhang D.1.1 aufgeführt. Es war als Papier-Standardarbeitsblatt verfügbar, welches jenem von Studie 2 (siehe Anhang B.1.1) ähnelte. Insgesamt war die Montagesequenz vergleichbar zu Studie 2, außer, dass durch die neue Karosse zwei Aufgaben hinzukamen und die Bearbeitungszeit daher auf 5 min 8 s erhöht wurde. Die Materialien wurden im Montagewagen bereitgelegt und mitgeführt.

3.5.1.2.2. Intervention UTAUT-Informationsgestaltung

Die Innovationskommunikation bestand aus einer siebenminütigen Präsentation mit ausführlichen Informationen über die Wearable Devices Smartglasses und Smartwatch für die Anwendungsfälle Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding auf Basis der UTAUT-Faktoren. Sie enthielt die Themen Nützlichkeit (wie unterstützen Wearable Devices bei der Montage), Handhabbarkeit (wie funktioniert die Bedienung der Wearable Devices und wie aufwändig ist sie) und sozialer Einfluss (Meinungen Vorgesetzter und Kollegen über die Wearable Devices). Aufgrund der Gewichtung der UTAUT Faktoren nach empirischer Relevanz wurde die Nützlichkeit stärker fokussiert als die weniger zentralen Faktoren (Khechine et al., 2016; Venkatesh et al., 2016). Die Präsentation wurde mit Ergebnissen und Erfahrungen der Versuchsleitungen aus Studien 1 – 3 mit Bild- und Videomaterial aufbereitet. Zur Darstellung der Anwendungsfälle und Nützlichkeit wurden je einminütige Videos des Einsatzes der Wearable Devices im Trainingszentrum (Order Sequence Guiding) und während der Produktion (Order Attention Guiding) gezeigt. Anhand der Videos wurde zudem die Handhabung erläutert.

3. EMPIRISCHER TEIL

3.5.1.2.3. Subjektive Daten

Zum ersten (T1) und zweiten Messzeitpunkt (T2) wurden die Konstrukte der UTAUT (siehe Studie 2) mit identischen Fragebögen pro Messzeitpunkt und Gruppe erfasst. Der T2-Fragebogen enthielt zusätzlich zur UTAUT den Workload bei der Montageaufgabe sowie das erwartete Vertrauen in und den erwarteten Diskomfort von Wearable Devices. Nach einer Beschreibung von Smartwatch und Smartglasses wurden sie im Fragebogen nicht weiter differenziert, sondern als „Wearable Device“ bezeichnet. Die verwendeten Fragen führt Anhang D.2 auf.

3.5.1.3. Prozedur

Abbildung 3.26 zeigt den Studienablauf. Am ersten Tag des Montagetrainings wurden die Teilnehmer der EG und der KG zugeordnet. Beide erhielten eine Kurzvorstellung der Wearable Devices, um eine Bewertungsgrundlage zu schaffen, und füllten im Anschluss den Fragebogen für den ersten Messzeitpunkt (T1) aus.

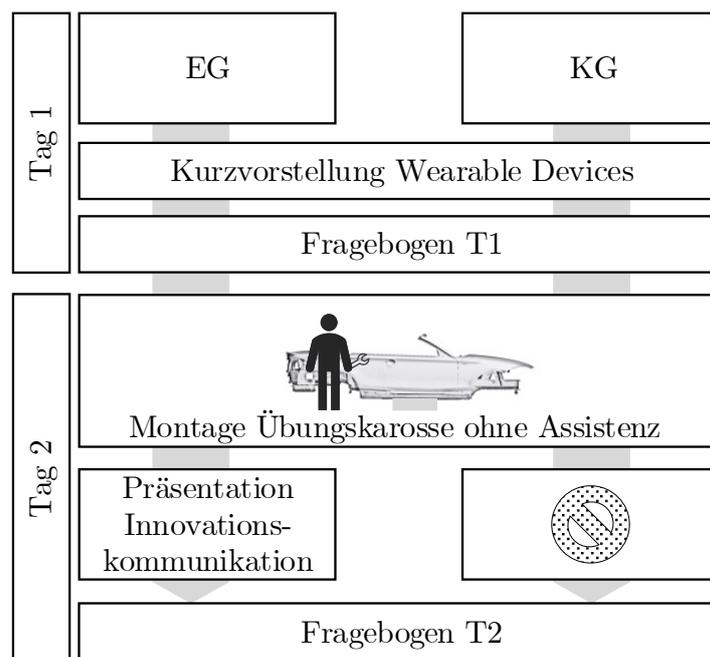


Abbildung 3.26. Schematischer Ablauf in Studie 4.

Am zweiten Tag des Trainings führten sie drei Montagedurchgänge an der Übungskarosse ohne Wearable Devices durch (vgl. Studie 2). Nach Beenden der Montageaufgabe füllte die KG den Fragebogen für den zweiten Messzeitpunkt (T2) aus. Die EG erhielt im Anschluss an die Montage als Intervention eine Präsentation auf Basis der UTAUT-Faktoren und füllte danach den T2 Fragebogen aus.

3.5.1.4. Auswertungsdesign

Das Auswertungsdesign beinhaltet den Innersubjektfaktor Zeit (T1, T2) und den Zwischensubjektfaktor Gruppe (EG, KG). Eine messwiederholte Mixed Design Anova wurde berechnet, um die Gruppen des experimentellen Designs und die Messzeitpunkte miteinander zu vergleichen. Weiterhin wurde eine Regression über die Einflussfaktoren auf die Akzeptanz mit den Daten des zweiten Messzeitpunktes berechnet. Die Daten des zweiten Messzeitpunktes wurden zur Vergleichbarkeit mit Studie 2 ausgewählt.

3.5.2. Ergebnisse

3.5.2.1. UTAUT-Innovationskommunikation

Das Informationskonzept wurde in einer 4 (UTAUT: Nützlichkeit, Handhabbarkeit, Nutzungsintention, sozialer Einfluss) mal 2 (Zeit: T1, T2) mal 2 (Gruppe: KG, EG) berechnet. Die Analyse ergab Haupteffekte der jeweiligen UTAUT-Faktoren ($F[2.06, 60.77] = 23.38, p < .001, \eta^2 = .52$), der Zeit ($F[1, 66] = 9.51, p = .005, \eta^2 = .30$) und der Gruppe ($F[1, 22] = 5.83, p = .024, \eta^2 = .21$). Die Interaktion zwischen UTAUT und Zeit war nur marginal signifikant ($F[3, 66] = 2.10, p = .060, \eta^2 = .11$). Die anderen Interaktionen waren nicht signifikant (je $F[3, 66] < 1$ bzw. $F[1, 66] < 1$). Abbildung 3.27 stellt die deskriptiven Daten und die Ergebnisse Bonferroni-korrigierter Post-Hoc-Tests dar.

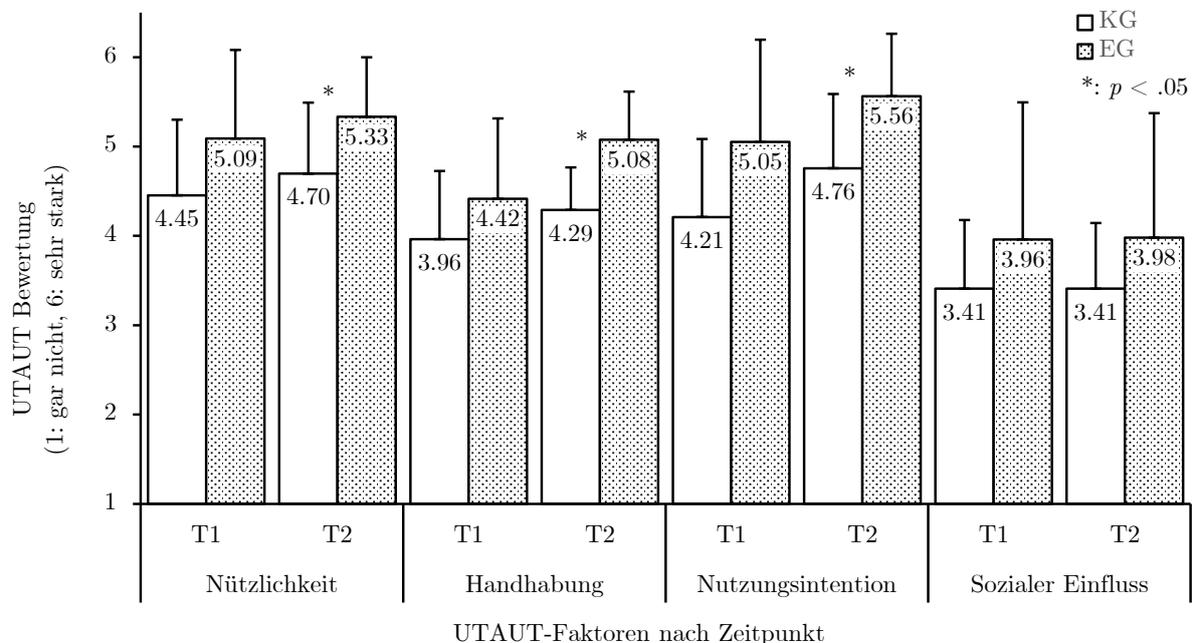


Abbildung 3.27. UTAUT-Faktoren nach Gruppe und Messzeitpunkt.

3. EMPIRISCHER TEIL

Die Statistik der Post-Hoc-Tests ist in Anhang D.3.2 aufgeführt. Sie zeigen, dass sich die T1-Bewertungen der UTAUT-Faktoren nicht zwischen KG und EG unterschieden. Zu T2 wurde die Nützlichkeit, Handhabbarkeit sowie die Nutzungsintention der Wearable Devices von der EG signifikant positiver im Vergleich zur KG bewertet. Die subjektive Bedeutung der Meinungen Dritter (sozialer Einfluss) wurde nicht durch die Innovationskommunikation beeinflusst und unterschied sich nicht zwischen den Gruppen.

3.5.2.2. Einflussfaktoren auf die Akzeptanz ohne Nutzungserfahrung

Die UTAUT im Vorfeld der Nutzung wurde in einer Regression der T2 Daten auf die Nutzungsintention berechnet. Block 1 enthielt die Intervention (KG und EG mit Innovationskommunikation) (Methode: Einschluss). In Block 2 wurden die UTAUT Variablen und Haupteffekte von Alter und Erfahrung eingefügt (Methode: Einschluss). In Block 3 wurden die Moderatoren, aufgrund der kleinen Stichprobe mit der Vorwärtsmethode, eingefügt. Block 4 testete die Modellerweiterung (Methode: Einschluss). Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.28 dargestellt. Die Regressionstabelle führt Anhang D.3.3 auf.

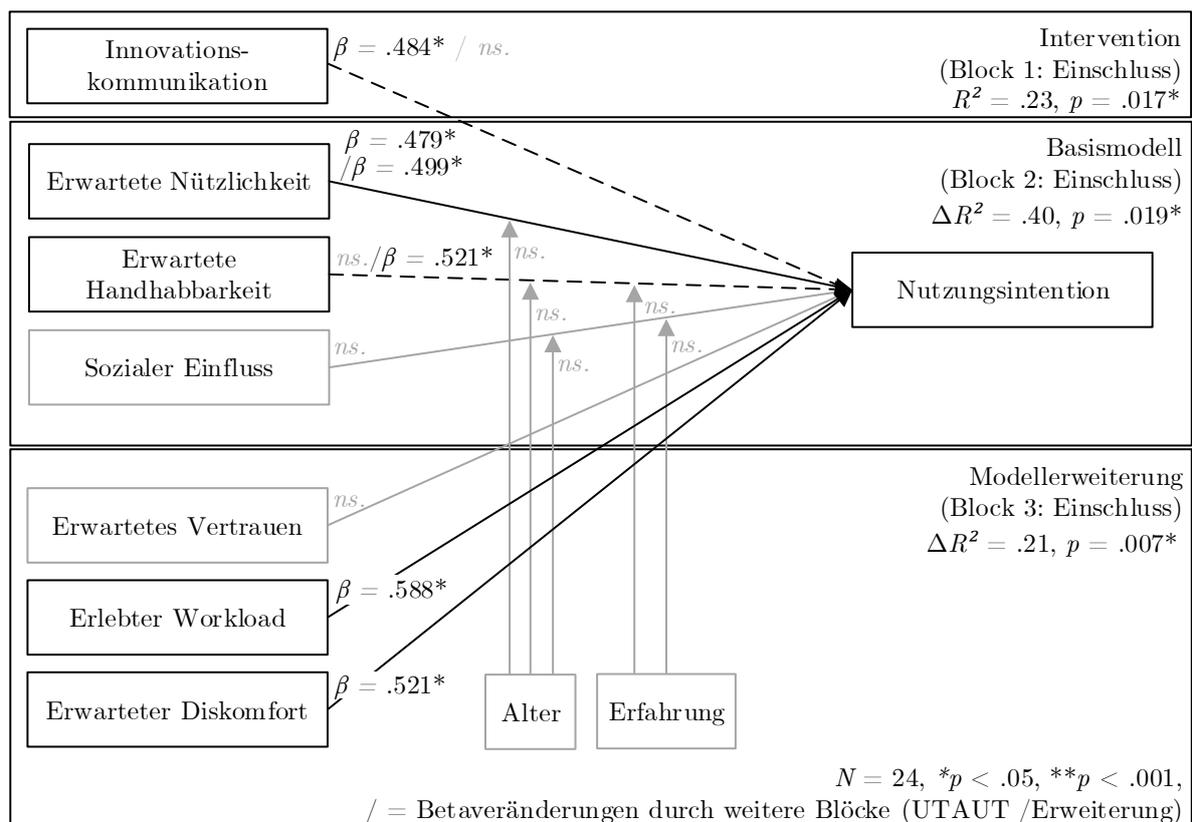


Abbildung 3.28. Regressionsanalyse der Akzeptanz in Studie 4.

Die kleine Stichprobe ($n = 24$) verletzt die Voraussetzung der Stichprobengröße in Relation zu den Faktoren, was zwar Aussagen für diese Stichprobe zulässt, doch die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt (Bühner & Ziegler, 2009). Der erste Block zeigte einen signifikanten Effekt der Intervention, dessen positives Beta ($\beta = .484$) durch die Kodierung $KG = 0$ und EG mit $Intervention = 1$ auf eine höhere Nutzungsintention mit UTAUT-Innovationskommunikation verweist. Im zweiten Block wurde die UTAUT mit $\Delta R^2 = .40$ bestätigt, wobei sich nur die erwartete Nützlichkeit, doch nicht die Handhabbarkeit oder der soziale Einfluss auf die Nutzungsintention auswirkten. Die Moderatoren in der Vorwärtsmethode gingen nicht in das Modell ein, sodass Block 3 die Modellerweiterung repräsentiert. Die Modellerweiterung im dritten Block erklärt weitere $\Delta R^2 = .21$ Varianz durch positive Einflüsse des erlebten Workloads und des erwarteten Diskomforts auf die Nutzungsintention der Wearable Devices, während das Vertrauen keinen Einfluss ausübte. Dabei bleibt der Einfluss der Nützlichkeit bestehen und ein Effekt der Handhabbarkeit tritt auf.

3.5.3. Diskussion

In Studie 4 wurde ein auf UTAUT-Faktoren basierender Ansatz zur Innovationskommunikation mit dem Ziel der Beeinflussung der Akzeptanz im Vorfeld der Nutzung von Wearable Devices zur Montageassistenz getestet. Dafür wurde die UTAUT-Faktoren vor und nach der Fahrzeugmontage erhoben. Nach der Montage wurden zusätzlich das erwartete Vertrauen, der erwartete Diskomfort und der bei der Montage erlebte Workload als weitere Einflussfaktoren auf die Akzeptanz ohne Nutzung der Wearable Devices erfasst.

3.5.3.1. UTAUT-Innovationskommunikation

Zum ersten Messzeitpunkt unterschieden sich Experimental- und KG nicht hinsichtlich der Bewertung der UTAUT-Konstrukte, was vergleichbare Ausgangsbedingungen zeigt und Hypothese H 4.1.1 unterstützt. Zum zweiten Messzeitpunkt bewertete die EG, nach Präsentation der UTAUT-Innovationskommunikation, die Nützlichkeit, die Handhabung und die Nutzungsintention positiver als die KG, während sich die Bewertung des sozialen Einflusses nicht unterschied. Dies unterstützt Hypothese H 4.1.2 a – c, doch nicht d. Es zeigt sich, dass durch UTAUT-basierte Informationen die Bewertungen von Akzeptanzfaktoren (Nützlichkeit, Handhabbarkeit) sowie die in der Innovationskommunikation nicht direkt adressierte Nutzungsintention, also die Bereitschaft, die Wearable Devices bei Verfügbarkeit auszuprobieren, gesteigert werden können. Das Konstrukt des sozialen Einflusses misst hingegen, wie relevant die Meinung Dritter bewertet wird, um Wearable

Devices zu nutzen (Venkatesh et al., 2003). Da Meinungen von Kollegen und Vorgesetzten präsentiert wurden, könnten diese die Nutzungsintention der Wearable Devices beeinflussen, ohne dass sich die Bedeutung, die der Meinung Dritter beigemessen wird, verändert. Dies entspräche dem in der UTAUT postulierten sozialen Einfluss auf die Nutzungsintention (Venkatesh et al., 2003) und wurde in der Forschung zum Einfluss von Empfehlungen und Bewertungen auf die Kaufintention mobiler Endgeräte gezeigt (z. B. Huang & Korfiatis, 2015). Die Akzeptanzsteigerung durch die Innovationskommunikation zeigt die Beeinflussbarkeit der Akzeptanz ohne Nutzungserfahrung durch Informationen und steht im Einklang mit bisheriger Forschung (Merritt & Ilgen, 2008). Demnach beeinflusst das Wissen über Wearable Devices deren Akzeptanz, was für Konsumenten bereits gezeigt wurde (Rauschnabel, Hein et al., 2016). Aufgrund der kleinen Stichprobe, der spezifischen Endgeräte und Anwendungsfälle ist die Allgemeingültigkeit von Studie 4 jedoch eingeschränkt. Dennoch wirft dieser Effekt die Frage auf, wie stark die Konsumenten-Akzeptanzforschung für Wearable Devices ohne Nutzung von der Gestaltung der Vignetten beeinflusst wird. Oft werden die Informationsgestaltung (z. B. Chuah et al., 2016) oder die Nutzungserfahrung (z. B. Moon, 2016; Yang et al., 2016) kaum berücksichtigt, obwohl sie die Akzeptanz beeinflussen könnten (Rauschnabel, Hein et al., 2016).

Studie 4 zeigt, dass Informationen auf Basis der UTAUT-Faktoren zur Akzeptanzsteigerung bei Montagemitarbeitern ohne Nutzungserfahrung beitragen und so die Einführung von Wearable Devices in Unternehmen unterstützen können. Inhaltlich können identifizierte Akzeptanzfaktoren zur Informationsgestaltung beitragen, was von Brau (2012) postuliert, doch nicht getestet wurde. Auch zeigt die Studie die akzeptanzfördernden Potenziale der ausführlichen Kommunikation von Neuerungen gegenüber den Mitarbeitern. Nach Brau (2012) ist die Technikakzeptanz im Arbeitskontext ein Resultat der Relation von Nützlichkeit und systembezogenen Risiken, die durch die Kommunikation der Einführungsprozesse und das Vertrauen der Anwender in die Führungsebene beeinflusst wird. Diese Faktoren können mit dem Gestaltungsansatz zur Innovationskommunikation von Studie 4 adressiert werden. Insbesondere das Vertrauen in die Führungsebene könnte durch die Meinungen von Vorgesetzten zu dem neuen Arbeitsmittel vermittelt werden. Aus praktischer Perspektive könnte die Integration weiterer Einflussfaktoren auf die Akzeptanz (z. B. Studie 2 und 3) zur Weiterentwicklung des Kommunikationskonzeptes und so zur Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in die Produktion beitragen.

3.5.3.2. UTAUT und Einflussfaktoren

Die UTAUT mit Modellerweiterungen wurde für den zweiten Messzeitpunkt getestet. Im ersten Block wirkt sich die Innovationskommunikation positiv auf die Nutzungsintention aus.

tention aus und führt zu 23 % Varianzaufklärung. Dies verdeutlicht den Einfluss der Informationsgestaltung auf die Akzeptanz. Darauf aufbauend erklärt die UTAUT 40 % Varianz anhand der Nützlichkeit, was Hypothese H 4.2. bestätigt. Die Modellerweiterung klärte weitere 21 % Varianz auf. Das erwartete Vertrauen zeigte wie in Studie 3, aber im Gegensatz zu Studie 2 keinen Einfluss auf die Nutzungsintention, weshalb Hypothese H 4.3.a abgelehnt wird. Der erlebte Workload während der Montageaufgabe wirkt sich positiv auf die Nutzungsintention der Wearable Devices aus und unterstützt somit Hypothese H 4.3.b. Je mehr Workload bei der Montage erlebt wurde, desto höher war die Bereitschaft, Wearable Devices zur Assistenz zu nutzen. Der erwartete Diskomfort übte einen positiven Einfluss auf die Nutzungsintention aus, was Hypothese 4.3.c bestätigt. Dies ist überraschend, da hoher erwarteter Diskomfort die Nutzungsintention senken sollte. Es könnte auch andeuten, dass ein hoher Diskomfort nicht von der Nutzung abhalten würde oder dieser ohne eigene Nutzungserfahrung nicht adäquat eingeschätzt werden kann. Aufgrund der kleinen Stichprobe können auch Artefakte oder Konfundierungen mit anderen Variablen nicht ausgeschlossen werden. Im Kontext der Erweiterung zeigte die erwartete Handhabbarkeit einen Einfluss auf die Nutzungsintention. Ohne den Einbezug der Intervention ergab sich eine Varianzaufklärung von 61 %, die vergleichbar mit bisherigen Akzeptanzmodellen für Wearable Devices ohne Nutzung ist (z. B. Pfeiffer et al., 2016). Mit Intervention betrug die Varianzaufklärung 85 %. Bei der Analyse der UTAUT mit Nutzung (Studie 2 und 3) und ohne Nutzung der Wearable Devices (Studie 4) ergaben sich Unterschiede in den Prädiktoren der Nutzungsintention. Dies zeigt, im Einklang mit bisheriger Forschung, dass Nutzungserfahrungen die Akzeptanz beeinflussen (z. B. Alapetite et al., 2009; Brown et al., 2012; Davis & Venkatesh, 2004; Lyons et al., 2016; Soccia et al., 2011; Van der Laan et al., 1997). Die Bewertungsunterschiede auf Basis von Erwartungen (Studie 4) und Erfahrungen (Studie 2 und 3) zeigen, dass diese nur eingeschränkt vergleichbar sind und die Nutzungserfahrungen bei der Forschung zur Akzeptanz von Wearable Devices in der Produktion beachtet werden sollten. Daher sollten in der Akzeptanzforschung zu Wearable Devices die Begriffe zwischen Bewertungen auf Basis von Erwartungen oder Erfahrungen abgegrenzt bzw. die Nutzungserfahrung der Probanden deutlicher angegeben werden. Damit tragen unterschiedliche Faktoren dazu bei, dass die Geräte ausprobiert oder langfristig genutzt werden.

4. Zusammenfassung und Diskussion

4.1. Zusammenfassung zentraler Ergebnisse

In vier Studien im Trainings- und Produktionskontext wurden die Wearable Devices Smartwatch und Smartglasses zur Informationsassistenz von Mitarbeitern in der variantenreichen Automobilmontage auf den Dimensionen Unterstützungspotenzial, Akzeptanz und Nutzungsbarrieren evaluiert. Abbildung 4.1 stellt die Ergebnisübersicht mittels Farbmarkierungen einzelner Dimensionen des Arbeitsmodells dar. Diese werden die anschließend erläutert.

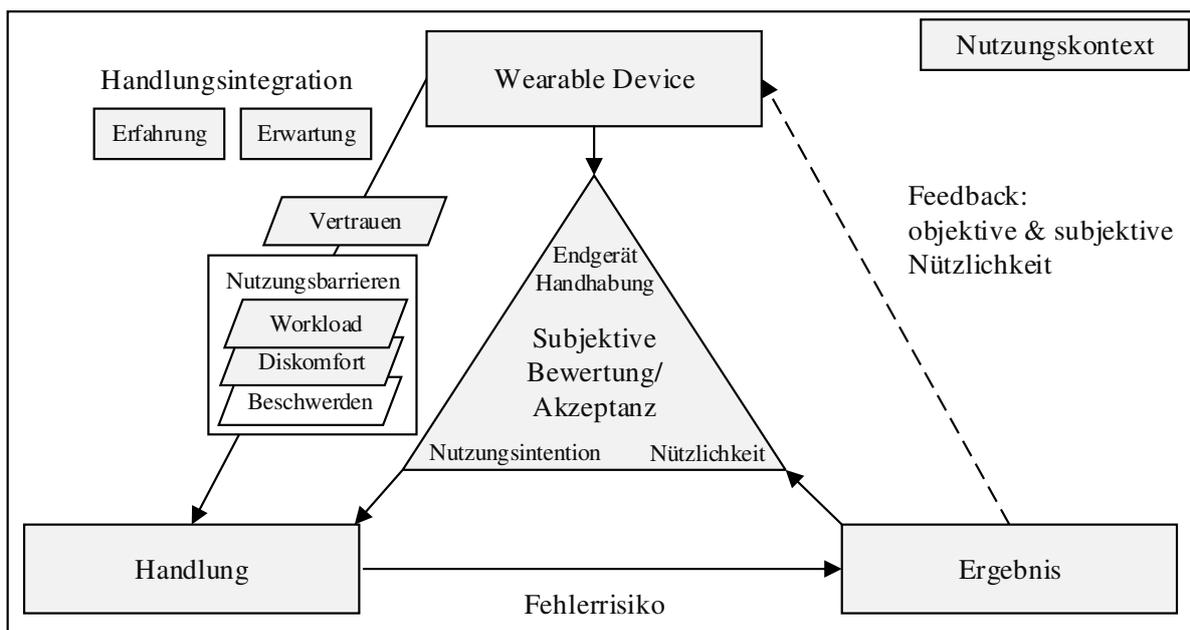


Abbildung 4.1. Ergebnisübersicht anhand des Arbeitsmodells.

Dem Arbeitsmodell entsprechend wurde gezeigt, dass die Integration von Wearable Devices in den Handlungsverlauf durch deren Nutzung das Fehlerrisiko bei der Montage senken und das Arbeitsergebnis positiv beeinflussen kann. Für den Anwendungsfall Order Attention Guiding wurde gezeigt, dass saliente, multimodale Ereignisinformationen auf Wearable Devices zuverlässig wahrgenommen werden (Studie 1). Beim mehrwöchigen

Produktionseinsatz von Order Attention Guiding mit Smartwatches zeigten Qualitätsdaten eine Reduktion von Variantenfehlern bei Sonderausstattungen um bis zu 90 % im Vergleich zu stationären Standardinformationsträgern (Studie 3). Die Fehlerreduktion hielt sich über Monate stabil. Erst nach Ende der Pilotstudie stiegen die Ausführungsfehler wieder an (Studie 3: OAG 3). Dies zeigt das Potenzial multimodaler Ereignisinformatoren auf Wearable Devices, die Salienz unregelmäßiger Ausstattungsvarianten zu steigern und dadurch Variantenfehler zu reduzieren.

Beim Anwendungsfall Order Sequence Guiding zeigten Wearable Devices Prozessinformationen standardisierter Montagesequenzen. Beim Montagetraining sanken die Ausführungsfehler mit Assistenz durch Order Sequence Guiding bis zu 80 % im Vergleich zum Standardinformationsträger (Studie 2). Beim Assistenzabbruch während des Lernprozesses stiegen die Ausführungsfehler auf das Niveau der Kontrollgruppe. Demnach unterstützen Wearable Devices die initiale Ausführung ohne das Lernen zu beeinträchtigen. Jedoch könnten aus dem Nutzungsabbruch Qualitätsrisiken entstehen. Im Produktionstest ließen sich zwar keine Leistungsdaten erfassen, doch Bewertungen der Anwender verweisen auf Unterstützungspotenziale beim Anlernen On-The-Job und beim Übergang zur intuitiven Ausführung (Studie 3: OSG 1 und 2).

Der Einfluss von Wearable Devices auf das Arbeitsergebnis setzt deren Nutzung voraus, die basierend auf der UTAUT als Akzeptanz bzw. Einflüsse diverser Faktoren auf die Nutzungsintention zentral im Arbeitsmodell repräsentiert ist. Die Einflussfaktoren sind als Einstellungen auf Basis von Erfahrungen mit Wearable Devices oder Erwartungen dargestellt und mit dem Endgerät (Vertrauen, Handhabung), der Handlungsintegration (Nutzungsbarrieren, Nutzungsintention) und dem Ergebnis (objektive und subjektive Nützlichkeit) assoziiert. Über mehrere Studien unterstrichen positive Bewertungen der Nützlichkeit von und der Zufriedenheit mit den Wearable Devices deren Akzeptanz. Die Anpassung der Anwendungen an Arbeitsprozesse und Anwenderbedarfe beeinflusste deren Akzeptanz (Studie 3). Eine geringe Anpassung ist mit der Reduktion des Informationsgehaltes für die Montage und einer negativen Verschiebung der Kosten-Nutzen-Relation assoziierbar. Eine höhere Nützlichkeits- als Zufriedenheitsbewertung impliziert Optimierungsbedarfe der prototypischen Geräte und Anwendungen (Studie 2, 3). Die UTAUT wurde für die erlebte sowie die antizipierte Nutzung der Wearable Devices bestätigt und damit akzeptanzfördernde und -hemmende Einflussfaktoren identifiziert (Studie 2, 3, 4). Die erlebte oder antizipierte Nützlichkeit, also der subjektive Effekt der Wearable Devices auf das Handlungsergebnis, stellte in allen Erhebungen einen zentralen Einflussfaktor auf die Nutzungsintention dar (Studie 2, 3, 4). Die erlebte Handhabbarkeit zeigte keine Einflüsse (Studie 2, 3), während sich die antizipierte Handhabbarkeit auf die

Akzeptanz auswirkte (Studie 4). Soziale Einflüsse zeigten sich nur bei Nutzung (Studie 2, 3), doch nicht ohne (Studie 4). Das Vertrauen steigerte die Nutzungsintention bei kurzer Nutzung (Studie 2), doch nicht bei längerer (Studie 3) bzw. ohne Nutzung (Studie 4). Das Endgerät (Smartwatch, Smartglasses) wirkte sich nicht auf die Nutzungsintention aus (Studie 2). Die Gestaltung der Informationen über Wearable Devices kann die Akzeptanz ohne Nutzung beeinflussen (Studie 4).

Im Arbeitsmodell stehen erlebte bzw. erwartete Nutzungsbarrieren als potenziell akzeptanzhemmende Faktoren zwischen Wearable Devices und der Handlungsintegration. Beim Montagetraining unterschied sich der Workload nicht zwischen Wearable Devices und Referenzinformationsträgern und beeinflusste nicht die Akzeptanz (Studie 2). Studien 1, 2 und 4 zeigen Zusammenhänge zwischen der Nützlichkeit der Wearable Devices für die Tätigkeit und dem erlebten Workload. Bei der Signalentdeckung wurde der Workload durch Endgeräte und Hinweissignale beeinflusst, sodass Konstellationen mit höherer Signalentdeckung mit geringerem Workload einhergingen und umgekehrt (Studie 1). In der Produktion konnten Wearable Devices den Workload im Vergleich zur Montage ohne Assistenz senken, wenn sie den Anforderungen der Prozesse und Anwender entsprachen und als nützlich für die Tätigkeit bewertet wurden (Studie 3). Bei geringer Anpassung konnten sie den Workload steigern, einhergehend mit einer niedrigen subjektiven Nützlichkeit (Studie 3: OSG 3). Im Akzeptanzmodell steigerte die Reduktion des relativen Workloads die Nutzungsintention (Studie 3). Bei der langfristigen Verwendung (Studie 3: OAG 3) nahmen die Nutzung ab und der Workload deskriptiv zu, was nach Teilnehmerangaben auf Hardware- und Umweltfaktoren basierte und Zusammenhänge zwischen Gerätefaktoren, Workload und Akzeptanz verdeutlicht. Ohne Nutzung steigerte ein hoher Workload bei der Montage die Intention Wearable Devices zukünftig zur Montageassistenz zu nutzen (Studie 4). Diese Assoziation zwischen Workload, System und Anwender implizieren, dass der Workload keine einseitige „Barriere“ darstellt. Der Diskomfort stellt eine potenzielle Nutzungsbarriere dar. Der Diskomfort war insgesamt gering ausgeprägt. Er war für Smartglasses gegenüber Smartwatches erhöht und wirkte sich negativ auf die Akzeptanz aus (Studie 2). Ohne Nutzungserfahrung senkte ein hoher erwarteter Diskomfort nicht die Intention, die Geräte auszuprobieren (Studie 4). Generelle und visuelle Beschwerden waren für Smartglasses erhöht, beeinflussten aber nicht die Nutzungsintention (Studie 2). Dennoch könnten Beschwerden bei langer Nutzungsdauer Barrieren und Gesundheitsrisiken darstellen.

Über das Arbeitsmodell hinaus wurde ein Ansatz zur Innovationskommunikation für potenzielle Anwender ohne Nutzungserfahrungen mit Wearable Devices getestet (Studie 4). Informationen auf Basis der UTAUT-Faktoren Nützlichkeit, Handhabbarkeit und

sozialer Einfluss steigerten die Bewertung der Nützlichkeit und Handhabbarkeit sowie der Intention, die Wearable Devices zu nutzen. Die subjektive Relevanz der Meinungen Dritter über die Nutzung wurde nicht beeinflusst. Daher kann die Innovationskommunikation akzeptanzbezogener Informationen zur Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in Produktionsunternehmen beitragen.

Zusammenfassend tragen Wearable Devices zur Qualitätssteigerung der variantenreichen Montage und des Montagetrainings Off- und On-The-Job bei. Anhand der Evaluationsdimensionen zeigen sich überwiegend hohe Unterstützungspotenziale, eine positive Akzeptanz und geringe Nutzungsbarrieren. Diese Dimensionen ergänzen sich und ermöglichen eine abgerundete Bewertung der Wearable Devices. Die positiven Einflüsse auf die Arbeitsergebnisse und die Bereitschaft der Mitarbeiter die Wearable Devices zu nutzen bieten eine Grundlage zur ihrer Einführung in die Montage. Unterstützungspotenziale und die wahrgenommene Nützlichkeit stehen in Relation zu subjektiven Aufwänden, die aus der Systemanpassung an Prozess und Anwender resultieren. Die Systemanpassung und -gestaltung zur Überwindung der Nutzungsbarrieren sollten als Voraussetzungen für die Einführung der Geräte berücksichtigt werden.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Im Trainings- und Produktionskontext wurden Unterstützungspotenziale sowie akzeptanzfördernde und -hemmende Faktoren von Wearable Devices für die kaum beforschten Assistenzkonzepte Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding identifiziert. Durch die mobile Verfügbarkeit von Informationen können Wearable Devices die Montagequalität steigern. Ihr Unterstützungspotenzial basiert auf der Salienzsteigerung und Aufwandsreduktion durch individuelle, mobil verfügbare Arbeitsinformationen, was deren Wahrnehmung und Nutzung erhöht (Sarter, 2013; Wickens, 2014). Zudem reduziert die mobile Verfügbarkeit die Anforderungen Informationen bis zur Handlungsausführung im Gedächtnis zu behalten (Dix et al., 2004). Diese Faktoren tragen zur Reduktion von Fehlern der Handlungsauswahl und -ausführung bei (Reason, 1990). Nachfolgend werden die Unterstützungspotenziale der Assistenzkonzepte, die Nutzungsbarrieren und die Akzeptanz der Wearable Devices diskutiert.

4.2.1. Einordnung der Ergebnisse in den internationalen Forschungsstand

4.2.1.1. Diskussion der Assistenzkonzepte und deren Unterstützungspotenziale

Das Unterstützungspotenzial von Wearable Devices für die Montageassistenten kann kaum unabhängig von den Assistenzkonzepten, also den unterstützten Tätigkeiten und den jeweiligen Anwendungen, betrachtet werden. Daher werden nachfolgend die Unterstützungspotenziale für die Assistenzkonzepte Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding getrennt diskutiert. Darauf folgt eine allgemeine Betrachtung der evaluierten Wearable Devices im Kontext von Montageassistenzsystemen.

4.2.1.1.1. Assistenzkonzept Order Attention Guiding

Order Attention Guiding lenkt die Aufmerksamkeit durch saliente Hinweissignale zum Variationszeitpunkt auf Abweichungen innerhalb einer Routine-Montagesequenz (Prozess C), was Variantenfehler der Ausführung unzutreffender Montagesequenzen oder Slips reduziert (vgl. Reason, 1990). Die Hinweissignale senken die Anforderung des aktiven Abrufs der Information und erhöhen die Erwartung, dass Handlungsanforderungen mit dem Informationsabruf verknüpft sind, sodass stationäre Standardinformationsträger nicht für jedes Fahrzeug auf Bauteilvarianten geprüft werden müssen (vgl. Wickens et al., 2013). Im Vergleich zur unimodalen Verarbeitung mehrerer Informationen auf dem visuellen Kanal oder bei geringer Salienz und multiplen Störquellen, wie bei stationären Monitoren, wirken sich die multimodalen Hinweissignale von Order Attention Guiding positiv auf die Wahrnehmung aus (Wickens, 2002) und können den Workload senken (Wickens, 2008), was Studie 3 bestätigt. Somit unterstützt diese Arbeit bisherige Forschungsergebnisse, die zeigten, dass multimodale Hinweissignale die Bearbeitung von der Routine abweichender Aufgaben bei zeitlicher Nähe zwischen Hinweissignal und Variation stärker unterstützen, als ohne Hinweissignale oder bei größeren zeitlichen Abständen (z. B. Dix et al., 2004; Hopp-Levine et al., 2006; Kolbeinsson et al., 2017; Loft, 2014).

Studie 1 zeigt, dass Wearable Devices mit multimodalem Hinweissignal zuverlässig wahrgenommen werden und diese, v. a. bei Smartwatches, die Signalentdeckung steigern und den Workload senken (z. B. Wang, Millet & Smith, 2016). In der Produktion senkte Order Attention Guiding Fehler der Nichtmontage unregelmäßiger Bauteilvarianten (Prozess C), wenn die Hinweissignale eindeutig zur jeweiligen Ausstattungsvariante assoziierbar waren (Studie 3). Übereinstimmend mit der Forschung zeigt Studie 3, dass sich der inhaltliche und zeitliche Bezug von Hinweissignal und Aufgabe positiv auf den Infor-

mationsgehalt, die Akzeptanz (Van der Laan et al., 1997) und den Workload auswirkt (z. B. Lee & Starner, 2010; Okoshi et al., 2015).

Bisher wurden Hinweissignale im Montagekontext für Nebenaufgaben erforscht, die nicht den Takt betreffen (z. B. Kolbeinsson et al., 2017) oder in andere Informationskonzepte integriert (z. B. Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010). Studie 3 trägt daher zur Übertragung bisheriger Erkenntnisse auf variantenbezogene Hinweissignale am Takt bei. Vergleiche zwischen Smartwatches und Smartglasses, wie in Studie 1, wurden zuvor nicht berichtet und stehen in der laufenden Produktion weiter aus. Aus praktischer Perspektive erscheinen Smartwatches zur Anzeige seltener Ereignisinformationen geeigneter als Look-Around Smartglasses, da diese das Sichtfeld permanent für nur periodisch relevante Informationen einschränken.

Die Fehlerreduktion mit Order Attention Guiding unterstützt bisherige Erkenntnisse zur Assoziation zwischen Komplexität bzw. Variantenvielfalt und Ausführungsfehlern in der Montage (z. B. Fisher & Ittner, 1999) sowie den Einflüssen von Informationen und Informationsträgern auf die Montagequalität (z. B. Fast-Berglund et al., 2013; Johansson et al., 2016). Wearable Devices mit Order Attention Guiding können somit zur Reduktion der (wahrgenommenen) Komplexität und Steigerung der Prozessstabilität (Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016) und einhergehend zur Reduktion von Nacharbeitsaufwand und -kosten beitragen. Damit bietet Order Attention Guiding Potenziale zur Assistenz der Mitarbeiter bei der variantenreichen Automobilmontage sowie zur Steigerung der Produktivität und kann einen Anwendungsfall für die Produktion der Industrie 4.0 darstellen.

Perspektivisch wären konzeptionelle Erweiterungen von Order Attention Guiding zur Anzeige und Unterscheidung mehrerer Varianten, die Integration von Sequenzierinformationen (Prozess B) und eine vereinfachte Individualisierbarkeit durch Endanwender erstrebenswert, um längere Taktzeiten mit hoher Variantenvielfalt zu unterstützen (z. B. OAG 3). Die Individualisierbarkeit würde es Endanwendern ermöglichen, autonom auf Prozessveränderungen zu reagieren, weshalb sie einen wesentlichen Erfolgsfaktor für Assistenzsysteme in der Produktion darstellt (Fite-Georgel, 2011). Order Attention Guiding wäre z. B. durch die Verbindung mit Pick-by-Vision um Sequenzierinformationen für Prozess B erweiterbar (z. B. Guo et al., 2015).

4.2.1.1.2. Assistenzkonzept Order Sequence Guiding

Wearable Devices mit Order Sequence Guiding trugen im Off-The-Job Montagetraining zur Reduktion von Lapses bzw. Sequenzfehlern (Studie 2) und im On-The-Job Montagetraining zur Assistenz des Anlernens und der Wiedereinarbeitung in umfangreiche Mon-

tagetakte bei (Studie 3). So konnte ein Beitrag zur Assistenz des On-The-Job Anlernens geliefert werden, der über bisherige auf das Off-The-Job Training ausgelegte Montageassistenzsysteme hinausgeht (z. B. Borsci, Lawson, Salanitri & Jha, 2016; Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016). Zudem kann die Order Sequence Guiding-Assistenz langfristig zur Standardisierung und Optimierung der On-The-Job Anlernprozesse in der Automobilmontage beitragen (Hermawati et al., 2015; Jeske et al., 2013; Jeske et al., 2014), z. B. indem Montagesequenzen schneller selbstständig und fehlerresistent ausgeführt werden oder Trainer mehrere Lernende parallel betreuen. Die Standardisierung des Anlernens wird von Automobilherstellern als Erfolgsfaktor zum Umgang mit der steigenden Flexibilität betrachtet (Hermawati et al., 2015). Im Gegensatz zu verbreiteten Empfehlungen, Trainer durch AR- oder VR-Systeme zu ersetzen (z. B. Gavish et al., 2013; Langley et al., 2016; Wang, Ong & Nee, 2016a), soll Order Sequence Guiding Trainer unterstützen das Anlernen flexibler zu gestalten. Trainer vermitteln oft Kenntnisse, z. B. Materialhandhabung oder Verhaltensregeln, die kaum durch technische Systeme ersetzbar sind (z. B. Wiedenmaier et al., 2003).

In diversen Produktions- und Wartungskontexten wurde bereits gezeigt, dass mobile Auftragslisten zur vollständigen Ausführung und Einhaltung definierter Handlungssequenzen beitragen und Lapses senken (z. B. Bayen et al., 2013; Degani & Wiener, 1993; Thorvald et al., 2014). Auch ähnliche Wearable Devices-Informationskonzepte für mobile Sequenzier- oder Montagetätigkeiten (z. B. Pick-by-Vision) führten im Laborkontext zur Fehlerreduktion gegenüber stationären Informationsträgern (Thorvald et al., 2014) oder Papierinstruktionen (z. B. Guo et al., 2014). Obwohl für Wearable Devices bereits diverse Checklisten zur Anzeige oder Quittierung von Auftragsinformationen in der Produktion entwickelt oder erprobt wurden, lagen bisher keine formalen mehrdimensionalen Evaluationen im Produktionskontext vor (z. B. Baumann, 2013; Brandenburg et al., 2016; Rauh et al., 2015; Stocker et al., 2016). Daher trägt diese Arbeit zum Forschungsstand der Evaluation von Wearable Devices im Anwendungskontext und der Demonstration ihres Unterstützungspotenzials zur Assistenz des Montagetrainings bei.

Da die Forschung die kontinuierliche Assistenz von Anwendern ohne Montageerfahrung, doch kaum das Lernen der Montage ohne Assistenz (z. B. Guo et al., 2014; Thorvald et al., 2014) fokussierte, wurde in Studie 2 die Leistung mit Assistenz und nach Assistenzabbruch verglichen. Studie 2 zeigte, dass Order Sequence Guiding Lapses gegenüber Papierinstruktionen reduzierte, diese nach Nutzungsabbruch jedoch wieder anstiegen. Da sich die Leistungsreduktion als weniger gravierend erwies als erwartet, scheint die Assistenz das Lernen der Montagesequenzen nicht zu inhibieren (Parasuraman et al., 2000; Yuviler-Gavish et al., 2011). Die Risiken der Fehlerzunahme durch den Nutzungsabbruch

von Assistenzsystemen wurden bereits für andere Systeme, doch bisher nicht für Wearable Devices, gezeigt (ebd.). Zwar nutzte Maurtua (2009) ein ähnliches Design für Assembly Guiding auf HMDs, berichtete jedoch nur deskriptive Daten, die keine Vorteile des HMDs gegenüber Papierinstruktionen zeigten.

In Studie 3 ging Order Sequence Guiding zum On-The-Job-Anlernen mit höherer Akzeptanz einher als bei Experten, welche die Takte routiniert unter dem Einfluss von Lapses und Unterbrechungen aus dem Gedächtnis ausführten (vgl. Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016). Dies zeigt Differenzen zwischen dem Assistenzbedarf von Novizen, die Order Sequence Guiding als Gedächtnisstütze zum Sequenzlernen nutzen, und Experten, die es kontinuierlich zur Reduktion von Lapses nutzten und impliziert die Anpassung der Informationskonzepte an die Expertise (vgl. Wickens, 2000). Für Experten schienen die Bedienung und Differenzen von Instruktionen und Ist-Prozess eine stärkere Unterbrechung des Arbeitsflusses sowie ein höheres Risiko zur Taktzeitüberschreitung darzustellen als für Lernende (vgl. Studie 3; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016). Dies zeigt Einflüsse der subjektiven Relation von Aufwand und Nützlichkeit (Brau, 2012; Venkatesh et al., 2003) sowie der Übereinstimmung von Instruktionen und Gewohnheiten. Zudem widersprechen hohe Bedienaufwände den Nutzungskonzepten von Wearable Devices (Rügge, 2007), auch wenn diese „nur“ im Betätigen einer Taste bestehen.

Im Gegensatz zur Assistenz mobiler Tätigkeiten (Studie 2, 3) zeigte die Forschung für nicht mobil genutzte, detaillierte Montageanleitungen (Assembly Guiding) auf Wearable Devices kaum Unterstützungspotenzial (z. B. Theis et al., 2015; Wille, 2016). Diese Differenzen können mit der Mobilität der Evaluationsszenarien oder der Komplexität von Assembly Guiding Visualisierung zusammenhängen (z. B. Nakanishi & Sato, 2015), sind jedoch bisher kaum in der Forschung thematisiert. Die theoretische Aufbereitung der Zusammenhänge zwischen Informationskonzepten und Unterstützungspotenzialen und der Vergleich verschiedener Anwendungsbedingungen in dieser Arbeit zeigen, dass Wearable Devices kaum unabhängig von Anwendern sowie Informations- und Anwendungskonzepten evaluierbar sind. Zudem erscheint die oft vernachlässigte Differenzierung von AR- und AV-Visualisierungen notwendig zur Spezifizierung des Forschungsgegenstandes und der jeweiligen Informationskonzepte und Unterstützungspotentiale (vgl. Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Der Vergleich zwischen Endgeräten, Nutzungskontexten und Anwendergruppen bietet Grundlagen zur Analyse der Nutzungskriterien von Wearable Devices in der Produktion (Studie 3). Die Analyse der Vor- und Nachteile von Wearable Devices und Informationskonzepten für diverse Anwendungsszenarien durch zukünftige Forschung kann zur Weiterentwicklung der Assistenzkonzepte beitragen.

Ein Ansatz zur Berücksichtigung der Anwenderexpertise liegt in der Informationsreduktion mit steigendem Kompetenzerwerb durch Fading (Eiriksdottir & Catrambone, 2011). Fading reduziert schrittweise Instruktionsdetails bzw. erhöht die Abstraktion bis hin zur Information auf Abruf (Gorecky, Mura & Arlt, 2013; Mura, Petersen, Huff & Ghose, 2013). Damit könnten diverse Assistenzspektren, etwa das Informationskontinuum (Kapitel 2.3.3.1) von Assembly Guiding bei geringer Erfahrung über Order Sequence Guiding zum Anlernen bis zu Order Attention Guiding für Montageexperten innerhalb eines Systems realisiert werden. Ein weiterer Ansatz zur Assistenz von Experten liegt in individualisierbaren oder sich dynamisch an den Handlungsverlauf anpassenden Instruktionen sowie der Reduktion des aktiven Bedienaufwandes (z. B. Bleser et al., 2015). Handlungssequenzen könnten automatisiert überwacht werden, um die aktive Bedienung durch automatisiertes Fortschreiten der Instruktionen mit dem Handlungsverlauf zu reduzieren (z. B. Bleser et al., 2015) oder Ausführungsfehler zu detektieren und zurückzumelden (z. B. Bleser et al., 2015; Funk et al., 2016; Mura, Dini & Failli, 2016; Nordin et al., 2010). Da sich diese Systeme in der technischen Forschung befinden, liegen quasi keine aussagekräftigen Evaluationen vor.

4.2.1.1.3. Diskussion von Wearable Devices als Montageassistenzsysteme

Diese Arbeit zeigt an zwei Assistenzkonzepten, dass Wearable Devices durch die Reduktion von Sequenz- und Variantenfehlern zur Steigerung der Qualität und Prozesssicherheit sowie zur Unterstützung des Off- und On-The-Job Trainings in der Automobilmontage beitragen. Damit unterstützen Wearable Devices zur Montageassistenz bisherige Bestrebungen zur Qualitätssteigerung und Prozessoptimierung in der komplexen und flexiblen variantenreichen Montage (z. B. ElMaraghy et al., 2013; Mattsson, Fast-Berglund & Stahre, 2014; Mattsson, Fast-Berglund & Thorvald, 2016; Richter et al., 2015; Spath et al., 2013). Es wird gezeigt, dass sich Faktoren der Informationsverarbeitung, wie die Verfügbarkeit und Salienz relevanter Arbeitsinformationen, deutlich auf die Qualität der variantenreichen Montage auswirken, was auf empirischen und mathematischen Beschreibungen zentraler Komplexitätsfaktoren in der Montage aufbaut (z. B. Elmaraghy et al., 2008; Fast-Berglund et al., 2013; Fisher & Ittner, 1999; Hu et al., 2011; Mattsson, 2013). Die Fehlerreduktion durch Wearable Devices deckt sich mit der Forschung zu den Einflüssen der Informationsgestaltung (z. B. Bäckstrand et al., 2008; Case et al., 2008; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010), der Mobilität der Informationsträger (Thorvald et al., 2014) sowie der Aufgabengestaltung und kognitiver Prozesse auf die Montagequalität (Buescher, Hauck, Schilberg & Jeschke, 2012; Fast-Berglund et al., 2013; Fasth, Lundholm, Mårtensson, Dencker & Stahre, 2009; Johansson et al., 2016; Stork & Schubö,

2010). Somit sind Wearable Devices potenzielle Assistenzsysteme für die Unterstützung der Mitarbeiter zum Umgang mit der Komplexität und Flexibilität der Produktionsbedingungen der Industrie 4.0.

Die Informationsassistenz durch Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding (Parasuraman et al., 2000; Wickens, 2000) bildet Ausschnitte der vielfältigen Anwendungsspektren von Wearable Devices in der Produktion ab (z. B. Aromaa et al., 2016; Romero et al., 2016; Stocker et al., 2014; Ziegler et al., 2015). Wearable Devices zur Informationsassistenz können, v. a. aufgrund vielfältiger technischer Entwicklungsmöglichkeiten diverser Automatisierungsgrade, dem Spektrum kognitiver Montageassistenzsysteme zugeordnet werden (Fast-Berglund & Stahre, 2013; Frohm et al., 2008). Einige mobile Anwendungsszenarien für Produktionstätigkeiten der Industrie 4.0 beinhalten das Ersetzen von Handheld Devices, z. B. zur freihändigen Quittierung von Aufträgen, Bestandteile des Wissensmanagements von Produktionsunternehmen, z. B. zur Weiterbildung, sowie zur Kommunikation von Produktionsmitarbeitern (z. B. Hein & Rauschnabel, 2016; Stocker et al., 2014; Stocker et al., 2016; Weber et al., 2016). Diese Arbeit verdeutlicht dennoch, dass weiterer Forschungsbedarf zu den Bedienkonzepten und ergonomischen Faktoren der Geräte, wie Größe, Gewicht und Befestigung besteht.

4.2.1.2. Diskussion der Nutzungsbarrieren

Die Unterstützungspotenziale sprechen für den Einsatz von Wearable Devices in der Produktion, sollten jedoch nicht die alleinige Entscheidungsgrundlage darstellen. Ergonomische Effekte können z. B. bei HMDs zu Beschwerden führen, weshalb diese im Fokus der Forschung stehen (z. B. Theis et al., 2016; Wille, 2016) und gegen eine Nutzung sprechen könnten. Der Gerätevergleich in Studie 2 ergab keine Workload-Unterschiede zwischen den Bedingungen Smartwatch, Smartglasses und Papierinstruktionen und leicht erhöhte Beschwerden sowie einen erhöhten Diskomfort bei den Smartglasses, die durch längere HMD-Nutzung, ein hohes Hardwaregewicht (vgl. Wille, 2016) oder komplexe kognitiven Aufgaben verstärkt werden können (vgl. Mustonen et al., 2013). Auch die HMD-Instruktionsgestaltung könnte den Workload beeinflussen (z. B. Nakanishi & Sato, 2015). Bei Smartglasses können Beschwerden nicht ausgeschlossen werden, auch wenn diese geringer ausgeprägt sind als bei schweren Industrie-HMDs (vgl. Wille & Wischniewski, 2015). Die geringe Beanspruchung durch Smartglasses in Studie 2 im Vergleich zur Literatur (z. B. Wille & Wischniewski, 2015) könnte mit der kürzeren Nutzungsdauer zusammenhängen und sollte für längere Einsätze und andere Endgeräte überprüft werden. Referenzliteratur zu Smartwatches bietet keine Vergleichsgrundlagen (z. B. Schultheis, 2015). Studie 1 zeigte Zusammenhänge zwischen Workload und Leistung sowie Endgerä-

ten und Hinweissignalen, sodass nicht allein das Endgerät, sondern dessen Nützlichkeit für die Aufgabenerfüllung den Workload beeinflusst (vgl. Byers et al., 1989; Hart, 2006). In der Produktion reduzierten Wearable Devices den Workload im Vergleich zur Montage ohne Assistenz, wenn sie den Anwenderbedarfen entsprachen, andernfalls konnten Workload-Erhöhungen auftreten (Studie 3). Dies verdeutlicht, dass ergonomische Faktoren zukünftig stärker für Wearable Devices für Produktionstätigkeiten beachtet werden sollten, da sie deren Anpassung an Nutzeranforderungen widerspiegeln. Dies wiederum zeigt Zusammenhänge zur Akzeptanz.

4.2.1.3. Diskussion der Akzeptanz von Wearable Devices im Produktionskontext

Die Akzeptanz von Wearable Devices stellt eine Voraussetzung der Nutzung und darauf aufbauender Unterstützungspotenziale dar (Brau, 2012; Venkatesh et al., 2003), was auch dieser Forschungsbeitrag zeigt. In dieser Arbeit wurden akzeptanzfördernde und -hemmende Faktoren der Wearable Devices im Trainings- und Produktionskontext anhand der Van der Laan Skala (Van der Laan et al., 1997) und der Erweiterung der UTAUT (Venkatesh et al., 2003) identifiziert. Dies trägt zum Forschungsstand bei, der bisher auf informale Befragungen weniger Anwender im Produktionsumfeld begrenzt blieb. Im Einklang mit der Forschung wurde gezeigt, dass die Nützlichkeits- und Zufriedenheitsbewertung von Wearable Devices von deren Anpassung an Anwenderbedarfe und dem Informationsgehalt beeinflusst werden (vgl. Brau, 2012; Coursaris et al., 2012; Hollingsworth, 2015; Van der Laan et al., 1997; van Heek, Schaar, Trevisan, Bosowski & Ziefle, 2014) und vom objektiven Unterstützungspotenzial abweichen können. Die gezeigten Auswirkungen von Informationsträger und -darstellung auf die Akzeptanz ergänzen die bisherige Forschung im variantenreichen Montagekontext.

Die UTAUT und deren kontextspezifische Erweiterung für Wearable Devices in der Produktion (vgl. Venkatesh et al., 2016) zeigte eine ähnliche oder höhere Varianzaufklärung als Akzeptanzmodelle für Wearable Devices im Konsumentenbereich (z. B. Kwee-Meier et al., 2016; Li et al., 2016; Pfeiffer et al., 2016). Bisherige Akzeptanzmodelle für Wearable Devices fokussierten die Identifikation von Einflussfaktoren auf die Kaufintention von Konsumenten (z. B. Chuah et al., 2016; Li et al., 2016; Rauschnabel, Hein et al., 2016; Wu et al., 2016), doch nicht deren Akzeptanz als Arbeitsmittel im organisationalen Kontext. Dabei geht die Forschung von Unterschieden der Akzeptanzfaktoren zwischen Konsumenten und mandatorischen Arbeitssystemen aus (Venkatesh et al., 2012). Somit erweitert die Übertragung der UTAUT auf Wearable Devices in der Produktion den Forschungsstand. Es wurden explizit Akzeptanzstudien zu Wearable Devices, doch nicht zu AR einbezogen. Auch für mobile AR werden kaum Akzeptanzmodelle für Arbeitskontexte berichtet,

zudem sind sie wegen heterogener Technologien, Zielgruppen und Anwendungsfälle kaum auf den Kontext dieser Forschungsarbeit übertragbar (z. B. Arvanitis et al., 2011).

Diese Forschungsarbeit zeigt Unterschiede in den Einflussfaktoren auf die Akzeptanz zwischen Erfahrungen mit und Erwartungen an Wearable Devices (vgl. Alapetite et al., 2009; Davis & Venkatesh, 2004; Lyons et al., 2016; Soscia et al., 2011; Van der Laan et al., 1997), was ähnliche Erkenntnisse im Konsumentenbereich ergänzt (Yang et al., 2016) und daraus resultieren kann, dass das Ausprobieren technischer Systeme ihre Bewertung beeinflusst (Soscia et al., 2011). Unter den UTAUT-Faktoren für Wearable Devices in der Automobilmontage stellte die Nützlichkeit den zentralsten und konsistentesten Prädiktor der Nutzungsintention dar, was im Einklang mit Metaanalysen (Khechine et al., 2016; Taiwo & Downe, 2013) und der Konsumentenforschung zu Wearable Devices steht (z. B. Jeong et al., 2017; Kwee-Meier et al., 2016; Moon, 2016; Pfeiffer et al., 2016). Die Handhabbarkeit zeigte bei Nutzung keinen Einfluss, wie es ebenfalls oft für Wearable Devices berichtet wird (Chuah et al., 2016; Kim & Shin, 2015; Pfeiffer et al., 2016; Rauschnabel & Ro, 2016). Dies könnte mit ihrer inhaltlichen Repräsentation als Lernanforderungen zusammenhängen (Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003), die nicht dem minimalistischen Interaktionskonzept von Wearable Devices entspricht (Barfield, 2016; Rhodes, 1997; Rügge, 2007). Die erwartete Handhabbarkeit ohne Nutzung erwies sich hingegen als Einflussfaktor, was die Unterschiede zwischen Erwartung und Erfahrung reflektiert. Auch soziale Einflüsse und das Vertrauen in die Geräte können die Akzeptanz fördern (z. B. Kwee-Meier et al., 2016; Li et al., 2016). Der soziale Einfluss wurde bei Nutzung der Wearable Devices (Studie 2 und 3), doch nicht ohne Nutzung (Studie 4) bestätigt, was mit der Sichtbarkeit des Tragens der Geräte am Körper zusammenhängen kann. Das Vertrauen wurde nur bei kurzer Nutzung in Studie 2 bestätigt. Während der soziale Einfluss in der Forschung nicht kontinuierlich Effekte zeigt (vgl. Taiwo & Downe, 2013), gilt das Vertrauen als konsistenter Prädiktor (z. B. Ghazizadeh et al., 2012; Heerink et al., 2010).

Es zeigten sich Einflüsse akzeptanzhemmender Nutzungsbarrieren. Während der absolute Workload keinen Effekt hatte, wirken sich Workload-Reduktionen durch die Assistenz positiv auf die Nutzungsintention aus (Studie 3). Auch kann der erlebte Workload die Bereitschaft zur Nutzung von Wearable Devices erhöhen (Studie 4). Huang & Hsu (2010) zeigten ähnliche Effekte für mandatorische IT-Systeme. Der Diskomfort beim Tragen der Geräte stellt einen akzeptanzhemmenden Faktor dar. Einflüsse des Diskomforts auf die Akzeptanz von Wearable Devices wurden bisher zwar informell in Montageanwendungen berichtet (z. B. Kampmeier et al., 2007; Stocker et al., 2016), doch kaum bzw. wenig eindeutig in Akzeptanzmodelle integriert (z. B. Gamberini et al., 2015; Spagnoli et al., 2014). Beschwerden zeigten keine Einflüsse, was mit einer kurzen Nutzungsdauer zusam-

menhängen kann. Beschwerden, Diskomfort oder Workload bei der Nutzung von HMDs wurden in der Forschung zwar häufig thematisiert, doch letztendlich kaum in Akzeptanzmodelle einbezogen (vgl. Buenaflor & Kim, 2012; Spagnolli et al., 2014). Da ergonomische akzeptanzhemmende Faktoren der „Tragbarkeit“ von den Endgeräten beeinflusst werden, sollten sie sich mit der technischen Entwicklung verändern. Zudem sind die Erfassungsmethoden des Diskomforts der Geräte von heterogener Qualität (z. B. Cancela et al., 2014; Knight & Baber, 2005).

Aufgrund der positiven Assistenz, Akzeptanz und geringer Nutzungsbarrieren wurde ein Ansatz zur Gestaltung der Innovationskommunikation für die Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in die Produktion entwickelt und evaluiert. Studie 4 zeigte, dass UTAUT-basierte Informationen über die Nützlichkeit und Handhabbarkeit der Wearable Devices sowie soziale Einflüsse in Form von Kollegenmeinungen die erwartungsbasierte Akzeptanz der Wearable Devices steigern. Das Wissen über technische Systeme oder Empfehlungen Dritter können die Nutzungsintention der Wearable Devices steigern und so die Adaption neuer Technologien fördern (Huang & Korfiatis, 2015; Merritt & Ilgen, 2008; Stam & Stanton, 2010). Die Kommunikationsstrategie der Einführung könnte somit Nutzungsverhalten und Arbeitsergebnisse beeinflussen (Bala & Venkatesh, 2015; Brau, 2012). Im Konsumentenbereich werden Informationen über Wearable Devices durch Vignetten oder Videos vermittelt, wobei nicht untersucht wird, wie diese die Bewertung beeinflussen (z. B. Chuah et al., 2016; Kim & Shin, 2015; Spagnolli et al., 2014). Studie 4 zeigt, dass die Gestaltung der Innovationskommunikation eine Möglichkeit darstellt, die Akzeptanz im Vorfeld der Nutzung positiv zu beeinflussen (vgl. Brau, 2012). Der Beitrag zur Unterstützung der Einführung von Wearable Devices in die Produktion rundet diese Arbeit ab.

4.2.2. Kritische Einschätzung und Limitationen

Die Erhebung im Produktionskontext ermöglicht durch die Mitarbeiterstichproben und die Praxisnähe der Anwendungsbedingungen und -aufgaben die Analyse von Wearable Devices im späteren Anwendungsgebiet. Jedoch bringt sie einige Einschränkungen mit sich. Die randomisierten Stichproben im Trainingszentrum waren auf die Anzahl der Trainingsteilnehmer begrenzt, was zu einer eingeschränkten Planbarkeit und unterschiedlichen Gruppengrößen führte. Eine standardisierte Studienplanung und -durchführung war möglich, die jedoch z. T. durch interne Trainingsabläufe verkürzt wurde. Daraus resultierten Lücken in den Datensätzen, v. a. bei den Leistungsdaten in Studie 2. Im Produktionskontext führten die natürlichen Mitarbeitergruppen der Einsatzbereiche zu kleinen und heterogenen Stichproben. Auch konnte produktions- und personalbedingt nicht immer die

gleiche Befragungszeit gewährleistet werden, sodass Lücken in den Datensätzen auftraten. Studie 3 entspricht einer Feldstudie, da die Versuchsleitung aufgrund von Auflagen des Unternehmens kaum in den Ablauf eingriff und während der Laufzeit multiple Störfaktoren auftraten. Kontrollgruppen waren nicht erhebbar, da keine identischen Montagetakte existierten. Aufgrund systematischer Ergebnisunterschiede nach Takt und Expertise über mehrere Bewertungsebenen ist ihr zufälliges Zustandekommen trotz der Störfaktoren unwahrscheinlich. Einige deutliche deskriptive Unterschiede wurden nicht signifikant, sollten sich aber mit größeren Stichproben als signifikant erweisen.

Die anwendungsbezogene Studiendurchführung im Trainings- und Produktionskontext senkt zwar die interne Validität, steigert jedoch die ökologische Validität und damit die Praxis-Übertragbarkeit. Der hohe Anwendungsbezug spricht dafür, dass Wearable Devices ohne permanente Überwachung durch die Versuchsleitung in der Produktion nutzbar sind, was ein zentrales Erfolgskriterium für ihre Anwendung darstellt (Fite-Georgel, 2011). Die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse wird durch die geringe interne Validität, die spezifischen Bedingungen der variantenreichen Automobilmontage und die Modelle bzw. den Entwicklungsstand der Wearable Devices eingeschränkt. Die Arbeit stellt, wie bei anderen Entwicklungs- und Evaluationsarbeiten (z. B. Baumann, 2013; Ziegler, 2016) ein eng umrissenes Anwendungsgebiet für spezifische Wearable Devices dar, sodass die Vielzahl an technischen Umsetzungen (z. B. Chan, Esteve, Fourniols, Escriba & Campo, 2012) oder Anwendungsgebieten außerhalb der Produktion (z. B. Appelboom et al., 2014; Caon et al., 2014; Iqbal, Aydin, Brunckhorst, Dasgupta & Ahmed, 2016; Mandal et al., 2015; Wilson, 2016) nicht berücksichtigt wurden.

Daher wird erwartet, dass die Ergebnisse auf Anwendungen von Wearable Devices in der Automobilmontage, doch weniger auf Wearable Devices im Allgemeinen oder deren Einsatz für andere Produktionskontexte (z. B. Manufaktur) übertragbar sind. Auch die Literatur zu Wearable Devices erscheint durch ihre heterogenen Ergebnisse nur begrenzt auf andere Kontexte und Endgeräte übertragbar oder untereinander vergleichbar, sodass dieser Aspekt keine Einschränkung dieser Arbeit darstellen sollte. Obwohl die Erhebungsbedingungen der Studien als Kritikpunkt gewertet werden können, ist die formale Evaluation in der Praxis eine der zentralen Stärken dieser Arbeit, die sie von bisherigen Studien unterscheidet, die entweder im Labor mit montagefernen Stichproben oder informal im Produktionskontext mit oder ohne Anwendungsbezug evaluiert wurden. Durch den übergreifenden Evaluationsansatz konnten Differenzen zwischen den Methoden im Labor und in der Praxis überbrückt werden. Auch wird der auf einzelne Aspekte begrenzte Forschungsstand durch die praxisbezogene, mehrdimensionale Evaluationsmethodik, die Studiendesigns sowie die Erhebungskontexte erweitert.

4.2.3. Einordnung in das Fachgebiet

Die Einordnung in den Forschungsstand wurde bei der Ergebnisdiskussion vorgenommen. Methodik und Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich der Arbeitspsychologie zuordnen. In diesem Rahmen wurden Montageprozesse durch Informationsgestaltung und den Einsatz mobiler IKT sowie die Interaktion mit dieser analysiert (Hacker & Sachse, 2014). Beiträge zur Ingenieurpsychologie, als Teilgebiet der Arbeitspsychologie, liegen in der Anwendung kognitiver und handlungstheoretischer Modelle (Reason, 1990; Wickens, 2014) zur Entwicklung und Evaluation von Assistenzkonzepten und -systemen sowie in der Analyse von Wearable Devices auf den Dimensionen Unterstützungspotenzial, Nutzungsbarrieren und Akzeptanz für verschiedene Anwendungskontexte und -gruppen in Bezug zur Gebrauchstauglichkeit und Mensch-Maschine-Interaktion. Durch die mehrdimensionale Evaluation und den Vergleich verschiedener Endgeräte und Anwendungskontexte werden bestehende Einzelanalysen von Wearable Devices für Montagetätigkeiten ergänzt. Die Erhebung und Erweiterung der UTAUT für die Produktion trägt zur Akzeptanzforschung bei. Die Fachrichtung der Ingenieurwissenschaften wird dahingehend gestreift, dass die Forschung und Entwicklung von Wearable Devices zur Assistenz von Produktionstätigkeiten vordergründig in diesem Fachgebiet angeordnet ist und diese Arbeit eine Ergänzung aus psychologischer Perspektive vom Menschen auf die Technik liefert. Dabei stand nicht die Technikentwicklung, sondern die Bewertung der Wearable Devices aus Perspektive des Menschen im Vordergrund.

4.3. Praktische Implikationen

Obwohl der Einsatz mobiler IKT-Systeme in der Produktion noch als unterrepräsentiert gilt (Karlsson, Gustafsson, Grane & Stahre, 2014), gewinnen sie durch Anstiege der Komplexität und Datenmengen im Zuge der Digitalisierung stark an Bedeutung (z. B. Plutz et al., 2016; Spath et al., 2013, Stocker et al., 2014). Wearable Devices können zur Mitarbeiterassistenz im Rahmen der schrittweisen Entwicklung zur Industrie 4.0 beitragen, da sie kaum Veränderungen bestehender Produktionsprozesse erfordern. Durch mobil verfügbare Informationen und Interaktionen ermöglichen sie die Reduktion von Ausführungsfehlern, Bearbeitungs- oder Wegezeiten gegenüber stationären Informationsträgern oder intuitiven Montagetätigkeiten (Stocker et al., 2014).

Direkte praktische Implikationen dieser Arbeit liegen in Beiträgen zur Prozessoptimierung und zur Weiterentwicklung der Einsatzfelder von Wearable Devices. Order Attention Guiding kann Auslassungsfehler bei unregelmäßigen Ausstattungsvarianten und somit Nacharbeitskosten senken. Order Sequence Guiding unterstützt Lernprozesse Off-

und On-The-Job, was Ausführungsfehler und Trainingszeit reduzieren kann. Geringere Trainingszeiten können den Anteil an Mitarbeitern im Lernprozess und so Fehlerrisiken und Personalkosten senken. Während der Evaluation der Wearable Devices schlugen teilnehmende Montagemitarbeiter zahlreiche weitere Anwendungsfälle zur mobilen Assistenz diverser Produktionstätigkeiten vor. Dies zeigt, dass die Anwendungspotenziale von Wearable Devices in der Automobilproduktion weit über die getesteten Konzepte hinausgehen. Die Entscheidung zur Einführung von Wearable Devices sollte jedoch auf der Einzelfall-Abwägung zwischen Kosteneinsparungen durch die Assistenz und dem Implementierungsaufwand beruhen. Anwendungshürden liegen weiterhin in industrietauglichen Endgeräten, der Entwicklung mobiler Montageinformationssysteme sowie der Datensicherheit von IOT-Devices. Zudem sollte die Gebrauchstauglichkeit bzw. Individualisierbarkeit für diverse Anwendungsfälle sowie die Übereinstimmung zwischen Informationsgestaltung, Anwenderbedarfen und Montageprozessen beachtet werden.

Die Potenziale zur Prozessoptimierung, die hohe Akzeptanz und geringe Nutzungsbarrieren sprechen aus der Perspektive des Anwendungspartners für den Einsatz von Wearable Devices zur Informationsassistenz in der variantenreichen Automobilmontage. Aufbauend auf dieser Arbeit führt der Anwendungspartner die Erprobung von Wearable Devices mit angepasster Soft- und Hardware fortlaufend weiter. Der Anwendungspartner entwickelte eine mobile, browserbasierte Version seines Montageinformationssystems, mit dem theoretisch alle Anwendungsfälle stationärer Monitore und weitere mobile Szenarien mit Wearable Devices umsetzbar sind. Durch die Adaption bereits im Unternehmen genutzter Systeme können Endanwender die Wearable Devices selbstständig konfigurieren und ihren Bedarfen anpassen (vgl. Rügge, 2007), z. B. um zeitnah auf Veränderungen des Produktionsablaufes oder individueller Informationsbedarfe zu reagieren (z. B. Kerber et al., 2016). Zudem trägt die Individualisierbarkeit zur Steigerung der Akzeptanz und Ausführungsqualität bei (Burkolter et al., 2014) und unterstützt den Einsatz der Systeme im Produktionsalltag (Fite-Georgel, 2011).

Während die Ergebnisse dieser Arbeit deutlich für den Einsatz der Assistenzkonzepte Order Attention Guiding und Order Sequence Guiding sprechen, weisen die getesteten Wearable Devices zahlreiche Kritikpunkte auf. Die eingeschränkte Industrietauglichkeit und die ergonomischen Nutzungsbarrieren der in dieser Arbeit genutzten Endgeräte implizieren deren Optimierungsbedarf. Zu Beginn der Erhebungen war deutlich, dass es sich um prototypische Endgeräte handelte. Jedoch sind auch bei Abschluss dieser Arbeit noch keine industrietauglichen Endgeräte verfügbar. Die Auswahl von Geräteklassen und konkreten Endgeräten sollte an den Anwendungsfällen orientiert werden. Informationsträger im Sichtfeld, wie Smartglasses, scheinen eher für dauerhafte Informationsanzeigen und

Informationsträger außerhalb des Sichtfeldes, wie Smartwatches, für Ereignisinformationen geeignet. Daher eignen sich punktuelle Informationen durch Smartwatches für Order Attention Guiding und die dauerhafte Informationsanzeige von Smartglasses für Order Sequence Guiding, falls sie keine ergonomischen Beeinträchtigungen hervorrufen.

Bei der Smartwatch IconBit Callisto 300 erwiesen sich die Höhe als hindernd in engen Verbauräumen, die Bedienung als aufwändig und das Gummiarmband als schweißbildend bei hohen Temperaturen. Wegen des Gummiarmbandes traten hygienische Bedenken auf, die durch andere Materialien oder individuelle Endgeräte abbaubar wären. Smartwatches für die Montage sollten über ein stoßfestes, flaches Gehäuse mit Kratzerschutz verfügen. Durch das kleine Display wurden Montagesequenzen nicht vollständig (z. B. Thorvald et al., 2014), sondern einzeln angezeigt. Eine Alternative mit größerem Display zur Anzeige mehrerer Montageschritte könnten am Unterarm getragene Displays (z. B. Smartphones) darstellen, wobei auch mit diesen nicht alle Arbeitsschritte langer Takte abbildbar wären (Studie 3). Da die Forschung zeigte, dass die Displaygröße von Smartwatches deren Bewertung und den vermittelten Informationsgehalt beeinflussen kann (Kim, 2017), sollte diese dem Anwendungsfall entsprechen.

Bei den monokularen Look-Around Smartglasses Vuzix M100 lagen negative ergonomische Faktoren im Gewicht, der Befestigung am Kopf, der Justierung des Displays sowie der Bedienelemente auf Höhe des Ohres. Daher sollten Endgeräte mit geringerem Gewicht und stabiler Befestigung bevorzugt werden. Die Bedienung könnte durch eine, im Industriekontext nutzbare Sprachsteuerung optimiert werden. Bei der Auswahl von Smartglasses sollten technische Eigenschaften (z. B. Display, Gewicht) und anwendungsspezifische Faktoren beachtet sowie die jeweilige Langzeitwirkung evaluiert werden (z. B. Büttner et al., 2016; Odenthal et al., 2014; Wille & Wischniewski, 2015; Zheng et al., 2015). Bspw. zeigen sich in einigen Studien geringere Nutzungsbarrieren für monokulare See-Through HMDs gegenüber Look-Around HMDs (z. B. Schega et al., 2014; Theis et al., 2015), in anderen Studien und Anwendungsfällen erwiesen sich See-Through HMDs als ungeeignet (z. B. Büttner et al., 2016).

Im Hinblick auf den Einsatz von Wearable Devices für multiple Anwendungsfälle mit diversen Informationskonzepten und Automatisierungsgraden könnten modular aufgebaute Endgeräte, deren Komponenten je nach individuellen Anforderungen kombiniert werden (z. B. Displaygröße, RFID-Scanner), die Anwendungsvielfalt erhöhen. Durch modulare Endgeräte könnten z. B. Gewicht und Bedienkonzepte variiert werden. Komplexe Menüführungen sollten an die Anforderungen von Wearable Devices, z. B. die minimalisierte Bedienung oder Displaygröße, angepasst werden, was ggf. Anpassungen bestehender Software erfordert (Rhodes, 1997; Rügge, 2007; Ziegler, 2016). Möglichkeiten zur Reduktion

der manuellen Bedienung von Wearable Devices, die z. T. noch im Forschungsstadium sind, liegen in der Sprachsteuerung (z. B. Stocker et al., 2016), kontextsensitiven Anzeigen oder Interaktionen, z. B. an Fahrzeuge oder Aktivitäten gekoppelte automatisierte Ereignisinformationen (z. B. Günthner et al., 2011; Makris et al., 2015; Nordin et al., 2010; Wölflé, 2014; Ziegler, 2016) oder im automatisierten Monitoring von Arbeitsflüssen (Bleser et al., 2015). Das automatisierte Monitoring der Handlungsausführung und der -ergebnisse kann zur Situations- und Handlungskontrolle eingesetzt werden (Fast-Berglund & Stahre, 2013; Frohm et al., 2008), z. B. zur automatisierten Quittierung im Montageinformationssystem, zur Ausgabe von Aufgaben oder zur Rückmeldungen bei Ausführungsfehlern (z. B. Baumann, 2013; Bleser et al., 2015; Funk et al., 2016; Günthner et al., 2011; Guo et al., 2015; Makris et al., 2015; Pirvu et al., 2016). Auch könnten Experten Handlungsabläufe aufzeichnen und diese zum Lernen zur Verfügung stellen (Bleser et al., 2015). Beim Wechsel zwischen verschiedenen Takten wären individuelle Endgeräte, die sich mit dem jeweiligen Takt synchronisieren von Vorteil, um den Gerätewechsel zu vermeiden.

Aufgrund der Unterschiede zwischen Geräteklassen und Anwendungsszenarien sollten neue Endgeräte und Anwendungskonzepte im jeweiligen Nutzungskontext evaluiert werden. Diese Arbeit zeigt, dass Variationen der Nutzungskontexte und Anwenderexpertise (Studie 3) zur Analyse der Auswirkung der Systemanpassung auf die Bewertung beitragen, was Einzeltests nicht gezeigt hätten. Daher sollte die Übereinstimmung von Test- und späteren Nutzungsbedingungen beachtet werden. Der systematischen Evaluation von Wearable Devices in der Produktion steht jedoch die Verbreitung informaler Tests und narrativer Berichte mit eingeschränkter Vergleichbarkeit und Aussagekraft entgegen. Ein interdisziplinär anwendbares Baukastenkonzept aus standardisierten, kontext- und gerätespezifisch anpassbaren Konstrukten auf den Dimensionen Unterstützungspotenzial, Akzeptanz und Nutzungsbarrieren kann zur Formalisierung der Pilotstudien in der Produktion beitragen. Dafür liefert diese Arbeit einen ersten Ansatz. Dieser zeigt, dass formale Vergleiche von Assistenzkonzepten und Prototypen über mehrere Montagesysteme und Zeitpunkte die datenbasierte Auswahl umzusetzender Lösungen für die Industrie 4.0 unterstützen können, z. B. um Lösungen für den unternehmensweiten Einsatz auszuwählen. Der Evaluationsansatz ist auf diverse Assistenzkonzepte und Technologien anwendbar, z. B. auf kooperative Roboter (z. B. Müller, Fischer, Jäkel, Thomas & Suchý, 2016) oder Eye-Tracking-Systeme für freihändige Tätigkeiten (z. B. Black et al., 2017).

Die frühe und kontinuierliche Einbindung der Endanwender in die Systementwicklung fördert die Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241 - 11, 1998) und Akzeptanz (Brau, 2012; Davis & Venkatesh, 2004) sowie die Generierung weiterer Anwendungsfälle (Seyr-

kammer, 2015). Im Rahmen dieser Arbeit wirkte sich die umfassende Einbindung der Montagemitarbeiter in frühe Testphasen (Studie 1 und 2) positiv auf das Interesse zur Nutzung von Wearable Devices während der Produktion aus, z. B. indem die Meister verschiedener Montagebereiche eine Pilotierung der Wearable Devices in ihren Bereichen anforderten (Studie 3). Die Partizipation an der Entwicklung, etwa indem die Erfahrungen der Mitarbeiter mit den Geräten erfragt und bei der Entwicklung berücksichtigt werden, kann die Akzeptanz im Rahmen der Einführungsprozesse der Systeme in das Unternehmen unterstützen (Brau, 2008, 2012). Auch die Kommunikation konkreter Informationen über zentrale Akzeptanzfaktoren (Nützlichkeit, Handhabung, sozialer Einfluss) kann zur Unterstützung der Einführung der Wearable Devices in die Produktion beitragen (Studie 4). Eine Kombination aus diesen Ansätzen scheint eine Grundlage zur Akzeptanzsteigerung neuer digitaler Arbeitsmittel für die Industrie 4.0 zu bieten.

4.4. Zusammenfassung und Ausblick

Komplexe und flexible Produktionsbedingungen stellen Herausforderungen für die Montagequalität der variantenreichen Serienproduktion dar (z. B. ElMaraghy et al., 2013; Zaher et al., 2012). Die mit der Komplexität zunehmende Variantenvielfalt erhöht Risiken systematischer Variantenfehler (z. B. Fisher & Ittner, 1999). Die Flexibilität beeinflusst den Trainingsbedarf, wobei Fehlerrisiken während des Lernens erhöht sind. Beide Fehlerquellen zeigen Zusammenhänge zur Wahrnehmung und Nutzung von Montageinformationen (z. B. Johansson et al., 2016; Wickens et al., 2013). Daher wurden im Rahmen dieser Arbeit Konzepte der Informationsassistentz als Ansätze zur Qualitätssteigerung identifiziert und die Assistentzkonzepte Order Attention Guiding, die Salienzsteigerung von Ausstattungsvarianten durch multimodale Hinweissignale, und Order Sequence Guiding, die mobile Verfügbarkeit von Montageinformationen, abgeleitet. Aufgrund von Wahrnehmungseinschränkungen stationärer Montageinformationssysteme und Fehlerrisiken der intuitiven Ausführung (z. B. Case et al., 2008), wurde die Frage gestellt, inwiefern mobil verfügbare Informationen auf Wearable Devices zur Reduktion von Ausführungsfehlern in der Montage beitragen (Unterstützungspotenzial). Daran schlossen sich die Fragen an, welche Faktoren aus Anwenderperspektive für oder gegen ihre Nutzung sprechen (Akzeptanz und Nutzungsbarrieren). Da die Forschung zu Wearable Devices entweder auf formalen, jedoch anwendungsfernen Laborstudien oder anwendungsnahen, jedoch informellen Produktionstests basiert, adressiert diese Arbeit die resultierende Forschungslücke durch die formale Evaluation von Wearable Devices im Anwendungskontext. Ergänzend zur bisherigen Forschung, die einzelne Aspekte fokussierte, betrachtet diese Arbeit die

Unterstützungspotenziale, Akzeptanz oder Nutzungsbarrieren von Wearable Devices zusammenhängend.

Die mehrdimensionale Evaluation des Unterstützungspotenzials, der Akzeptanz und der Nutzungsbarrieren im Trainings- und Produktionskontext ergab Beiträge der Informationsassistenten durch Wearable Devices zur Qualitätssteigerung der variantenreichen Automobilmontage und des -trainings. Ereignisinformationen des Order Attention Guidings mit Wearable Devices werden im Trainingskontext zuverlässig wahrgenommen (Studie 1) und tragen in der Produktion deutlich zur Steigerung der Montagequalität seltener Ausstattungsvarianten bei (Studie 3). Order Sequence Guiding senkt Montagefehler beim Off-the-Job Training (Studie 2) und unterstützen beim On-the-Job Anlernen (Studie 3). Die Vergleiche zwischen den Geräteklassen Smartwatch und Smartglasses im Trainingskontext (Studie 1 und 2) sowie die Vergleiche der Smartwatch über verschiedene Anwendungsfälle bzw. Informationskonzepte, Nutzungskontexte und Anwendergruppen (Studie 3) ergänzen die bisherige Forschung. Diese verglich lediglich verschiedene Endgeräte einer Gerätekategorie, wie Look-Around und See-Through HMDs (z. B. Theis et al., 2015) oder HMDs und Smartglasses (Wille & Wischniewski, 2015) oder verschiedene Informationsdarstellungen auf einem Endgerät (z. B. Nakanishi & Sato, 2015). Im Produktionskontext wurden zumeist ein System in einem Nutzungskontext (z. B. Wölfle, 2014) oder unterschiedliche Systeme in verschiedenen Kontexten betrachtet (z. B. Fast-Berglund & Blom, 2014). Diese Arbeit zeigt somit, dass Wearable Devices Potenziale zur Assistenz der Mitarbeiter in der ansteigenden Komplexität und Flexibilität der Industrie 4.0 bieten. Für deren Unterstützungspotenziale und Nutzung in der Automobilmontage erscheint nicht allein die Mobilität, sondern die Gebrauchstauglichkeit der Endgeräte, Anwendungen und Informationskonzepte für die jeweiligen Nutzungskontexte und Anwendergruppen entscheidend (Studie 1; 2; 3; DIN EN ISO 9241 - 11, 1998).

Diese Arbeit verdeutlicht, dass selbst das objektiv beste Assistenzsystem nur dann seine Wirkung erzielt, wenn es auch genutzt wird. Die Einbindung des „Faktors Mensch“ ermöglicht die Analyse objektiver und subjektiver Kriterien, die aus Anwenderperspektive für oder gegen den die Nutzung von Wearable Devices sprechen und kann somit zur Steigerung der Gebrauchstauglichkeit von Endgeräten und Anwendungen sowie zur Unterstützung ihrer Einführung beitragen. Subjektive Akzeptanzfaktoren wurden formal anhand der UTAUT (Venkatesh et al., 2003) und geräte- und produktionsspezifischer Erweiterungen analysiert. Dies ergänzt die Akzeptanzforschung zu Wearable Devices, die sich auf formale Modelltestungen im Konsumentenbereich oder informale Befragungen in der Produktion begrenzte. Die Akzeptanz der Wearable Devices wird maßgeblich von deren subjektiver Nützlichkeit für spezifische Aufgaben beeinflusst (Studie 2, 3, 4). Daran

schließen sich Einflüsse der Assistenz auf den Workload an. Eine hohe subjektive Nützlichkeit kann mit subjektiver Arbeitserleichterung einhergehen. Bei geringer Nützlichkeit oder hohem Bedienungsaufwand kann der Workload steigen. Ergonomische Faktoren und resultierender Diskomfort oder Beschwerden können die Akzeptanz senken (Studie 2, 3). Somit beeinflussen die Hardwaregestaltung und die Anpassung der Anwendungen an die Arbeitsprozesse und die Anwenderexpertise die Akzeptanz und Nutzung von Wearable Devices (Studie 3). Da das Unterstützungspotenzial und die Akzeptanz für Wearable Devices zur Informationsassistenz der variantenreichen Automobilmontage sprechen, wurde ein Ansatz zur Innovationskommunikation für potenzielle Anwender erstellt und getestet. Er zeigt, dass die Kommunikation nach UTAUT-Faktoren gegliederter Informationen über die Wearable Devices die Bereitschaft erhöht, sie auszuprobieren und so bei deren Einführung in die Produktion unterstützen kann (Studie 4).

Die Erhebungsphasen dieser Arbeit ergeben durch die Evaluation im Trainingskontext, die Pilotierung während der Produktion und die Unterstützung ihrer Einführung ein abgerundetes Bild über Wearable Devices zur Montageassistenz. Sie zeigen, dass die mehrdimensionale, anwender- und kontextsensitive Evaluation eine differenzierte Erfolgskontrolle ermöglicht, die bisher jedoch noch wenig Verbreitung findet. Limitationen der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse resultieren aus der Analyse spezifischer Wearable Devices und Anwendungsfälle und dem hohen Anwendungsbezug der Studien. Damit stellt diese Arbeit einen Baustein zur Erforschung von Wearable Devices in der Produktion dar.

Zugunsten der Entwicklung unterstützender und genutzter Assistenzsysteme für die Industrie 4.0 liegt eine Forschungsperspektive in der stärkeren Integration des „Faktors Mensch“ in die Systementwicklung und in der Intensivierung der Evaluation weiterer Anwendungsfälle für Wearable Devices im Produktionskontext. Deren Bedeutung nimmt v. a. aufgrund der Veränderungen der Arbeitsaufgaben und Organisationsstrukturen durch neue Technologien zu (Cascio & Montealegre, 2016). Perspektiven liegen in der Weiterentwicklung und Validierung zeitsparend anwend- und auswertbarer, modular anpassbarer Studiendesigns und Fragebogenmaterialien zur Standardisierung und Vergleichbarkeit der bisher heterogenen Evaluation technischer Assistenzsysteme. Als vielversprechend werden die Weiterentwicklung strukturierter Inventare zur Analyse ergonomischer Faktoren sowie der Akzeptanz von Wearable Devices betrachtet. Über die Betrachtung von Wearable Devices als Evaluationsgegenstand hinaus bietet ihre Sensorik diverse Möglichkeiten zur Datenerfassung (z. B. Interaktions- oder Verhaltensdaten) während der Arbeitstätigkeit im Organisationskontext (Chaffin et al., 2016). Neben vielfältigen organisationalen Fragestellungen (z. B. Beanspruchungsmessung) können daraus praktische

Ansätze resultieren. Bspw. könnte die Erfassung der Ermüdung von Mitarbeitern durch Wearable Devices (Sedighi Maman, Alamdar Yazdi, Cavuoto & Megahed, 2017) zur Arbeitsgestaltung beitragen, indem die Rotation auf Basis der Ermüdung statt eines festen Zeitplanes erfolgt. Die Integration von Konsumentenkonzepten des Quantified-Self, also dem individuellen Tracking persönlicher (Fitness-) Daten, in Arbeitskontexte, z. B. zur Erfassung eigener Produktivitäts- und Gesundheitsdaten, sollte hingegen kritisch aus Perspektiven des Mitarbeiter- und Datenschutzes hinterfragt werden (Moore & Robinson, 2016).

Die Entwicklung industrietauglicher, modularer Wearable Devices könnte ergonomische Mängel reduzieren, flexible Interaktionskonzepte und Individualisierungen realisieren und zur Etablierung mobiler Assistenzsysteme beitragen. Adaptive Assistenzsysteme könnten Anwender gemäß ihrer Expertise und individuellen Informationsbedarfe unterstützen, um den subjektiven Mehrwert zu steigern. Daher liegen hohe Potenziale zur Assistenz der Arbeit in der Industrie 4.0 in der Fokussierung der Mensch-Maschine-Interaktion (z. B. Müller et al., 2017), z. B. in der Ausweitung der Assistenzspektren von Wearable Devices und deren Evaluation. Weitere mitarbeiterorientierte Ansätze zur Steigerung der Montagequalität liegen in der ganzheitlichen Arbeitsgestaltung (Hacker & Sachse, 2014) oder der Förderung der Selbstbestimmung in der „Lernenden Fabrik“ (Nukta, 2012). Auch die Automatisierung repetitiver Tätigkeiten durch kooperative Roboter kann zur Workload-Reduktion beitragen (z. B. Müller et al., 2016). Im Hinblick auf die Veränderungen der Arbeit durch die Digitalisierung sollten Assistenzsysteme die Mitarbeiter in komplexen, fehleranfälligen Tätigkeiten unterstützen, ohne ihre Autonomie und Selbstwirksamkeit zu beeinträchtigen.

Literaturverzeichnis

- Aehnelt, M. & Bader, S. (2014). Mobile Informationsassistentz für die Montage. In R. Weidner & T. Redlich (Hrsg.), *Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen* (S. 270–280).
- Aehnelt, M. & Bader, S. (2015). Information Assistance for Smart Assembly Stations. In S. Loiseau (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence* (S. 143–150).
- Afergan, D., Hincks, S. W., Shibata, T. & Jacob, R. J. K. (2015). Phylter: A system for modulating notifications in wearables using physiological sensing. In D. D. Schmorrow & C. M. Fidopiastis (Hrsg.), *Foundations of augmented cognition* (Bd. 9183). Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence, Cham: Springer.
- Agarwal, R. & Prasad, J. (1997). The Role of Innovation Characteristics and Perceived Voluntariness in the Acceptance of Information Technologies. *Decision Sciences*, 28(3), 557–582.
- Agrawala, M., Phan, D., Heiser, J., Haymaker, J., Klingner, J., Hanrahan, P. & Tversky, B. (2003). Designing effective step-by-step assembly instructions. *ACM Transactions on Graphics*, 22(3), 828.
- Alapetite, A., Boje Andersen, H. & Hertzum, M. (2009). Acceptance of speech recognition by physicians: A survey of expectations, experiences, and social influence. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(1), 36–49.
- Aleksy, M. & Rissanen, M. J. (2014). Utilizing wearable computing in industrial service applications. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 5(4), 443–454.
- Ames, S. L., Wolffsohn, J. S. & McBrien, N. A. (2005). The Development of a Symptom Questionnaire for Assessing Virtual Reality Viewing Using a Head-Mounted Display. *Optometry and Vision Science*, 82(3), 168–176.
- Andre, A. D. & Wickens, C. D. (1995). When Users Want What’s not Best for Them. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 3(4), 10–14.

- Antani, K. R. (2015). *A Study of the Effects of Manufacturing Complexity on Product Quality in Mixed-Model Automotive Assembly* (Dissertation, Clemson University).
- Appelboom, G., Camacho, E., Abraham, M. E., Bruce, S. S., Dumont, E. L., Zacharia, B. E., ... Connolly, E. S., JR. (2014). Smart wearable body sensors for patient self-assessment and monitoring. *Archives of public health = Archives belges de sante publique*, 72(1), 28.
- Aquilani, B., Silvestri, C., Ruggieri, A. & Gatti, C. (2017). A systematic literature review on total quality management critical success factors and the identification of new avenues of research. *The TQM Journal*, 29(1), 184–213.
- Arning, K., Ziefle, M., Li, M. & Kobbelt, L. (2012). Insights into user experiences and acceptance of mobile indoor navigation devices. In E. Rukzio (Hrsg.), *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (S. 1). New York, NY: ACM.
- Aromaa, S., Aaltonen, I., Kaasinen, E., Elo, J. & Parkkinen, I. (2016). Use of wearable and augmented reality technologies in industrial maintenance work. In Unknown (Hrsg.), *the 20th International Academic Mindtrek Conference* (S. 235–242).
- Arvanitis, T. N., Williams, D. D., Knight, J. F., Baber, C., Gargalakos, M., Sotiriou, S. & Bogner, F. X. (2011). A Human Factors Study of Technology Acceptance of a Prototype Mobile Augmented Reality System for Science Education. *Advanced Science Letters*, 4(11), 3342–3352.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Baber, C., Knight, J., Haniff, D. & Cooper, L. (1999). Ergonomics of wearable computers. *Mobile Networks and Applications*, 4(1), 15–21.
- Bäckstrand, G. (2009). *Information Flow and Product Quality in Human Based Assembly* (Dissertation, Loughborough University).
- Bäckstrand, G., Thorvald, P., de Vin, L. J., Högberg, D. & Case, K. (2008). The impact of information presentation on work environment and product quality: A case study. In *40th annual Nordic Ergonomic Society Conference (NES)*.
- Baddeley, A. D., Eysenck, M. W. & Anderson, M. (2015). *Memory* (2. ed.). London [u.a.]: Psychology Press.
- Bai, Z. & Blackwell, A. F. (2012). Analytic review of usability evaluation in ISMAR. *Interacting with Computers*, 24(6), 450–460.
- Bala, H. & Venkatesh, V. (2015). Adaptation to Information Technology: A Holistic Nomological Network from Implementation to Job Outcomes. *Management Science*, 62(1), 156–179.

- Banholzer, V. M. (2018). Gestaltungsdiskurs Industrie 4.0: Akzeptanzaspekte, Frames, Institutionalisationen. In *Kommunikation und Technik* (S. 221–239). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Barfield, W. (2016). Wearable Computers and Augmented Reality: Musings and Future Directions. In W. Barfield (Hrsg.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Bauernhansl, T. (2014). Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 5–35). SpringerLink. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Baumann, H. (2013). *Order Picking Supported by Mobile Computing* (Dissertation, Universität Bremen).
- Bayen, U. J., Dogangun, A., Grundgeiger, T., Haese, A., Stockmanns, G. & Ziegler, J. (2013). Evaluating the effectiveness of a memory aid system. *Gerontology*, 59(1), 77–84.
- Becker, C. & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715.
- Beilock, S. L., Bertenthal, B. I., Hoerger, M. & Carr, T. H. (2008). When does haste make waste? Speed-accuracy tradeoff, skill level, and the tools of the trade. *Journal of experimental psychology. Applied*, 14(4), 340–352.
- Bhullar, G. (2015). “Wear” Is the Manufacturing Future: The Latest Fashion Hitting the Workplace. In I. Ciuciu, H. Panetto, C. Debruyne, A. Aubry, P. Bollen, R. Valencia-García, ...F. Ferri (Hrsg.), *On the move to meaningful internet systems: OTM 2015 workshops* (Bd. 9416, S. 49–56). Lecture notes in computer science. Cham: Springer.
- Billinghurst, M., Clark, A. & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73–272.
- Black, D., Unger, M., Fischer, N., Kikinis, R., Hahn, H., Neumuth, T. & Glaser, B. (2017). Auditory display as feedback for a novel eye-tracking system for sterile operating room interaction. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 1–9.
- Bleser, G., Damen, D., Behera, A., Hendeby, G., Mura, K., Miezal, M., ... Stricker, D. (2015). Cognitive Learning, Monitoring and Assistance of Industrial Workflows Using Egocentric Sensor Networks. *PloS one*, 10(6), e0127769.
- Bliem-Ritz, D. (2014). *Wearable Computing: Benutzerschnittstellen zum Anziehen*. Hamburg: Disserta-Verl.

- Böckelmann, I., Chegrynets, O., Mecke, R., Darius, S. & Sánchez Márquez, J. S. (2015). Aufmerksamkeitsleistung und objektive Beanspruchung beim Einsatz von zwei verschiedenen Head-mounted-Displays. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 65(1), 12–20.
- Bodine, K. & Gemperle, F. (2003). Effects of functionality on perceived comfort of wearables. In *Proceedings seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers* (S. 57–60). Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society.
- Bokranz, R. & Landau, K. (2012). *Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM. Band 1: Konzepte* (2. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Borsci, S., Lawson, G., Jha, B., Burges, M. & Salanitri, D. (2016). Effectiveness of a multidevice 3D virtual environment application to train car service maintenance procedures. *Virtual Reality*, 20(1), 41–55.
- Borsci, S., Lawson, G., Salanitri, D. & Jha, B. (2016). When simulated environments make the difference: The effectiveness of different types of training of car service procedures. *Virtual Reality*, 20(2), 83–99.
- Bösenberg, D. & Metzen, H. (1993). *Lean Management: Vorsprung durch schlanke Konzepte* (4. Aufl.). Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie.
- Boysen, N., Kiel, M. & Scholl, A. (2011). Sequencing mixed-model assembly lines to minimise the number of work overload situations. *International Journal of Production Research*, 49(16), 4735–4760.
- Brandenburg, E., Woll, R. & Stark, R. (2016). Portable Hands-Free Process Assistant for Gas Turbine Maintenance. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 10(10), 1785–1789.
- Brandl, P., Aschbacher, H. & Hösch, S. (2015). Mobiles Wissensmanagement in der Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015–workshop*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg.
- Brau, H. (2008). Mein System benutz´ ich nicht: Ein praxisorientierter Ansatz, Nutzerakzeptanz zu messen und zu verbessern. In Brau, H., Diefenbach, S., Hassenzahl, M., Koller, F., Peissner, M. & Röse, K. (Hrsg.), *Tagungsband UP08* (S. 35–39). Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Brau, H. (2012). Acceptance Engineering – Menschzentrierte Gestaltung von Arbeitssystemen. In M. T. Thielsch & T. Brandenburg (Hrsg.), *Praxis der Wirtschaftspsychologie II* (S. 183–201). MV Wissenschaft. Münster: Monsenstein und Vannerdat.

- Brauer, R. R., Fischer, N. M. & Grande, G. (2015). Akzeptanzorientierte Technikentwicklung. In R. Weidner, T. Redlich & J. P. Wulfsberg (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme* (S. 140–146). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bravo Orellana, E. R. (2015). Deskillung, up-skilling or reskilling? The effects of automation in information systems context. In *Twenty-first Americas Conference on Information Systems*, Puerto Rico.
- Bravo, E. R., Santana, M. & Rodon, J. (2014). Information systems and performance: The role of technology, the task and the individual. *Behaviour & Information Technology*, *34*(3), 247–260.
- Bravo, E. R., Santana, M. & Rodon, J. (2015). Automating and informing: Roles to examine technology’s impact on performance. *Behaviour & Information Technology*, *35*(7), 586–604.
- Brown, S. A., Venkatesh, V. & Goyal, S. (2012). Expectation Confirmation in Technology Use. *Information Systems Research*, *23*(2), 474–487.
- Brown, S. A., Venkatesh, V. & Hoehle, H. (2015). Technology adoption decisions in the household: A seven-model comparison. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *66*(9), 1933–1949.
- Brunyé, T. T., Taylor, H. A. & Rapp, D. N. (2008). Repetition and dual coding in procedural multimedia presentations. *Applied Cognitive Psychology*, *22*(7), 877–895.
- Bryson, D. (2007). Unwearables. *AI & SOCIETY*, *22*(1), 25–35.
- Buche, M. W., Davis, L. R. & Vician, C. (2012). Does Technology Acceptance Affect E-Learning in a Non-Technology Intensive Course? *Journal of Information Systems Education*, *23*(1), 41–50.
- Buenaflor, C. & Kim, H.-C. (2012). Wearable Computers in Human Perspective: The Decision Process of Innovation Acceptance with User Issues and Concerns. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *2*(11), 573–580.
- Buenaflor, C. & Kim, H.-C. (2013). Six Human Factors to Acceptability of Wearable Computers. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, *8*(3).
- Buescher, C., Hauck, E., Schilberg, D. & Jeschke, S. (2012). Key Performance Indicators for the Impact of Cognitive Assembly Planning on Ramp-Up Process. *Advances in Decision Sciences*, *2012*(1), 1–19.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. ps Psychologie. München [u.a.]: Pearson Studium.

- Burkolter, D., Weyers, B., Kluge, A. & Luther, W. (2014). Customization of user interfaces to reduce errors and enhance user acceptance. *Applied ergonomics*, 45(2), 346–353.
- Büttner, S., Funk, M., Sand, O. & Röcker, C. (2016). Using Head-Mounted Displays and In-Situ Projection for Assistive Systems - A Comparison. In *Proceedings of the 9th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '16* (S. 1–8). New York, New York, USA: ACM Press.
- Byers, J. C., Bittner, A. C. & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary? In A. Mital (Hrsg.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety* (S. 481–485). Taylor & Francis.
- Cancela, J., Pastorino, M., Tzallas, A. T., Tsiouras, M. G., Rigas, G., Arredondo, M. T. & Fotiadis, D. I. (2014). Wearability assessment of a wearable system for Parkinson's disease remote monitoring based on a body area network of sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 14(9), 17235–17255.
- Caon, M., Tagliabue, M., Angelini, L., Perego, P., Mugellini, E. & Andreoni, G. (2014). Wearable Technologies for Automotive User Interfaces. In L. N. Boyle (Hrsg.), *the 6th International Conference of Automotive UI* (S. 1–5).
- Cascio, W. F. & Montealegre, R. (2016). How Technology Is Changing Work and Organizations. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 3(1), 349–375.
- Case, K., Bäckstrand, G., Högberg, D., Thorvald, P. & de Vin, L. J. (2008). An assembly line information system study. In *The 6th International Conference on Manufacturing Research (ICMR08)*.
- Chaffin, D., Heidl, R., Hollenbeck, J. R., Howe, M., Yu, A., Voorhees, C. & Calantone, R. (2016). The Promise and Perils of Wearable Sensors in Organizational Research. *Organizational Research Methods*, 20(1), 3–31.
- Chan, M., Esteve, D., Fourniols, J.-Y., Escriba, C. & Campo, E. (2012). Smart wearable systems: current status and future challenges. *Artificial intelligence in medicine*, 56(3), 137–156.
- Chen, C.-C. & Shih, H.-S. (2014). A Study of the Acceptance of Wearable Technology for Consumers: An Analytical Network Process Perspective. In *ISAHP 2014 Proceedings* (S. 1–5).
- Chimienti, V., Iliano, S., Dassisti, M., Dini, G. & Failli, F. (2010). Guidelines for Implementing Augmented Reality Procedures in Assisting Assembly Operations. In S. Ratchev (Hrsg.), *Precision assembly technologies and systems* (Bd. 315, S. 174–

- 179). IFIP Advances in Information and Communication Technology. Berlin [u.a.]: Springer.
- Choi, J. & Kim, S. (2016). Is the smartwatch an IT product or a fashion product? A study on factors affecting the intention to use smartwatches. *Computers in Human Behavior*, *63*, 777–786.
- Chuah, S. H.-W., Rauschnabel, P. A., Krey, N., Nguyen, B., Ramayah, T. & Lade, S. (2016). Wearable technologies: The role of usefulness and visibility in smartwatch adoption. *Computers in Human Behavior*, *65*, 276–284.
- Coursaris, C. K., Hassanein, K., Head, M. M. & Bontis, N. (2012). The impact of distractions on the usability and intention to use mobile devices for wireless data services. *Computers in Human Behavior*, *28*(4), 1439–1449.
- Coursaris, C. K. & Kim, D. J. (2011). A Meta-Analytical Review of Empirical Mobile Usability Studies. *Journal of Usability Studies*, *6*(3).
- Darius, S., Sánchez Márquez, J. S., Chegrynets, O., Mecke, R. & Böckelmann, I. (2015). Untersuchungen zum Gesichtsfeld bei der Nutzung verschiedener Head-Mounted-Displays. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, *65*(4), 203–209.
- Davis. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, *35*(8), 982–1003.
- Davis, F. D. & Venkatesh, V. (2004). Toward Preprototype User Acceptance Testing of New Information Systems: Implications for Software Project Management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *51*(1), 31–46.
- de Vries, P. W., van den Berg, S. M. & Midden, C. (2015). Assessing Technology in the Absence of Proof: Trust Based on the Interplay of Others' Opinions and the Interaction Process. *Human Factors*, *57*(8), 1378–1402.
- Degani, A. & Wiener, E. L. (1993). Cockpit Checklists: Concepts, Design, and Use. *Human Factors*, *35*(2), 28–43.
- DIN EN ISO 9241 - 11. (1998). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze (ISO 9241-11:1998) Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:1998.
- Dix, A., Ramduny-Ellis, D. & Wilkinson J. (2004). Trigger Analysis - Understanding Broken Tasks. In D. Diaper & N. Stanton (Hrsg.), *The handbook of task analysis for human computer interaction* (S. 381–400). Mahwah, NJ [u.a.]: Lawrence Erlbaum Assoc Inc.
- Dix, A. (2002). Managing the Ecology of Interaction. In C. Pribeanu (Hrsg.), *Task models and diagrams for user interface design* (S. 1–9). Bucharest: Inforec Printing House.

- Dörmer, J. (2013). *Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion: Untersucht am Beispiel der Automobilendmontage*. Produktion und Logistik. Wiesbaden: Springer-Gabler.
- Dudek-Burlikowska, M. & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), 95–102.
- Dünser, A., Grasset, R. & Billinghamurst, M. (2008). A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. In Unknown (Hrsg.), *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses on - SIGGRAPH Asia '08* (S. 1–27). New York, New York, USA: ACM Press.
- Eiriksdottir, E. & Catrambone, R. (2011). Procedural Instructions, Principles, and Examples: How to Structure Instructions for Procedural Tasks to Enhance Performance, Learning, and Transfer. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(6), 749–770.
- ElMaraghy, H., Schuh, G., ElMaraghy, W., Piller, F., Schönsleben, P., Tseng, M. & Bernard, A. (2013). Product variety management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(2), 629–652.
- Elmaraghy, W. H., Nada, O. A. & ElMaraghy, H. A. (2008). Quality prediction for reconfigurable manufacturing systems via human error modelling. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(5), 584–598.
- Endsley, M. R. (2000). Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: A Critical Review. In M. R. Endsley & Garland D. J. (Hrsg.), *Situation awareness Analysis and measurement* (S. 3–28). Mahwah, NJ [u.a.]: Erlbaum.
- Falck, A.-C., Örtengren, R. & Rosenqvist, M. (2014). Assembly failures and action cost in relation to complexity level and assembly ergonomics in manual assembly (part 2). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(3), 455–459.
- Fässberg, T. (2012). *Cognitive Automation in Mixed-Model Assembly Systems* (Dissertation, Chalmers University of Technology).
- Fast-Berglund, Å., Fässberg, T., Hellman, F., Davidsson, A. & Stahre, J. (2013). Relations between complexity, quality and cognitive automation in mixed-model assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(3), 449–455.
- Fast-Berglund, Å. & Stahre, J. (2013). Task allocation in production systems – Measuring and Analysing Levels of Automation. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(15), 435–441.
- Fast-Berglund, Å., Åkerman, M., Karlsson, M., Hernández, V. G. & Stahre, J. (2014). Cognitive Automation Strategies – Improving Use-efficiency of Carrier and Content of Information. *Procedia CIRP*, 17, 67–70.

- Fast-Berglund, Å. & Blom, E. (2014). Flexible ICT-tools for knowledge sharing and assembly support. In T. Ahram, W. Karwowski & T. Marek (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014* (S. 2734–2742).
- Fasth, Å., Lundholm, T., Mårtensson, L., Dencker, K. & Stahre, J. (2009). Designing proactive assembly systems – Criteria and interaction between automation, information, and competence. In *Proceedings of the 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: And sex and drugs and rock'n'roll* (4. ed.). Los Angeles, Calif.: SAGE.
- Fisher, M. L. & Ittner, C. D. (1999). The Impact of Product Variety on Automobile Assembly Operations: Empirical Evidence and Simulation Analysis. *Management Science*, 45(6), 771–786.
- Fite-Georgel, P. (2011). Is there a reality in Industrial Augmented Reality? In *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011* (S. 201–210). Piscataway, NJ: IEEE.
- Flanagan, P., Papadopoulos, D. & Voss, G. (2016). Intimacy and Extimacy: Ethics, Power, and Potential of Wearable Technologies. In W. Barfield (Hrsg.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (S. 31–56). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Friemert, D., Ellegast, R. & Hartmann, U. (2016). Data Glasses for Picking Workplaces. In F. F.-H. Nah (Hrsg.), *HCI in business, government, and organizations: eCommerce and innovation* (Bd. 9752, S. 281–289). Lecture notes in computer science. [Cham]: Springer.
- Frohm, J., Lindström, V., Winroth, M. & Stahre, J. (2008). Levels of Automation in Manufacturing. *Ergonomia - International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 30(3).
- Funck, T. (2012). Neuer Kurs: Null-Fehler-Fahrzeug: Wie BMW das Ziel der Null-Fehler-Produktion erreichen will. *qz-online*, 57(5), 20–24.
- Funk, M., Heusler, J., Akcay, E., Weiland, K. & Schmidt, A. (2016). Haptic, Auditory, or Visual? In *Proceedings of the 9th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '16* (S. 1–6). New York, New York, USA: ACM Press.
- Gamberini, L., Orso, V., Beretta, A., Jacucci, G., Spagnolli, A. & Rimondi, Romania G3, Spagnolli A1, Rimondi R2. (2015). Evaluating User Experience of Augmented Reality Eyeglasses. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 13, 28–32.

- Gao, Y., Li, H. & Luo, Y. (2015). An empirical study of wearable technology acceptance in healthcare. *Industrial Management & Data Systems*, 115(9), 1704–1723.
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U. & Tecchia, F. (2013). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798.
- Gebauer, J. & Tang, Y. (2007). Applying the theory of task-technology fit to mobile technology: The role of user mobility. *International Journal of Mobile Communications*, 6(3), 321.
- Geihs, K., Leimeister, J. M., Rossnagel, A. & Schmidt, L. (2012). On Socio-technical Enablers for Ubiquitous Computing Applications. In *2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet (SAINT)* (S. 405–408).
- Ghazizadeh, M., Peng, Y., Lee, J. D. & Boyle, L. N. (2012). Augmenting the Technology Acceptance Model with Trust: Commercial Drivers’ Attitudes towards Monitoring and Feedback. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 2286–2290.
- Giang, W. C., Hoekstra-Atwood, L. & Donmez, B. (2014). Driver Engagement in Notifications: A Comparison of Visual-Manual Interaction between Smartwatches and Smartphones. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2161–2165.
- Goodhue, D. L. & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *MIS Quarterly*, 19(2), 213.
- Gorecky, D., Mura, K. & Arlt, F. (2013). A Vision on Training and Knowledge Sharing Applications in Future Factories. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(15), 90–97.
- Goswami, A. & Dutta, S. (2016). Gender Differences in Technology Usage—A Literature Review. *Open Journal of Business and Management*, 04(01), 51–59.
- Gozli, D. G. & Pratt, J. (2011). Seeing while acting: hand movements can modulate attentional capture by motion onset. *Attention, perception & psychophysics*, 73(8), 2448–2456.
- Greinke, B., Guetl, N., Wittmann, D., Pflug, C., Schubert, J., Helmut, V., ... Joost, G. (2016). Interactive workwear: Smart Maintenance Jacket. In P. Lukowicz, A. Krüger, A. Bulling, Y.-K. Lim & S. N. Patel (Hrsg.), *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct* (S. 470–475).

- Gribel, L., Regier, S. & Stengel, I. (2016). Acceptance Factors of Wearable Computing: An Empirical Investigation. In *Proceedings of the Eleventh International Network Conference (INC 2016)* (S. 67–72).
- Gu, Z., Wei, J. & Xu, F. (2015). An Empirical Study on Factors Influencing Consumers' Initial Trust in Wearable Commerce. *Journal of Computer Information Systems*, 56(1), 79–85.
- Günthner, W. A., Wölflé, M. & Fischer, R. (2011). Wearable Computing und RFID in Produktion und Logistik – Ansätze zur bereichsübergreifenden Nutzung digitaler Informationen. *Logistics Journal nicht-referierte Veröffentlichungen*, 1–12.
- Guo, A., Starner, T., Raghu, S., Xie, X., Ismail, S., Luo, X., ... Southern, C. (2014). A comparison of order picking assisted by head-up display (HUD), cart-mounted display (CMD), light, and paper pick list. In L. Dunne, T. Martin & M. Beigl (Hrsg.), *ISWC'14* (S. 71–78). New York, New York: Association for Computing Machinery.
- Guo, A., Wu, X., Shen, Z., Starner, T., Baumann, H. & Gilliland, S. (2015). Order Picking with Head-Up Displays. *Computer*, 48(6), 16–24.
- Hacker, W. & Sachse, P. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3., vollst. überarb. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Hacker, W. & von der Weth, R. (2012). Denken – Entscheiden – Handeln. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors* (S. 84–99). Springer Berlin Heidelberg.
- Han, P. & Zhao, G. (2017). Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly. *The Visual Computer*, 33(9), 1185–1196.
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., de Visser, E. J. & Parasuraman, R. (2011). A Meta-Analysis of Factors Affecting Trust in Human-Robot Interaction. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(5), 517–527.
- Harrison, R., Flood, D. & Duce, D. (2013). Usability of mobile applications: Literature review and rationale for a new usability model. *Journal of Interaction Science*, 1(1), 1.
- Harrison, W. J., Thompson, M. B. & Sanderson, P. M. (2010). Multisensory Integration With a Head-Mounted Display: Background Visual Motion and Sound Motion. *Human Factors*, 52(1), 78–91.
- Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904–908.

- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In N. Meshkati & P. A. Hancock (Hrsg.), *Human Mental Workload* (Bd. 52, S. 139–183). Advances in Psychology. s.l.: Elsevier textbooks.
- He, J., Choi, W., McCarley, J. S., Chaparro, B. S. & Wang, C. (2015). Texting while driving using Google Glass: Promising but not distraction-free. *Accident; analysis and prevention*, 81, 218–229.
- Heerink, M., Kröse, B., Evers, V. & Wielinga, B. (2010). Assessing Acceptance of Assistive Social Agent Technology by Older Adults: The Almere Model. *International Journal of Social Robotics*, 2(4), 361–375.
- Hein, D. W. E. & Rauschnabel, P. A. (2016). Augmented Reality Smart Glasses and Knowledge Management: A Conceptual Framework for Enterprise Social Networks. In A. Rossmann, G. Stei & M. Besch (Hrsg.), *Enterprise Social Networks* (S. 83–109). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hein, D. W. E., Jodoin, J., Rauschnabel, P. A. & Ivens, B. S. (2017). Are Wearables Good or Bad for Society? An Exploration of Societal Benefits, Risks and Consequences of Augmented Reality Smart Glasses. In L. Tomei, G. Kurubacak & H. Altinpulluk (Hrsg.), *Mobile Technologies and Augmented Reality in Open Education*. IGI Global.
- Heiser, J., Phan, D., Agrawala, M., Tversky, B. & Hanrahan, P. (2004). Identification and validation of cognitive design principles for automated generation of assembly instructions. In M. F. Costabile (Hrsg.), *the working conference* (S. 311).
- Henderson, S. & Feiner, S. (2011). Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17(10), 1355–1368.
- Hermawati, S., Lawson, G., D’Cruz, M., Arlt, F., Apold, J., Andersson, L., ... Malmskold, L. (2015). Understanding the complex needs of automotive training at final assembly lines. *Applied ergonomics*, 46 Pt A, 144–157.
- Herzog, O., Rügge, I. & Boronowsky, M. (2003). Potenziale des Wearable Computing in der Industrie – am Beispiel der Inspektion. In *Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 2. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung* (S. 21–39).
- Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner, A. C., Zaklad, A. L. & Christ, R. E. (1992). Comparison of Four Subjective Workload Rating Scales. *Human Factors*, 34(4), 429–439.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 89–98). Springer.

- Hoehle, H., Aljafari, R. & Venkatesh, V. (2016). Leveraging Microsofts mobile usability guidelines: Conceptualizing and developing scales for mobile application usability. *International Journal of Human-Computer Studies*, 89, 35–53.
- Hoehle, H. & Venkatesh, V. (2015). Mobile Application Usability: Conceptualization and Instrument Development. *MIS Quarterly*, 39(2), 435–472.
- Hoff, K. A. & Bashir, M. (2015). Trust in automation: integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human Factors*, 57(3), 407–434.
- Hollingsworth, C. L. (2015). *An Examination of Fit and the Use of Mobile Devices for Performing Tasks* (Dissertation, Kennesaw State University).
- Holweg, M. & Pil, F. K. (2001). Successful build-to-order strategies start with the customer. *MIT Sloan Management Review*, 43(1), 74–83.
- Hong, J.-C., Lin, P.-H. & Hsieh, P.-C. (2017). The effect of consumer innovativeness on perceived value and continuance intention to use smartwatch. *Computers in Human Behavior*, 67, 264–272.
- Hopp-Levine, P. J., Smith, C. A. P., Clegg, B. A. & Heggestad, E. D. (2006). Tactile interruption management: Tactile cues as task-switching reminders. *Cognition, Technology & Work*, 8(2), 137–145.
- Hou, L. & Wang, X. (2013). A study on the benefits of augmented reality in retaining working memory in assembly tasks: A focus on differences in gender. *Automation in Construction*, 32, 38–45.
- Hou, L., Wang, X., Bernold, L. & Love, P. E. D. (2013). Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 439–451.
- Hou, L., Wang, X. & Truijens, M. (2015). Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(1), 05014007.
- Hsu, C.-K. & Hwang, G.-J. (2014). A context-aware ubiquitous learning approach for providing instant learning support in personal computer assembly activities. *Interactive Learning Environments*, 22(6), 687–703.
- Hu, S. J., Ko, J., Weyand, L., ElMaraghy, H. A., Lien, T. K., Koren, Y., ... Shpitalni, M. (2011). Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(2), 715–733.
- Hu, S. J., Zhu, X., Wang, H. & Koren, Y. (2008). Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1), 45–48.

- Huang, G.-H. & Korfiatis, N. (2015). Trying Before Buying: The Moderating Role of Online Reviews in Trial Attitude Formation Toward Mobile Applications. *International Journal of Electronic Commerce*, 19(4), 77–111.
- Huang, S.-H. & Hsu, W.-K. (2010). The Acceptance of Work place Users for a New IT with Mandatory Use. *Asia Pacific Management Review*, 15(4), 549–565.
- Huang, W., Alem, L. & Livingston, M. A. (Hrsg.). (2013). *Human factors in augmented reality environments*. New York, NY: Springer.
- Huber, W. (2016). Umsetzungen der Automobilhersteller und Zulieferer. In W. Huber (Hrsg.), *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion* (S. 117–181). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Huckauf, A., Urbina, M. H., Grubert, J., Böckelmann, I., Doil, F., Schega, L., ... Mecke, R. (2010). Perceptual Issues in Optical-see-through Displays. In *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization* (S. 41–48). APGV '10. New York, NY, USA: ACM.
- Hwang, C., Chung, T.-L. & Sanders, E. A. (2016). Attitudes and Purchase Intentions for Smart Clothing: Examining U.S. Consumers Functional, Expressive, and Aesthetic Needs for Solar-Powered Clothing. *Clothing and Textiles Research Journal*, 34(3), 207–222.
- Iqbal, M. H., Aydin, A., Brunckhorst, O., Dasgupta, P. & Ahmed, K. (2016). A review of wearable technology in medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 109(10), 372–380.
- Jadad, A. R., Fandino, M. & Lennox, R. (2015). Intelligent glasses, watches and vests...oh my! Rethinking the meaning of "harm" in the age of wearable technologies. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(1), e6.
- Jansen, K., Luik, M., Reinvee, M., Viljasoo, V., Ereline, J., Gapeyeva, H. & Pääsuke, M. (2013). Musculoskeletal discomfort in production assembly workers. *Acta Kinesiologicalae Universitatis Tartuensis*, 18, 102.
- Jardim-Goncalves, R., Romero, D. & Grilo, A. (2017). Factories of the future: challenges and leading innovations in intelligent manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(1), 4–14.
- Jasperneite, J. & Niggemann, O. (2012). Systemkomplexität in der Automation beherrschen. *atp edition - Automatisierungstechnische Praxis*, 54(09), 36.
- Jeong, S. C., Kim, S.-H., Park, J. Y. & Choi, B. (2017). Domain-specific innovativeness and new product adoption: A case of wearable devices. *Telematics and Informatics*, 34(5), 399–412.

- Jeske, T., Hasenau, K. & Schlick, C. M. (2013). Flexible Arbeitsgestaltung und Lernprozesse in der Montage. In M. Bornewasser & G. Zülch (Hrsg.), *Arbeitszeit, Zeitarbeit* (S. 345–360). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Jeske, T., Meyer, F. & Schlick, C. M. (2014). Einfluss der Gestaltung von Arbeitsplänen auf die Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 68(1), 1–6.
- Johansson, P. E., Mattsson, S., Moestam, L. & Fast-Berglund, Å. (2016). Multi-variant Truck Production - Product Variety and its Impact on Production Quality in Manual Assembly. *Procedia CIRP*, 54, 245–250.
- Jost, J., Kirks, T., Mättig, B., Sinsel, A. & Trapp, T. U. (2017). Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1* (S. 153–173). Springer Vieweg.
- Jung, Y., Kim, S. & Choi, B. (2016). Consumer valuation of the wearables: The case of smartwatches. *Computers in Human Behavior*, 63, 899–905.
- Kampmeier, J., Cucera, A., Fritzsche, L., Brau, H., Duthweiler, M. & Lang, G. (2007). Eignung monokularer „Augmented Reality“-Technologien in der Automobilproduktion. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 224(7), 590–596.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S. S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., ... Noh, S. D. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111–128.
- Karahanoglu, A. & Erbuğ, Ç. (2011). Perceived qualities of smart wearables. In A. Deserti (Hrsg.), *Proceedings of the 2011 Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces* (S. 1). New York, NY: ACM.
- Karlsson, M., Gustafsson, A., Grane, C. & Stahre, J. (2014). ICT usage and benefits in swedish manufacturing and process companies. In *The sixth Swedish Production Symposium*.
- Kawai, T., Häkkinen, J., Oshima, K., Saito, H., Yamazoe, T., Morikawa, H. & Nyman, G. (2011). Psycho-physiological effects of head-mounted displays in ubiquitous use. In D. Akopian, R. Creutzburg, C. G. M. Snoek, N. Sebe & L. Kennedy (Hrsg.), *IS&T/SPIE Electronic Imaging* (Bd. 7881). SPIE Proceedings, SPIE.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220.

- Kerber, F., Hirtz, C., Gehring, S., Löchtefeld, M. & Krüger, A. (2016). Managing smart-watch notifications through filtering and ambient illumination. In F. Paternò & K. Väänänen (Hrsg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct* (S. 918–923). New York: ACM.
- Kerber, F. & Lessel, P. (2015). Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-) manuellen Industrie 4.0-Montage. In S. Rathmayer & H. Pongratz (Hrsg.), *Proceedings of DeLFI Workshops 2015 co-located with 13th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2015)* (S. 28–35).
- Kerzel, D. & Schonhammer, J. (2013). Salient stimuli capture attention and action. *Attention, perception & psychophysics*, 75(8), 1633–1643.
- Khechine, H., Lakhali, S. & Ndjambou, P. (2016). A meta-analysis of the UTAUT model: Eleven years later. *Canadian Journal of Administrative Sciences / Revue Canadienne des Sciences de l'Administration*, 33(2), 138–152.
- Kim, K. J. (2017). Shape and Size Matter for Smartwatches: Effects of Screen Shape, Screen Size, and Presentation Mode in Wearable Communication. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 22(3), 124–140.
- Kim, K. J. & Shin, D.-H. (2015). An acceptance model for smart watches. *Internet Research*, 25(4), 527–541.
- Kim, S., Nussbaum, M. A. & Gabbard, J. L. (2016). Augmented Reality “Smart Glasses” in the Workplace: Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 4(4), 253–258.
- Kim, Y. & Crowston, K. (2011). Technology adoption and use theory review for studying scientists’ continued use of cyber-infrastructure. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 48(1), 1–10.
- Kirlidog, M. & Kaynak, A. (2011). Technology Acceptance Model and Determinants of Technology Rejection. *International Journal of Information Systems and Social Change*, 2(4), 1–12.
- Kiyokawa, K. (2016). Head-Mounted Display Technologies for Augmented Reality. In W. Barfield (Hrsg.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Knight, J. F. & Baber, C. (2005). A Tool to Assess the Comfort of Wearable Computers. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(1), 77–91.
- Knight, J. F. & Baber, C. (2007). Effect of Head-Mounted Displays on Posture. *Human Factors*, 49(5), 797–807.

- Knight, J., Deen-Williams, D., Arvanitis, T., Baber, C., Sotiriou, S., Anastopoulou, S. & Gargalakos, M. (2006). Assessing the Wearability of Wearable Computers. In *2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers* (S. 75–82).
- Kolbeinsson, A., Thorvald, P. & Lindblom, J. (2017). Coordinating the interruption of assembly workers in manufacturing. *Applied ergonomics*, *58*, 361–371.
- Kondzior, M. (o. J.). Akzeptanzskala: Methode zur Erfassung der Akzeptanz eines Systems. Zugriff unter http://www.hfes-europe.org/accept/accept_de.htm
- Kostka, S. & Kostka, C. (2013). *Der kontinuierliche Verbesserungsprozess: Methoden des KVP* (6. Auflage). München: Hanser.
- Kreft, S., Gausemeier, J. & Matysczok, C. (2010). Towards Wearable Augmented Reality in Automotive Assembly Training. In *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference - 2009* (S. 1537–1547). New York, NY: ASME.
- Kress, B. (2016). Optics for Smart Glasses, Smart Eyewear, Augmented Reality, and Virtual Reality Headsets. In W. Barfield (Hrsg.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Kumari, P., Mathew, L. & Syal, P. (2017). Increasing trend of wearables and multimodal interface for human activity monitoring: A review. *Biosensors & bioelectronics*, *90*, 298–307.
- Kunze, K., Wagner, F., Kartal, E., Morales Kluge, E. & Lukowicz, P. (2009). Does Context Matter ? - A Quantitative Evaluation in a Real World Maintenance Scenario. In H. Tokuda, M. Beigl, A. Friday, A. J. B. Brush & Y. Tobe (Hrsg.), *Pervasive computing* (Bd. 5538, S. 372–389). Lecture notes in computer science. Berlin: Springer.
- Kwee-Meier, S. T., Bützler, J. E. & Schlick, C. (2016). Development and validation of a technology acceptance model for safety-enhancing, wearable locating systems. *Behaviour & Information Technology*, *35*(5), 394–409.
- Langley, A., Lawson, G., Hermawati, S., D’Cruz, M., Apold, J., Arlt, F. & Mura, K. (2016). Establishing the Usability of a Virtual Training System for Assembly Operations within the Automotive Industry. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, *26*(6), 667–679.
- Lauber, F. (2015). *Anzeige- und Interaktionskonzepte für Head-Mounted Displays im Fahrzeug* (Dissertation, Universität München).
- Lee, L., Lee, J., Egelman, S. & Wagner, D. (2016). Information Disclosure Concerns in The Age of Wearable Computing. In *Proceedings of the NDSS Workshop on Usable Security (USEC 2016)*.

- Lee, S. & Starner, T. (2010). BuzzWear: alert perception in wearable tactile displays on the wrist. In the 28th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Hrsg.), *Conference proceedings and extended abstracts* (S. 433–442). New York, NY: ACM.
- Li, D., Mattsson, S., Fast-Berglund, Å. & Åkerman, M. (2016). Testing Operator Support Tools for a Global Production Strategy. *Procedia CIRP*, 44, 120–125.
- Lindemann, M., Schmid, S., Gronau, N. & Schumacher, J. (2006). Manufacturing Execution Systems: Marktstudie zur kundenorientierten Weiterentwicklung von MES. *PPS Management*, 11(2), 32–35.
- Livingston, M. A. (2005). Evaluating Human Factors in Augmented Reality Systems. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 6–9.
- Loft, S. (2014). Applying Psychological Science to Examine Prospective Memory in Simulated Air Traffic Control. *Current Directions in Psychological Science*, 23(5), 326–331.
- Loft, S., Smith, R. E. & Bhaskara, A. (2009). Designing Memory Aids to Facilitate Intentions to Deviate from Routine in an Air Traffic Control Simulation. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 53(1), 56–60.
- Loft, S., Smith, R. E. & Remington, R. W. (2013). Minimizing the disruptive effects of prospective memory in simulated air traffic control. *Journal of experimental psychology. Applied*, 19(3), 254–265.
- Lotter, B. (2012a). Die Primär-Sekundär-Analyse. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion* (S. 49–78). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lotter, B. (2012b). Einführung. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion* (S. 1–8). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lotter, B. (2012c). Manuelle Montage von Großgeräten. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion* (S. 147–165). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Louis, P. (2009). *Manufacturing Execution Systems: Grundlagen und Auswahl: Univ., Diss.–Marburg, 2008*. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Gabler.
- Lu, S. A., Wickens, C. D., Sarter, N. B. & Sebok, A. (2011). Informing the Design of Multimodal Displays: A Meta-Analysis of Empirical Studies Comparing Auditory and Tactile Interruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55(1), 1170–1174.
- Lutze, R. & Waldhör, K. (2016). The Application Architecture of Smartwatch Apps – Analysis, Principles of Design and Organization. In H. C. Mayr & M. Pinzger

- (Hrsg.), *Informatik 2016* (Bd. 259, S. 1865–1877). GI-Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings. Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Lyons, J. P., Sanders, S. A., Fredrick Cesene, D., Palmer, C., Mihalik, V. L. & Weigel, T. (2016). Speech recognition acceptance by physicians: A temporal replication of a survey of expectations and experiences. *Health informatics journal*, 22(3), 768–778.
- MacCarthy, B., Brabazon, P. G. & Bramham, J. (2003). Fundamental modes of operation for mass customization. *International Journal of Production Economics*, 85(3), 289–304.
- MacDuffie, J. P., Sethuraman, K. & Fisher, M. L. (1996). Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from the International Automotive Assembly Plant Study. *Management Science*, 42(3), 350–369.
- Makris, S., Michalos, G. & Chryssolouris, G. (2015). Wireless information system for rotating operators in human-based assembly lines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(11), 1196–1207.
- Mandal, B., Chia, S.-C., Li, L., Chandrasekhar, V., Tan, C. & Lim, J.-H. (2015). A Wearable Face Recognition System on Google Glass for Assisting Social Interactions. In C. V. Jawahar & S. Shan (Hrsg.), *Computer Vision - ACCV 2014 Workshops* (Bd. 9010, S. 419–433). Lecture notes in computer science. Cham: Springer International Publishing.
- Manzey, D. (2012). Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub, G. Hoffinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors* (S. 333–352). Springer Berlin Heidelberg.
- Mašín, I. (2014). A Comparison of DFA Methods for Manual Assembly. In L. Ševčík (Hrsg.), *Modern methods of construction design* (S. 265–271). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham [u.a.]: Springer.
- Mattsson, S. & Fast-Berglund, Å. (2016). How to Support Intuition in Complex Assembly? *Procedia CIRP*, 50, 624–628.
- Mattsson, S., Fast-Berglund, Å. & Li, D. (2016). Evaluation of Guidelines for Assembly Instructions. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 209–214.
- Mattsson, S., Fast-Berglund, Å. & Stahre, J. (2014). Managing Production Complexity by Supporting Cognitive Processes in Final Assembly. In *The sixth Swedish Production Symposium*.
- Mattsson, S. (2013). *What is perceived as complex in final assembly? To define, measure and manage production complexity* (Dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden).

- Mattsson, S., Fast-Berglund, Å. & Thorvald, P. (2016). A Relationship Between Operator Performance and Arousal in Assembly. *Procedia CIRP*, 44, 32–37.
- Mattsson, S., Tarrar, M. & Fast-Berglund, Å. (2016). Perceived production complexity – understanding more than parts of a system. *International Journal of Production Research*, 54(20), 6008–6016.
- Matysczok, C. & Maurtua, I. (2008). Supporting Mobile Workers in Car Production by Wearable Computing – Applied Context Detection. In K.-D. Thoben (Hrsg.), *ICE2008*, Nottingham: Centre for Concurrent Enterprise.
- Maurtua, I. (2009). Wearable Technology in Automotive Industry: from Training to Real Production. In I. Maurtua (Hrsg.), *Human-Computer Interaction* (S. 69–84). InTech.
- Maurtua, I., Unceta, M. & Pérez, M. A. (2007). Experimenting Wearable Solutions for Workers’ Training in Manufacturing. In J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. HCI Applications and Services* (Bd. 4553, S. 663–671). Lecture notes in computer science. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- McFarlane, D. (2002). Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 17(1), 63–139.
- Mehler-Bicher, A. & Steiger, L. (2014). *Augmented Reality: Theorie und Praxis* (2., überarb. Aufl.). München: De Gruyter Oldenbourg.
- Merritt, S. M. & Ilgen, D. R. (2008). Not All Trust Is Created Equal: Dispositional and History-Based Trust in Human-Automation Interactions. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(2), 194–210.
- Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D. & Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: Challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(2), 81–91.
- Michalos, G., Makris, S. & Chryssolouris, G. (2013). The effect of job rotation during assembly on the quality of final product. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(3), 187–197.
- Milgram, P. & Colquhoun, H. (1999). A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In Y. Ohta & H. Tamura (Hrsg.), *Mixed reality* (S. 5–30). Berlin: Springer.
- Moon, Y.-J. (2016). Analysis of Factors Influencing User Intention to Use Smart Health Care Services. *American Journal of Networks and Communications*, 5(4), 68.

- Moore, P. & Robinson, A. (2016). The quantified self: What counts in the neoliberal workplace. *New Media & Society*, 18(11), 2774–2792.
- Moss, J. D. & Muth, E. R. (2011). Characteristics of Head-Mounted Displays and Their Effects on Simulator Sickness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(3), 308–319.
- Motti, V. G. & Caine, K. (2014). Human Factors Considerations in the Design of Wearable Devices. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 1820–1824.
- Müller, F., Fischer, N. M., Jäkel, J., Thomas, U. & Suchý, J. (2016). User Study for Hand-Guided Robots with Assisting Force Fields. *IFAC-PapersOnLine*, 49(32), 246–251.
- Müller, R., Narciss, S. & Urbas, L. (2017). Interfacing Cyber-Physical Production Systems With Human Decision Makers. In H. Song, D. B. Rawat, S. Jeschke & C. Brecher (Hrsg.), *Cyber-physical systems* (S. 145–160). Intelligent data centric systems. London: Academic Press.
- Mura, K., Petersen, N., Huff, M. & Ghose, T. (2013). IBES: a tool for creating instructions based on event segmentation. *Frontiers in psychology*, 4, 994.
- Mura, M. D., Dini, G. & Failli, F. (2016). An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations. *Procedia CIRP*, 41, 340–345.
- Mustonen, T., Berg, M., Kaistinen, J., Kawai, T. & Hakkinen, J. (2013). Visual task performance using a monocular see-through head-mounted display (HMD) while walking. *Journal of experimental psychology. Applied*, 19(4), 333–344.
- Nakanishi, M. & Sato, T. (2015). Application of Digital Manuals with a Retinal Imaging Display in Manufacturing: Behavioral, Physiological, and Psychological Effects on Workers. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(2), 228–238.
- Nakanishi, M., Taguchi, K.-i. & Okada, Y. (2010). Suggestions on the applicability of visual instructions with see-through head mounted displays depending on the task. *Applied ergonomics*, 42(1), 146–155.
- Nalivaiko, E., Davis, S. L., Blackmore, K. L., Vakulin, A. & Nesbitt, K. V. (2015). Cyber-sickness provoked by head-mounted display affects cutaneous vascular tone, heart rate and reaction time. *Physiology & behavior*, 151, 583–590.
- Nasir, S. & Yurder, Y. (2015). Consumers' and Physicians' Perceptions about High Tech Wearable Health Products. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1261–1267.

- Nee, A., Ong, S. K., Chryssolouris, G. & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 657–679.
- Nordin, G., Fässberg, T., Fasth, Å. & Stahre, J. (2010). iPod Touch – an ICT tool for assembly operators in factories of the future - Technical concepts and requirements. In *Proceedings of the 3rd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems*.
- Nukta, A. (2012). *Selbstbestimmung in der manuellen Montage: Empirische Untersuchung zu Arbeitsbedingungen und Mitarbeiterpotentialen*. (Dissertation, Universität Ulm).
- Obermaier, R. & Kirsch, V. (2016). Betriebswirtschaftliche Wirkungen digital vernetzter Fertigungssysteme – Eine Analyse des Einsatzes moderner Manufacturing Execution Systeme in der verarbeitenden Industrie. In R. Obermaier (Hrsg.), *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Odenthal, B., Mayer, M. P., Kabuß, W. & Schlick, C. M. (2014). A Comparative Study of Head-Mounted and Table-Mounted Augmented Vision Systems for Assembly Error Detection. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 24(1), 105–123.
- Okoshi, T., Ramos, J., Nozaki, H., Nakazawa, J., Dey, A. K. & Tokuda, H. (2015). Reducing users' perceived mental effort due to interruptive notifications in multi-device mobile environments. In K. Mase, M. Langheinrich, D. Gatica-Perez, H. Gellersen, T. Choudhury & K. Yatani (Hrsg.), *the 2015 ACM International Joint Conference // UbiComp 2015* (S. 475–486). New York (NY): ACM.
- Ong, S. K., Yuan, M. L. & Nee, A. Y. C. (2008). Augmented reality applications in manufacturing: A survey. *International Journal of Production Research*, 46(10), 2707–2742.
- Paelke, V. & Röcker, C. (2015). User Interfaces for Cyber-Physical Systems: Challenges and Possible Approaches. In A. Marcus (Hrsg.), *Design, user experience, and usability* (Bd. 9186, S. 75–85). Lecture notes in computer science. Cham [u.a.]: Springer.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286–297.
- Pasher, E., Popper, Z., Raz, H. & Lawo, M. (2010). WearIT@work: A wearable computing solution for knowledge-based development. *International Journal of Knowledge-Based Development*, 1(4), 346.

- Patterson, R., Winterbottom, M. D. & Pierce, B. J. (2006). Perceptual Issues in the Use of Head-Mounted Visual Displays. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 48(3), 555–573.
- Petersen, N. & Stricker, D. (2015). Cognitive Augmented Reality. *Computers & Graphics*, 53, 82–91.
- Pfeiffer, J., von Entress-Fürsteneck, M., Urbach, N. & Buchwald, A. (2016). Quantify-Me: Consumer Acceptance of Wearable Self-Tracking Devices. In *Proceedings of the 24th European Conference on Information Systems (ECIS)*.
- Pfendler, C., Thun, J., Alexander, T. & Schlick, C. (2011). The influence of different electronic maps and displays on performance and operator state in a geographic orientation task. *Behaviour & Information Technology*, 30(6), 833–844.
- Pirvu, B.-C., Zamfirescu, C.-B. & Gorecky, D. (2016). Engineering insights from an anthropocentric cyber-physical system: A case study for an assembly station. *Mechanics*, 34, 147–159.
- Smart Glasses in der Produktion: Studienbericht des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. (2016). Zugriff unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-389336.html>
- Pugna, A., Negrea, R. & Miclea, S. (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 308–316.
- Quint, F. & Loch, F. (2015). Using Smart Glasses to Document Maintenance Processes. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015–workshop* (S. 203–208). Berlin: De Gruyter Oldenbourg.
- Quint, F., Loch, F., Weber, H., Venitz, J., Gröber, M. & Liedel, J. (2016). Evaluation of Smart Glasses for Documentation in Manufacturing. *Mensch und Computer 2016–Workshopband*.
- Radkowski, R. (2015). Investigation of Visual Features for Augmented Reality Assembly Assistance. In R. Shumaker & S. Lackey (Hrsg.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality* (Bd. 9179, S. 488–498). Lecture notes in computer science. Cham: Springer International Publishing.
- Rammelmeier, T., Galka, S. & Günthner, W. A. (2012). Fehlervermeidung in der Kommissionierung. *Logistics Journal Proceedings*.
- Rasche, P., Mertens, A., Schlick, C. & Choe, P. (2015). The Effect of Tactile Feedback on Mental Workload During the Interaction with a Smartphone. In P. P. Rau (Hrsg.), *Cross-cultural design: methods, practice and impact* (Bd. 9180, S. 198–208). Lecture

- notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI. Cham: Springer.
- Rash, C. E., Russo, M. B., Letowski, T. R. & Schmeisser, E. T. (Hrsg.). (2009). *Helmet-mounted displays: Sensation, perception, and cognition issues*. Fort Rucker, Ala.: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory.
- Rauh, S., Zsebedits, D., Tamplon, E., Bolch, S. & Meixner, G. (2015). Using Google Glass for mobile maintenance and calibration tasks in the AUDI A8 production line. In *2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)* (S. 1–4).
- Rauschnabel, P. A., Brem, A. & Ivens, B. S. (2015). Who will buy smart glasses? Empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of Google Glass wearables. *Computers in Human Behavior*, *49*, 635–647.
- Rauschnabel, P. A., Hein, D. W. E., He, J., Ro, Y. K., Rawashdeh, S. & Krulikowski, B. (2016). Fashion or Technology? A Fashnology Perspective on the Perception and Adoption of Augmented Reality Smart Glasses. *i-com*, *15*(2).
- Rauschnabel, P. A., Krey, N., Chuah, S. H.-W., Nguyen, B., Lade, S. & Ramayah, T. (2016). Exploring the Adoption of Smartwatches. In D. Hertweck & C. Decker (Hrsg.), *Digital Enterprise Computing 2016* (S. 39–48). Lecture Notes in Informatics (LNI). Bonn: Gesellschaft für Informatik eV.
- Rauschnabel, P. A. & Ro, Y. K. (2016). Augmented reality smart glasses: An investigation of technology acceptance drivers. *International Journal of Technology Marketing*, *11*(2), 123.
- Rawassizadeh, R., Price, B. A. & Petre, M. (2015). Wearables: Has the Age of Smartwatches Finally Arrived? *Communications of the ACM*, *58*(1), 45–47.
- Reason, J. T. (1990). *Human error*. Cambridge England: Cambridge University Press.
- Regal, G., Busch, M., Deutsch, S., Hochleitner, C., Lugmayr, M. & Tscheligi, M. (2013). Money on the move workload, usability and technology acceptance of second-screen atm-interactions. In M. Rohs (Hrsg.), *Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services* (S. 281). ACM Digital Library. New York, NY: ACM.
- Regenbrecht, H., Baratoff, G. & Wilke, W. (2005). Augmented Reality Projects in the Automotive and Aerospace Industries. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *25*(6), 48–56.

- Reif, R., Günthner, W. A., Schwerdtfeger, B. & Klinker, G. (2010). Evaluation of an Augmented Reality Supported Picking System Under Practical Conditions. *Computer Graphics Forum*, 29(1), 2–12.
- Reuss, E. & Menozzi, M. (2002). AR for mobile healthcare information systems: do display units take human factors into consideration? In *Proceedings of the Conference WWDU 2002 World Wide Work*.
- Rhodes, B. J. (1997). The wearable remembrance agent: A system for augmented memory. *Personal Technologies*, 1(4), 218–224.
- Richter, A., Heinrich, P., Stocker, A. & Unzeitig, W. (2015). Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(5), 690–712.
- Rogers, R. D. & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231.
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å. & Gorecky, D. (2016). Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. In *CIE46 Proceedings* (S. 1–11).
- Roth, A. (2016). Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In A. Roth (Hrsg.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (S. 1–15). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Rügge, I. (2007). *Mobile Solutions: Einsatzpotenziale Nutzungsprobleme und Lösungsansätze* (1. Aufl.). Teubner Research : Advanced Studies Mobile Research Center Bremen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Rupp, M. A., Michaelis, J. R., McConnell, D. S. & Smither, J. A. (2016). The Impact of Technological Trust and Self-Determined Motivation on Intentions to use Wearable Fitness Technology. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60(1), 1434–1438.
- Salinas Segura, A. (2016). *The Internet of Things: Business Applications, Technology Acceptance, and Future Prospects* (Dissertation, Julius Maximilian University of Würzburg, Würzburg).
- Samost, A., Perlman, D., Domel, A. G., Reimer, B., Mehler, B., Mehler, A., ... McWilliams, T. (2015). Comparing the Relative Impact of Smartwatch and Smartphone Use While Driving on Workload, Attention, and Driving Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 1602–1606.
- Sangeetha, M., Vijayaragavan, G. R., Raghav, R. L. & Phani, K. P. (2016). Design and Development of Cost Effective Wearable Glove for Automotive Industry. In S. C. Satapathy, J. K. Mandal, S. K. Udgate & V. Bhateja (Hrsg.), *Information Systems*

- Design and Intelligent Applications* (Bd. 435, S. 123–131). Advances in Intelligent Systems and Computing. New Delhi: Springer India.
- Sanna, A., Manuri, F., Piumatti, G., Paravati, G., Lamberti, F. & Pezzolla, P. (2015). A Flexible AR-based Training System for Industrial Maintenance. In L. T. de Paolis & A. Mongelli (Hrsg.), *Augmented and virtual reality* (Bd. 9254, S. 314–331). Lecture notes in computer science. Cham: Springer.
- Sarodnick, F. & Brau, H. (2011). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung* (2., überarb. und aktualisierte Aufl.). Wirtschaftspsychologie in Anwendung. Bern: Huber.
- Sarter, N. (2013). Multimodal Support for Interruption Management: Models, Empirical Findings, and Design Recommendations. *Proceedings of the IEEE*, 101(9), 2105–2112.
- Sarter, N. B. (2006). Multimodal information presentation: Design guidance and research challenges. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(5), 439–445.
- Sawyer, B. D., Finomore, V. S., Calvo, A. A. & Hancock, P. A. (2014). Google Glass: A Driver Distraction Cause or Cure? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(7), 1307–1321.
- Schade, J. (2005). *Akzeptanz von Straßenbenutzungsgebühren: Entwicklung und Überprüfung eines Modells* (Dissertation, Technische Universität Dresden).
- Schade, J. & Schlag, B. (2003). Acceptability of urban transport pricing strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(1), 45–61.
- Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., Szalma, J. L. & Hancock, P. A. (2016). A Meta-Analysis of Factors Influencing the Development of Trust in Automation: Implications for Understanding Autonomy in Future Systems. *Human Factors*, 58(3), 377–400.
- Schega, L., Hamacher, D., Erfuth, S., Behrens-Baumann, W., Reupsch, J. & Hoffmann, M. B. (2014). Differential effects of head-mounted displays on visual performance. *Ergonomics*, 57(1), 1–11.
- Schemeleva, K., Nguyen, C., Durieux, S. & Caux, C. (2012). Human error probabilities computation for manufacturing system simulation using CREAM. In *9th International Conference of Modeling, Optimization and Simulation - MOSIM'12*.
- Schneider, K. (2011). *Modernes Sourcing in der Automobilindustrie* (1. Aufl.). Gabler Research : Informationsmanagement und Computer Aided Team. Wiesbaden: Gabler.
- Schubö, A., Prinz, W. & Aschersleben, G. (2004). Perceiving while acting: action affects perception. *Psychological research*, 68(4), 208–215.

- Schultheis, M. (2015). *Ergonomische Analyse von Informations- und Warnsystemen in sicherheitskritischen Arbeitskontexten am Beispiel des Gleisbaus* (Dissertation, Technische Universität Darmstadt).
- Schwerdtfeger, B. (2010). *Pick-by-Vision: Bringing HMD-based Augmented Reality into the Warehouse* (Dissertation, Technische Universität München).
- Sedighi Maman, Z., Alamdar Yazdi, M. A., Cavuoto, L. A. & Megahed, F. M. (2017). A data-driven approach to modeling physical fatigue in the workplace using wearable sensors. *Applied ergonomics*, *65*, 515–529.
- Seeling, P. (2015). Augmented Vision and Quality of Experience Assessment: Towards a Unified Evaluation Framework. In Dr. Patrick Seeling (Hrsg.), *2015 IEEE International Conference on Communication workshop*, Piscataway, NJ: IEEE.
- Seyrkammer, S. (2015). *Wearable computing technology: Potenzielle Einsatzmöglichkeiten in der Industrie*. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- Shaikh, S., Cobb, S. V. G., Golightly, D., Segal, J. I. & Haslegrave, C. M. (2012). Investigating the effects of physical and cognitive demands on the quality of performance under different pacing levels. *Work (Reading, Mass.)* *41 Suppl 1*, 1625–1631.
- Snodgrass, J. G. & Corwin, J. (1988). Pragmatics of Measuring Recognition Memory: Applications to Dementia and Amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*(1), 34–50.
- Solari, F., Chessa, M., Garibotti, M. & Sabatini, S. P. (2013). Natural perception in dynamic stereoscopic augmented reality environments. *Displays*, *34*(2), 142–152.
- Soscia, I., Arbore, A. & Hofacker, C. F. (2011). The impact of trial on technology adoption: The case of mobile TV. *Journal of Research in Interactive Marketing*, *5*(2/3), 226–238.
- Spagnolli, A., Guardigli, E., Orso, V., Varotto, A. & Gamberini, L. (2014). Measuring User Acceptance of Wearable Symbiotic Devices: Validation Study Across Application Scenarios. In G. Jacucci, L. Gamberini, J. Freeman & A. Spagnolli (Hrsg.), *Symbiotic Interaction* (Bd. 8820, S. 87–98). Lecture notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI. Cham: Springer International Publishing.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Stam, K. R. & Stanton, J. M. (2010). Events, emotions, and technology: Examining acceptance of workplace technology changes. *Information Technology & People*, *23*(1), 23–53.

- Stanney, K. M., Kennedy, R. S. & Drexler, J. M. (1997). Cybersickness is Not Simulator Sickness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 41(2), 1138–1142.
- Staples, D. S. & Seddon, P. (2004). Testing the Technology-to-Performance Chain Model. *Journal of Organizational and End User Computing*, 16(4), 17–36.
- Starner, T. (2016). Wearable Computing: Meeting the Challenge. In W. Barfield (Hrsg.), *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Stocker, A., Brandl, P., Michalczyk, R. & Rosenberger, M. (2014). Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 131(7), 207–211.
- Stocker, A., Spitzer, M., Kaiser, C., Rosenberger, M. & Fellmann, M. (2016). Datenbrillengestützte Checklisten in der Fahrzeugmontage. *Informatik-Spektrum*.
- Stork, S. & Schubö, A. (2010). Human cognition in manual assembly: Theories and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 24(3), 320–328.
- Stork, S., Stöbel, C. & Schubö, A. (2008). The Influence of Instruction Mode on Reaching Movements during Manual Assembly. In A. Holzinger (Hrsg.), *Proceedings of USAB 2008, LNCS 5298*, Springer, Berlin.
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M. & Wang, L. (2015). Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality. *Procedia Manufacturing*, 1, 98–109.
- Taiwo, A. A. & Downe, A. G. (2013). The theory of user acceptance and use of technology (UTAUT): A meta-analytic review of empirical findings. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 49(1), 48–58.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F. & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In G. Cockton (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 73–80). ACM Digital Library. New York, NY: ACM.
- Teucke, M., Werthmann, D., Lewandowski, M. & Thoben, K.-D. (2017). Einsatz mobiler Computersysteme im Rahmen von Industrie 4.0 zur Bewältigung des demografischen Wandels. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung* (S. 575–604). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Theis, S., Mertens, A., Wille, M., Rasche, P., Alexander, T. & Schlick, C. M. (2015). Effects of data glasses on human workload and performance during assembly and disassembly tasks. In G. Lindgaard & D. Moore (Hrsg.), *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA* (S. 1–8).

- Theis, S., Pfendler, C. & Alexander, T. (2016). *Head-Mounted Displays - Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs* (1. Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Thompson, M. B., Tear, M. J. & Sanderson, P. M. (2010). Multisensory Integration With a Head-Mounted Display: Role of Mental and Manual Load. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 52(1), 92–104.
- Thong, J. Y. L., Venkatesh, V., Xu, X., Hong, S.-J. & Tam, K. Y. (2011). Consumer Acceptance of Personal Information and Communication Technology Services. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 58(4), 613–625.
- Thorvald, P. (2011). *Presenting Information in Manual Assembly* (Dissertation, Loughborough University).
- Thorvald, P., Bäckstrand, G., Högberg, D., de Vin, L. & Case, K. (2008). Information Presentation in Manual Assembly – A Cognitive Ergonomics Analysis. *Proceedings of NES2008*.
- Thorvald, P., Högberg, D. & Case, K. (2014). The effect of information mobility on production quality. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(2), 120–128.
- Tönnis, M., Plecher, D. A. & Klinker, G. (2013). Representing information – Classifying the Augmented Reality presentation space. *Computers & Graphics*, 37(8), 997–1011.
- Tümler, J. (2009). *Untersuchungen zu nutzerbezogenen und technischen Aspekten beim Langzeiteinsatz mobiler Augmented Reality Systeme in industriellen Anwendungen* (Dissertation, Universität Magdeburg).
- Van der Laan, J. D. (1998). *Acceptance of automatic violation-registration systems*. (Dissertation, University of Groningen, NL.).
- Van der Laan, J. D., Heino, A. & de Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, 5, 1–10.
- van Heek, J., Schaar, A. K., Trevisan, B., Bosowski, P. & Ziefle, M. (2014). User requirements for wearable smart textiles. Does the usage context matter (medical vs. sports)? In A. Hein, S. Boll & F. Köhler (Hrsg.), *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (S. 205–209).
- Venkatesh, V., Brown, S. A. & Bala, H. (2013). Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems.

- Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems*, 37(1), 21–54.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., Chan, F. K. Y., Hu, P. J.-H. & Brown, S. A. (2011). Extending the two-stage information systems continuance model: incorporating UTAUT predictors and the role of context. *Information Systems Journal*, 21(6), 527–555.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L. & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS quarterly*.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L. & Xu, X. (2016). Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: A Synthesis and the Road Ahead. *Journal of the Association for Information Systems*, 17(5), 328–376.
- Verberne, F. M. F., Ham, J. & Midden, C. J. H. (2012). Trust in Smart Systems: Sharing Driving Goals and Giving Information to Increase Trustworthiness and Acceptability of Smart Systems in Cars. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 799–810.
- Vink, P. & Hallbeck, S. (2012). Editorial: comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied ergonomics*, 43(2), 271–276.
- Vishwanath, A. (2015). The Psychology of the Diffusion and Acceptance of Technology. In S. S. Sundar (Hrsg.), *The handbook of the psychology of communication technology* (S. 313–331). Handbooks in communication and media. Chichester: Wiley Blackwell.
- Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T. & ten Hompel, M. (Hrsg.). (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2: Automatisierung* (2. Auflage). VDI Springer Reference. Berlin: Springer.
- Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T. & ten Hompel, M. (Hrsg.). (2017). *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik* (2. Auflage). Springer Nachschlage-Wissen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Vogel, W. & Lasch, R. (2016). Complexity drivers in manufacturing companies: A literature review. *Logistics Research*, 9(1), 1399.
- Volling, T., Matzke, A., Grunewald, M. & Spengler, T. S. (2013). Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review. *European Journal of Operational Research*, 224(2), 240–260.
- Wächter, M. & Bullinger, A. C. (2015). Gestaltung gebrauchstauglicher Assistenzsysteme für Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015–workshop*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg.

- Wang, X., Ong, S. K. & Nee, A. Y. C. (2016a). A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1), 1–22.
- Wang, X., Ong, S. K. & Nee, A. Y. C. (2016b). Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 406–421.
- Wang, Y., Millet, B. & Smith, J. L. (2016). Designing wearable vibrotactile notifications for information communication. *International Journal of Human-Computer Studies*, 89, 24–34.
- Weaver, K. A., Baumann, H., Starner, T., Iben, H. & Lawo, M. (2010). An empirical task analysis of warehouse order picking using head-mounted displays. In E. Mynatt, D. Schoner, G. Fitzpatrick, S. Hudson, K. Edwards & T. Rodden (Hrsg.), *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI '10* (S. 1695). New York, New York, USA: ACM Press.
- Weber, H., Quint, F., Kreutel, J., Gröber, M., Loch, F., Venitz, J., ... Liedel, J. (2016). Evaluation eines Kollaborationssystems in der industriellen Praxis. In B. Weyers & A. Dittmar (Hrsg.), *Mensch und Computer 2016 - Workshopbeiträge*.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 449–455.
- Wickens, C., Prinet, J., Hutchins, S., Sarter, N. & Sebok, A. (2011). Auditory-Visual Redundancy in Vehicle Control Interruptions: Two Meta-analyses. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55(1), 1155–1159.
- Wickens, C. D. (2000). The Trade-off of Design for Routine and Unexpected Performance: Implications of Situation Awareness. In M. R. Endsley & Garland D. J. (Hrsg.), *Situation awareness Analysis and measurement*. Erlbaum.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177.
- Wickens, C. D. (2014). Noticing Events in the Visual Workplace: The SEEV and NSEEV Models. In R. R. Hoffman, P. A. Hancock, M. W. Scerbo, R. Parasuraman & J. L. Szalma (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Applied Perception Research* (S. 749–768). Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge University Press.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2013). *Engineering psychology and human performance* (4. edition). London: Pearson Education.
- Wiedenmaier, S., Oehme, O., Schmidt, L. & Luczak, H. (2003). Augmented Reality (AR) for Assembly Process Design and Experimental Evaluation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16(3), 497–514.

- Wille, M. (2016). *Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. (1. Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Wille, M., Grauel, B. & Adolph, L. (2014). Strain caused by Head Mounted Displays. In D. de Waard, K. Brookhuis, R. Wiczorek, F. Di Nocera, R. Brouwer, P. Barham, ...A. Toffetti (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2013 Annual Conference*.
- Wille, M. & Wischniewski, S. (2015). Influence of head mounted display hardware on performance and strain. In D. de Waard, J. Sauer, S. Röttger, A. Kluge, D. Manzey, C. Weikert, ...H. Hoonhout (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2014 Annual Conference* (S. 269–279).
- Wilson, D. (2016). An Overview of the Application of Wearable Technology to Nursing Practice. *Nursing forum*.
- Winterbottom, M. D., Patterson, R., Pierce, B. J., Covas, C. M. & Winner, J. (2007). Depth of Focus and Visual Recognition of Imagery Presented on Simultaneously Viewed Displays: Implications for Head-Mounted Displays. *Human Factors*, 49(5), 907–919.
- Witt, H. & Kluge, E. M. (2008). Studying Input Device Performance: An End-User Driven Experiment in wearIT@work. In C. Dini (Hrsg.), *First International Conference on Advances in Computer-Human Interaction, 2008* (S. 9–15). Piscataway, NJ: IEEE Service Center.
- Wixom, B. H. & Todd, P. A. (2005). A Theoretical Integration of User Satisfaction and Technology Acceptance. *Information Systems Research*, 16(1), 85–102.
- Wolfe, J. M., Horowitz, T. S. & Kenner, N. M. (2005). Cognitive psychology: rare items often missed in visual searches. *Nature*, 435(7041), 439–440.
- Wölflle, M. (2014). *Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik* (Dissertation, Universität München, München).
- Woodham, A., Billingham, M. & Helton, W. S. (2016). Climbing With a Head-Mounted Display: Dual-Task Costs. *Human Factors*, 58(3), 452–461.
- Wu, L.-H., Wu, L.-C. & Chang, S.-C. (2016). Exploring consumers' intention to accept smartwatch. *Computers in Human Behavior*, 64, 383–392.
- Wu, X., Haynes, M., Zhang, Y., Jiang, Z., Shen, Z., Guo, A., ... Gilliland, S. (2015). Comparing order picking assisted by head-up display versus pick-by-light with explicit pick confirmation. In K. Mase, M. Langheinrich & D. Gatica-Perez (Hrsg.), *ISWC'15* (S. 133–136). New York, New York: Association for Computing Machinery.

- Yang, H., Yu, J., Zo, H. & Choi, M. (2016). User acceptance of wearable devices: An extended perspective of perceived value. *Telematics and Informatics*, 33(2), 256–269.
- Yeh, M. & Wickens, C. D. (2001). Display Signaling in Augmented Reality: Effects of Cue Reliability and Image Realism on Attention Allocation and Trust Calibration. *Human Factors*, 43(3), 355–365.
- Yeh, Michelle, Merlo, James L., Wickens, Christopher D., ... David L. (2001). Head-Up versus Head-Down: Effects of Precision on Cue Effectiveness and Display Signaling. *Human Factors*, 45, 390–407.
- Young, K. L., Stephens, A. N., Stephan, K. L. & Stuart, G. W. (2016). In the eye of the beholder: A simulator study of the impact of Google Glass on driving performance. *Accident; analysis and prevention*, 86, 68–75.
- Yuviler-Gavish, N., Yechiam, E. & Kallai, A. (2011). Learning in multimodal training: Visual guidance can be both appealing and disadvantageous in spatial tasks. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(3), 113–122.
- Zaeh, M. F., Ostgathe, M., Geiger, F. & Reinhart, G. (2012). Adaptive Job Control in the Cognitive Factory. In H. A. ElMaraghy (Hrsg.), *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability* (S. 10–17). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Zaeh, M. F., Wiesbeck, M., Stork, S. & Schubö, A. (2009). A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations. *Production Engineering*, 3(4-5), 489–496.
- Zamfirescu, C.-B., Pirvu, B.-C., Gorecky, D. & Chakravarthy, H. (2014). Human-centred Assembly: A Case Study for an Anthropocentric Cyber-physical System. *Procedia Technology*, 15, 90–98.
- Zeltzer, L., Aghezzaf, E.-H. & Limère, V. (2016). Workload balancing and manufacturing complexity levelling in mixed-model assembly lines. *International Journal of Production Research*, 1–16.
- Zheng, X. S., Foucault, C., Matos da Silva, P., Dasari, S., Yang, T. & Goose, S. (2015). Eye-Wearable Technology for Machine Maintenance. In B. Begole (Hrsg.), *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 2125–2134). New York, NY: ACM.
- Ziefle, M. & Röcker, C. (2010). Acceptance of Pervasive Healthcare Systems: A Comparison of Different Implementation Concepts. In *4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2010* (S. 1–6). Piscataway, NJ: IEEE.

- Ziegler, J. (2016). *Wearables im industriellen Einsatz: Befähigung zu mobiler IT-gestützter Arbeit durch verteilte tragbare Benutzungsschnittstellen* (Dissertation, Technische Universität Dresden).
- Ziegler, J., Heinze, S. & Urbas, L. (2015). The potential of smartwatches to support mobile industrial maintenance tasks. In *Proceedings of 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)* (S. 1–7). [Piscataway, New Jersey]: IEEE.
- Zobel, B., Berkemeier, L., Werning, S. & Thomas, O. (2016). Augmented Reality am Arbeitsplatz der Zukunft: Ein Usability-Framework für Smart Glasses. In H. C. Mayr & M. Pinzger (Hrsg.), *Informatik 2016* (Bd. 259). GI-Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings, Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Zwickel, J. & Prinz, W. (2012). Assimilation and contrast: the two sides of specific interference between action and perception. *Psychological research*, *76*(2), 171–182.

Verzeichnis der Anhänge

A	Anhang Studie 1	206
A.1	In Studie 1 verwendete Fragen	206
A.2	Ergebnistabellen	207
B	Anhang Studie 2	209
B.1	Standardarbeitsblatt	209
B.2	In Studie 2 verwendete Fragen	211
B.3	Ergebnistabellen	214
C	Anhang Studie 3	222
C.1	In Studie 3 verwendete Fragen	222
C.2	Ergebnistabellen	225
D	Anhang Studie 4	232
D.1	Standardarbeitsblatt	232
D.2	In Studie 4 verwendete Fragen	233
D.3	Ergebnistabellen	237

A. Anhang Studie 1

A.1. In Studie 1 verwendete Fragen

Alter: _____

Tragen Sie eine Brille? nein ja wenn ja, kurzsichtig , weitsichtig , Gleitsichtbrille

Bitte schätzen Sie Ihre Erfahrung in Montagetätigkeiten ein.	absoluter Anfänger, keine Erfahrung	<input type="checkbox"/>	Experte, sehr viel Erfahrung							
Wie viel Übung haben Sie im Stecker anbringen?	keine Erfahrung	<input type="checkbox"/>	Sehr viel Erfahrung							
Wie viel Erfahrung haben Sie in handwerklichen Tätigkeiten?	keine Erfahrung	<input type="checkbox"/>	Sehr viel Erfahrung							

Wie lange arbeiten Sie bereits am Fließband? _____ Jahre _____ Monate
 Wie lange arbeiten Sie in einem handwerklichen Beruf? _____ Jahre _____ Monate

Bitte schätzen Sie die Anforderungen der Aufgabe im Detail ein.

BEISPIEL

Wie stark hat die Aufgabe Sie geistig gefordert bzw. wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Erinnern, Denken, Hinsehen, Suchen, ...)?
 War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?

Gar nicht Sehr stark

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich? Wie stark war die Aufgabe körperlich fordernd?
 War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Gar nicht Sehr stark

Wie hoch war der Zeitdruck, den Sie bei der Aufgabe empfanden? Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgabenelemente auftraten oder dem Tempo der Aufgabe?
 War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Gar nicht Sehr stark

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die Ziele der Aufgabe erreicht?
 Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Gar nicht Sehr stark

Wie hart mussten Sie arbeiten, bzw. **wie stark haben Sie sich bemüht** um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung, also Ihre Leistung, zu erreichen?

Gar nicht Sehr stark

Wie frustriert, gestresst, unsicher oder entmutigt fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Gar nicht Sehr stark

A.2. Ergebnistabellen

Anhang A.2.1.

Paarweise Vergleiche Signalentdeckungsrate nach Informationsträger und Hinweissignal (Bonferroni adjustiert)

Paarweise Vergleiche	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Unterschiede Informationsträger ohne Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	-0.032	0.043	1.000	-0.136, 0.071
Smartglasses - Monitor	0.108	0.037	0.012*	0.018, 0.198
Smartglasses - Smartwatch	0.140	0.040	0.002*	0.043, 0.238
<u>Unterschiede Informationsträger mit Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	0.041	0.045	1.000	-0.069, 0.151
Smartglasses - Monitor	0.050	0.051	0.958	-0.072, 0.173
Smartglasses - Smartwatch	0.009	0.044	1.000	-0.097, 0.115
<u>Unterschiede zwischen Hinweissignal – kein Hinweissignal</u>				
Monitor	0.120	0.046	0.010*	.029, 0.211
Smartwatch	0.194	0.042	0.000*	0.111, 0.276
Smartglasses	0.063	0.042	0.142	-0.021, 0.146

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

A. ANHANG STUDIE 1

Anhang A.2.2.

Paarweise Vergleiche Bearbeitungszeit nach Informationsträger und Hinweissignal (Bonferroni adjustiert)

Paarweise Vergleiche	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Unterschiede Informationsträger ohne Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	15.57	6.82	0.071	-0.93, 32.06
Smartglasses - Monitor	17.54	5.85	0.009*	3.38, 31.70
Smartglasses - Smartwatch	1.97	6.37	1.000	-13.45, 17.39
<u>Unterschiede Informationsträger mit Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	-3.37	7.24	1.000	-20.88, 14.15
Smartglasses - Monitor	3.05	7.95	1.000	-16.19, 22.30
Smartglasses - Smartwatch	6.42	6.87	1.000	-10.21, 23.05
<u>Unterschiede zwischen Hinweissignal – kein Hinweissignal</u>				
Monitor	4.58	7.36	0.535	-9.97, 19.12
Smartwatch	-14.36	6.68	0.033*	-27.54, -1.17
Smartglasses	-9.91	6.58	0.134	-22.90, 3.08

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

Anhang A.2.3.

Paarweise Vergleiche Workload nach Informationsträger und Hinweissignal (Bonferroni adjustiert)

Paarweise Vergleiche	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Unterschiede Informationsträger ohne Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	11.6	4.39	0.027*	0.97, 22.23
Smartglasses - Monitor	3.41	3.79	1.000	-5.76, 12.58
Smartglasses - Smartwatch	-8.19	4.14	0.150	-18.20, 1.83
<u>Unterschiede Informationsträger mit Hinweissignal</u>				
Smartwatch - Monitor	-8.29	4.57	0.214	-19.34, 15.36
Smartglasses - Monitor	-3.21	5.02	1.000	-15.36, 8.94
Smartglasses - Smartwatch	5.08	4.36	0.730	-5.42, 15.58
<u>Unterschiede zwischen Hinweissignal – kein Hinweissignal</u>				
Monitor	1.34	4.68	0.776	-10.58, 7.90
Smartwatch	-18.55	4.27	0.000**	-26.99, -10.11
Smartglasses	-5.29	4.20	0.210	-13.59, 3.02

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

B. Anhang Studie 2

B.1. Standardarbeitsblatt

Standardarbeitsblatt - Übungskarosserie

Anlern-Kategorie: Einfach (<= 1 Tag)

linke Seite

TYP	F20	E82	E83	E84	Trainingscenter-2	Taktzeit: 4.33 min

Nr.	Arbeitsschritte
0	
1	Kühlerhalteplatte vom linken/rechten Längsträger einhängen
2	Abstandshalter an der Frontklappe eindrehen
3	Zusatzblinkleuchte, an linker/rechter vorderer Seitenwand, an Stecker anstecken und verbauen
4	Fond-Heizkanal im Fußraum einfädeln
5	Zentralbass im Schweller innen einfädeln und auf Gewindebolzen stecken, danach Stecker stecken
6	Teppichschoner verlegen (Trittschutz über Zentralbass)
7	Verdeck-Verriegelung mit 3x Linsenkopfschrauben (M6) verschrauben
8	3x Stopfen (D-20) im Fußraum und 1x A-Säule verbauen
9	2x Masse-Kamm im Fußraum verschrauben
10	7x Stopfen (D-20) am Seitenschweller verbauen
11	Verdeck-Halteplatte an innerer hinterer Seitenwand anfädeln (2x Sechskantschrauben mit Scheibe M8)
12	Stossdämpfer durch hinteres Radhaus einfädeln und mit Sicherungsmutter anheften
13	Zwangsentlüftung mit Dämmplatte durch Kofferraum in Seitenwand verrasten
14	1x Stopfen (D-12) unter Heckleuchte verbauen
15	Heckleuchten-Kombination am Heck einsetzen und mit 3x Muttern (M5) von innen an Karosserie verschrauben
16	2x Stecker innen an Heckleuchte stecken
17	Dämmplatte für Crashelement aufstecken (nicht verkleben)

Anhang B.1.1. Standardarbeitsblatt für die Übungskarosserie

B. ANHANG STUDIE 2

Anhang B.1.2.

Standardarbeitsblatt, Anzeige auf Wearable Device und MTM-Zeitvorgaben

Nr.	Arbeitsschritte Standardarbeitsblatt	Anzeige OSG	Zeit / s
0		Start	
1	Kühlerhalteplatte vorn am linken/rechten Längsträger einhängen	Kühlerhalteplatte	4.86
2	Abstandshalter an der Frontklappe eindrehen	Abstandshalter	8.10
3	Zusatzblinkleuchte, an linker/rechter vorderer Seitenwand, an Stecker anstecken und verbauen	Zusatzblinkleuchte	9.36
4	Fond-Heizkanal im Fußraum einfädeln	Fond-Heizkanal	6.84
5	Zentralbass im Schweller innen einfädeln und auf Gewindebolzen stecken, danach Stecker stecken	Zentralbass + Stecker	16.68
6	Teppichschoner verlegen (Trittschutz über Zentralbass)	Teppichschoner	9.36
7	Verdeck-Verriegelung mit 3x Linsenkopfschrauben (M6) verschrauben	Verdeck-Verriegelung + Werkzeug Symbol	55.08
8	3x Stopfen (D-20) im Fußraum und 1x A-Säule verbauen	3 x Stopfen Fußraum und 1x A-Säule	19.08
9	2x Masse-Kamm im Fußraum verschrauben	2 x Masse-Kamm + Werkzeug Symbol	18.00
10	7x Stopfen (D-20) am Seitenschweller verbauen	7x Stopfen Seitenschweller	28.08
11	Verdeck-Halteplatte an innerer hinterer Seitenwand anfädeln (2 x Sechskantschrauben mit Scheibe M8)	Verdeck-Halteplatte	18.36
12	Stoßdämpfer durch hinteres Radhaus einfädeln und mit Sicherungsmutter anheften	Stoßdämpfer	18.00
13	Zwangsentlüftung mit Dämmplatte durch Kofferraum in Seitenwand verrasten	Zwangsentlüftung	19.98
14	1 x Stopfen (D-12) unter Heckleuchte verbauen	1 x Stopfen Heckleuchte	7.02
15	Heckleuchten-Kombination am Heck einsetzen und mit 3 x Muttern (M5) von innen an Karosse verschrauben	Heckleuchten-Kombi 3 x Mutter + Werkzeug Symbol	13.86
16	2 x Stecker innen an Heckleuchte stecken	2 x Stecker Heckleuchte	4.32
17	Dämmplatte für Crashelement aufstecken	Dämmplatte	9.90

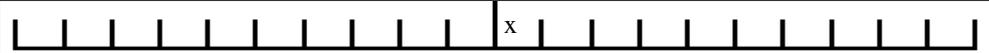
B.2. In Studie 2 verwendete Fragen

Alter: _____

Tragen Sie eine Brille? nein / ja wenn ja, kurzsichtig , weitsichtig , Gleitsichtbrille

Bitte schätzen Sie Ihre Erfahrung in Montagetätigkeiten ein. absolute Anfänger, keine Erfahrung Experte, sehr viel Erfahrung
 Wie viel Erfahrung haben Sie in handwerklichen Tätigkeiten? keine Erfahrung Sehr viel Erfahrung

Wie lange arbeiten Sie bereits am Fließband? _____ Jahre _____ Monate
 Wie lange arbeiten Sie in einem handwerklichen Beruf? _____ Jahre _____ Monate

Bitte schätzen Sie die Anforderungen der Aufgabe im Detail ein.
 BEISPIEL


Wie stark hat die Aufgabe Sie geistig gefordert bzw. wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Erinnern, Denken, Hinsehen, Suchen, ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?
 Gar nicht  Sehr stark

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich? Wie stark war die Aufgabe körperlich fordernd? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?
 Gar nicht  Sehr stark

Wie hoch war der Zeitdruck, den Sie bei der Aufgabe empfanden? Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgabenelemente auftraten oder dem Tempo der Aufgabe? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
 Gar nicht  Sehr stark

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die Ziele der Aufgabe erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?
 Gar nicht  Sehr stark

Wie hart mussten Sie arbeiten, bzw. **wie stark haben Sie sich bemüht** um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung, also Ihre Leistung, zu erreichen?
 Gar nicht  Sehr stark

Wie frustriert, gestresst, unsicher oder entmutigt fühlten Sie sich während der Aufgabe?
 Gar nicht  Sehr stark

Bitte schätzen Sie ein, inwiefern folgende Aussagen zutreffen:	Gar nicht	sehr stark
Insgesamt waren es mir zu viele Informationen auf einmal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin manchmal an Teilen der Karosse angestoßen oder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte Bedenken die Karosse versehentlich zu beschädigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Gewicht der Smartwatch/ Smartglasses war störend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Form der Smartwatch/ Smartglasses war störend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Smartwatch/ Smartglasses hat/haben bei der Montage gestört.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienung hat mich aufgehalten. Dadurch war ich langsamer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B. ANHANG STUDIE 2

Stellen Sie sich vor, eine Smartwatch / Datenbrille (nicht notwendigerweise dieses Modell) wird zum Anlernen im Trainingszentrum eingesetzt. Was würden Sie davon halten? Was halten Sie von der Smartwatch / Datenbrille und vom Anwendungsfall Anlernen?

	Gar nicht					Sehr Stark
Ich kann mich auf die Informationen verlassen, die ich von der Smartwatch /Datenbrille	<input type="checkbox"/>					
Ich denke, ich kann mich auf die Smartwatch /Datenbrille verlassen.	<input type="checkbox"/>					
Ich kann mich darauf verlassen, dass ich keine Informationen übersehen würde während ich arbeite	<input type="checkbox"/>					
Ich denke, die Smartwatch /Datenbrille ist ...	<input type="checkbox"/>					
... einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>					
... einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
... einfach zu verstehen.	<input type="checkbox"/>					
... nervend.	<input type="checkbox"/>					
... ablenkend.	<input type="checkbox"/>					
... praxistauglich.	<input type="checkbox"/>					
Falls eine Smartwatch/Datenbrille für das Training/ meine Arbeit verfügbar wäre, würde ich sie	<input type="checkbox"/>					
... sofort benutzen.	<input type="checkbox"/>					
... in ein paar Monaten benutzen.	<input type="checkbox"/>					
Ich habe die Smartwatch / Datenbrille verwendet.	<input type="checkbox"/>					
Eine Smartwatch /Datenbrille zu benutzen würde es mir ermöglichen neue Aufgaben effektiver zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
Eine Smartwatch /Datenbrille würde es mir erleichtern neue Aufgaben zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
Eine Smartwatch /Datenbrille zu benutzen würde es mir ermöglichen neue Aufgaben schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/>					
Ich denke, meine Kollegen würden es mögen, wenn ich die Smartwatch /Datenbrille	<input type="checkbox"/>					
Ich denke, dass es einen guten Eindruck macht, wenn ich die Smartwatch /Datenbrille	<input type="checkbox"/>					
Ich weiß genug über die Smartwatch /Datenbrille um sie sinnvoll nutzen zu können.	<input type="checkbox"/>					
Ich weiß alles, was ich brauche um die Smartwatch /Datenbrille zu benutzen.	<input type="checkbox"/>					

B.3. Ergebnistabellen

Anhang B.3.3.

Wiederholte Kontraste Ausführungsfehler nach Durchgang und Bedingung

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Kontraste Wiederholt				
Durchgang 1 - 2	1.107	5.835	0.017*	0.05
Durchgang 2 - 3	1.107	9.974	0.002*	0.09
Durchgang 1-2 x Gruppe	2.107	2.647	0.075	0.05
Durchgang 2-3 x Gruppe	2.107	4.645	0.012*	0.08

Anmerkung. * $p < .05$, ** $p < .001$

Anhang B.3.4.

Paarweise Vergleiche Bearbeitungszeit nach Durchgang und Bedingung (Bonferroni adjustiert)

	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Zwischensubjekt-Gruppenunterschiede pro Durchgang</u>				
Durchgang 1				
Kontrollgruppe - Smartwatch	2.05	0.42	0.000**	1.01, 3.08
Kontrollgruppe – Smartglasses	2.19	0.38	0.000**	1.27, 3.11
Smartwatch - Smartglasses	0.14	0.39	1.000	-0.81, 1.10
Durchgang 2				
Kontrollgruppe - Smartwatch	1.14	0.25	0.000**	0.54, 1.73
Kontrollgruppe – Smartglasses	1.53	0.22	0.000**	1.00, 2.06
Smartwatch - Smartglasses	0.39	0.23	0.261	-0.16, 0.94
Durchgang 3				
Kontrollgruppe - Smartwatch	0.36	0.40	1.000	-0.61, 1.33
Kontrollgruppe – Smartglasses	0.32	0.35	1.000	-0.54, 1.18
Smartwatch - Smartglasses	-0.04	0.37	1.000	-0.93, 0.86

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, * $p < .05$, ** $p < .001$, 1 = signifikanter Anstieg der
 Ausführungsfehler unter Ausschluss der Ausreißer

B. ANHANG STUDIE 2

Anhang B.3.4.

Paarweise Vergleiche Bearbeitungszeit nach Durchgang und Bedingung (Bonferroni adjustiert)

	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
Innersubjekt-Unterschiede zwischen Durchgang 1 und Durchgang 2 innerhalb der Gruppen				
Kontrollgruppe	0.91	0.29	0.006*	0.21, 1.60
Smartwatch	0.00	0.30	1.000	-0.74, 0.74
Smartglasses	0.25	0.24	0.880	-0.33, 0.83
Innersubjekt-Unterschiede zwischen Durchgang 2 und Durchgang 3 innerhalb der Gruppen				
Kontrollgruppe	0.12	0.3	1.000	-0.62, 0.86
Smartwatch	-0.66	0.32	0.139	-1.45, 0.14
Smartglasses	-1.08	0.25	0.000**	-1.70, -0.47

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001, 1 = signifikanter Anstieg der
 Ausführungsfehler unter Ausschluss der Ausreißer

Anhang B.3.5.

Kontraste Bearbeitungszeit nach Durchgang und Bedingung

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Durchgang 1 - 2	1.107	121.43	0.000**	0.53
Durchgang 2 - 3	1.107	102.92	0.000**	0.49
Durchgang 1-2 x Gruppe	2.107	3.88	0.024*	0.07
Durchgang 2-3 x Gruppe	2.107	13.71	0.000**	0.20

Anmerkung. **p* < .05, ***p* < .001

Anhang B.3.6.

Paarweise Vergleiche Ausführungsfehler nach Durchgang und Bedingung (Bonferroni adjustiert)

	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Zwischensubjekt-Gruppenunterschiede pro Durchgang</u>				
Durchgang 1				
Kontrollgruppe - Smartwatch	35.09	20.28	0.259	-14.23, 84.40
Kontrollgruppe – Smartglasses	-7.95	18.01	1.000	-51.76, 35.87
Smartwatch - Smartglasses	-43.03	18.74	0.071	-88.60, 2.54
Durchgang 2				
Kontrollgruppe - Smartwatch	-1.54	11.33	1.000	-29.09, 26.02
Kontrollgruppe – Smartglasses	-14.62	10.06	0.448	-39.10, 9.86
Smartwatch - Smartglasses	-13.09	10.47	0.642	-38.55, 12.37
Durchgang 3				
Kontrollgruppe - Smartwatch	13.45	11.01	0.673	-13.32, 40.23
Kontrollgruppe – Smartglasses	20.62	9.78	0.112	-3.17, 44.41
Smartwatch - Smartglasses	7.17	10.17	1.000	-17.57, 31.91
<u>Innersubjekt-Unterschiede zwischen Durchgang 1 und Durchgang 2 innerhalb der Gruppen</u>				
Kontrollgruppe	73.76	9.61	0.000**	50.39, 97.13
Smartwatch	37.14	10.25	0.001*	12.21, 62.07
Smartglasses	67.08	7.97	0.000**	47.71, 86.46
<u>Innersubjekt-Unterschiede zwischen Durchgang 2 und Durchgang 3 innerhalb der Gruppen</u>				
Kontrollgruppe	13.15	5.26	0.042*	0.36, 25.94
Smartwatch	28.14	5.61	0.000**	14.49, 41.78
Smartglasses	48.40	4.36	0.000**	37.79, 59.00

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001, 1 = signifikanter Anstieg der
Ausführungsfehler unter Ausschluss der Ausreißer

B. ANHANG STUDIE 2

Anhang B.3.7.

Paarweise Vergleiche Beschwerden nach Bedingung (Bonferroni adjustiert)

	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede pro Art der Beschwerden</u>				
<u>Generelle Beschwerden</u>				
Kontrollgruppe - Smartwatch	0.22	0.14	0.391	-0.13, 0.56
Kontrollgruppe – Smartglasses	–0.25	0.13	0.175	-0.56, 0.07
Smartwatch - Smartglasses	–0.46	0.14	0.004*	-0.80, -0.12
<u>Augenbeschwerden</u>				
Kontrollgruppe - Smartwatch	0.12	0.18	1.000	-0.33, 0.57
Kontrollgruppe – Smartglasses	–0.69	0.17	0.000**	-1.10, -0.28
Smartwatch - Smartglasses	–0.81	0.18	0.000**	-1.25, -0.37
<u>Unterschiede generelle und Augenbeschwerden innerhalb der Gruppen</u>				
Kontrollgruppe	0.17	0.07	0.022*	0.03, 0.32
Smartwatch	0.08	0.08	0.373	-0.09, 0.24
Smartglasses	–0.27	0.07	0.000**	-0.41, -0.13

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

Anhang B.3.8.

Univariate Tests zwischen Smartglasses und Smartwatch auf den Diskomfort Dimensionen (Bonferroni adjustiert)

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Unterschiede zwischen Smartglasses und Smartwatch auf den Diskomfort Dimensionen				
Aussehen	1.93	6.52	0.012*	0.07
Gewicht	1.93	7.39	0.008*	0.07
Befestigung am Körper	1.93	11.84	0.001*	0.11
Unangenehm zu tragen	1.93	8.32	0.005*	0.08
Körperlicher Einfluss	1.93	7.93	0.006*	0.08
Unsicherheit	1.93	3.52	0.064	0.04
Einfluss auf Bewegung	1.93	6.37	0.013*	0.06

Anmerkung. **p* < .05, ***p* < .001

Anhang B.3.9.

Deskriptive Statistiken Einzelfragen Beanspruchung nach Bedingung

Einzelfrage	Gruppe	<i>M</i>	<i>SD</i>
Insgesamt waren es mir zu viele Informationen auf einmal (1).	Kontrollgruppe	2.61	1.30
	Smartwatch	1.70	1.08
	Smartglasses	2.09	1.35
Ich bin manchmal an Teilen der Karosse angestoßen oder hängengeblieben (2).	Kontrollgruppe	2.24	1.66
	Smartwatch	2.56	1.84
	Smartglasses	1.60	1.11
Ich hatte Bedenken die Karosse versehentlich zu beschädigen (3).	Kontrollgruppe	2.45	1.47
	Smartwatch	4.45	1.27
	Smartglasses	3.18	1.50
Das Gewicht der Smartwatch/ Smartglasses war störend (4).	Smartwatch	1.96	1.38
	Smartglasses	2.54	1.38
Die Form der Smartwatch/ Smartglasses war störend (5).	Smartwatch	1.97	1.10
	Smartglasses	2.59	1.26
Die Smartwatch/ Smartglasses hat bei der Montage gestört (6).	Smartwatch	2.26	1.37
	Smartglasses	2.82	1.42
Die Bedienung hat mich aufgehalten. Dadurch war ich langsamer (7).	Smartwatch	3.63	1.60
	Smartglasses	4.50	1.44

Anmerkung. *M* = Mittelwert, *SD* = Standardabweichung

Weitere Nutzungsbarrieren

Zusätzlich wurden explorative Einzelfragen zur Beanspruchung gestellt, deren deskriptive Daten Tabelle B.3.9 zeigt. Diese ergeben, dass durch Wearable Devices keine erhöhten Beanspruchungen im Vergleich zur Kontrollgruppe auftraten.

Wahrnehmung (1). Die wahrgenommene Menge zu beachtender Informationen wurde durch Wearable Devices im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert, $F(1, 92) = 6.44, p = .002, \eta^2 = .08$. Die Smartwatch reduziert die Informationsmenge gegenüber der Kontrollgruppe ($p < .001$). Smartglasses und Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht ($p > .05$).

Kollision (2). Bei der Montage ist die Kontrollgruppe vergleichbar häufig an der Karosse angestoßen wie bei Nutzung der Wearable Devices ($p > .05$). Mit Smartwatch wurde öfters angestoßen als mit Smartglasses ($p = .004, F(2, 135) = 10.80, p = .012, \eta^2 = .06$).

Bedenken (3). Gleichzeitig hatten die Nutzer der Wearable Devices größere Bedenken an die Karosse anzustoßen als die Kontrollgruppe, $F(2, 128) = 19.19, p < .001, \eta^2 = .23$. So-wohl Smartwatch ($p < .001$) als auch Smartglasses ($p = .047$) steigerten die Bedenken, wobei die Smartwatch diese in stärkerem Maße steigerte als die Smartglasses ($p < .001$).

Gewicht und Form als Störfaktoren (4, 5, 6). Das Gewicht ($F[1, 100] = 4.46, p = .037, \eta^2 = .04$) und die Form ($F[1, 92] = 5.96, p = .017, \eta^2 = .06$) der Smartglasses störten im Vergleich zur Smartwatch stärker bei der Montage. Die Geräte wurden nicht als starker Störfaktor bei der Montage wahrgenommen und unterschieden sich nicht, $F(1, 92) = 3.62, p = .06, ns$.

Bedienung (7). Die Bedienung der Smartglasses wurde als stärker aufhaltend und verlangsamer bewertet als die Bedienung der Smartwatch, $F(1, 92) = 7.52, p = .007, \eta^2 = .08$.

Anhang B.3.10.

Paarweise Vergleiche Akzeptanz (Nützlichkeit, Zufriedenheit) nach Bedingung (Bonferroni adjustiert)

Paarweise Vergleiche	Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede Nützlichkeit</u>				
Papierliste - Smartwatch	0.36	0.15	0.052	0.00, 0.73
Papierliste - Smartglasses	0.47	0.15	0.005*	0.12, 0.82
Smartwatch - Smartglasses	0.11	0.15	1.000	-0.25, 0.46
<u>Gruppenunterschiede Zufriedenheit</u>				
Papierliste - Smartwatch	0.35	0.17	0.126	-0.06, 0.76
Papierliste - Smartglasses	0.66	0.16	0.000*	0.27, 1.06
Smartwatch - Smartglasses	0.31	0.17	0.178	-0.09, 0.71
<u>Unterschiede zwischen Nützlichkeit und Zufriedenheit</u>				
Papierliste	0.24	0.07	0.000**	0.11, 0.37
Smartwatch	0.23	0.07	0.001*	0.09, 0.36
Smartglasses	0.43	0.06	0.000**	0.31, 0.56

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

B. ANHANG STUDIE 2

Anhang B.3.11.

*Gesamtmodell der UTAUT (Block 2) und Modellerweiterung (Block 3) auf Nutzungsin-
tention (AV) Studie 2*

	<i>B</i>	<i>SE b</i>	β	<i>p</i>
<u>Block 1</u>				
Konstante	0.071	0.190		0.708
Wearable Device	-0.116	0.242	-0.057	0.633
<u>Block 2</u>				
Konstante	0.069	0.172		0.688
Wearable Device	-0.078	0.220	-0.038	0.724
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.368	0.126	0.368	0.005*
Handhabung	0.006	0.113	0.006	0.959
Sozialer Einfluss	0.328	0.124	0.328	0.011*
Alter	0.038	0.123	0.038	0.758
Alter X Wahrgenommene Nützlichkeit	0.058	0.149	0.050	0.695
Alter X Handhabung	0.167	0.170	0.118	0.330
Alter X Sozialer Einfluss	0.107	0.131	0.115	0.420
Erfahrung	0.054	0.194	0.054	0.780
Erfahrung X Handhabung	-0.061	0.119	-0.086	0.612
<u>Block 3</u>				
Konstante	0.072	0.149		0.631
Wearable Device	-0.059	0.197	-0.029	0.766
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.224	0.104	0.224	0.036*
Handhabung	0.056	0.094	0.056	0.553
Sozialer Einfluss	0.261	0.098	0.261	0.010*
Alter	-0.028	0.097	-0.028	0.775
Alter X Wahrgenommene Nützlichkeit	0.122	0.116	0.104	0.301
Alter X Handhabung	0.039	0.153	0.028	0.799
Alter X Sozialer Einfluss	0.174	0.104	0.188	0.100
Erfahrung	0.187	0.154	0.187	0.230
Erfahrung X Handhabung	-0.083	0.099	-0.118	0.404
Beschwerden	-0.130	0.129	-0.130	0.316
Workload	0.126	0.087	0.126	0.154
Diskomfort	-0.303	0.124	-0.303	0.018*
Vertrauen	0.403	0.091	0.403	0.000**

Anmerkung. Block 1 (Methode: Einschluss): $R^2 = .00$, $p = .633$; Block 2 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .33$, $p = .002^*$; Block 3 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .29$, $p = .000^{**}$. $N = 73$. $*p < .05$; $**p < .001$.

C. Anhang Studie 3

C.1. In Studie 3 verwendete Fragen

Teilnehmer:

Datum:

Alter:

Instruktion.

Vielen Dank, dass Sie den Prototypen einer Smartwatch getestet haben. Bitte geben Sie Ihre Meinung zu dem Gerät sowie weitere Informationen zu Ihrer Erfahrung an. Bitte beantworten Sie jede Frage und ergänzen den Fragebogen durch Freitext.

Angaben zu Ihrer Person:

Takt: _____ Wie viele Takte können Sie? _____

Ihre Erfahrung mit Montagetätigkeiten... keine Erfahrung Sehr viel Erfahrung

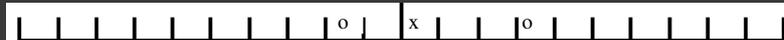
Wie viel Erfahrung haben Sie bereits mit Bandarbeit _____ Jahre _____ Monate

Wie lange sind Sie schon bei _____? _____ Jahre _____ Monate

Wie viele Stunden arbeiteten Sie etwa mit der Uhr? _____ von gesamt _____ Stunden an diesem Tag für _____ Tage

Bitte schätzen Sie die Anforderungen Ihrer Arbeit Aufgabe im Detail ein (x). Bitte schätzen Sie die Anforderungen Ihrer Arbeit bei Nutzung der Smartwatch ein (o) waren diese höher oder niedriger?

BEISPIEL



Wie stark hat die Aufgabe Sie geistig gefordert bzw. wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Erinnern, Denken, Hinsehen, Suchen, ...)?

War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?



Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich? Wie stark war die Aufgabe körperlich fordernd? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



Wie hoch war der Zeitdruck, den Sie bei der Aufgabe empfanden? Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgabenelemente auftraten oder dem Tempo der Aufgabe? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die Ziele der Aufgabe erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?



Wie hart mussten Sie arbeiten, bzw. **wie stark haben Sie sich bemüht** um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung, also Ihre Leistung, zu erreichen?



Wie frustriert, gestresst, unsicher oder entmutigt fühlten Sie sich während der Aufgabe?



C. ANHANG STUDIE 3

Insgesamt schätze ich die Smartwatch ein als ...						
Nützlich	<input type="checkbox"/>	Nutzlos				
Angenehm	<input type="checkbox"/>	Unangenehm				
Schlecht	<input type="checkbox"/>	Gut				
Nett	<input type="checkbox"/>	Nervig				
Effektiv (wirksam)	<input type="checkbox"/>	Überflüssig, unnötig				
Ärgerlich	<input type="checkbox"/>	Erfreulich				
Hilfreich	<input type="checkbox"/>	Wertlos				
Nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	Wünschenswert				
Aktivierend	<input type="checkbox"/>	Einschläfernd				

Übersetzt von Kondzior, Michael: http://www.hfes-europe.org/accept/accept_de.htm

Stellen Sie sich vor, eine Smartwatch würde regulär während der Arbeit genutzt. Was würden Sie davon halten?							
	Gar nicht					Sehr Stark	
Ich kann mich auf die Informationen verlassen, die ich von der Smartwatch erhalte.	<input type="checkbox"/>						
Ich denke, ich kann mich auf die Smartwatch verlassen.	<input type="checkbox"/>						
Ich kann mich darauf verlassen, dass ich keine Informationen übersehen würde während ich arbeite	<input type="checkbox"/>						
Ich denke, die Smartwatch ist ...	<input type="checkbox"/>						
... einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>						
... einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>						
... einfach zu verstehen.	<input type="checkbox"/>						
... nervend.	<input type="checkbox"/>						
... ablenkend.	<input type="checkbox"/>						
... praxistauglich.	<input type="checkbox"/>						
Zur Anzeige der Montageschritte/ zum Hinweis auf Sonderausstattungen würde ich die Smartwatch sofort benutzen	<input type="checkbox"/>						
Ich würde die Smartwatch gern regelmäßig zur Anzeige von Montageinformationen/ zum Hinweis auf Sonderausstattungen nutzen.	<input type="checkbox"/>						
Für die Anzeige des Montageablaufs /für andere Sonderausstattungen würde ich die Smartwatch wieder benutzen.	<input type="checkbox"/>						
Ich habe die Smartwatch verwendet	<input type="checkbox"/>						
Die Smartwatch zu benutzen würde es mir ermöglichen effektiver zu arbeiten / Sonderausstattungen effektiver zu bemerken.	<input type="checkbox"/>						
Die Smartwatch zu benutzen würde mir die Arbeit erleichtern/ erleichtern Sonderausstattungen zu erkennen. .	<input type="checkbox"/>						
Die Smartwatch zu benutzen würde es mir ermöglichen schneller zu arbeiten/ Sonderausstattungen schneller zu erkennen.	<input type="checkbox"/>						
Ich denke, meine Kollegen würden es mögen, wenn ich die Smartwatch /Datenbrille	<input type="checkbox"/>						
Ich denke, dass es einen guten Eindruck macht, wenn ich die Smartwatch /Datenbrille	<input type="checkbox"/>						
Ich weiß genug über die Smartwatch /Datenbrille um sie sinnvoll nutzen zu können.	<input type="checkbox"/>						
Ich weiß alles, was ich brauche um die Smartwatch /Datenbrille zu benutzen.	<input type="checkbox"/>						
Ich weiß genug über die Smartwatch /Datenbrille um sie sinnvoll nutzen zu können.	<input type="checkbox"/>						
Ich weiß alles, was ich brauche um die Smartwatch /Datenbrille zu benutzen.	<input type="checkbox"/>						
Alles in allem ist die Nutzung eines tragbaren Anzeigeegerätes ...							
	Eine schlechte Idee	<input type="checkbox"/>	Eine gute Idee				
	Ein unkluger Schritt	<input type="checkbox"/>	Ein weiser Schritt				
	negativ	<input type="checkbox"/>	positiv				

C. ANHANG STUDIE 3

Bitte bewerten Sie den generellen Tragekomfort der Smartwatch.																		
Ich bin besorgt darüber, wie ich aussehe, wenn ich die Smartwatch trage.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Ich merke das Gewicht der Smartwatch die ganze Zeit über.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Ich spüre die Smartwatch an meinem Körper. Ich spüre wie sich die Smartwatch bewegt, rutscht, oder wackelt, wenn ich mich bewege.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Die Smartwatch ist unangenehm zu tragen.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Ich fühle mich körperlich komisch oder anders, wenn ich die Smartwatch trage.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Ich fühle mich nicht sicher, wenn ich die Smartwatch trage.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																
Die Smartwatch beeinflusst, verändert oder beeinträchtigt die Art, wie ich mich bewege.																		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark																

Offene Fragen:

Was fanden Sie an dem Gerät gut? Was spricht dafür? _____

Was hat Sie gestört? Was spricht gegen die Smartwatch? _____

Haben Sie Verbesserungsvorschläge? Was müsste sich an dem Gerät ändern damit es besser nutzbar wird? _____

C.2. Ergebnistabellen

Anhang C.2.1.

Bonferroni adjustierte paarweise Vergleiche relativer Workload

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede im relativen Workload</u>					
OAG 1	OAG 2	–8.36	4.79	1.000	-23.15, 6.44
	OAG 3	0.98	4.02	1.000	-11.44, 13.39
	OSG 1	–1.69	4.79	1.000	-16.48, 13.10
	OSG 2	–4.61	4.33	1.000	-17.97, 8.75
	OSG 3	–14.40	4.33	0.025*	-27.76, –1.04
OAG 2	OAG 3	9.33	5.21	1.000	-6.75, 25.42
	OSG 1	6.67	5.83	1.000	-11.32, 24.65
	OSG 2	3.75	5.45	1.000	-13.07, 20.57
	OSG 3	–6.04	5.45	1.000	-22.87, 10.78
OAG 3	OSG 1	–2.67	5.21	1.000	-18.75, 13.42
	OSG 2	–5.58	4.79	1.000	-20.36, 9.19
	OSG 3	–15.38	4.79	0.035*	-30.15, –0.60
OSG 1	OSG 2	–2.92	5.45	1.000	-19.74, 13.91
	OSG 3	–12.71	5.45	0.359	-29.53, 4.12
OSG 2	OSG 3	2.92	5.45	1.000	-13.91, 19.74

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz, *CI* = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001; der relative Workload ist wurde aus Workload mit Assistenz minus Workload ohne Assistenz berechnet, sodass ein negativer Wert in dieser Analyse das Sinken des Workloads durch die Assistenz und ein positiver den Anstieg durch die Smartwatch-Assistenz repräsentiert.

C. ANHANG STUDIE 3

Anhang C.2.2.

Bonferroni adjustierte Vergleiche des Workload mit und ohne Assistenz

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede im Workload ohne Assistenz</u>					
OAG 1	OAG 2	6.40	6.59	1.000	-13.95, 26.75
	OAG 3	-10.94	5.53	0.807	-28.02, 6.14
	OSG 1	-24.71	6.59	0.007*	-45.06, -4.36
	OSG 2	-8.39	5.95	1.000	-26.77, 9.98
	OSG 3	-1.00	5.95	1.000	-19.37, 17.38
OAG 2	OAG 3	-17.33	7.17	0.291	-39.46, 4.80
	OSG 1	-31.11	8.02	0.005*	-55.85, -6.37
	OSG 2	-14.79	7.50	0.814	-37.94, 8.35
	OSG 3	-7.40	7.50	1.000	-30.54, 15.75
OAG 3	OSG 1	-13.78	7.17	0.908	-35.91, 8.35
	OSG 2	2.54	6.59	1.000	-17.79, 22.87
	OSG 3	9.94	6.59	1.000	-10.39, 30.27
OSG 1	OSG 2	16.32	7.50	0.516	-6.83, 39.46
	OSG 3	23.72	7.50	0.040*	0.57, 46.86
OSG 2	OSG 3	7.40	6.94	1.000	-14.03, 28.82
<u>Gruppenunterschiede im Workload mit Smartwatch-Assistenz</u>					
OAG 1	OAG 2	-1.96	6.88	1.000	-23.19, 19.27
	OAG 3	-9.96	5.77	1.000	-27.78, 7.86
	OSG 1	-26.41	6.88	0.005*	-47.64, -5.17
	OSG 2	-13.00	6.21	0.623	-32.17, 6.17
	OSG 3	-15.40	6.21	0.250	-34.57, 3.77
OAG 2	OAG 3	-8.00	7.48	1.000	-31.09, 15.09
	OSG 1	-24.44	8.37	0.079	-50.26, 1.37
	OSG 2	-11.04	7.82	1.000	-35.19, 13.11
	OSG 3	-13.44	7.82	1.000	-37.58, 10.71
OAG 3	OSG 1	-16.44	7.48	0.491	-39.53, 6.64
	OSG 2	-3.04	6.87	1.000	-24.25, 18.17
	OSG 3	-5.44	6.87	1.000	-26.65, 15.77
OSG 1	OSG 2	13.40	7.82	1.000	-10.74, 37.55
	OSG 3	11.01	7.82	1.000	-13.14, 35.15
OSG 2	OSG 3	-2.40	7.24	1.000	-24.75, 19.96
<u>Unterschiede zwischen Workload durch die Smartwatch-Assistenz(ohne vs. mit Assistenz)</u>					
	OAG 1	5.44	2.45	0.031*	0.52, 10.36
	OAG 2	-2.92	4.12	0.482	-11.20, 5.37
	OAG 3	6.42	3.19	0.050	0.00, 12.83
	OSG 1	3.75	4.12	0.367	-4.53, 12.03
	OSG 2	0.83	3.57	0.816	-6.34, 8.01
	OSG 3	-8.96	3.57	0.015*	-16.13, -1.79

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz, *CI* = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

C. ANHANG STUDIE 3

Anhang C.2.3.

Bonferroni adjustierte paarweise Gruppenvergleiche der Akzeptanz (Van der Laan Skala)

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede Akzeptanz Gesamt</u>					
OAG 1	OAG 2	0.57	0.30	0.920	-0.35, 1.49
	OAG 3	0.38	0.28	1.000	-0.47, 1.24
	OSG 1	-0.36	0.31	1.000	-1.32, 0.60
	OSG 2	1.00	0.30	0.022*	0.09, 1.92
	OSG 3	-0.47	0.31	1.000	-1.43, 0.49
OAG 2	OAG 3	-0.19	0.33	1.000	-1.20, 0.82
	OSG 1	-0.93	0.36	0.173	-2.03, 0.16
	OSG 2	-1.04	0.36	0.080	-2.14, 0.06
	OSG 3	0.43	0.34	1.000	-0.63, 1.49
OAG 3	OSG 1	-0.74	0.34	0.494	-1.79, 0.30
	OSG 2	-0.85	0.34	0.236	-1.89, 0.20
	OSG 3	0.62	0.33	0.922	-0.38, 1.63
OSG 1	OSG 2	-0.10	0.37	1.000	-1.24, 1.03
	OSG 3	1.37	0.36	0.005*	0.27, 2.47
OSG 2	OSG 3	1.47	0.36	0.002*	0.37, 2.57
<u>Gruppenunterschiede Nützlichkeit</u>					
OAG 1	OAG 2	0.50	0.33	1.000	-0.53, 1.53
	OAG 3	0.25	0.31	1.000	-0.72, 1.21
	OSG 1	-0.26	0.35	1.000	-1.34, 0.82
	OSG 2	-0.57	0.35	1.000	-1.65, 0.50
	OSG 3	0.90	0.33	0.145	-0.13, 1.93
OAG 2	OAG 3	-0.26	0.37	1.000	-1.38, 0.87
	OSG 1	-0.76	0.40	0.943	-1.99, 0.47
	OSG 2	-1.08	0.40	0.146	-2.31, 0.16
	OSG 3	0.40	0.39	1.000	-0.79, 1.59
OAG 3	OSG 1	-0.51	0.38	1.000	-1.68, 0.67
	OSG 2	-0.82	0.38	0.542	-1.99, 0.35
	OSG 3	0.66	0.37	1.000	-0.47, 1.78
OSG 1	OSG 2	-0.31	0.41	1.000	-1.59, 0.96
	OSG 3	1.16	0.40	0.082	-0.07, 2.39
OSG 2	OSG 3	1.48	0.40	0.008*	0.24, 2.71

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

C. ANHANG STUDIE 3

Anhang C.2.3.

Bonferroni adjustierte paarweise Gruppenvergleiche der Akzeptanz (Van der Laan Skala)

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede Zufriedenheit</u>					
OAG 1	OAG 2	0.64	0.31	0.693	-0.33, 1.61
	OAG 3	0.52	0.29	1.000	-0.38, 1.42
	OSG 1	-0.47	0.33	1.000	-1.48, 0.54
	OSG 2	-0.36	0.33	1.000	-1.37, 0.65
	OSG 3	1.11	0.31	0.013*	0.14, 2.08
OAG 2	OAG 3	-0.13	0.34	1.000	-1.18, 0.98
	OSG 1	-1.11	0.37	0.071	-2.26, 0.05
	OSG 2	-1.00	0.37	0.153	-2.15, 0.15
	OSG 3	0.47	0.36	1.000	-0.65, 1.58
OAG 3	OSG 1	-0.98	0.36	0.123	-2.08, 0.12
	OSG 2	-0.87	0.36	0.265	-1.97, 0.22
	OSG 3	0.59	0.34	1.000	-0.46, 1.65
OSG 1	OSG 2	0.11	0.39	1.000	-1.09, 1.30
	OSG 3	1.58	0.37	0.002*	0.42, 2.73
OSG 2	OSG 3	1.47	0.37	0.004*	0.31, 2.62
<u>Unterschied zwischen Nützlichkeit und Zufriedenheit innerhalb der Gruppe</u>					
	OAG 1	0.33	0.15	0.028*	0.04, 0.63
	OAG 2	0.48	0.21	0.027*	0.06, 0.89
	OAG 3	0.61	0.19	0.002*	0.23, 0.98
	OSG 1	0.13	0.22	0.567	-0.32, 0.58
	OSG 2	0.55	0.22	0.017*	0.10, 1.00
	OSG 3	0.54	0.21	0.012*	0.12, 0.96

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

Anhang C.2.4.

Bonferroni adjustierte paarweise Gruppenvergleiche der Einstellung gegenüber der Smartwatch

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
<u>Gruppenunterschiede Einstellung</u>					
OAG 1	OAG 2	0.56	0.31	1.000	-0.40, 1.52
	OAG 3	0.15	0.29	1.000	-0.74, 1.05
	OSG 1	0.07	0.33	1.000	-0.94, 1.08
	OSG 2	-0.27	0.31	1.000	-1.23, 0.69
	OSG 3	1.85	0.31	0.000**	0.89, 2.82
OAG 2	OAG 3	-0.41	0.35	1.000	-1.47, 0.66
	OSG 1	-0.49	0.38	1.000	-1.66, 0.67
	OSG 2	-0.83	0.37	0.400	-1.96, 0.29
	OSG 3	1.29	0.37	0.010*	0.17, 2.41
OAG 3	OSG 1	-0.09	0.36	1.000	-1.19, 1.02
	OSG 2	-0.43	0.35	1.000	-1.49, 0.64
	OSG 3	1.70	0.35	0.000**	0.64, 2.76
OSG 1	OSG 2	-0.34	0.38	1.000	-1.50, 0.82
	OSG 3	1.79	0.38	0.000**	0.62, 2.95
OSG 2	OSG 3	2.13	0.37	0.000**	1.00, 3.25

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

Anhang C.2.5.

*Gesamtmodell der UTAUT (Block 2) und Modellerweiterung (Block 3) auf Nutzungsin-
tention (AV)*

	<i>B</i>	<i>SE b</i>	β	<i>p</i>
<u>Block 1</u>				
Konstante	0.171	0.173		0.329
Anwendungsfall	-0.427	0.274	-0.211	0.126
<u>Block 2</u>				
Konstante	-0.016	0.095		0.867
Anwendungsfall	-0.004	0.165	-0.002	0.981
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.523	0.157	0.523	0.002*
Handhabung	-0.021	0.091	-0.021	0.819
Sozialer Einfluss	0.355	0.145	0.355	0.018*
Alter	0.050	0.117	0.050	0.668
Alter X Wahrgenommene Nützlichkeit	0.058	0.205	0.046	0.778
Alter X Handhabung	0.129	0.111	0.123	0.255
Alter X Sozialer Einfluss	-0.181	0.243	-0.153	0.461
Erfahrung	-0.026	0.103	-0.026	0.801
Erfahrung X Handhabung	-0.169	0.113	-0.153	0.143
Erfahrung X Sozialer Einfluss	0.232	0.117	0.287	0.053
<u>Block 3</u>				
Konstante	0.038	0.092		0.680
Anwendungsfall	-0.138	0.174	-0.068	0.433
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.551	0.150	0.551	0.001*
Handhabung	0.076	0.088	0.076	0.393
Sozialer Einfluss	0.400	0.141	0.400	0.007*
Alter	0.083	0.106	0.083	0.436
Alter X Wahrgenommene Nützlichkeit	0.026	0.196	0.021	0.894
Alter X Handhabung	0.163	0.101	0.155	0.116
Alter X Sozialer Einfluss	-0.221	0.219	-0.188	0.319
Erfahrung	-0.051	0.095	-0.051	0.594
Erfahrung X Handhabung	-0.229	0.103	-0.207	0.032*
Erfahrung X Sozialer Einfluss	0.328	0.109	0.405	0.005*
Relative Veränderung Workload	0.251	0.086	0.251	0.006*
Vertrauen	-0.155	0.097	-0.155	0.118
Passung zum Arbeitsprozess	0.106	0.102	0.106	0.306

Anmerkung. Block 1 (Methode: Einschluss): $R^2 = .05$, $p = .126$; Block 2 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .76$, $p < .001^{**}$; Block 3 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .05$, $p = .008^*$. $N = 55$. SD = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz, CI = Konfidenzintervall, $*p < .05$, $**p < .001$

Anhang C.2.6.

Paarweise Vergleiche der selbstberichteten Smartwatch-Nutzung (Bonferroni adjustiert)

		Mittelwertsdifferenz	<i>SD</i>	<i>p</i> adjustiert	95 % – <i>CI</i>
OAG 1	OAG 2	2.04	0.40	0.000**	0.82, 3.27
	OAG 3	-0.13	0.36	1.000	-1.23, 0.98
	OSG 1	0.38	0.40	1.000	-0.85, 1.60
	OSG 2	0.12	0.36	1.000	-0.98, 1.23
	OSG 3	1.50	0.36	0.002*	0.39, 2.61
OAG 2	OAG 3	-2.17	0.45	0.000**	-3.55, -0.78
	OSG 1	-1.67	0.48	0.016*	-3.14, -0.19
	OSG 2	-1.92	0.45	0.001*	-3.30, -0.53
	OSG 3	-0.54	0.45	1.000	-1.92, 0.84
OAG 3	OSG 1	0.50	0.45	1.000	-0.88, 1.88
	OSG 2	0.25	0.41	1.000	-1.03, 1.53
	OSG 3	1.63	0.41	0.004*	0.34, 2.91
OSG 1	OSG 2	-0.25	0.45	1.000	-1.63, 1.13
	OSG 3	1.13	0.45	0.230	-0.26, 2.51
OSG 2	OSG 3	1.38	0.41	0.0260*	0.09, 2.66

Anmerkung. *SD* = Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz,
CI = Konfidenzintervall, **p* < .05, ***p* < .001

D. Anhang Studie 4

D.1. Standardarbeitsblatt

Anhang D.1.1.

Standardarbeitsblatt Übungskarosserie

Nr.	Arbeitsschritte Standardarbeitsblatt
1	Abstandhalter (Rändelschraube) an Frontklappe einfädeln
2	Montageschutz-Abstandhalter (orange) an der Frontklappe einrasten
3	Montageschoner auf Seitenwand setzen und einrasten
4	Fond-Heizkanal im Fußraum einfädeln
5	Gegenstück des Fond-Heizkanals anstecken
6	Zentralbass einsetzen
7	Stecker für Zentralbass stecken
8	Teppichschoner verlegen (Trittschutz über Zentralbass)
9	Verdeck-Verriegelung mit 3x Linsenkopfschrauben (M6) verschrauben
10	4 x Stopfen (D-20) im Fußraum setzen
11	Masse-Kamm im Fußraum verschrauben
12	7x Stopfen (D-20) am Seitenschweller verbauen
13	Verdeck-Halteplatte an innerer hinterer Seitenwand anfädeln (2 x Sechskant-schrauben mit Scheibe M8)
14	Stoßdämpfer durch hinteres Radhaus verschrauben (3x Kombi-ASA-Schraube M8)
15	Zwangsentlüftung an hinterer Seitenwand verrasten
16	1 x Stopfen (D-12) unter Heckleuchte verbauen
17	Stecker an Heckleuchte anstecken
18	Heckleuchten-Kombination am Heck einsetzen und mit 3 x Muttern (M5) von innen an Karosse verschrauben und 2 x Stecker innen an Heckleuchte stecken
19	Dämmplatte für Crashelement aufstecken

D.2. In Studie 4 verwendete Fragen

Instruktion

Datum: _____ Schicht: Früh Spät TN_Nr.: _____

Vielen Dank, dass Sie an diesem Fragebogen teilnehmen. Mit dessen Hilfe und Ihrer Mitwirkung untersuchen wir im Rahmen zweier Doktorarbeiten die Eignung von Wearable Devices (am Körper getragene Anzeigegeräte) und kooperativen Robotern (Roboter, die mit Mitarbeitern am selben Arbeitsplatz arbeiten). Dafür bitten wir Sie einen Fragebogen auszufüllen. Der Fragebogen besteht aus zwei kurzen Blöcken (Tag 1: 15 Minuten, Tag 2: 20 Minuten). Dieser bezieht sich auf Sie und Ihre Meinung, es gibt kein Richtig oder Falsch.

Bitte lassen Sie keine Frage aus! Sollten Ihnen einige Fragen schwer zu beantworten erscheinen, dann beantworten Sie diese bitte so wie es für Sie am ehesten zutrifft oder fragen Sie nach.

Fragen zu Ihrer Person

Alter: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Wie lange arbeiten Sie schon für [REDACTED]? _____Jahre _____Monate

Beruflicher Hintergrund Handwerk: Ja Nein

Wie viel Erfahrung haben Sie mit Montagetätigkeiten? keine sehr viel

Haben Sie Erfahrungen mit Wearable Devices (z.B. Smartwatch, Datenbrille)? keine sehr viel

Nun folgen einige Fragen zu Wearable Devices. Diese am Körper getragenen Anzeigegeräte (z.B. Datenbrille, Smartwatch) ermöglichen arbeitsrelevante Informationen „am Mann“ zu haben, während die Hände zum Arbeiten frei bleiben. Durch die Anzeige von Montageanleitungen kann das Anlernen unterstützt werden, die Anzeige von Listen kann Prüfvorgänge unterstützen. Auch können die Geräte eingesetzt werden um auf Sonderausstattungen und andere Besonderheiten im Prozess hinzuweisen.

D. ANHANG STUDIE 4

Stellen Sie sich vor, ein Wearable Device wird zum Anlernen im Trainingscenter eingesetzt bzw. in Ihrem Bereich. Was würden Sie davon halten? Was halten Sie von den Geräten?	
	Gar nicht Sehr stark
Ich könnte mich auf die Informationen verlassen, die ich von dem Wearable Device erhalte.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, ich könnte mich auf das Wearable Device verlassen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich könnte mich darauf verlassen, dass ich keine Informationen übersehen würde, während ich arbeite.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, ein Wearable Device wäre ...	
... einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... einfach zu verstehen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... nervend.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... ablenkend.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... praxistauglich.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich würde Wearable Devices gern regelmäßig zum Anlernen nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Zum Lernen neuer Takte würde ich sofort ein Wearable Device benutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich würde ein Wearable Device gern immer zum Lernen eines neuen Taktes nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich plane ein Wearable Device für das Lernen des nächsten Taktes zu nutzen, wenn es verfügbar ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Für einen Hinweis auf Verbauinformationen, würde ich ein Wearable Device nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir ermöglichen, neue Aufgaben effektiver zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir erleichtern, neue Aufgaben zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir ermöglichen, neue Aufgaben schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, meine Kollegen würden es mögen, wenn ich ein Wearable Device benutze.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, dass es einen guten Eindruck macht, wenn ich ein Wearable Device benutze.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Instruktion

Datum: _____ **Schicht:** Früh Spät **TN_Nr.:** _____

Vielen Dank, dass Sie auch am zweiten Teil des Fragebogens teilnehmen.

Stellen Sie sich vor, Sie hätten ein Wearable Device (am Körper getragenes Anzeigerät) für die Montage der Übungskarosse bzw. zum Anlernen zur Verfügung, welches die Montageanleitung anzeigt. Bitte bewerten Sie dazu die folgenden Aussagen. Auch hier gilt: Wenden Sie sich bei Fragen bitte an die Versuchsleitung.

Stellen Sie sich vor, ein Wearable Device wird zum Anlernen im Trainingscenter eingesetzt bzw. in Ihrem Bereich. Was würden Sie davon halten? Was halten Sie von den Geräten?	
	Gar nicht Sehr stark
Ich könnte mich auf die Informationen verlassen, die ich von dem Wearable Device erhalte.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, ich könnte mich auf das Wearable Device verlassen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich könnte mich darauf verlassen, dass ich keine Informationen übersehen würde, während ich arbeite.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, ein Wearable Device wäre ...	
... einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... einfach zu verstehen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... nervend.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... ablenkend.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
... praxistauglich.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich würde Wearable Devices gern regelmäßig zum Anlernen nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Zum Lernen neuer Takte würde ich sofort ein Wearable Device benutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich würde ein Wearable Device gern immer zum Lernen eines neuen Taktes nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich plane ein Wearable Device für das Lernen des nächsten Taktes zu nutzen, wenn es verfügbar ist.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Für einen Hinweis auf Verbauinformationen, würde ich ein Wearable Device nutzen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir ermöglichen, neue Aufgaben effektiver zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir erleichtern, neue Aufgaben zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ein Wearable Device zu benutzen, würde es mir ermöglichen, neue Aufgaben schneller zu lernen.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, meine Kollegen würden es mögen, wenn ich ein Wearable Device benutze.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Ich denke, dass es einen guten Eindruck macht, wenn ich ein Wearable Device benutze.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

D. ANHANG STUDIE 4

Bitte schätzen Sie die Aufgabe der Montage der Übungskarosse im Detail ein.		
Wie stark hat die Aufgabe Sie geistig gefordert bzw. wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Erinnern, Denken, Hinsehen, Suchen, ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?		
Gar nicht		Sehr stark
Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich? Wie stark war die Aufgabe körperlich fordernd? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?		
Gar nicht		Sehr stark
Wie hoch war der Zeitdruck , den Sie bei der Aufgabe empfanden? Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?		
Gar nicht		Sehr stark
Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die Ziele der Aufgabe erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?		
Gar nicht		Sehr stark
Wie hart mussten Sie arbeiten, bzw. wie stark haben Sie sich bemüht um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung, also Ihre Leistung, zu erreichen?		
Gar nicht		Sehr stark
Wie frustriert, gestresst, unsicher oder entmutigt fühlten Sie sich während der Aufgabe?		
Gar nicht		Sehr stark

Bitte bewerten Sie, wie Sie sich den generellen Tragekomfort der Wearable Devices vorstellen.		
Ich wäre besorgt darüber, wie ich aussehe, wenn ich ein Wearable Device trage.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Ich würde das Gewicht des Wearable Devices die ganze Zeit über merken.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Ich würde das Wearable Device an meinem Körper spüren. Ich würde spüren wie sich die Wearable Devices bewegen, rutschen, oder wackeln, wenn ich mich bewege.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Das Wearable Device wäre unangenehm zu tragen.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Ich würde mich körperlich komisch oder anders fühle, wenn ich ein Wearable Device trage.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Ich würde mich nicht sicher fühlen, wenn ich ein Wearable Device trage.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark
Ein Wearable Device würde die Art, wie ich mich bewege beeinflussen, verändern oder beeinträchtigen.		
Gar nicht	<input type="checkbox"/>	Sehr stark

D.3. Ergebnistabellen

Anhang D.3.2.

Varianzanalyse und Bonferroni korrigierte paarweise Vergleiche Innovationskonzept

		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Varianzanalyse					
UTAUT ^a		2.06, 60.77	23.38	0.000**	0.52
Zeit		1, 66	9.51	0.005*	0.30
Gruppe		1, 22	5.83	0.024*	0.21
UTAUT * Zeit		3, 66	2.10	0.600	0.11
UTAUT * Gruppe		3, 66	< 1	ns.	
Zeit * Gruppe		1, 66	< 1	ns.	
UTAUT*Zeit*Gruppe		3, 66	< 1	ns.	
Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche Kontrollgruppe vs. Informationskonzept					
Nützlichkeit	T1	1,22	2.79	0.109	0.11
	T2	1,22	4.55	0.044	0.17
Handhabbarkeit	T1	1,22	1.72	0.203	0.07
	T2	1,22	14.08	0.001	0.39
Nutzungsintention	T1	1,22	3.95	0.059	0.15
	T2	1,22	6.68	0.017	0.23
Sozialer Einfluss	T1	1,22	1.17	0.291	0.05
	T2	1,22	1.49	0.235	0.06

Anmerkung. * $p < .05$, ** $p < .001$, ^a Sphärizitätsannahme verletzt ($\hat{\epsilon} = .477$, $p = .009$) und Korrektur durch Greenhouse-Geisser Estimate

Anhang D.3.3.

Intervention (Block 1), Faktoren UTAUT (Block 2) und Modellerweiterung (Block 3) auf Nutzungsintention (AV) Studie 4

	<i>B</i>	<i>SE b</i>	β	<i>p</i>
<u>Block 1</u>				
Konstante	-0.474	0.258		0.080
Intervention	0.947	0.365	0.484	0.017
<u>Block 2</u>				
Konstante	-0.055	0.241		0.821
Intervention	0.111	0.386	0.057	0.778
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.479	0.211	0.479	0.036*
Handhabung	0.333	0.211	0.333	0.134
Sozialer Einfluss	0.14	0.239	0.14	0.565
Alter	-0.105	0.2	-0.105	0.607
Erfahrung	0.223	0.222	0.223	0.329
<u>Block 3^a</u>				
Konstante	0.15	0.181		0.422
Intervention	-0.299	0.296	-0.153	0.330
Wahrgenommene Nützlichkeit	0.499	0.167	0.499	0.010*
Handhabung	0.521	0.208	0.521	0.025*
Sozialer Einfluss	0.102	0.18	0.102	0.578
Alter	-0.26	0.162	-0.26	0.131
Erfahrung	0.399	0.186	0.399	0.050
Vertrauen	0.122	0.137	0.122	0.388
Workload	0.588	0.156	0.588	0.002*
Diskomfort	0.521	0.195	0.521	0.018*

Anmerkung. Block 1 (Methode: Einschluss): $R^2 = .23$, $p = .017^*$; Block 2 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .40$, $p = .019^*$; Block 3 (Methode: Einschluss): $\Delta R^2 = .21$, $p = .007^*$. $N = 24$. $*p < .05$; $**p < .001$. Keine Interaktionen waren signifikant und wurden daher nicht in das Modell aufgenommen

Erklärung gemäß § 5 der Promotionsordnung

Versicherung

- 5a.)** Hiermit versichere ich, daß ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.
- 5b.)** Die vorgelegte Dissertation wurde unter wissenschaftlicher Betreuung von Prof. Dr. Sebastian Pannasch an der Professur für Ingenieurpsychologie und angewandte Kognitionsforschung der Technischen Universität Dresden erstellt.
- 5c.)** Es haben keine früheren erfolglosen Promotionsverfahren stattgefunden.
- 5d.)** Die Promotionsordnung der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften der Technischen Universität Dresden, in der Fassung vom 23.02.2011, letzte Änderung 18.06.2014, wird anerkannt.

Unterschrift, Datum