1 Einleitung

„*Immer da wo händisch gearbeitet werden muss und zusätzliche Informationen benötigt werden sind Wearables im Vorteil.*" $Exp_{Qual}3$

„*Wenn der Werker an der Maschine arbeitet und Informationen von der Maschine bekommen möchte [...] dann sollen diese Informationen schnell beim Werker sein, ohne dass er Handschuhe ausziehen muss, ohne dass er an die Maschine rangehen muss, ohne dass er an das klassische Bedienpanel gehen muss.*" $Exp_{Qual}1$

Mit diesen Aussagen fassen zwei im Rahmen der vorliegenden Arbeit befragte Experten die zugrundeliegende Motivation des Einsatzes von Wearable Computern im Industriesektor zusammen. Darauf aufbauend wird in Kapitel 1.1 die Themenmotivation mitsamt der Problemstellung herausgearbeitet. Anschließend werden die daraus resultierende Zielsetzung und die Forschungsfragen in Kapitel 1.2 beschrieben. Zuletzt werden die thematische Positionierung der Arbeit mitsamt der angewandten Forschungsmethodik (Kapitel 1.3) sowie der Aufbau der Arbeit (Kapitel 1.4) erläutert.[1]

1.1 Motivation und Problemstellung

Seit einigen Jahren sind im Industriesektor neue Anstrengungen zu beobachten, bestehende (Produktions-) Systeme und Prozesse zu modernisieren (vgl. u. a. Sendler 2013, S. 1 ff.). Mit diesem als vierte industrielle Revolution bezeichneten Schritt (auch Industrie 4.0 genannt) wird das Ziel verfolgt, auch in Zukunft eine leistungs- und wettbewerbsfähige Industrie zu erhalten (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017; Russwurm 2013, S. 21 f.). In diesem Zusammenhang werden insbesondere eine zunehmende Digitalisierung der Industrieunternehmen sowie eine stärkere Vernetzung von Maschinen und Menschen angestrebt, um sog. Cyber-Physische-Systeme (CPS) zu schaffen und Smart Factories zu ermöglichen (vgl. Sendler 2013, S. 1 ff.; Huber 2013, S. 111 f.). CPS sollen dabei durch einen hohen Automatisierungsgrad und eine zunehmende Kommunikation von Maschinen untereinander (sog. Machine-to-Machine Communication; vgl. Sendler 2013, S. 11 f.) effizientere Wertschöpfungsprozesse ermöglichen ohne dabei jedoch Qualitätseinbußen hinnehmen zu müssen (vgl. Huber 2013, S. 111). Damit sollen u. a. die Nachfrage von Konsumenten[2] nach individualisierten Produkten (wie bspw. in der Automobilindustrie) befriedigt und bestehende (Produktions-)Prozesse optimiert werden (vgl. Schmidt et al. 2015, S. 16 ff.; Kagermann et al. 2013, S. 19 ff.; acatech 2015, S. 7 ff.).

Neben den Auswirkungen dieser aktuell zu beobachteten Veränderungen auf die Prozesse und Maschinen im Industriesektor, haben die daraus resultierenden modernisierten Produktionssysteme

[1] Die Inhalte in diesem Kapitel basieren auf dem Arbeitsbericht HOBERT/SCHUMANN (2017c).
[2] Aus Gründen des besseren Leseflusses wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sofern nicht anders angegeben, gelten sämtliche Personenbezeichnungen für alle Personen, jedweden Geschlechts.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

sowie die erneuerte Infrastruktur auch Auswirkungen auf die Tätigkeiten der beteiligten Mitarbeiter (vgl. Russwurm 2013, S. 33 f.; Gorecky et al. 2014, S. 289 ff.). Diese müssen durch geeignete Maßnahmen bei ihrer Arbeit in Smart Factories unterstützt werden, um im geänderten und komplexeren Arbeitsumfeld mit steigendem Qualifizierungsbedarf auch die nun erforderlichen Tätigkeiten ausführen zu können (vgl. Russwurm 2013, S. 33 f.; Borcherding 2013, S. 55 ff.). Dabei wird insbesondere durch die Verringerung der Losgrößen bei Produktionsprozessen (vgl. u. a. Spath et al. 2013, S. 41) eine höhere Flexibilität von Mitarbeitern erwartet. Diese werden dadurch zunehmen häufiger mit neuen Arbeitssituationen konfrontiert werden. Problematisch erweist sich in diesen Zusammenhang jedoch das Fehlen von geeigneten Assistenzsystemen, die zum Schulen, Einarbeiten und Unterstützen von Mitarbeitern bei der Arbeit mit modernen Technologien eingesetzt werden können und die den flexibleren Arbeitssituationen gerecht werden. Bestehende Unterstützungsmöglichkeiten, wie bspw. gedruckte Handbücher oder Folien-Präsentationen, werden – vor dem Hintergrund der zunehmenden Flexibilisierung von Produktionsprozessen (vgl. u. a. Spath et al. 2013, S. 41) – als nicht ausreichend angesehen (siehe Kapitel 4.2.1). Da insbesondere ein Großteil der Beschäftigten im Industriesektor im Produktions- und Logistikumfeld tätig ist, müssen Assistenzsysteme bereitgestellt werden, die dem industriellen Arbeitsumfeld sowie den geänderten, komplexeren und flexibleren Arbeitssituationen gerecht werden. Dazu ist es notwendig, dass Assistenzsysteme zeitgleich beim Ausführen von manuellen, händischen Tätigkeiten (z. B. bei der Montage von Bauteilen) verwendet werden können.

Eine vielversprechende Möglichkeit, um freihändig benutzbare Assistenzsysteme zur Unterstützung von Mitarbeitern bereitzustellen, bietet der Einsatz von Wearable Computern (vgl. Billinghurst/Starner 1999, S. 57 ff.). Durch die zunehmende Verfügbarkeit von marktreifen (und industrietauglichen) Datenbrillen und Smartwatches (vgl. International Data Corporation 2017b, 2017a), besteht die Möglichkeit, Mitarbeiter handlungsbezogen zu unterstützen. Dies zeigt sich bereits in ersten Studien, in denen prototypische Implementierungen im Industriesektor betrachtet wurden (vgl. bspw. Daude/Weck 1997; Stocker et al. 2017). Mit Ausnahme des Anwendungsgebiets Logistik (vgl. bspw. Guo et al. 2014; Kirch/Poenicke 2014; Reif/Günthner 2009) sind dabei existierende Forschungsergebnisse auf einzelne beispielhafte Fälle limitiert, sodass übertragbare Erkenntnisse zur Gestaltung von Wearable Computer-Lösungen für den Einsatz im Industriesektor fehlen.

Aufgrund des limitierten Forschungsstands zum Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor wird in der vorliegenden Arbeit untersucht, wie Wearable Computer Mitarbeiter im Industriesektor unterstützen können. Dabei wird der Fokus sowohl auf die dafür notwendigen Einsatzgebiete, Wirkungen und Rahmenbedingungen gelegt als auch auf die Gestaltung von Anwendungen, um daraus übertragbare Gestaltungsempfehlungen ableiten zu können. Die resultierende Zielsetzung mitsamt den Forschungsfragen wird im folgenden Kapitel dargelegt.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, zu untersuchen, wie Wearable Computer im Industriesektor eingesetzt werden können, um Mitarbeiter bei ihren händischen Tätigkeiten zu unterstützen. Der Fo-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

kus der Arbeit liegt dabei einerseits auf dem Identifizieren von Einsatzmöglichkeiten, Wirkungen und Rahmenbedingungen der Technologie im Industriesektor sowie andererseits auf dem Gestalten von Wearable Computer-Anwendungen.

Ausgehend von dieser Zielstellung, werden vier Forschungskomplexe thematisiert. Um im ersten Schritt den aktuellen Forschungsstand des Themas zu erheben und die zu bearbeitenden Forschungslücken herauszuarbeiten, wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

Forschungskomplex 1: Stand der Forschung	
FF 1	Wie ist der aktuelle Forschungsstand zum Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor?

Aufbauend auf dem Erheben des aktuellen Forschungsstands werden Forschungslücken identifiziert. Diese begründen den weiteren Verlauf der Arbeit und werden durch die Forschungskomplexe „Sicht der Praxis“ und „Prototypische Gestaltung von Wearable Computer-Anwendungen“ adressiert.

Im zweiten Forschungskomplex wird die Sicht der Praxis auf den Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor empirisch erhoben. Dabei liegt der Fokus der Untersuchung insbesondere auf dem Identifizieren und Systematisieren von geeigneten Einsatzmöglichkeiten. Aufbauend darauf werden aus dem Einsatz von Wearable Computern resultierende Wirkungen abgeleitet. Abschließend werden Rahmenbindungen untersucht, die die Einführung und Nutzung von Wearable Computern in Industriebetrieben beeinflussen. Somit werden folgende Forschungsfragen beantwortet:

Forschungskomplex 2: Sicht der Praxis	
FF 2.1	Welche sinnvollen Einsatzmöglichkeiten von Wearable Computern im Industriesektor gibt es aus Sicht der Praxis?
FF 2.2	Welche Wirkungen kann der Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor erzielen?
FF 2.3	Welche Rahmenbedingungen müssen beim Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor berücksichtigt werden?

Basierend auf den empirischen Erkenntnissen wird im dritten Forschungskomplex die Gestaltung von Wearable Computer-Anwendungen untersucht. Dazu werden drei Einsatzmöglichkeiten exemplarisch analysiert, anhand derer prototypische Anwendungen konzipiert, implementiert und evaluiert werden. Damit liegt folgende Forschungsfrage dem Forschungskomplex zu Grunde:

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Forschungskomplex 3: Prototypische Gestaltung von Wearable Computer-Anwendungen	
FF 3	Wie müssen Wearable Computer-Anwendungen für den Industriesektor gestaltet werden?

Um im letzten Schritt verallgemeinerbare Ergebnisse zu erhalten, wird im vierten Forschungskomplex eine Generalisierung der Ergebnisse vorgenommen. In diesem Schritt werden eine erklärende Designtheorie für Wearable Computer-Anwendungen im Industriesektor sowie ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Wearable Computer Hardware aufgestellt. Damit wird das Ziel verfolgt, die Ergebnisse der Arbeit so aufzubereiten, dass diese auch auf weitere Problemstellungen in Wissenschaft und Praxis übertragen werden können. Dadurch wird die vierte Forschungsfrage adressiert:

Forschungskomplex 4: Generalisierung der Ergebnisse	
FF 4	Wie können die gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit generalisiert werden?

Insgesamt liefert die Arbeit damit folgende Beiträge für Wissenschaft und Praxis:

Beiträge für die Wissenschaft	Beiträge für die Praxis
– **Systematisieren des Forschungsstands** zum Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor – **Systematisieren von Einsatzmöglichkeiten, Wirkungen** und **Rahmenbedingungen** für den Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor – **Designprinzipien** und **erklärende Designtheorie** für die Gestaltung von Wearable Computer-Anwendungen für den Industriesektor	– **Übersicht über Einsatzmöglichkeiten, Wirkungen und Rahmenbedingungen** für den Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor – **Gestaltungsempfehlungen** und exemplarische Implementierung von Wearable Computer-Anwendungen für den Industriesektor – **Vorgehensmodell** für die Auswahl von Wearable Computer-Endgeräten

Tabelle 1 Beiträge der Arbeit für Wissenschaft und Praxis

1.3 Positionierung und Forschungsmethodik

Die Arbeit ist innerhalb der Forschungsdomäne des Wearable Computings positioniert. Dabei wird der Fokus der vorliegenden Arbeit auf den Anwendungsbereich des Industriesektors gelegt. Somit steht die Verbindung von technischen Konzepten des Wearable Computings mit betriebswirtschaftlichen Problemstellungen im Bereich der Industrie im Vordergrund (siehe Abbildung 1).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

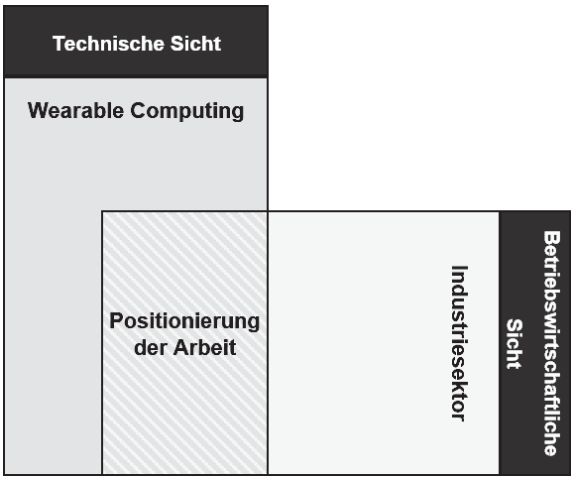

Abbildung 1 Inhaltliche Positionierung der Arbeit

Aufgrund des gewählten praxisnahen Anwendungsbezugs ist die Arbeit der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik zuzuordnen (vgl. u. a. Österle et al. 2010, S. 3 ff.). Dabei liegt der Fokus auf der Gestaltung von prototypischen Anwendungen, um daraus Gestaltungsempfehlungen ableiten zu können. Trotz des gestaltungsorientierten Fokus werden auch Forschungsmethoden angewandt, die dem erklärungsorientierten Forschungsparadigma zuzuordnen sind, sodass die Arbeit dem Methodenpluralismus der Wirtschaftsinformatik folgt (vgl. Österle et al. 2010, S. 2; Wilde/Hess 2007, S. 280). Durch den gewählten gestaltungsorientierten Ansatz zielt die Arbeit auf eine hohe Praxisrelevanz ab (vgl. Österle et al. 2010, S. 1 ff.), ohne allerdings die wissenschaftlichen Beiträge zu vernachlässigen.

Um das Forschungsziel der Arbeit zu erreichen, wird zu Beginn eine Literaturanalyse in Anlehnung an VOM BROCKE ET AL. (2009), FETTKE (2006) und WEBSTER/WATSON (2002) durchgeführt. Damit wird das Ziel verfolgt, relevante Publikationen im zu untersuchenden Themengebiet zu identifizieren und den Stand der Forschung aufzuzeigen. Durch die Diskussion der Ergebnisse werden anschließend Forschungslücken abgeleitet.

Auf dieser Basis wird eine qualitative Querschnittsanalyse durchgeführt (vgl. Wilde/Hess 2007, S. 282). Dazu werden leitfadengestützte Interviews geführt, um Einsatzmöglichkeiten, Wirkungen und Rahmenbedingungen zu identifizieren. Zum Klassifizieren der Rahmenbedingungen wird dabei das Technology-Organization-Environment-Framework von DEPIETRO ET AL. (1990) verwendet.

Unter Berücksichtigung der empirischen Erkenntnisse werden im dritten Forschungskomplex Anwendungen basierend auf dem Design Science Research Paradigma (vgl. u. a. Vaishnavi/Kuechler 2015; Gregor/Hevner 2013; Peffers et al. 2008) entwickelt. Dazu werden aufbauend auf der jeweiligen Problemstellung zuerst Anforderungen aus der zuvor durchgeführten Interviewstudie sowie auf Basis existierender Theorien (Cognitive Load Theorie, Media Synchronicity Theorie und Information Foraging Theorie; vgl. Sweller et al. 1998; Dennis/Valacich 1999; Dennis et al. 2008; Pirolli/Card 1999) abgeleitet und in Designprinzipien überführt. Auf dieser Basis wird die Prototyping-Methode angewendet, um Wearable Computer-Anwendungen zu implementieren (vgl. Leimeister 2015, S. 269). In zwei darauffolgenden Studien werden die entwickelten Prototypen anschließend evaluiert. Dazu wird zuerst ein Laborexperiment unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, um die prinzipielle Tauglichkeit

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

der Anwendungen zu untersuchen (vgl. u. a. Wilde/Hess 2007, S. 282). Anschließend werden Experten aus dem Industriesektor in einer zweiten qualitativen Evaluationsstudie befragt.

Zum Generalisieren der Ergebnisse werden die zuvor gewonnenen Erkenntnisse verwendet, um eine erklärende Designtheorie sowie ein Vorgehensmodell zur Endgeräteauswahl abzuleiten.

Tabelle 2 fasst die wissenschaftliche Positionierung der Arbeit zusammen.

FF	Paradigma	Methode	Theorien & Modelle
1	Erklärungsorientiert	Literaturanalyse	–
2.1 2.2 2.3	Erklärungs- und Gestaltungsorientiert	Qualitative Querschnittsanalyse	Technology-Organization-Environment-Framework
3	Gestaltungsorientiert	Design Science Research: – Prototyping – Laborexperiment – Qualitative Querschnittsanalyse	– Cognitive Load Theorie – Media Synchronicity Theorie – Information Foraging Theorie – Technology Acceptance Model
4	Gestaltungsorientiert	Argumentatives Schließen	Erklärende Designtheorie

Tabelle 2 Wissenschaftliche Positionierung der Arbeit

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist wie in Abbildung 2 dargestellt in sieben Kapitel untergliedert. Im Anschluss an die Einleitung werden in Kapitel 2 die Grundlagen der zu bearbeitenden Problemstellung dargelegt. Dabei werden die technischen Grundlagen zu Wearable Computern erläutert sowie der Anwendungsbereich des Industriesektors thematisiert.

Aufbauend darauf wird in Kapitel 3 der erste Forschungskomplex adressiert, indem der aktuelle Stand der Forschung zum Einsatz von Wearable Computern im Industriesektor untersucht wird. Auf dieser Basis werden Forschungslücken aufgezeigt, welche die Forschungsagenda für die vorliegende Arbeit begründen.

In Kapitel 4 werden die drei Forschungsfragen des zweiten Forschungskomplexes untersucht. Dazu werden Einsatzgebiete, Wirkungen und Rahmenbedingungen des Einsatzes von Wearable Computern im Industriesektor mit Hilfe einer qualitativen Expertenbefragung erhoben und systematisiert.

Unter Berücksichtigung der zuvor identifizierten Einsatzgebiete werden in Kapitel 5 drei prototypische Wearable Computer-Anwendungen beschrieben. Die erste Anwendung – die LearningGlasses App – adressiert das Vermitteln von händischem Handlungswissen, indem Mitarbeitern Schritt-für-Schritt Anleitungen über eine Datenbrille dargestellt werden. Die RemoteGlasses App dient zum Durchführen von Remote-Unterstützungstätigkeiten (z. B. Fernwartungsaufgaben). Dazu stellt sie eine Verbindung zwischen einem Mitarbeiter im Industrieunternehmen und einem erfahrenen Experten her. Die dritte Anwendung – die SensorWatch und SensorGlasses App – unterstützt Mitarbeiter, indem Sensordaten von Industriemaschinen in Echtzeit auf einer Smartwatch oder einer Datenbrille visualisiert werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die in Kapitel 4 und Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend in Kapitel 6 generalisiert, um eine einfache Übertragung auf andere Problemstellungen in Wissenschaft und Praxis zu ermöglichen. Dabei wird einerseits eine Designtheorie zum Gestalten von Wearable Computer-Anwendungen im Industriesektor aufgestellt. Andererseits wird ein Vorgehensmodell zum Auswählen geeigneter Hardwaremodelle beschrieben.

Abschließend werden in Kapitel 7 die zentralen Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Dabei werden Implikationen für Wissenschaft und Praxis dargelegt und zukünftige Forschungsmöglichkeiten aufgezeigt.

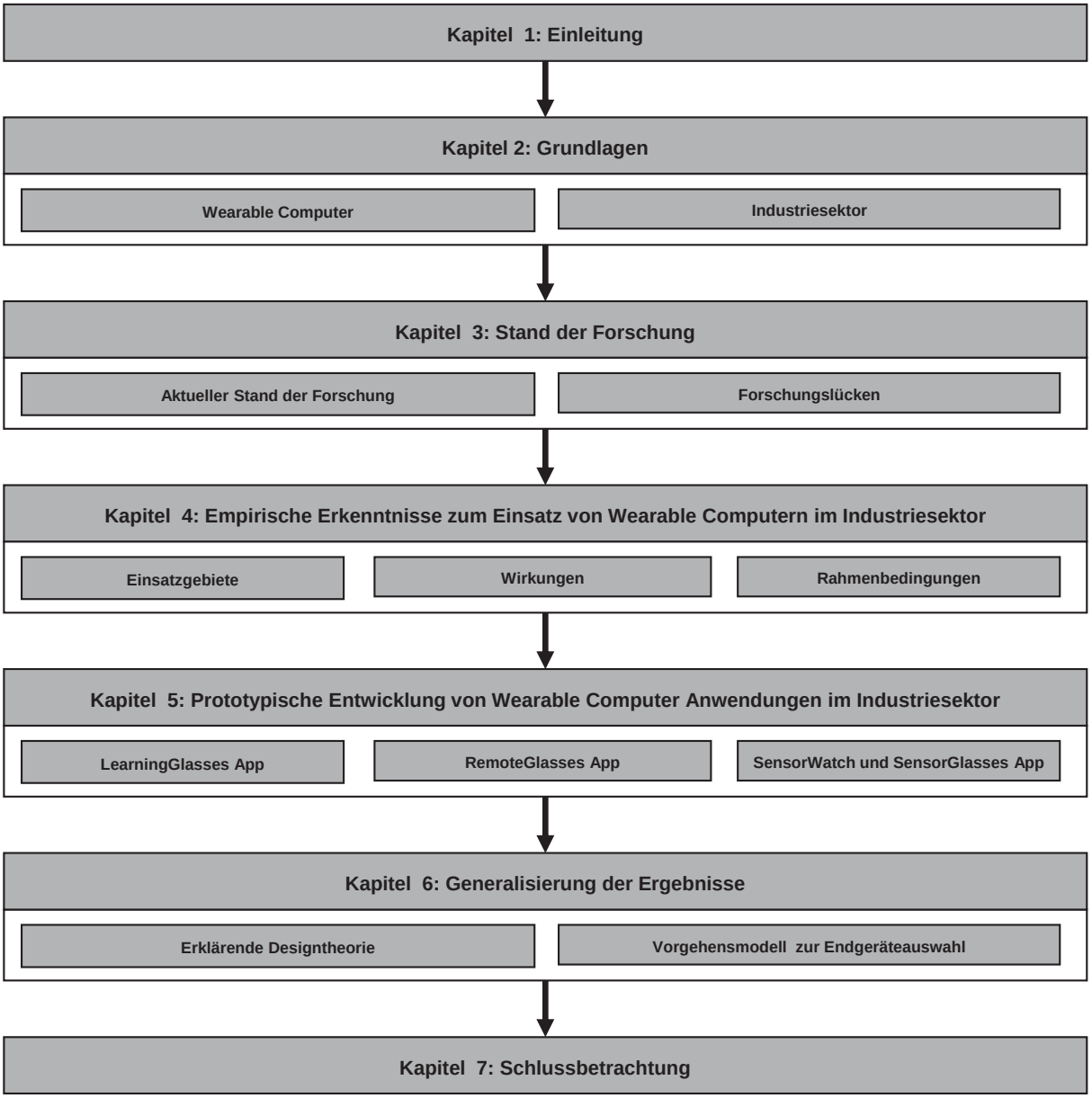

Abbildung 2 Aufbau der Arbeit

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2 Grundlagen

In den folgenden Unterkapiteln werden die fachlichen Grundlagen der vorliegenden Arbeit erläutert. Dazu wird in Kapitel 2.1 der Begriff Wearable Computer betrachtet. Anschließend wird der dieser Arbeit zugrundeliegende Kontext – der Industriesektor – in Kapitel 2.2 definiert und abgegrenzt.[3]

2.1 Wearable Computer

Im Folgenden wird in Kapitel 2.1.1 eine Definition des Begriffs Wearable Computer aufbauend auf der Diskussion bestehender Definitionen erarbeitet, bevor verschiedene Endgerätetypen in Kapitel 2.1.2 gegenübergestellt und von anderen Technologien abgegrenzt werden. Abschließend werden in Kapitel 2.1.3 auf Wearable Computern laufende Augmented Reality Anwendungen thematisiert.

2.1.1 Definition und Nutzungscharakteristika

In der wissenschaftlichen Literatur sind eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs *Wearable Computer* vorhanden, die sich insbesondere im betrachteten Fokus als auch in den zugrundeliegenden Eigenschaften unterscheiden. Einen Überblick über ausgewählte Definitionen des Begriffs liefert Tabelle 3.

Quelle	Definition
Rhodes (1997, S. 218)	„*The fuzzy definition of a wearable computer is that it is a computer that is always with you, is comfortable and easy to keep and use, and is as unobtrusive as clothing. […] A more specific definition is that wearable computers have many of the following characteristics: Portable while operational […] Hands-free use […] Sensors […] 'Proactive' […] Always on, always running […]. A wearable computer user's primary task is not using the computer, it is dealing with their environment with the computer in a secondary support role.*“
MANN (1998)	„*A wearable computer is a computer that is subsumed into the personal space of the user, controlled by the user, and has both operational and interactional constancy, i.e. is always on and always accessible. Most notably, it is a device that is always with the user, and into which the user can always enter commands and execute a set of such entered commands, and in which the user can do so while walking around or doing other activities.*“

[3] Die Inhalte in diesem Kapitel basieren auf dem Arbeitsbericht HOBERT/SCHUMANN (2017c).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

STARNER (2001, S. 46)	„*Ideally, a wearable should have several key attributes. Persist and provide constant access to information services. […] Sense and model context […] Adapt interaction modalities based on the user's context […] Augment and mediate interactions with the user's environment […].*“
WITT (2007, S. 13 f.)	„*A wearable system consists of the wearable hardware and a software running on the hardware. A system considered to be a wearable computer system typically has the following properties and constraints: Limited Capabilities […] Operation Constancy […] Seamless Environment Integration […] Context-Awareness […] Adapted Interaction […].*“
DVORAK (2008, S. 47)	„*A wearable system is a collection of devices worn on a person's body that seamlessly, and always under the control of the user, collaborate to assist the user in everyday tasks. These devices, both separately and together, have little or no Operational Inertia and are proactive and non-intrusive in their operation. The user employs these devices in an almost unconscious manner, realizing an increase in the quality of life.*“

Tabelle 3 Ausgewählte Definitionen von Wearable Computern

Allen dargestellten Definitionen ist gemeinsam, dass Wearable Computer (auch als *Wearables* oder *Wearable System* bezeichnet) als am Körper getragene Endgeräte definiert werden, die dauerhaft aktiv und jederzeit verfügbar sind. Sie können gemäß den Definitionen vom Benutzer freihändig verwendet werden. Auch wenn die Definitionen in diesen Teilen übereinstimmen, so unterscheiden sie sich jedoch hinsichtlich der von den jeweiligen Autoren gewählten Perspektive: Während Autoren in älteren Publikationen, wie bspw. RHODES (1997, S. 218), MANN (1998) oder STARNER (2001, S. 46), den Fokus auf die zugrundeliegende Hardware legen, wird in neueren Definitionen der Schwerpunkt hin zu einer Kombination von Hard- und Software verschoben (vgl. Witt 2007, 13 f.). Damit werden Wearable Computer nicht mehr ausschließlich als Zusammenstellung von Hardwarekomponenten verstanden, sondern die durch Software bereitgestellten Funktionalitäten für den jeweiligen Benutzer werden in den Vordergrund gestellt (vgl. Dvorak 2008, S. 47; Witt 2007, 13 f.). Dies zeigt sich auch darin, dass bspw. DVORAK (2008, S. 47) den Fokus seiner Definition von Wearable Systems auf die Unterstützung des Benutzers bei dessen alltäglichen Tätigkeiten legt.

Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Definitionen wird der Begriff Wearable Computer in dieser Arbeit wie folgt definiert:

Wearable Computer sind eigenständige Endgeräte, die dauerhaft am Körper getragen werden und zu jeder Zeit eine beiläufige und freihändige Nutzung und Interaktion mit dem Benutzer ermöglichen. Durch auf dem Endgerät installierbare Softwareanwendungen kann der Funktionsumfang von Wearable Computern erweitert werden. Diese können Nutzer bei der Ausübung von (alltäglichen) Tätigkeiten oder (Arbeits-) Abläufen unterstützen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Aufbauend auf dieser Arbeitsdefinition lassen sich wesentliche **Eigenschaften** von Wearable Computern ableiten. Bedingt dadurch, dass Wearable Computer dauerhaft am menschlichen Körper getragen werden (vgl. u. a. Rhodes 1997, S. 218), ist ein *kleiner Formfaktor* essentiell. Dabei müssen sämtliche Computer-Komponenten in das Endgerät integriert sein: Insbesondere benötigt ein Wearable Computer eine *eigenständige Stromversorgung*, damit zu jeder Zeit eine beiläufige und freihändige Nutzung ermöglicht werden kann. Weiterhin müssen Wearable Computer geeignete *Ein- und Ausgabemöglichkeiten* bereitstellen (vgl. Mann 1998), um diese Nutzung zu ermöglichen. Als *Eingabemöglichkeiten* haben sich Spracheingaben sowie (oftmals eingeschränkte) Toucheingaben über Touchscreens oder -pads etabliert (vgl. Starner 2016, S. 17; Witt 2007, S. 50 ff.). Zudem verfügen aktuell am Markt erhältliche Wearable Computer oftmals über Sensoren, um weitere Daten erheben zu können (vgl. Witt 2007, S. 49). Beispielhafte Sensoren, die üblicherweise in Wearable Computern verbaut sind, sind Global Positioning System (GPS)-Empfänger oder Beschleunigungssensoren. Einige Wearable Computer verfügen zudem über Kameras, um Bilder und Videos aufnehmen zu können. Als Ausgabemöglichkeiten stellen Wearable Computer i. d. R. kleine Displays und die Möglichkeit der Audioausgabe bereit. Dabei kann die Tonausgabe über einen integrierten Lautsprecher oder über eine Bluetooth- oder Kabelverbindung an einen externen Kopfhörer bzw. Lautsprecher erfolgen. Weiterhin ist der Einsatz von haptischem Feedback in Form von Vibrationen üblich, um die Aufmerksamkeit des Benutzers auf den Wearable Computer zu lenken. Als letzte zentrale Eigenschaft ist die *Konnektivität zu anderen Systemen* zu nennen. Dabei setzen Wearable Computer i. d. R. Bluetooth ein, um mit anderen portablen Endgeräten (z. B. Smartphones oder Tablets) zu kommunizieren (vgl. Rawassizadeh et al. 2014, S. 46). Zudem verfügen Wearable Computer häufig über WLAN, um auch selbstständig Netzwerkverbindungen aufbauen zu können. In wenigen Fällen besitzen Wearable Computer auch GSM-, UMTS- oder LTE-Module, um Netzwerkverbindungen über das Handynetz zu ermöglichen (vgl. bspw. Samsung 2017).

Aufbauend auf der zuvor beschriebenen Arbeitsdefinition, den Hardwareeigenschaften sowie der Möglichkeit den Funktionsumfang durch Softwareanwendungen zu erweitern, lassen sich folgende **Nutzungscharakteristika** von Wearable Computern ableiten (vgl. u. a. Rhodes 1997, S. 218; Witt 2007, S. 12):

- *Portabilität während der Benutzung sowie dauerhafte Verfügbarkeit*: Wearable Computer können aufgrund des kleinen Formfaktors dauerhaft am Körper getragen werden und sind somit während der Benutzung portabel und jederzeit verfügbar.
- *Anpassungsfähigkeit an den Kontext des Nutzers*: Aufgrund der Verfügbarkeit von Sensoren sowie Kameras können sich Wearable Computer an den physischen Umgebungskontext des Nutzers anpassen.
- *Beschränkte Interaktionsmöglichkeiten*: Auch, wenn Wearable Computer über verschiedene Ein- und Ausgabemöglichkeiten verfügen (siehe Abschnitt Eigenschaften), so sind diese üblicherweise beschränkt. Dies ist insbesondere auf den kleinen Formfaktor zurückzuführen, der nur wenige Interaktionsmöglichkeiten bereitstellen kann.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

- *Proaktive Nutzung*: Da Wearable Computer dauerhaft durch den Nutzer getragen werden, wird eine proaktive Nutzung durch das Endgerät möglich. So kann der Wearable Computer bspw. durch Vibration einer Smartwatch am Handgelenk oder durch das Einblenden von Informationen in das Blickfeld des Trägers einer Datenbrille die Aufmerksamkeit des Nutzers erhalten und diesem proaktiv Informationen bereitstellen.
- *Freihändige Bedienbarkeit*: Da Wearable Computer am Körper getragen werden, müssen sie bei der Nutzung nicht in den Händen gehalten werden. Somit ist eine freihändige Bediendung möglich.

2.1.2 Endgeräteklassifizierung

In den folgenden Unterkapiteln werden die Wearable Computer-Endgerätetypen Datenbrillen, Smartwatches sowie Smart Clothes beschrieben, gegenübergestellt und von anderen Endgerätetypen abgegrenzt.

2.1.2.1 Datenbrillen

Datenbrillen gehören wie Smartwatches zu den am Markt verfügbaren Wearable Computern (wie bspw. Google Glass oder Epson Moverio; vgl. Bendel 2016, S. 21). Da Datenbrillen dauerhaft am Kopf des Nutzers wie eine herkömmliche Brille getragen werden, werden sie auch zu den Head-Mounted Displays (HMDs) gezählt (vgl. Witt 2007, S. 40). Allerdings beinhalten Datenbrillen neben dem eigentlichen Display noch weitere Computer-Hardwarekomponenten (vgl. Bendel 2016, S. 21), wie bspw. einen Prozessor, Arbeitsspeicher und einen Akku. Über das integrierte Display können digitale Informationen in das Sichtfeld des Nutzers eingeblendet werden. Damit kann eine Augmentierung der physischen Umwelt des Trägers erreicht werden (siehe Kapitel 2.1.3; vgl. Mehler-Bicher/Steiger 2014, S. 9).

Head-Mounted Displays und somit Datenbrillen existieren je nach technischem Aufbau in zwei verschiedenen Ausprägungen (vgl. Broll 2013, S. 247 ff.; vgl. Witt 2007, S. 40 f.): Video-See-Through-Displays nehmen mittels integrierter Kamera die direkte Umgebung des Nutzers auf und zeigen diese auf dem digitalen Display an. Die Darstellung des Kamerabildes kann dabei durch zusätzlich hinzugefügte virtuelle Objekte überlagert werden. Im Gegensatz dazu ist bei Optical-See-Through-Displays keine Videoaufnahme der Umgebung erforderlich, da diese dem Benutzer nicht dargestellt werden muss. Vielmehr sind Optical-See-Through-Displays transparent, sodass Nutzer durch das Display die reale Umgebung erkennen können. Eine Augmentierung wird dadurch erreicht, dass nur der virtuelle Gegenstand auf dem Display dargestellt wird – das Kamerabild wird somit nicht benötigt.

Während Optical-See-Through-Displays derzeit in der Mehrzahl der Datenbrillen eingesetzt werden (z. B. Google Glass oder Epson Moverio Brillen), werden Video-See-Through-Displays üblicherweise zum Aufbau vollständig virtueller Realitäten eingesetzt, die in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet werden (siehe Kapitel 2.1.2.4).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2.1.2.2 Smartwatches

Unter Smartwatches (auch Wrist-Mounted Wearable Computer; vgl. u. a. Rawassizadeh et al. 2014) werden digitale Armbanduhren verstanden, die um einen Touchscreen sowie weitere Computerhardware (z. B. Prozessor und Akku) erweitert werden (vgl. Bendel 2017). Neben der Anzeige der Uhrzeit bieten Smartwatches die Möglichkeit, weitere Anwendungen auszuführen (z. B. Sportanwendungen). Ein essentieller Bestandteil von Smartwatches ist die Erweiterbarkeit durch zusätzliche Softwareanwendungen. Damit grenzen sie sich von Digitaluhren ab. Um eine Kommunikation mit Informationssystemen sowie anderen (mobilen) Endgeräten zu ermöglichen, verfügen Smartwatches i. d. R. über verschiedene Kommunikationsschnittstellen. Üblich ist der Einsatz von Bluetooth, um eine Verbindung zu Smartphones aufzubauen (vgl. Rawassizadeh et al. 2014, S. 46), sowie WLAN, um ohne die Interaktion mit anderen Endgeräten auf das Internet zugreifen zu können.

Smartwatches sind in den meisten Fällen auf eine Nutzung in Kombination mit einem Smartphone ausgelegt. So stellen sie häufig eine angepasste Benutzerschnittstelle für Smartphone-Funktionalitäten (z. B. Musiksteuerung oder Nachrichtenfunktionalitäten) über das integrierte Display dar. Diese enge Verknüpfung zwischen Smartwatch und Smartphones ist auch an dem Einsatz von (angepassten) Smartphone-Betriebssystemen (z. B. Android Wear, vgl. Android 2017a, oder Apple watchOS, vgl. Apple 2017) ersichtlich. Trotzdem bieten Smartwatches die Möglichkeit, eigenständige Anwendungen auszuführen – auch wenn dies in der Praxis derzeit nur in geringem Maße erfolgt.

2.1.2.3 Smart Clothes

Smart Clothes beschreiben Bekleidungsstücke, die elektronische Systeme mit Textilien oder ähnlichen Materialien kombinieren (vgl. Kromer 2008, S. 13). Durch diese Kombination wird es dem Träger und Nutzer eines solchen Bekleidungsstücks ermöglicht, auf durch das elektronische System bereitgestellte Funktionalitäten zuzugreifen. Übliche Einsatzzwecke von Smart Clothes sind das Bereitstellen von leicht zugänglichen Interaktionsmöglichkeiten (z. B. zum Steuern von Maschinen) oder das Messen von Körperdaten mittels integrierter Sensoren (vgl. Cho et al. 2009, 1 ff.).

Da sich die vorliegende Arbeit ausschließlich mit Wearable Computern beschäftigt, werden nur Smart Clothes betrachtet, die der in Kapitel 2.1.1 aufgestellten Definition genügen und somit über eigenständige Computer-Hardware verfügen und über Softwareanwendungen erweiterbar sind. Beispielhaft sind dafür Datenhandschuhe zu nennen. Im Gegensatz dazu liegen in Kleidung integrierte Sensoren sowie reine Eingabegeräte ohne zusätzliche Funktion (bspw. in Kleidung integrierte Musik-Steuerungsbuttons) nicht im Fokus dieser Arbeit.

2.1.2.4 Abgrenzung

Gemäß der in Kapitel 2.1.1 aufgestellten Definition sowie der beschriebenen Eigenschaften und Nutzungscharakteristika lässt sich eine Abgrenzung der Wearable Computer von anderen mobilen und tragbaren Computern, wie bspw. die zu den mobilen Endgeräten zählenden Smartphones und Tab-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

lets, als auch Fitnesssensoren (bspw. Schrittzähler oder Fitnesstracker) oder Virtual Reality Brillen, vornehmen:

Während *mobile Endgeräte* (insbesondere Smartphones) gemäß aktuellen Definitionen (vgl. Pilarski 2016, 16 f.) eine hohe Portabilität aufweisen und daher zeit- und ortsunabhängig verwendet werden können sowie Interaktionen mit Benutzern ermöglichen, unterscheidet sich die Art der Interaktion fundamental von Wearable Computern: Mobile Endgeräte müssen zur üblichen Nutzung durch die Benutzer aktiv in den Händen gehalten werden und über einen Touchscreen bedient werden. Dadurch erfordern sie vom Benutzer die vollständige Aufmerksamkeit. Eine beiläufige und freihändige Interaktion ist somit nicht möglich. Aus diesem Grund ist durch mobile Endgeräte keine – zu Wearable Computern vergleichbare – parallele Unterstützung von Tätigkeiten oder (Arbeits-)Abläufen möglich. Mobile Endgeräte stellen somit keine geeignete Alternative dar, um Mitarbeiter in Industriebetrieben bei deren alltäglichen, händischen Arbeitstätigkeiten angemessen zu unterstützten (siehe Kapitel 2.1.1).

Fitnesssensoren lassen sich von Wearable Computern gemäß der oben aufgestellten Arbeitsdefinition ebenfalls abgrenzen, auch wenn diese dauerhaft am Körper getragen werden und somit jederzeit verwendet werden können: Fitnesssensoren (insbesondere Fitnessarmbänder) erlauben üblicherweise keine umfassende Interaktion mit dem Benutzer, sondern werden passiv, d. h. ohne komplexe Interaktionsmöglichkeiten, getragen. Einige Fitnesssensoren ermöglichen zwar simple Interaktionsformen, wie bspw. das Anzeigen des Schrittzählers (vgl. McGrath/Scanaill 2013, S. 233 f.), allerdings ist eine Erweiterung des Funktionsumfangs durch Softwareanwendungen nicht vorgesehen. Aktuelle Fitnesssensoren sind zudem auf ein zusätzliches mobiles Endgerät (üblicherweise ein Smartphone) angewiesen, um weiterführende Auswertungen und Interaktionsmöglichkeiten durchzuführen. Eine Verwendung der Sensoren ohne gekoppeltes mobiles Endgerät ist i. d. R. nicht vorgesehen.

Auch *Virtual Reality (VR) Brillen* sind gemäß der aufgestellten Arbeitsdefinition nicht den Wearable Computern zuzuordnen. VR Brillen werden zwar wie Wearable Computer durch den Benutzer am Körper getragen und erlauben dadurch einen Zugriff auf Softwarefunktionen sowie direkte Interaktionsmöglichkeiten, allerdings ist das dauerhafte Tragen und eine beiläufige Interaktion nicht vorgesehen. Vielmehr sind VR Brillen darauf ausgelegt, dass sie die volle Aufmerksamkeit des Nutzenden einnehmen, indem sie eine vollständig virtuelle Welt einblenden (vgl. Mehler-Bicher/Steiger 2014, S. 2). Daher werden sie nur für eine begrenzte Nutzungsdauer (bspw. für das Betrachten eines Videos oder einer Simulation) getragen.

Damit lässt sich der Mehrwert von Wearable Computern gegenüber alternativen Technologien wie folgt zusammenfassen: Wearable Computer ermöglichen die (proaktive) Unterstützung von Nutzern zeitgleich während des Ausübens von händischen Tätigkeiten. Es ist somit nicht notwendig, dass Nutzer ihre gerade ausgeübten Tätigkeiten unterbrechen, während sie Informationen von Wearable Computern abfragen oder mit diesen anderweitig interagieren.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2.1.3 Augmented Reality Anwendungen

Softwareanwendungen für Wearable Computer, die wie in der vorliegenden Arbeit Nutzer bei händischen Tätigkeiten unterstützen, können zu den Augmented Reality Anwendungen gezählt werden, da sie (virtuelle) Informationen mit dem physischen Umgebungskontext der Nutzer kombinieren (vgl. Olmedo 2013, S. 262 ff.). Als Augmented Reality (AR) wird dabei die „Anreicherung der bestehenden realen Welt um computergenerierte Zusatzobjekte“ (Mehler-Bicher/Steiger 2014, S. 9) verstanden. Dabei steht der direkte Bezug digitaler Informationen zum realen Kontext der physischen Umwelt im Vordergrund (vgl. Salkin et al. 2018, S. 10; Paelke 2014, S. 1). Die AR ist – wie in Abbildung 3 dargestellt – Teil der sogenannten Mixed Reality, die sämtliche Arten der Anreicherung der Realität abdeckt (vgl. Milgram et al. 1995, S. 283). Im Gegensatz zur Augmented Virtuality und der VR besteht bei der AR ein enger Bezug zur Realität des Benutzers.

In der wissenschaftlichen Literatur hat sich die auf drei Charakteristika beruhende Definition von AZUMA (1997) etabliert (vgl. u. a. Broll 2013, S. 245; van Krevelen/Poelman 2010, S. 1; Esengün/İnce 2018, S. 202). Gemäß dessen Definition müssen die folgenden drei Charakteristika für eine AR erfüllt sein: (vgl. Azuma 1997, S. 356 f.; Mehler-Bicher/Steiger 2014, S. 10)

1. Verbindung von Realem und Virtuellem
2. Interaktion in Echtzeit
3. Dreidimensionaler Bezug

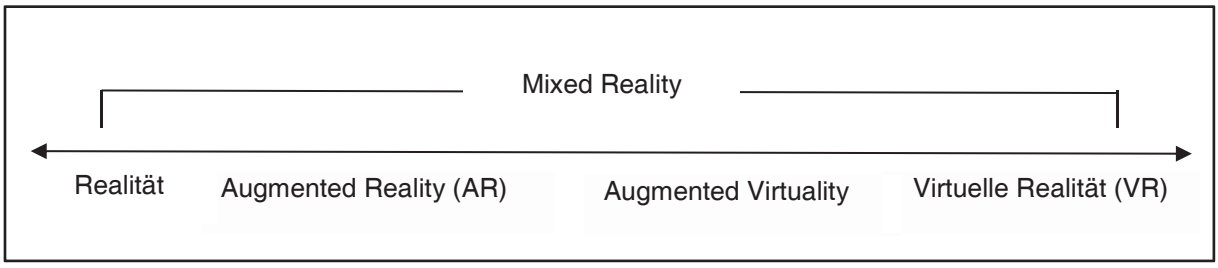

Abbildung 3 Reality-Virtuality Continuum[4]

Die von AZUMA (1997) aufgestellte Definition ist mit diesen drei Charakteristika technologieneutral. Auf welche Art und Weise eine AR erzeugt wird, wird somit offengelassen. Diese Arbeit fokussiert sich allerdings ausschließlich auf die Technologie des Wearable Computings (siehe Kapitel 2.1). Erweiterte Realitäten, die mit anderen Technologien (wie z. B. Smartphones oder Tablets) erzeugt werden, werden daher nicht betrachtet.

In der Praxis und zunehmend auch in der Forschung wird AR jedoch häufig weiter gefasst, sodass jegliche Erweiterung der realen Umwelt um virtuelle Objekte (z. B. eingeblendete Informationen) als AR bezeichnet wird, auch wenn keine Interaktion in Echtzeit oder kein dreidimensionaler Bezug existiert (vgl. Broll 2013, S. 245 f.). Dieses weitgefasste, praxisnahe Verständnis einer angereicherten Realität wird auch dieser Arbeit zugrunde gelegt. Somit wird jegliche Anreicherung des realen Umfelds

[4] Vgl. Milgram et al. 1995, S. 283; Broll 2013, S. 246.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.