



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

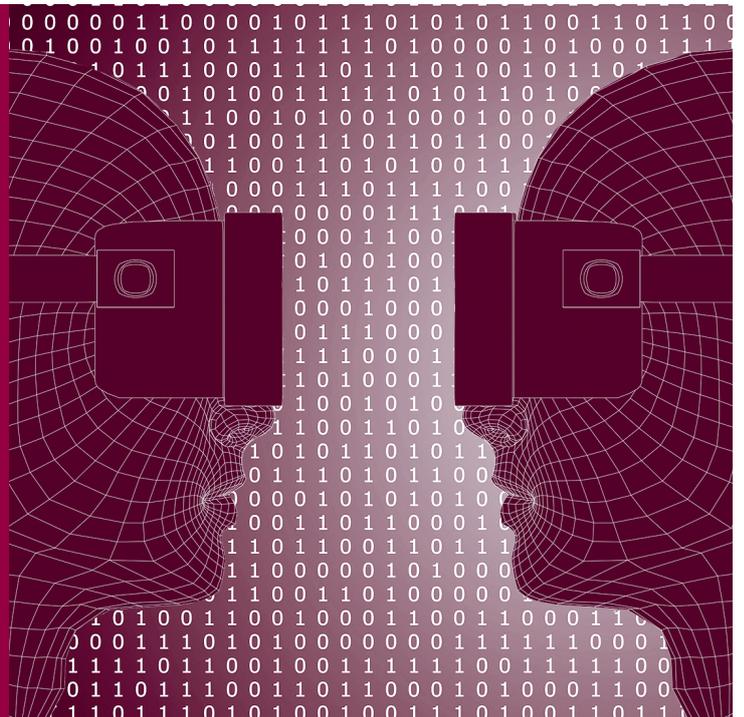
Sonja Kind
Jan-Peter Ferdinand
Tobias Jetzke
Stephan Richter
Sebastian Weide

Virtual und Augmented Reality

Status quo,
Herausforderungen und
zukünftige Entwicklungen

TA-Vorstudie

April 2019
Arbeitsbericht Nr. 180





Virtual und Augmented Reality



Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.



Sonja Kind
Jan-Peter Ferdinand
Tobias Jetzke
Stephan Richter
Sebastian Weide

Virtual und Augmented Reality

**Status quo, Herausforderungen
und zukünftige Entwicklungen**

TA-Vorstudie



Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag
Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Tel.: +49 30 28491-0
buero@tab-beim-bundestag.de
www.tab-beim-bundestag.de

2019

Umschlagbild: Jos Alfonso De Thomas Gargantilla/123rf.com

Papier: *Circleoffset* Premium White

Druck: Wienands Print + Medien GmbH, Bad Honnef

ISSN-Print: 2364-2599

ISSN-Internet: 2364-2602



Inhalt

Zusammenfassung	9
1 Einleitung	17
2 Definition, technische Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung	19
2.1 Ursprung und aktuelle Bedeutung	19
2.2 Definitionen und Abgrenzungen: Virtual, Augmented und Mixed Reality	20
2.3 Technologische Grundlagen	21
2.3.1 Eingabe	22
2.3.2 Verarbeitung	23
2.3.3 Verbreitung	24
2.3.4 Aus- bzw. Wiedergabe	24
2.4 Wirtschaftliche Bedeutung und Entwicklungen	29
2.4.1 Marktentwicklung und -potenziale	30
2.4.2 Unternehmen und Wettbewerb	32
3 Anwendungsfelder	35
3.1 Medien und Unterhaltung	36
3.1.1 (Computer-)Spiele	36
3.1.2 Soziale virtuelle Realität	37
3.1.3 Film und Fernsehen	38
3.1.4 Pornografie	39
3.1.5 Location-based Entertainment	39
3.1.6 Edutainment	39
3.1.7 Immersiver Journalismus	41
3.1.8 Übertragung von (Live-)Veranstaltungen	42
3.1.9 Resümee	42
3.2 Arbeit und Produktion	43
3.2.1 Assistenzsysteme für Produktion, Wartung und Logistik	43
3.2.2 Design, Prototyping und Produktentwicklung	44
3.2.3 Virtuelle Geschäftstreffen und Konferenzen	45
3.2.4 Visualisierung komplexer Daten	45
3.2.5 Assistenzsysteme im Bereich Mobilität und Verkehr	46



3.2.6	Visualisierung von Bauprojekten	46
3.2.7	Simulation und Training	47
3.2.8	Resümee	47
3.3	Handel und Konsum	48
3.3.1	Werbung und Marketing	48
3.3.2	Produktpräsentation und -vertrieb	49
3.3.3	Virtuelle Geschäfte und Kaufhäuser	50
3.3.4	Resümee	50
3.4	Medizin und Pflege	51
3.4.1	Therapie psychischer Erkrankungen	52
3.4.2	Schmerzkontrolle	52
3.4.3	Unterstützung bei Rehabilitation und Demenzbehandlung	53
3.4.4	Assistenz bei Diagnosestellung und Operationen	54
3.4.5	Resümee	55
3.5	Schutz und Sicherheit	56
3.5.1	Militärisches Einsatztraining, Kriegsführung und Behandlung von Nachkriegseffekten	56
3.5.2	Vorbereitung auf Rettungseinsätze und Katastrophenschutz	57
3.5.3	Resümee	58
3.6	Schule und Hochschule	58
<hr/>		
4	Thesen	61
4.1	Technologie	61
4.1.1	Voraussetzungen für künftige Entwicklungen	61
4.1.2	Zukünftige Entwicklungspfade	63
4.1.3	Merkmale zukünftiger VR- und AR-Technologien	66
4.1.4	Interdependenzen mit anderen technologischen Entwicklungen	68
4.2	Gesellschaft	68
4.2.1	Einfluss auf das alltägliche Leben	68
4.2.2	Erweiterung sozialer Interaktion	70
4.2.3	Zugang zu und Kontrolle von Inhalten	72
4.2.4	Stärkung von Empathie und Partizipation	73
4.2.5	Gefahren manipulierter und manipulativer Inhalte	74

4.3	Wirtschaft	76
4.3.1	Marktentwicklung und -durchdringung	76
4.3.2	Gründungsdynamik und Start-ups	79
4.3.3	Treibende Akteure, Wertschöpfung und Geschäftsmodelle	80
<hr/>		
5	Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft	85
5.1	Chancen	85
5.2	Risiken	88
5.3	Handlungsfelder	89
5.3.1	Gesetze und Regeln für den virtuellen Raum	90
5.3.2	Physische und psychische Folgen	92
5.3.3	Technologiemissbrauch durch Manipulation	94
5.3.4	Innovationslandschaft: Forschung, Entwicklung und Verwertung	95
<hr/>		
6	Literatur	99
<hr/>		
7	Anhang	109
7.1	Interviewpartner	109
7.2	Analyse wissenschaftlicher Aktivitäten im internationalen Vergleich	109
7.3	Abbildungen	114
7.4	Tabellen	115
7.5	Glossar	115



Zusammenfassung

Der aktuelle Fortschritt im Feld von Virtual Reality und Augmented Reality lässt erwarten, dass die Technologien und ihre vielfältigen Anwendungen im beruflichen wie privaten Alltag zukünftig eine wachsende Rolle spielen werden. Vor diesem Hintergrund beauftragte der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), eine Untersuchung des Themas als TA-Vorstudie durch den Konsortialpartner VDI/VDE-IT durchzuführen.

Methodik

Im Fokus der Vorstudie stehen die Potenziale und Auswirkungen von VR und AR auf zukünftige Arbeits- und Lebenswelten. Methodische Grundlage der Vorstudie sind eine Literatur- und Quellenanalyse sowie 20 Experteninterviews, die von Juli bis September 2017 geführt wurden. Auf dieser Basis werden der Status quo der Entwicklung sowie die wichtigsten Anwendungsfelder von VR und AR beschrieben und Thesen zu übergreifenden technologischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wechselwirkungen abgeleitet. Abschließend werden die Chancen und Herausforderungen durch VR und AR für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft bewertet und Handlungsfelder aufgezeigt.

Definition Virtual Reality und Augmented Reality

Als Virtual Reality (VR) wird eine computergestützte, softwaregenerierte Simulation realitätsnaher oder fiktiver Umwelten verstanden, in die Nutzer über die Verwendung geeigneter Hardware eintauchen können. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der Augmented Reality (AR) um eine computergenerierte Erweiterung der wahrnehmbaren Realität, wobei Zusatzinformationen, wie z. B. Texte, Bilder oder virtuelle Objekte, in das Sichtfeld der Nutzer eingeblendet werden.

Die Konzepte von erweiterter und virtueller Realität unterscheiden sich durch den Grad der hervorgerufenen Immersion als das Maß für die Erfahrung des realitätsnahen Eintauchens in eine künstlich geschaffene Umgebung. AR-Anwendungen sind durch eher schwache Immersion gekennzeichnet, das Ziel von VR-Anwendungen ist hingegen naturgemäß eine möglichst starke Immersion.

Entwicklung und aktuelle Bedeutung

Das Thema virtuelle Realität zieht bereits seit den 1990er Jahren großes gesellschaftliches Interesse auf sich. Allerdings konnten zu dieser Zeit die mit VR verbundenen Hoffnungen aufgrund der noch vorherrschenden technologischen Beschränkungen nicht eingelöst werden, sodass der mit dem Thema verbundene Hype sich in den Folgejahren wieder abschwächte. Inzwischen sind die damaligen Barrieren durch zahlreiche technologische Fortschritte maßgeblich überwunden worden. Insbesondere die Leistungsfähigkeit von Grafikprozessoren, Displays und Arbeitsspeichern wurde deutlich verbessert. Zusätzlich befördert die einsetzende Kostendegression der Headsets sowie der VR- und AR-Anwendungen die Diffusion der Technologie in diverse professionelle und private Anwendungsbereiche.

Technologische Grundlagen

VR und AR erfordern unterschiedliche Technologien und Medien zur Eingabe, Verarbeitung, Aus- bzw. Wiedergabe sowie Verbreitung virtueller oder erweiterter Inhalte. Eingabesysteme umfassen beispielsweise Hardwarelösungen zur Erfassung von Eigenschaften von Objekten sowie deren Verortung und Bewegung im Raum. Dies erfolgt z. B. über Kamera- und Trackingsysteme oder Controller. Systeme zur Verarbeitung erschaffen virtuelle Welten, die die wahrgenommene Realität erweitern oder vollständig überlagern. Dazu werden vor allem sogenannte Game Engines eingesetzt, also Entwicklungsumgebungen für Computerspiele. Wesentliche Zielplattformen sind neben PCs auch Spielkonsolen und mobile Geräte, die mit verschiedenen Betriebssystemen laufen können.

Zudem bedarf es spezieller Geräte für die Wiedergabe. Für die visuelle Darstellung komplett virtueller Inhalte werden in der Regel Head-mounted Displays (HMDs) eingesetzt, für die Darstellung erweiterter Inhalte meist Smart Glasses. Eine Ergänzung der visuellen Wahrnehmung bieten Geräte für die akustische oder haptische Wiedergabe. Die Vermittlung haptischer Erfahrungen stellt noch eine große technologische Herausforderung dar. Dabei geht es um das Erleben von Temperaturveränderungen, Luftströmungen oder Beschleunigung, aber auch um das Ertasten von dreidimensionalen Objekten. Noch komplexer und bislang kaum wiederzugeben sind Düfte und Aromen, um den Eindruck des Riechens und Schmeckens zu erzeugen.

Die Bereitstellung und die Verbreitung von Inhalten erfordern spezifische Distributionssoftware und -plattformen. In der Regel sind über diese Plattformen – vergleichbar denen für den Bezug von Software (App Stores) – Inhalte für VR- und AR-Lösungen erhältlich. Die Anbieter HTC, Oculus VR und Sony verfügen über eigene Plattformen.

Wirtschaftliche Bedeutung und Entwicklungen

Die Vorhersagen von Beratungsunternehmen, Branchenverbänden und Investoren zur wirtschaftlichen Entwicklung von VR und AR gehen eindeutig in Richtung Wachstum. Allerdings lässt sich aus den entsprechenden Marktstudien keine quantitativ eindeutige Prognose ableiten, weil sie sich in Bezug auf die Aussagen zu Marktanteilen, dem Ausmaß der wirtschaftlichen Potenziale sowie dem Zeitpunkt der Realisierung und der wirtschaftlichen Bedeutung einzelner Branchen zum Teil deutlich unterscheiden.

Derzeit ist der Markt für VR und AR in erster Linie durch VR-Hardware und kommerzielle VR-Anwendungen im Bereich Games geprägt. Laut aktuellen Marktprognosen dürfte sich dies aber bald ändern, weil die Kommerzialisierung von AR ebenfalls ansteigt. Ferner werden Anwendungen wichtiger. Das Verhältnis der durch Hard- und Software erzeugten Wertschöpfung mit VR und AR wird sich somit deutlich in Richtung Anwendungen verschieben. Dabei sollen ca. 60 % der global erzielten Umsätze bis 2025 auf den Konsumentenbereich (Business to Consumer [B2C]) entfallen und 40 % auf den Geschäftsbereich (Business to Business [B2B]). Zentrale Sparten für VR und AR werden in den nächsten Jahren Computer- und Videospiele zusammen mit Liveevents und Videoentertainment darstellen. Weitere wesentliche Wachstumspotenziale werden in den Marktsegmenten Produktion und Handel (einschließlich Immobilien) erwartet, gefolgt von den Sektoren Bildung und Militär.

Die kommerziellen Entwicklungen bei VR und AR werden zuvorderst von großen Technologiekonzernen vorangetrieben. Dies sind einerseits Akteure, die hochwertige HMDs vertreiben, wie Sony PlayStation VR, HTC Vive, Oculus Rift, Microsoft HoloLens, und andererseits Unternehmen, die preiswertere Brillen anbieten, wie z. B. die Samsung Gear VR oder die sehr preiswerte und einfache Google Cardboard, in die ein Mobiltelefon integriert wird. Hinzu kommen weitere Anbieter, die Zusatzgeräte, wie Kameras oder Sensoren bzw. Infrastrukturen für die Verbreitung der Applikationen und Inhalte bereitstellen, darunter Valve Steam, Google VR, YouTube, Apple iTunes. Neben den großen Technologieanbietern wird das Feld seit einigen Jahren auch stark von Start-ups geprägt.

Anwendungsfelder und -beispiele

Es gibt viele Anwendungsfelder und -beispiele von VR und AR im privaten und professionellen Bereich (Kasten). VR- und AR-Anwendungen werden unter anderem einen Einfluss darauf haben, wie zukünftig Fußballspiele oder Nachrichten gesehen werden, mit welchen Mitteln eine medizinische Behandlung erfolgt, wie Produkte präsentiert und gekauft oder wie Maschinen konstruiert und gewartet werden.

Anwendungsfelder und -beispiele von VR und AR

Medien und Unterhaltung: Computerspiele, soziale virtuelle Realität, Film und Fernsehen, Pornografie, standortbezogene Unterhaltung (Location-based Entertainment), Bildungsunterhaltung (Edutainment), Kunst, immersiver Journalismus, Übertragung von (Live-)Veranstaltungen

Arbeit und Produktion: Assistenzsysteme für Produktion und Wartung, Logistik, Design, Prototypenentwicklung (Prototyping), Produktentwicklung, virtuelle Geschäftstreffen und Konferenzen, Visualisierung komplexer Daten, Assistenzsysteme für Mobilität und Verkehr, Visualisierung von Bauprojekten, Simulation und Training

Handel und Konsum: Werbung und Marketing, Produktpräsentation und -vertrieb, virtuelle Geschäfte und Kaufhäuser

Medizin und Pflege: Therapie psychischer Erkrankungen, Schmerzkontrolle, Unterstützung bei Rehabilitation und Demenz, Assistenz bei Diagnosestellung und Operationen

Schutz und Sicherheit: militärisches Einsatztraining, Kriegsführung und Behandlung von Nachkriegseffekten, Vorbereitung von Rettungseinsätzen und Katastrophenschutz

Schule und Hochschule: Visualisierung von Lehrinhalten

Chancen

Im Bereich VR und AR ist die deutsche *Wissenschaft* durch viele Forschungsprojekte, Publikationen und ihre führende Rolle in Fachgremien im internationalen Forschungsdiskurs gut positioniert. Auch die anwendungsnahe Forschung und die technologische Entwicklung unter Beteiligung von Unternehmen sind im europäischen Vergleich sehr gut aufgestellt. Insbesondere die Institute der Fraunhofer Gesellschaft sind europaweit maßgeblich an Förderprojekten mit Bezug zu VR und AR beteiligt. Perspektivisch ergeben sich Chancen daraus, dass die deutsche Forschung und Entwicklung in Bereichen wie z. B. Medizin oder industrielle Anwendungen eine Wissensführerschaft erlangen und den internationalen Diskurs entscheidend mitprägen. Da sich in Deutschland bereits eine vergleichsweise interdisziplinäre Wissenschaftscommunity mit VR und AR beschäftigt, hat auch die Forschung zu sozialen und ethischen Fragestellungen hinsichtlich der Nutzung von VR und AR eine gute Ausgangsposition und kann somit auch zukünftig eine wichtige Rolle im internationalen Kontext spielen.

In der *Wirtschaft* bieten VR und AR durch ihre breiten Anwendungsmöglichkeiten für viele Branchen große Innovations- und Entwicklungspotenziale.

VR und AR werden neue Märkte erzeugen und bestehende Märkte verändern. Die Akteure des deutschen Innovationssystems können sich in diesem Prozess vor allem durch die Entwicklung und Vermarktung von Anwendungen im B2B-Bereich, wie z. B. im Industriekontext (etwa für Assistenzsysteme in der Produktion; siehe Kasten) oder in der Medizin, gut im internationalen Wettbewerb positionieren. Erfolgt die ökonomische Wertschöpfung aktuell insbesondere über VR- und AR-Hardware, wird sie sich zukünftig klar in Richtung der Inhalte verschieben, wodurch sich neue Entwicklungspotenziale ergeben.

Da die Märkte für anwendungsspezifische Lösungen und Technologien aktuell erst entstehen und sich große Technologiekonzerne bislang auf die Entwicklung von konsumnahen Endgeräten und Inhalten konzentrieren, können sich junge Start-ups vergleichsweise gut in diesem Feld positionieren. Neue Geschäftsmodelle werden in den Bereichen Premium-Apps/Content, In-App-Käufe, E-Commerce, Streamingabonnements, Social VR/Kommunikation, Werbung sowie Auswertung von Nutzerdaten liegen.

Die Chancen durch VR und AR für die *Gesellschaft* ergeben sich primär im Bildungsbereich sowie durch neue Formate und Kanäle sozialer Interaktion. In der schulischen, beruflichen und akademischen Bildung sowie in der (Weiter-)Qualifizierung werden durch VR und AR neue, interaktive Formate der Wissensvermittlung entstehen. Trainieren in virtuellen Szenarien wird dadurch genauso möglich wie die anschauliche Vermittlung von theoretischen Lehrinhalten.

Indem insbesondere VR eine Schnittstelle für ortsunabhängige immersive Kommunikation bildet, kann die Technologie die ohnehin hohe gesellschaftliche Bedeutung digitaler Medien noch weiter ausdehnen. Bei der immersiven Kommunikation tauchen die Nutzer in einen virtuellen Raum ein und interagieren über Avatare, was die Intensität und Körperlichkeit der Kommunikation deutlich verstärkt.

Darüber hinaus ergeben sich mögliche Anwendungen im Gesundheitswesen, z. B. bei der Behandlung psychischer Störungen. Schließlich bieten sich auch Potenziale für die öffentliche Hand, und zwar primär bei der Partizipation (z. B. bei Bauvorhaben) sowie der Prävention und der Sicherheit (unter anderem im Katastrophenschutz und Rettungswesen).

Risiken

Für die deutsche *Wissenschaft* ergeben sich im Kontext von VR und AR aktuell keine wesentlichen Risiken. Um ihre prägende Rolle weiterhin ausfüllen und ggf. ausbauen zu können, muss jedoch der Zugang zu entsprechenden Fördermöglichkeiten gewährleistet bleiben.

Die Risiken für die deutsche Wirtschaft spiegeln in erster Linie den allgemeinen Wettbewerb um Markt- und Innovationsführerschaft im Bereich digitaler Technologien und Geschäftsmodelle wider. Grundsätzlich haben die

großen IT-Konzerne und Hersteller von Unterhaltungselektronik wie Sony, Samsung, HTC oder die Facebooktochter Oculus in diesem Wettbewerb strukturelle Vorteile, da sie Basistechnologien und Systemplattformen, wenn auch noch nicht mit hoher Durchdringung, so doch bereits flächendeckend in konsumnahen Märkten positioniert haben. Dies schränkt die Wertschöpfungsmöglichkeiten für neue Marktakteure und insbesondere kleinere Unternehmen prinzipiell ein und kann perspektivisch auch für deutsche Firmen Abhängigkeiten erzeugen, wenn sie sich z. B mit Spezialanwendungen, die auf den Systemen anderer Hersteller aufsetzen, am Markt durchsetzen wollen.

Die sich generell verdichtende Marktmacht von Konzernen wie Google, Facebook und Apple wird an den Übernahmen innovativer VR- und AR-Startups deutlich. Auch junge deutsche Unternehmen wurden aufgekauft. Sollte sich dieser Trend verstetigen, geht das mit dem Risiko einher, dass sich die kommerzielle Verwertung der in Deutschland entwickelten Technologien und Lösungen weiterhin ins Ausland verlagert.

Mit Blick auf die *gesellschaftlichen Risiken* zeigt sich eine Ambivalenz in den Effekten, die durch das immersive Eintauchen in virtuelle Welten für die Nutzer von VR entstehen können. Während die Technologie einerseits dazu beitragen wird, soziale Isolation durch neue Kommunikationsformen zu überwinden, kann die virtuelle Realität auch zu einem Leben in einer Traumwelt verführen und in Isolation und Entfremdung resultieren. Darüber hinaus können VR- und AR-Inhalte zukünftig ein Werkzeug bzw. Mittel manipulativer Absichten werden und die Nutzer besonders stark beeinflussen. Zudem kann die virtuelle Realität die Gefahr bergen, dass Empathie bzw. die Empfindung gegenüber der Realität abstumpft. Auch wenn die beschriebenen Risiken nicht kausal auf die Nutzung von VR zurückzuführen sind und stark von den Dispositionen der einzelnen Nutzer abhängen, ist doch davon auszugehen, dass die hohe Intensität des Erlebens virtueller Realität die beschriebenen Risiken tendenziell erhöht.

Handlungsfelder

Als neues digitales Medium werfen die Anwendungspotenziale von VR und AR in Wirtschaft und Gesellschaft viele grundlegende Fragen und Probleme der Digitalisierung auf. Aus TA-Sicht ist in diesem Zusammenhang insbesondere relevant, inwiefern die gesteigerte Immersion der virtuellen Realität die möglichen nichtintendierten Nebenfolgen digitaler Medien verschärft. Insgesamt zeichnen sich Handlungsfelder in vier Bereichen ab:

Es ergeben sich rechtliche und regulatorische Fragestellungen maßgeblich zum *Datenschutz*, zur *Datensicherheit*, zum *Urheberrecht* und zu den *Persönlichkeitsrechten* mit Blick auf Belästigung, Mobbing oder Missbrauch. Generell werden Menschen auch in der virtuellen Realität einen umfassenden digitalen Fußabdruck hinterlassen, wobei noch ungeklärt ist, welche Daten gesammelt

und zu welchen Zwecken diese letztlich genutzt werden. Darüber hinaus stellen VR- und AR-Anwendungen auch den Schutz persönlicher und professioneller Daten vor neue Herausforderungen: So kann z. B. die Nutzung von Smart Glasses in beruflichen Umgebungen Betriebsgeheimnisse oder beim Einsatz in der Medizin hochvertrauliche persönliche Informationen von Patienten betreffen. Wichtige rechtliche Aspekte betreffen auch Urheber- und Verwertungsrechte für den virtuellen Raum. Es ist noch zu klären, wie sich Produzenten von VR-Inhalten urheberrechtlich gegenüber Auftraggebern und Ansprüchen Dritter absichern können. Ferner ist der Umgang mit sexuellen Übergriffen und Cybermobbing im virtuellen Raum ein relevantes Thema. Der im Vergleich höhere Immersionsgrad, das Erleben aus der Ich-Perspektive und die daraus resultierende stärkere Identifikation mit dem eigenen Avatar in der sozialen VR führen dazu, dass Belästigungen im virtuellen Raum wahrscheinlich noch stärker empfunden werden könnten. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die zahlreichen rechtlichen und ethischen Fragen jedoch noch weitgehend unbeantwortet und bedürfen eines gesellschaftlichen Diskurses bis hin zur Verabschiedung klarer Regeln und Gesetze.

In Anbetracht der wirtschaftlichen Relevanz des Themas und des intensiven internationalen Wettbewerbs um die Technologie- und Wissensführerschaft stellt es für das deutsche Innovationssystem trotz der guten Positionierung eine grundsätzliche Herausforderung dar, diese Potenziale tatsächlich zu erschließen und nachhaltig zu sichern. Ein Handlungsfeld liegt demzufolge im Bereich *Forschung, Entwicklung und Standardisierung/Normung*. Für die zukünftige Förderung in Deutschland würde es sich anbieten, interdisziplinäre, anwendungsbezogene Forschung in B2B-Bereichen zu unterstützen, in denen Deutschland traditionell stark ist. Schwerpunkte könnten in der Medizin/Medizintechnik, im Maschinenbau, im Bausektor sowie generell in der Produktion, Automatisierung und Industrie 4.0 liegen. Mit Blick auf den B2C-Bereich könnten sich weitere Potenziale durch eine spezifische Förderung von (Serious) Games, geeignete Anwendungen für Konsumenten oder Social VR ergeben.

Besonderes Augenmerk sollte in diesem Zusammenhang auf die Einbindung von kleinen und mittleren Unternehmen in die Technologieentwicklungen gelegt werden. Darüber hinaus bietet sich die Integration von Start-ups in VR- und AR-Förderprojekte genauso an wie eine spezifisch ausgerichtete, technologiefokussierte Förderung von Unternehmensgründungen und deren wirtschaftlicher Entwicklung. Ferner besteht Bedarf für die Standardisierung von Formaten und für die Etablierung von Entwicklungsschnittstellen. Aktuell versuchen Anbieter wie Oculus oder HTC auf Basis ihrer Geräte und Inhalte möglichst viele Nutzer an ihre proprietären technologischen Systeme zu binden.

Die genaueren *physischen und psychischen Folgen* von längeren Aufenthalten in der virtuellen Realität und deren kausalen Wechselwirkungen mit der Nutzung virtueller Technologien sind noch weitgehend unbekannt. Angenom-



mene Folgen, die bei (sehr langen) Aufenthalten in virtuellen Umgebungen eintreten könnten, sind Persönlichkeitsveränderungen, ein Gefühl der Entfremdung, soziale Isolation sowie körperliche Auswirkungen. Die psychischen und neuronalen Effekte, der Einfluss auf das Sehvermögen, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen, sowie ein möglicher Einfluss auf das Verhalten sind ebenfalls noch ungeklärt und bedürfen weiterer Forschung.

VR- und AR-Technologien ermöglichen perspektivisch einen Missbrauch durch *Manipulation*. Diese ist in verschiedenen Varianten vorstellbar, von der Beeinflussung des Kaufverhaltens bis hin zu einer gezielten Täuschung, indem z. B. Objekte oder Umgebungen bewusst falsch dargestellt werden. Hier bedarf es einer Schulung der Medienkompetenz von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen und eine grundlegende Aufklärung darüber, wie und durch wen Inhalte manipuliert werden können. Kinder, Jugendliche und auch Erwachsene sollten in der Lage sein, Inhalte, Angebote und Möglichkeiten, die aus der virtuellen Welt stammen, kritisch zu bewerten und einordnen zu können.

Ein möglicher Ansatz für die Beglaubigung des Wahrheitsgehalts und für die Seriosität der Herkunft der dargestellten virtuellen Inhalte und damit für den Qualitätsnachweis der dahinter liegenden Daten könnte z. B. in einem Qualitätssiegel bestehen.



1 Einleitung

Ziele

Der aktuelle Fortschritt im Bereich von VR und AR lässt erwarten, dass die Technologien und ihre vielfältigen Anwendungen im beruflichen wie privaten Alltag zukünftig eine wachsende Rolle spielen werden. Vor diesem Hintergrund beauftragte der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages das TAB, eine Untersuchung des Themas als TA-Vorstudie durchzuführen. Die übergreifenden Ziele der Vorstudie liegen darin, das zunehmend komplexe Untersuchungsfeld differenziert zu betrachten, Herausforderungen der zukünftigen Entwicklung zu benennen und daran geknüpfte Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft abzuleiten. Die TA-Vorstudie orientiert sich an den folgenden untersuchungsleitenden Fragestellungen:

- › Welche Potenziale hat die Nutzung von VR und AR für zukünftige Arbeits- und Lebenswelten? Welche Arbeits- und Lebenswelten sind dies? Was sind mögliche Auswirkungen?
- › Welche Bedeutung haben VR- und AR-basierte Anwendungen in einer zunehmend digitalisierten Wirtschaft? Welche neuen Dienstleistungen und Geschäftsmodelle sind zu erwarten?
- › Wie sind die deutsche Wissenschaft und Wirtschaft im Wettbewerb um die Technologie- und Marktführerschaft im Kontext von VR und AR aufgestellt?
- › Wie verändern VR und AR die Praxis von Mediennutzung und Kommunikation im beruflichen und privaten Alltag? Welche physischen und psychischen Folgen sind von einem (dauerhaften) Aufenthalt in virtuellen Realitäten zu erwarten?
- › Welche direkten und nichtintendierten Technikfolgen zeichnen sich aktuell ab? Ergeben sich daraus innovationspolitische oder regulative Handlungsbedarfe, z. B. in den Bereichen Gesundheits- oder Verbraucherschutz?

Aufbau

Die Vorstudie beginnt mit einer kurzen Einführung (Kap. 1) in die Technologien VR und AR, deren historische Entwicklung, Abgrenzung und Definition. In Kapitel 2 werden die technologischen Grundlagen erörtert und beispielhaft technische Komponenten für die Eingabe, Verarbeitung, Verbreitung und Aus bzw. Wiedergabe virtueller oder erweiterter Inhalte beschrieben. Zudem wird die wirtschaftliche Bedeutung mit Blick auf Marktentwicklung und -potenziale diskutiert sowie die wesentlichen Markttreiber im Wettbewerb erörtert. Die vielfältigen Anwendungsbeispiele von VR und AR werden in Kapitel 3 inner-

halb von sechs Anwendungsfeldern skizziert. Im Kapitel 4 werden die für eine Technikfolgenabschätzung relevanten Thesen vorgestellt, um die zukünftigen Entwicklungen und Voraussetzungen zu benennen sowie daran geknüpfte Potenziale und Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft zu beschreiben. Die Thesen wurden den drei Kategorien Technologie, Gesellschaft und Wirtschaft zugeordnet und fassen die wesentlichen Ergebnisse der TA-Vorstudie zusammen. Aus den Thesen leiten sich Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft ab, die in Kapitel 5 gemeinsam mit der Darstellung von Handlungsfeldern und möglichen Regulierungsbedarfen zusammengefasst werden. Im Anhang (Kap. 7) findet sich zudem eine Analyse wissenschaftlicher Aktivitäten zu VR und AR im internationalen Vergleich. Dabei wurden sowohl wissenschaftliche Publikationen als auch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten untersucht, um einen vergleichenden Überblick über die Projektförderung in Deutschland, der EU und den USA zu geben.

Methodik

Die Erarbeitung der TA-Vorstudie fußt auf den folgenden Methoden: In einer Literatur- und Quellenanalyse wurden wissenschaftliche Veröffentlichungen sowie graue Literatur sondiert. Mit 20 Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft sowie Medien und Presse wurden von Juli bis September 2017 Interviews geführt (Kap. 7.1). Die Interviewergebnisse flossen wesentlich in die Bildung der Thesen ein (Kap. 4).

Schließlich wurden Zwischenergebnisse der Vorstudie im Rahmen eines Expertenworkshops am 23. Januar 2018 vorgestellt und diskutiert. Gemeinsam mit den Experten wurden die Chancen und Herausforderungen sowie Handlungsfelder im Bereich VR und AR für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft erörtert (Kap. 5). Ergänzend dazu wurde eine quantitative Web-of-Science-Analyse vorgenommen; ferner wurden Metadaten nationaler und internationaler Forschungs- und Entwicklungsdatenbanken bezüglich geförderter Projekte zum Themenfeld VR und AR ausgewertet (Kap. 7.2).

Den Experten, die für Interviews zur Verfügung standen und am Workshop teilnahmen, sei für ihre engagierte Kooperation in dem Projekt und ihre Diskussionsbereitschaft sehr herzlich gedankt.

Ein ebenso herzlicher Dank geht schließlich an Dr. Claudio Caviezel, Dr. Christoph Revermann und Dr. Arnold Sauter für die Durchsicht des Berichtsentwurfs und die zahlreichen Verbesserungsvorschläge sowie an Brigitta-Ulrike Goelsdorf für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts, die Aufbereitung der Abbildungen und die Erstellung des Endlayouts.

2 Definition, technische Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung

2.1 Ursprung und aktuelle Bedeutung

Das Thema virtuelle Realität zieht bereits seit den 1990er Jahren ein großes gesellschaftliches Interesse auf sich. Die Vorstellung des Eintauchens in den Cyberspace löste schon damals eine große Faszination aus, die den gesellschaftlichen Technikglauben und den Zeitgeist der im Zusammenhang mit den Entwicklungen rund um den PC widerspiegelte (Bruns/Reichert 2007, S.99 ff.; Dyson et al. 2007).

Dies wird deutlich in Äußerungen von Wissenschaftlern aus dieser Zeit: Der US-amerikanische Informatiker und VR-Pionier Jaron Lanier sprach bereits 1989 von den »unendlichen Möglichkeiten« der virtuellen Welt, »die uns das Gefühl gibt, ohne Einschränkung so sein zu können, wie wir sind« (nach Dörhöfer 2017). Der US-amerikanische Psychologe und Autor Timothy Leary, der sich ab den 1960er Jahren mit der bewusstseinsweiternden Wirkung von Drogen wie LSD auseinandersetzte, sah in VR eine elektronische Form von LSD. Dieser Vergleich prägte über einige Jahre die Wahrnehmung des Themas in den Medien (Robertson 2014). Allerdings konnten die mit VR verbundenen Visionen aufgrund der noch vorherrschenden technologischen Beschränkungen nicht eingelöst werden, sodass der mit dem Thema verbundene Hype sich in den Folgejahren wieder abschwächte.

Inzwischen sind die damaligen Barrieren durch zahlreiche technologische Fortschritte maßgeblich überwunden worden. Insbesondere die Leistungsfähigkeit von Grafikprozessoren, Displays und Arbeitsspeichern wurde deutlich verbessert. Dazu hat vor allem der Erfolg von mobilen Endgeräten wie Smartphones und Tablets beigetragen, durch den günstige hochauflösende Displays und qualitativ hochwertige Sensoren erst verfügbar wurden (Interview Janssen). Auch die Fortschritte beim mobilen Internet beförderten den zunehmenden Einsatz von VR- und AR-Anwendungen, weil Daten unabhängig von stationären Computern übertragen werden können (Interview Ludwig).

Das Thema hat in der jüngeren Vergangenheit auch durch die Verfügbarkeit von für Endkunden bezahlbaren Headsets und dem Zugang zu VR- und AR-Anwendungen einen neuen Auftrieb erfahren. Dies gibt Anlass für neue Prognosen der weitreichenden Effekte der Technologie. Dies gibt Anlass für neue Prognosen über weitreichende Effekte der Technologie (Slater/Sanchez-Vives 2016, S. 2), die in der öffentlich-medialen Wahrnehmung zu einem neuen Hype rund um VR und VR beitragen, in der Konsequenz aber auch hohe Erwartungen schüren, deren Erfüllung noch weitgehend ungewiss ist.



Gleichwohl ist anzunehmen, dass VR und AR die Digitalisierung bzw. Mediatisierung des Alltags weiter vorantreiben und auch prägen werden (Interview Wimmer), indem sie die Pfade der Digitalisierung von sozialer Interaktion, Mediennutzung, Arbeit, Konsum und Unterhaltung weiter befördern und zu deren Verschränkung beitragen. VR und AR dürften wesentlich dazu beitragen, dass sich Aktivitäten im Lebens- und Arbeitsalltag noch stärker als bisher in die digitale Sphäre verlagern.

2.2 Definitionen und Abgrenzungen: Virtual, Augmented und Mixed Reality

Die Konzepte von erweiterter und virtueller Realität unterscheiden sich durch den Grad der hervorgerufenen Immersion. Immersion (lateinisch *immersio* für Eintauchen) ist ein Maß für die Erfahrung des realitätsnahen Eintauchens in eine künstlich geschaffene Umgebung. Damit ein maximaler Immersionsgrad entsteht und das Erleben authentisch wirkt, werden Nutzer illusorischen Stimuli ausgesetzt. Diese sind primär visuelle und auditive, aber zunehmend auch haptische Sinneseindrücke, die eine Wahrnehmung von Realität schaffen sollen (Raffler 2016). AR-Anwendungen sind durch eher schwache Immersion gekennzeichnet, das Ziel von VR-Anwendungen ist hingegen naturgemäß eine möglichst starke Immersion.

Abb. 2.1 Immersionskontinuum



Quelle: nach Milgram/Kishino (1994), verändert

Virtual Reality (VR) wird definiert als eine dreidimensionale, vollständig computergenerierte Umgebung, in die die Benutzer über die Verwendung geeigneter Hardware eintauchen. Virtuelle Realität schafft dadurch unter anderem eine künstliche und digitale Umgebung, in der beispielsweise auch mehrere Personen über Avatare miteinander interagieren können (Muhanna 2015, S. 347).

Augmented Reality (AR) beschreibt dagegen eine Überlagerung der realen Umwelt durch computergenerierte/-simulierte Einblendungen. Anders als die vollständig simulierte VR bildet AR eine Erweiterung der natürlichen Perspektive.

Zwischen VR und AR beschreibt *Mixed Reality* (MR) die gleichzeitige Präsentation natürlicher und künstlicher Sinnesreize. Dabei werden z. B. Computergrafiken mit haptischen Eingabegeräten kombiniert. Bekannt ist diese Anwendung bei Fahrsimulatoren: Das Cockpit ist real, die Szenerie virtuell. Oder es werden ursprünglich reale Personen oder Gegenstände als dann virtuelle Abbildungen in ein wiederum reales Umfeld projiziert (Interview Runde).

Grundsätzlich lassen sich VR, AR und MR nicht immer trennscharf voneinander abgrenzen. In der Praxis jedoch werden in der Regel die verschiedenen Einsatzbereiche von VR, AR und MR als Abgrenzungskriterien herangezogen werden (Interview Oppermann). Auch wenn die Grenzen von VR und AR zuweilen fließend sind, zeichnen sie sich durch mehr oder weniger eindeutig voneinander abgrenzbare Soft- und Hardwaresysteme aus, die verschiedenen Einsatzzwecken dienen (Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Beispielhafte Einsatzzwecke von VR, AR, MR

VR	Unterhaltung, Spiele, Prototyping, Training, Ausbildung, Datenanalyse, Visual Analytics, Therapie, Rehabilitation, Konferenzen, Telepräsenz, Rekonstruktion
AR	Assistenz, Navigation, Anweisungen, Anleitungen, Konsistenzprüfung von Plänen zwischen 3-D-Modell und Realität, Zeitversatzvisualisierung (z. B. Darstellung von Gebäuden aus der Vergangenheit oder geplanter Vorhaben in der Zukunft), Marketing, Unterhaltung, Spiele
MR	interaktive 3-D-Arbeitsumgebung, Fahr-, Flug- u. Schifffahrtssimulationen

Eigene Zusammenstellung nach Runde 2017

2.3 Technologische Grundlagen

VR und AR benötigen unterschiedliche Technologien zur Eingabe, Verarbeitung, Verbreitung und Aus- bzw. Wiedergabe virtueller oder erweiterter Inhalte und Umwelten, die in ihrer Gesamtheit als ein zusammenhängendes System einzelner Komponenten ineinandergreifen. In Tabelle 2.2 wird die Bandbreite existierender VR- und AR-Technologien entsprechend ihrem technischen Bestimmungszweck den funktionalen Einheiten des Gesamtsystems zugeordnet, bevor deren Kernaspekte in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert werden. Aufgrund der Vielfalt möglicher Anwendungen und der hohen Entwicklungsdynamik ist die hier dargestellte Übersicht als Momentaufnahme zu verstehen und bildet in keiner Weise eine komplette Bestandsaufnahme.



Tab. 2.2 Technische Komponenten für VR- und AR-Systeme

Eingabe	Kamerasysteme, Sensoren, Laser, Infrarot, Datenhandschuhe, Laufbänder, Controller, Capturesoftware, 360°-Videosoftware, Trackingalgorithmen
Verarbeitung	Bildszenengenerator/Grafikprozessor, Bildbearbeitungssoftware, Video-Game-Engines, Content-Creation-Software
Verbreitung	Distributionsplattformen, Distributionssoftware
Aus- bzw. Wiedergabe	visuell (eher VR): kabelgebundene oder kabellose HMDs, CAVE-Systeme (Cave Automatic Virtual Environment) visuell (eher AR): Brillengläser, Kontaktlinsen, Projektions-systeme akustisch: Kopfhörer, Surround-Sound-Systeme haptisch: Handschuhe, Force-Feedback-Controller Geruchssinn: Masken, Raumlösung Geschmackssinn: nur konzeptionelle Lösungen

Eigene Zusammenstellung nach Runde 2017

2.3.1 Eingabe

Eingabesysteme umfassen Hardwarelösungen zur digitalen Erfassung statischer und dynamischer Eigenschaften real existierender Objekte, einschließlich ihrer Verortung und Bewegung in einem dreidimensionalen Raum. Durch ein Kamerasystem beispielsweise lassen sich die Bewegungen von Personen und anderen Objekten für eine Übertragung in den virtuellen Raum aufnehmen (Capturing). Beispiel für eine solche Lösung ist ein *Kamerasystem*, das in der Lage ist, reale Objekte dynamisch zu erfassen (Dregde 2016). Unbewegliche Objekte werden später für die Wiedergabe im virtuellen Raum in eine dreidimensionale computergenerierte Darstellung übertragen. Diesen Kamerasystemen ist gemein, dass sie in einem Raum um das aufzunehmende Objekt herum angeordnet sind.

Davon abzugrenzen sind Kamerasysteme, die vor allem eine Trackingfunktion erfüllen und in den vom Nutzer getragenen Wiedergabegeräten, vor allem in HMDs, integriert sind. Mit solchen Kamerasystemen lassen sich die Kopfbewegungen des Trägers von VR- und AR-Headsets nachverfolgen und auch Objekte in seinem Blickfeld aufnehmen. Bei AR-Systemen besteht die besondere Herausforderung darin, eine reale Umgebung mit virtuellen Informationen und Objekten zu überlagern, sodass sehr präzise Bewegungserfassungen erforderlich sind. Zur Erfassung von Entfernungen und Bewegungen kommen ferner *Bewegungssensoren* sowie *Infrarot- oder Lasersysteme* zur Anwendung. Auch können Positionen und Bewegungen von Menschen über *Laufbänder* (Gehbewegungen), *Handschuhe* oder *Controller* (Handbewegungen) und *Trackingsysteme* (Kopf-

und Körperbewegungen) erfasst werden (Anthes et al. 2016, S. 8 ff.; Eichelbaum 2014, S. 22). Mit voranschreitender Miniaturisierung werden derartige Sensorensysteme zunehmend in die am Körper getragenen Wiedergabegeräte integriert.

Vor dem nächsten Schritt der Verarbeitung muss mit der Erstellung von Inhalten begonnen werden, wofür die aufgenommenen Daten durch geeignete Software aufbereitet werden. Hier kommen beispielsweise Algorithmen für das Tracking von Bewegungen oder Software für die Verarbeitung von 360°-Bilddateien zum Einsatz (Anthes et al. 2016, S. 9).

Abb. 2.2 360°-Kamera



Quelle: serts/iStock

2.3.2 Verarbeitung

Hauptaufgabe der Verarbeitung aufgenommener und aufbereiteter Daten ist die Erschaffung virtueller Welten, die die wahrgenommene Realität erweitern (AR) bzw. überlagern (VR) können. Dazu werden vor allem sogenannte Game Engines eingesetzt, also Entwicklungsumgebungen für Computerspiele (Anthes et al. 2016, S. 9). Bekannte Game Engines sind Unity vom gleichnamigen Unternehmen oder Unreal von EpicGames (beides US-amerikanische Unternehmen). Wesentliche Zielplattformen sind neben PCs auch Spielkonsolen und mobile Geräte, die mit verschiedenen Betriebssystemen laufen können. Eine weitere bekannte Game Engine ist die CRYENGINE des deutschen Spieleentwicklers Crytec (Interview Runde). Außerdem kommen *Content-Creation-Software* bzw. *3-D-Simulationslösungen* zum Einsatz, um virtuelle Objekte oder Umgebungen ohne die vorherige Aufnahme von Daten zu erzeugen. Mit *Bildbearbeitungssoftware* können die aufgenommenen bzw. erzeugten Bilder schließlich mit zusätzlichen visuellen Effekten (Schatten, Farbgebung etc.) aus-



2 Definition, technische Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung

gestattet werden. All diese Softwarelösungen setzen leistungsfähige Hardware-systeme und insbesondere rechenstarke *Bildszenengeneratoren und Grafikprozessoren* voraus (Eichelbaum 2014, S. 22; Kanter 2017). Hier prägen vor allem die zwei US-amerikanischen Anbieter nVidia und AMD die Bandbreite verfügbarer Lösungen (Road to VR 2017).

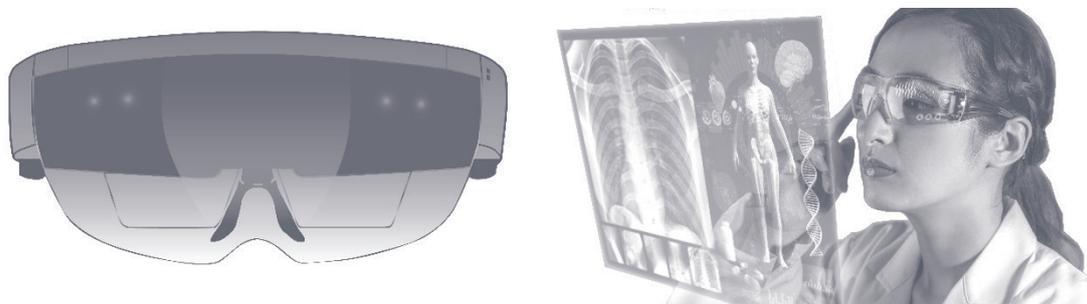
2.3.3 Verbreitung

Die Bereitstellung und Verbreitung von Inhalten erfordern spezifische *Distributionssoftware und -plattformen*. In der Regel sind über diese Plattformen – vergleichbar zu denen für den Bezug von Software (App Stores) – Inhalte für VR- und AR-Lösungen erhältlich. Systemhersteller wie Oculus, HTC oder Sony bieten entsprechende Plattformen an, die an ihre jeweiligen Systeme gekoppelt sind (Dregde 2016). Oculus und HTC stellen jedoch im Gegensatz zu Sony ihre Programmierwerkzeuge und Programmbibliotheken (Software Development Kits [SDK]) zur Nutzung und Weiterentwicklung zur Verfügung (Anthes et al. 2016, S. 9), sodass Inhalte auch von Dritten erstellt und verbreitet werden können.

2.3.4 Aus- bzw. Wiedergabe

Visuelle Eindrücke lassen sich über Displays oder Projektionen wahrnehmen. In Abhängigkeit des Immersionsgrades erfolgen die Aus- und Wiedergabe virtueller Inhalte bzw. deren Wahrnehmung durch Nutzer mit unterschiedlichen Geräten. Für die Wiedergabe erweiterter Realitäten (AR) werden bei der Displaytechnologie aktuell vor allem LCD- und OLED-Displays eingesetzt. Es können entweder vorhandene Displays mobiler Endgeräte (Smartphones, Tablets etc.) oder alternativ spezielle Lösungen wie Brillen (Smart Glasses) bzw. Linsen verwendet werden.

Abb. 2.3 Smart Glasses

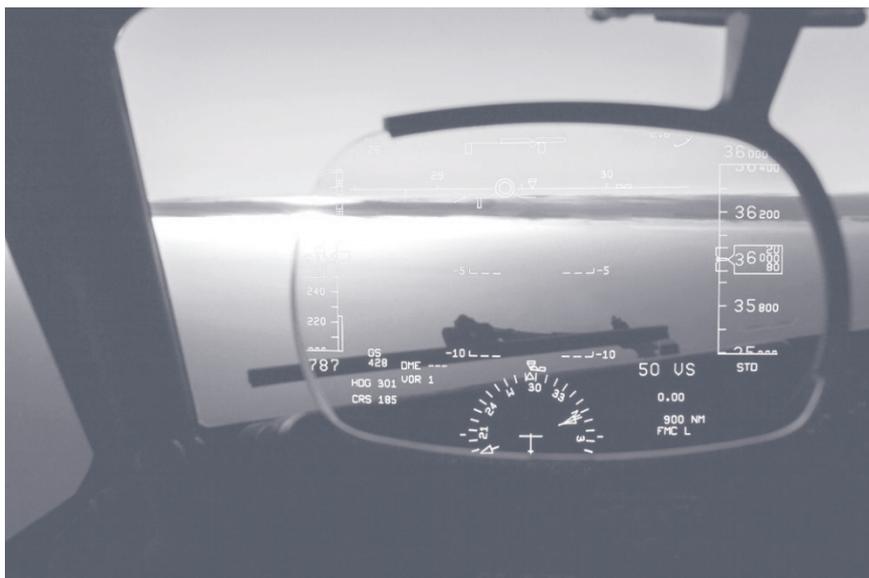


Quellen: Alexander/Adobe Stock (links); metamorworks/iStock (rechts)

Smart Glasses zur Wiedergabe von AR-Anwendungen sind aufgrund ihrer mobilen Einsatzfelder in der Regel kabellos und werden per Akku betrieben. Um die Überlagerung der realen Welt und die Rückkoppelung zum Nutzer zu ermöglichen, wird die Wiedergabe durch Trackingsysteme ergänzt, sodass eine Hybridlösung aus mehreren Technologien entsteht. Durch die Verfolgung von Kopf- und Augenbewegungen mittels geeigneter Sensoren beispielsweise kann sichergestellt werden, dass der virtuelle Blickwinkel dem realen Blickwinkel entspricht und keine Diskrepanz für den Nutzer entsteht. Noch im Forschungsstadium sind Kontaktlinsen, die eine Darstellung zusätzlicher Informationen erlauben. Es gibt zwar einige Patentanmeldungen zu Linsen, die es ermöglichen, die Umgebung mittels integrierter Kameras aufzuzeichnen, und konzeptionelle Überlegungen, wie Informationen für den Nutzer dargestellt werden können, aber von einem konkreten Anwendungsfall sind diese Entwicklungen noch weit entfernt (Nana-lyze 2017; Templeton 2017).

Weniger verbreitet im B2C-Bereich sind Projektionssysteme, bei denen Inhalte auf Projektionsflächen eingeblendet werden, da hier unter anderem das Problem besteht, dass der Nutzer in das Projektionsfeld geraten und den eingeblendeten Inhalt überdecken könnte. Im Automobilbereich werden Projektionssysteme bereits in einigen Fahrzeugen eingesetzt, um zusätzliche Informationen auf die Windschutzscheibe einzublenden (Head-up-Display [HUD]). Sie lassen so den Eindruck entstehen, die Information wäre Teil der realen Fahrsituation (Continental 2018). Seit Längerem verbreitet sind solche Lösungen sowohl in der militärischen als auch der zivilen Luftfahrt.

Abb. 2.4 Head-up-Display in einem Flugzeugcockpit



Quelle: Isannes/iStock

Abb. 2.5 Head-up-Display in einem Automobil



Quelle: metamorworks/Adobe Stock

Die Wiedergabe virtueller Realitäten erfolgt aktuell in der Regel über Head-mounted Displays (HMDs), in denen neben den Wiedergabebildschirmen auch Sensoren zur Erfassung der Kopf- bzw. Augenbewegungen integriert sind (Roland/Hua 2005, S. 2). Dadurch lässt sich der wahrgenommene virtuelle Inhalt in Abhängigkeit von Blick- und Bewegungsrichtung darstellen. Bei den HMDs lassen sich kabellose von kabelgebundenen Varianten unterscheiden. Bei Ersteren handelt es sich oft um Halterungen, mit deren Hilfe sich Smartphones vor das Gesicht fixieren lassen (eine sehr einfache Lösung ist beispielsweise Google Cardboard). Neben dem Display werden hier auch Energieversorgung und Trackingsensoren der Smartphones genutzt, es können aber auch zusätzliche Sensoren in die Halterung integriert werden. Demgegenüber sind kabelgebundene Varianten bislang im Vorteil, denn sowohl die Stabilität der Datenübertragung und Energieversorgung als auch die Ergonomie sind im Vergleich zu kabellosen Lösungen besser (Interview Janssen). Ein Nachteil kabelgebundener Lösungen ist allerdings die stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit des Nutzers. In beiden Fällen stellen die integrierten Kamera- und Sensorsysteme zur Aufnahme von Informationen Hybridlösungen zwischen Ein- und Ausgabe dar.

Displays mit mehreren Quadratmetern Fläche lassen sich als sogenannte CAVE-Systeme zusammenschließen, die den Nutzer an bis zu vier Seiten und an der Decke umgeben und so einen beinahe 360°-Blick ohne das Tragen von HMDs bzw. Brillen ermöglicht. Nutzer bleiben in einem relativ kleinen Raum, sind also in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt bzw. auf omnidirektionale Laufbänder angewiesen.

Abb. 2.6 Head-mounted Displays



Oculus Rift (oben links), Google Cardboard (oben rechts), HTC Vive (unten)

Quellen: fonzub/Adobe Stock (oben links); misszin/Adobe Stock (oben rechts);
Daria/Adobe Stock (unten)

Noch sind diverse technische Herausforderungen der Wiedergabesysteme zu lösen. Gegenwärtig wird vor allem an einer Erhöhung der Displayauflösung, einer Reduzierung des Gewichts sowie einer Verbesserung des Farbkontrasts gearbeitet, um die Unterschiede in der Wahrnehmung virtueller Umgebungen gegenüber der realen Welt weiter zu reduzieren (Anthes et al. 2016; Bloch 2015). Ein weiterer Aspekt ist die Größe des Displays. Eine zunehmende Größe der Displays zur Darstellung einer höheren Auflösung bedeutet, dass die Displays nicht mehr wie im Falle von HMDs, Brillen und ggf. Linsen direkt vor dem Auge getragen werden (egozentrisch oder immersiv), sondern in größerer Entfernung zu den Augen des Nutzers (exozentrisch, monitorbasiert) (Milgram/Kishino 1994, S. 1323).

Für diese Art der Darstellung eignen sich auch Smartphones und Tablets, jedoch dürfte mit ihnen die Darstellung virtueller Realitäten nur im Ausnahmefall zu einem ernsthaften immersiven Erlebnis führen, da in das Blickfeld des Nutzers auch die Realität jenseits des Geräts rückt.

Akustische Erfahrungen werden aktuell vor allem über Kopfhörer realisiert, die entweder in HMDs integriert sind oder separat getragen werden. Sie bieten Nutzern in der Regel ein stereoskopisches Hören. Ein räumliches Hörerlebnis ist damit nur begrenzt möglich, auch wenn technologische Weiterentwicklungen



dies auch über Kopfhörer erfahrbar machen wollen (z. B. 3-D-Sound von Sennheiser) (Sennheiser 2017). Werden die Klangquellen jedoch in einem Raum installiert, lassen sich mehrkanalige Lösungen installieren, mit denen komplexere akustische Erfahrungen möglich sind. Ein Beispiel hierfür ist das Dolby-Atmos-System, das seit 2012 in Kinosälen zum Einsatz kommt und über 128 einzeln ansteuerbare Tonspuren verfügt, die auf 64 separate Ausgangskanäle wiedergegeben werden können.

Soll der Immersionsgrad zusätzlich gesteigert werden, so müssen weitere menschliche Sinne angesprochen werden, um ein möglichst umfassendes Erlebnis für den Nutzer zu erzeugen. Doch während visuelle und – mit Abstrichen – akustische Sinneserfahrungen mittels unterschiedlicher technischer Lösungen mittlerweile gut wiedergegeben werden können, ist die Wiedergabe haptischen und insbesondere olfaktorischen und geschmacklichen Erlebens als Teil der virtuellen Realität eine sehr komplexe und bisher noch nicht befriedigend gelöste Aufgabe.

Haptische Eindrücke sind vielfältiger Natur und umfassen Erlebnisse wie beispielsweise Temperaturveränderungen, Luftströmungen oder Beschleunigung, aber auch das Ertasten von dreidimensionalen Objekten. Die Vielfalt haptischer Erfahrungen spiegelt sich in einer Vielzahl technischer Lösungen wider. Zum Teil handelt es sich auch hierbei um Hybridlösungen, die sowohl der Ein- als auch Wiedergabe dienen. In diese Kategorie fallen beispielsweise Handschuhe, die Fingerbewegungen erfassen und zugleich mithilfe kleiner Motoren die Bewegung der Gelenke beeinflussen können, um so die Illusion eines greifbaren Gegenstandes zu erzeugen (Force-Feedback-System). Dieses Prinzip basiert auf der Forschung zu Exoskeletten und ist entsprechend auch auf weitere Körpergelenke bzw. den gesamten Bewegungsapparat übertragbar. Spezielle Laufschuhe suggerieren das Gefühl von Fortbewegung durch kleine Rollen, die gleichzeitig auch Bewegungen des Körpers erfassen (z. B. Bezmalinovic 2017a).

Die Sinnesorgane jenseits der Augen können ebenfalls zur Vermittlung eines immersiven Erlebnisses genutzt werden. In eine Gesichtsmaske integrierte miniaturisierte Heizstrahler, Ventilatoren sowie durch Ultraschall erzeugte Wassertropfen können den Eindruck heißer oder kalter Luft- und Nebelströme simulieren (Feelreal 2017). Haptische Erfahrungen können außerdem durch raumbasierte Systeme oder spezielle Konstruktionen realisiert werden. Zu Ersteren zählen etwa Systeme, die mithilfe von Ventilatoren und Heiz- oder Kühlelementen Wind und unterschiedlich temperierte Luftströmungen erzeugen. Zu Letzteren gehören beispielsweise spezielle Sitze, Harnische oder Plattformen, die durch Dreh- und Kippbewegungen dem Nutzer den Eindruck von Beschleunigung vermitteln. Omnidirektionale Laufbänder können durch Feedback die Illusion von Fortbewegung entstehen lassen.

Abb. 2.7 Technische Lösungen zum Erleben haptischer Eindrücke



Quelle: RenysView/iStock

Auch beim *Geruchs- und Geschmackssinn* basiert die Erzeugung von Sinnesindrücken auf vielfältigen technischen Lösungen: Duftmoleküle können prinzipiell in kleinen Kartuschen vorgehalten und bei Bedarf zusammengemischt und versprüht werden (Morena 2017). Allerdings zeichnen sich Düfte durch eine hohe Komplexität aus, sodass sie nur mit sehr großem Aufwand künstlich erzeugt werden könnten und selbst dann bestimmte Gerüche nur rudimentär wiedergeben würden. Ähnliches gilt für Geschmacksrichtungen, die ähnlich einem Tintenstrahldrucker in Form künstlicher Aromen auf die Zunge gesprüht werden können. Solche Lösungen würden allerdings den Tragekomfort aufgrund zusätzlicher Apparaturen sehr stark einschränken. Erste prototypische Anwendungen wurden in Japan und Singapur vorgestellt (Ranasinghe/Do 2016; Turk 2016; Wieselsberger 2017).

2.4 Wirtschaftliche Bedeutung und Entwicklungen

Die jüngsten technologischen Fortschritte im Kontext von VR und AR haben auch deren wirtschaftliche Bedeutung erhöht. Insbesondere die Entwicklung einer neuen Generation von HMDs und Smart Glasses, die zunehmend als Endgeräte für Konsumenten erschwinglich werden, haben dazu geführt, dass sich sowohl große Technologiekonzerne wie Apple, Google und Facebook als auch Hersteller von Verbraucherelektronik wie HTC, Samsung oder Sony mit eigenen Technologien und Produkten am Markt positionieren. Darüber hinaus hat sich die wirtschaftliche Dynamik im Feld durch die Neugründung, Finanzierung und Übernahme von Start-up-Unternehmen zusätzlich erhöht. Nachfolgend werden aktuelle Prognosen zu Marktentwicklung und -potenzialen zusammengefasst (Kap. 2.4.1) sowie die Landschaft relevanter Akteure und die Wettbewerbssituation überblicksartig skizziert (Kap. 2.4.2).



2.4.1 Marktentwicklung und -potenziale

Für die Bewertung der Marktentwicklung und -potenziale ist eine differenzierte Betrachtung notwendig, die zunächst zwischen VR und AR unterscheidet sowie auch noch einmal gesondert Märkte für Hard- und Software sowie Märkte für Konsumenten (B2C) oder Unternehmen (B2B) beleuchtet. Die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung ergibt sich aus den unterschiedlichen technologischen Prinzipien und Anwendungspotenzialen von VR- und AR-Lösungen (Bezmalinovic 2017b). Eine praktische Umsetzung dieses Anspruchs erscheint angesichts der vorhandenen Quellen und Prognosen jedoch schwierig.

Zwar haben die jüngsten Entwicklungen im Bereich VR und AR diverse Beratungsunternehmen, Branchenverbände und Investoren motiviert, Studien durchzuführen, die sich mit den kommerziellen Potenzialen entsprechender Geräte und Anwendungen beschäftigen. Allerdings unterscheiden sich diese Studien in ihren Bezugsgrößen teilweise erheblich (VR vs. AR, Hardware vs. Software, B2B vs. B2C, Branchenfokus). Während einige Studien ausschließlich auf VR fokussieren (Ballhaus et al. 2016; Börner 2017; Buss/Bohnhoff 2016; Deloitte 2017; Lutter et al. 2016), bilden andere das gesamte Spektrum von VR und AR ab (Brandoffice 2017; Deutsch et al. 2016; Digi-Capital 2017). Auch wenn die Tendenz klar in Richtung Wachstum geht, sind differenzierte Aussagen zu erwarteten Marktanteilen, dem Ausmaß der wirtschaftlichen Potenziale, dem Zeitpunkt der Realisierung sowie zur wirtschaftlichen Bedeutung einzelner Branchen nicht vergleichbar, sodass sich keine eindeutigen Prognosen ableiten lassen. Daher werden nachfolgend die aktuell verfügbaren Aussagen zur Marktentwicklung thematisch gebündelt:

- › **VR vs. AR:** Derzeit ist der Markt für VR und AR in erster Linie durch VR-Hardware und erste kommerzielle VR-Anwendungen im Bereich Games geprägt. Laut aktuellen Marktprognosen dürfte sich dies aber bald ändern: So sehen die Analysten von Digi-Capital AR im Jahr 2020 mit einem Anteil von rund 75 % am Gesamtmarkt gegenüber VR klar vorne (Merel 2017b). Auch Apples Geschäftsführer Tim Cook räumt AR im Vergleich zu VR eine höhere Priorität ein: »Es gibt Virtual Reality und Augmented Reality, beide sind extrem interessant, aber Augmented Reality dürfte weitaus wichtiger werden« (nach Jacobsen 2017). Die Deutsche Bank erwartet ebenfalls, dass die wirtschaftliche Bedeutung von AR gegenüber VR aufholen wird (Heng 2015). Grund dafür ist das große Potenzial für AR im Zusammenhang mit Anwendungen für Smartphones und andere mobile Geräte (wie Tablets, Brillen). Zwar ist hier das immersive Erlebnis im Vergleich zu den Möglichkeiten VR-basierter HMDs weitaus geringer, jedoch ist der Zugang zu entsprechenden Anwendungen aufgrund der hohen Verbreitung von Smartphones, Tablets etc. viel niedrighschwelliger. Ein Beispiel für das hohe kommerzielle Potenzial von AR-Anwendungen lieferte das im Juli



2016 veröffentlichte AR-basierte Smartphonespiel »Pokémon GO« der Firma Nintendo, die damit in den ersten 3 Monaten nach Erscheinen allein 600 Mio. US-Dollar Umsatz erwirtschaftete und mit diesem Spiel laut DigiCapital (2017) mehr Einnahmen als die gesamte VR-Spielebranche im gesamten Jahr 2016 verbuchte (Merel 2017b).

- › *Hardware vs. Software:* Einer Bitkom-Studie (Lutter et al. 2016) zur Zukunft der Unterhaltungselektronik zufolge wird sich das Verhältnis der durch Hard- und Software erzeugten Wertschöpfung mit VR und AR zukünftig grundlegend verschieben. Wurde für das Bezugsjahr 2017 in Deutschland von Umsätzen von 210 Mio. Euro für Hardware und 120 Mio. Euro für Inhalte ausgegangen, so werden für das Jahr 2020 Umsätze von 270 Mio. Euro für Hardware und 730 Mio. Euro für Inhalte prognostiziert (Lutter et al. 2016). Laut einer Prognose des auf den Gamesbereich spezialisierten Marktforschungsinstituts SuperData Research werden im Jahr 2020 weltweit 37,7 Mrd. US-Dollar mit VR-Geräten und -Software umgesetzt werden (Nafarrete 2017). Unterschieden werden kann noch zwischen der Marktentwicklung für teurere High-End-Geräte wie HTC Vive, Oculus Rift oder Sony PlayStation VR und technisch einfacheren und damit auch günstigeren Lösungen wie Samsung Gear VR oder Google Daydream View. Hier ist eine langsame Verschiebung hin zu High-End-Geräten zu beobachten (Deloitte 2017).
- › *B2C vs. B2B:* Die Umsatzentwicklung im B2C-Bereich ist vor allem abhängig von der zukünftigen Marktdurchdringung entsprechender Hardwarelösungen und -anwendungen. Die Umsatzentwicklung im B2C-Bereich hängt von der Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für entsprechende Hardware und Anwendungen ab. Erste Studien deuten darauf hin, dass Konsumenten für den Erwerb von VR-Endgeräten einen ähnlich hohen Preis wie für Smartphones zu zahlen bereit sind (AP Lellwitz et al. 2017). Die Preise für High-End-Brillen sind mit denen von hochpreisigen Mobiltelefonen vergleichbar und liegen in etwa bei 500 bis 800 Euro plus Zubehör wie Controller oder Spielekonsole. Die High-End-Geräte kommen aktuell primär bei Videospielen zum Einsatz (Suhr 2017). Anwendungen für VR und AR und erschwingliche Geräte, die eine größere Kundengruppe interessieren und damit für deutlich mehr Umsatz sorgen würden, haben sich bislang noch nicht im Massenmarkt etabliert, was aber für die Zukunft erwartet wird. Auch im B2B-Bereich gehen die Prognosen von hohen Wachstumsraten aus. Laut einer Studie von Deloitte, dem Fraunhofer FIT und dem Branchenverband Bitkom (Esser et al. 2016) werden Unternehmen in Deutschland mit VR und AR bis 2020 rund 840 Mio. Euro im B2B-Bereich erzielen. Dabei handelt es sich um spezifische Lösungen, die auf die individuellen Zwecke im industriellen Einsatz zugeschnitten sind (Esser et al. 2016). Nach Einschätzung von Goldman Sachs (2016) werden 2025 ca. 60 %



2 Definition, technische Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung

der global erzielten Umsätze auf den B2C-Bereich entfallen und lediglich 40 % auf den B2B-Bereich.

- › *Branchen:* Bei einigen Marktanalysen wurden Umsatzentwicklungen für einzelne Marktsegmente prognostiziert, die im Widerspruch zu den bereits genannten Schätzungen stehen (z. B. aufgrund unklarer Abgrenzungen zwischen VR und AR bzw. zwischen Hard- und Software). So gehen Goldman Sachs (2016) davon aus, dass Computer- und Videospiele (11,6 Mrd. US-Dollar) zusammen mit Liveevents (4,1 Mrd. US-Dollar) und Videoentertainment (3,2 Mrd. US-Dollar) bis zum Jahr 2025 die treibende Kraft für mit VR und AR erzielte Umsätze sein werden. PwC erwartet im Bereich Entertainment mit 4,6 Mrd. US-Dollar ein etwas höheres Umsatzpotenzial. Zentrales Argument für den erwarteten Umsatz im Jahr 2021 ist der Fokus großer Filmstudios auf die Erschließung neuer Wertschöpfungsmöglichkeiten durch VR (Bond 2017). Weitere wesentliche Marktsegmente liegen in den Bereichen Gesundheit (5,1 Mrd. US-Dollar), Produktion (4,7 Mrd. US-Dollar) und Handel inklusive Immobilien (3,7 Mrd. US-Dollar). Geringer fallen die erwarteten Umsätze für die Bereiche Bildung (0,7 Mrd. US-Dollar) und Militär (1,4 Mrd. US-Dollar) aus (Goldman Sachs 2016).

Es zeigt sich, dass diese unterschiedlichen Einschätzungen keine fundierte Aussage über die Marktpotenziale von VR und AR erlauben. Im Verhältnis zu anderen Marktentwicklungen relativieren die Verkaufszahlen von VR- und AR-Endgeräten bislang noch den mitunter behaupteten Durchbruch: Wurden beispielsweise 2017 rund 1,4 Mrd. Smartphones weltweit verkauft, waren es nur wenige Millionen VR-Endgeräte (Glasner 2017; Statista 2018) – im Gesamtkontext informations- und kommunikationstechnologischer Endgeräte und Anwendungen sind VR und AR aktuell (noch) von geringer Bedeutung. Wie signifikant sich deren wirtschaftliche Relevanz zukünftig erhöhen wird, ist schwierig abzuschätzen und nicht zwingend so positiv in der Entwicklung, wie das die genannten mitunter interessengeleiteten Marktforschungs- und Beratungsinstitute in ihren Veröffentlichungen prognostizieren. Die grundsätzliche Erwartung, dass die Verbreitung von VR und AR durch die anzunehmende Kostendegression und die sukzessive Erschließung neuer Anwendungsbereiche zunehmend zu einem Marktwachstum führen wird, erscheint dennoch wahrscheinlich.

2.4.2 Unternehmen und Wettbewerb

Bereits in den 1990er Jahren versuchten Firmen wie Nintendo, Sega, Forte oder VictorMaxx, erste HMDs auf den Markt zu bringen. Die auf Spiele ausgerichteten Produkte hatten jedoch aufgrund der zu dem Zeitpunkt bestehenden technologischen Defizite keinen großen Erfolg. Niedrige Grafik- und Displayauf-



lösungen sowie mangelhaftes Tracking der Kopfbewegungen machten das Gefühl des realitätsnahen Eintauchens unmöglich (Deloitte 2017).

Auch heute noch sind große Unternehmen die wesentlichen Treiber für die Weiterentwicklung von VR und AR, sowohl bei Hard- als auch bei Software. Gewandelt haben sich jedoch die Akteure. Waren es in den 1990er Jahren überwiegend noch Unternehmen aus der Spielbranche, so hat sich das Spektrum heute grundsätzlich erweitert. Die aktuelle Phase der Kommerzialisierung wird einerseits von Akteuren angeführt, die hochwertige HMDs vertreiben wie HTC Vive, Microsoft HoloLens, Oculus Rift, Sony PlayStation VR, und andererseits von Unternehmen, die preiswertere Brillen anbieten, wie Samsung Gear VR oder Google Cardboard (Deloitte 2017). Hinzu kommen weitere Anbieter, die Zusatzgeräte wie Eingabegeräte, Kameras oder Sensoren bzw. Infrastrukturen für die Verbreitung der Applikationen und Inhalte bereitstellen (z. B. Apple iTunes, Google VR, Valve Steam, YouTube).

Wenngleich die großen kommerziellen Entwicklungen für VR und AR von großen Konzernen vorangetrieben werden, gibt es zahlreiche kleine, agile Start-ups, die seit einigen Jahren die Technologieentwicklung von Soft- und Hardware mitprägen (Interviews Steinicke u. Wimmer). Die Datenbank »Crunchbase«, die junge Technologieunternehmen und Start-ups listet, zählte im Dezember 2017 2.312 Unternehmen, deren Geschäftsmodell zumindest teilweise auf VR basiert, für AR waren es weitere 1.726 Unternehmen, wobei es zwischen beide Gruppen eine gewisse Schnittmenge gibt.

Bezogen auf die Investitionsdynamiken VR- und AR-basierter Start-ups beschreiben die Analysten von Digi-Capital (2017) zwei unterschiedliche Entwicklungen: Einerseits wird das Volumen der Investitionen in VR- und AR-Start-ups betrachtet und andererseits das Volumen der Unternehmenskäufe. 2016 dominierten mit 1,5 Mrd. US-Dollar die Investitionen gegenüber einem Übernahmenvolumen von 600 Mio. US-Dollar (Merel 2017a). Schätzungen zufolge dürfte die Entwicklung der Investitionen im Jahr 2017 vergleichbar mit 2016 gewesen sein (Glasner 2017). Über mehrere Jahre hinweg ist jedoch eine deutliche Steigerung der Investitionen (Investments sowie Unternehmensfusionen und -käufe) im Bereich VR und AR zu beobachten. »Crunchbase« listet dabei elf Unternehmen, in die jeweils mehr als 100 Mio. US-Dollar investiert wurden, angeführt vom Start-up Magic Leap (Glasner 2017). Die größte Übernahme der letzten Jahre war der Kauf von Oculus Rift durch Facebook mit einer Gesamtsumme von rund 2 Mrd. US-Dollar (Constine 2014). Es kann allerdings festgestellt werden, dass die am höchsten bewerteten Unternehmen bislang kaum Erträge generieren.

Da die fünf großen Technologieunternehmen Apple, Facebook, Google, Microsoft und Samsung alle ihre Aktivitäten im VR- und AR-Bereich verstärkt haben, ist davon auszugehen, dass sich auch der Wettbewerb um die Technologie- und Marktführerschaft erhöht. Da Start-ups auch zukünftig neue Verwer-



2 Definition, technische Entwicklung, wirtschaftliche Bedeutung

tungs- und Wertschöpfungschancen für VR- und AR-Technologien sowie entsprechende Inhalte erschließen werden, ist weiterhin von Unternehmensgründungen und -übernahmen in diesem Bereich auszugehen. Gleichzeitig beginnt sich eine Konsolidierung abzuzeichnen, da große Technologieunternehmen ihre eigenen Anstrengungen, Spitzenpositionen einzunehmen, verstärken. Dies äußert sich einerseits in den gezeigten Akquisitionsaktivitäten, andererseits aber auch durch die Entwicklung und Markteinführung eigener Produkte. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen kann gefolgert werden, dass aktuell großes Potenzial im Markt für VR und AR gesehen wird und sich der Wettbewerb einerseits zwischen kleinen, innovativen Start-ups und andererseits zwischen bereits etablierten Technologiekonzernen abspielen wird.

3 Anwendungsfelder

Neben den vielfältigen Aktivitäten zu VR und AR im Kontext von Forschung und Entwicklung lässt sich bereits ein breites Spektrum von Anwendungen erkennen, in denen die Technologien in praxisnahe Lösungen überführt werden. Bei der Systematisierung dieses Spektrums stellte sich heraus, dass eine einfache Segmentierung von VR- und AR-Anwendungen auf der einen Seite und deren Zuordnung zu Branchen auf der anderen Seite nicht ohne Weiteres überschneidungsfrei möglich ist. So gibt es beispielsweise Anwendungen wie Training oder Kommunikation/soziale Interaktion, die als Querschnittsthemen in fast jeder Branche eine Rolle spielen können.

Aus diesem Grund wurden für die weitere Bearbeitung sechs Anwendungsfelder definiert, in denen der Einfluss von VR und AR nach Experteneinschätzung besonders hoch ist. Innerhalb dieser Anwendungsfelder wurden einschlägige Anwendungsbeispiele identifiziert und konkrete Lösungen exemplarisch beschrieben.

Tab. 3.1 Anwendungsfelder und -beispiele von VR und AR

Medien und Unterhaltung	Computerspiele, soziale virtuelle Realität, Film und Fernsehen, Pornografie, Location-based Entertainment, Edutainment, Kunst, immersiver Journalismus, Übertragung von (Live-)Veranstaltungen
Arbeit und Produktion	Assistenzsysteme für Produktion, Wartung und Logistik, Design, Prototyping, Produktentwicklung, virtuelle Geschäftstreffen und Konferenzen, Visualisierung komplexer Daten, Assistenzsysteme für Mobilität und Verkehr, Visualisierung von Bauprojekten, Simulation und Training
Handel und Konsum	Werbung und Marketing, Produktpräsentation und -vertrieb, virtuelle Geschäfte und Kaufhäuser
Medizin und Pflege	Therapie psychischer Erkrankungen, Schmerzkontrolle, Unterstützung bei Rehabilitation und Demenz, Assistenz bei Diagnosestellung und Operationen
Schutz und Sicherheit	militärisches Einsatztraining, Kriegsführung und Behandlung von Nachkriegseffekten, Vorbereitung von Rettungseinsätzen und Katastrophenschutz
Schule und Hochschule	Visualisierung von Lehrinhalten

Eigene Zusammenstellung

3.1 Medien und Unterhaltung

Sowohl die technologische Entwicklung als auch die öffentliche Wahrnehmung von VR und AR sind wesentlich durch Anwendungen im Zusammenhang mit Medien und Unterhaltung geprägt. Dies liegt darin begründet, dass aktuell private Konsumenten die mit Abstand größte Ziel- und Nutzergruppe darstellen und die Hauptabsatzmärkte großer Hersteller für VR und AR (HTC, Microsoft, Samsung, Sony etc.) bei Verbraucherelektronik und (Unterhaltungs-)Medien liegen (Börner 2017; Goldman Sachs 2016). Das hohe Veränderungspotenzial, das insbesondere VR-Technologien im betrachteten Feld zugeschrieben wird, basiert auf der Annahme, dass die immersive Vermittlung medialer Inhalte diese für Nutzer noch attraktiver und reizvoller macht (Interview Metzinger). Die Möglichkeit des vollständigen Eintauchens in virtuelle Welten bildet eine Kernvision für Anwendungen in der Medien- und Unterhaltungsbranche. Bereits heute verdichten sich einige Schwerpunktbereiche, in denen sich der Einfluss von VR und AR deutlich nachweisen lässt bzw. zukünftig zu erwarten ist.

3.1.1 (Computer-)Spiele

Im Zusammenhang mit Medien und Unterhaltung bilden Computerspiele den momentan populärsten, wirtschaftlich relevantesten und technologisch am weitesten fortgeschrittenen Anwendungsbereich von VR (Buss/Bohnhoff 2016; Goldman Sachs 2016). Gründe hierfür sind vor allem, dass die Angebote und Vertriebsstrukturen hier am weitesten entwickelt sind: So vermarktet z. B. Sony sein HMDs primär als Erweiterung des etablierten Spielesystems PlayStation; Nutzer der Headsets von Oculus oder HTC können über die kommerzielle Vertriebsplattform »Steam« eine breite Auswahl VR-kompatibler Computerspiele beziehen.¹ Ähnlich wie in filmischen Anwendungen reizen auch die aktuell erhältlichen VR-Games die technologischen Möglichkeiten nur ansatzweise aus, indem sie zwar eine 360°-Perspektive auf virtuelle Umwelten ermöglichen, die Freiheitsgrade der Bewegung in diesen Umgebungen jedoch noch stark einschränken. Die nächste Stufe im Bereich Games bilden daher Computerspiele, die speziell auf die technologischen Potenziale der VR angepasst werden. Insbesondere im Genre der Open-World- und Multiplayergames lassen sich in den nächsten Jahren Spiele erwarten, die Blockbuster wie »World of Warcraft« oder »Second Life« in die virtuelle Realität überführen (Interviews Fröhlich u. Harth). Während Nutzer von VR-Games HMDs und spezifische Controller benötigen, stellen Smartphones die notwendige Hardware für AR-basierte

¹ <http://store.steampowered.com/vr/> (16.10.2018)

Computerspiele dar.² Die Spiele-App »Pokémon Go«, deren Nutzer virtuelle Fantasiewesen in der realen Welt jagen, die sie auf den Displays ihrer Smartphones eingeblendet sehen, gilt in dieser Hinsicht als stilprägendes und bisher populärstes Beispiel: Das Spiel wurde in den ersten Wochen nach Veröffentlichung im Juli 2016 über 75 Mio. Mal heruntergeladen und ist bis heute kommerziell sehr erfolgreich (Gibbs 2017; Siegle 2017).

3.1.2 Soziale virtuelle Realität

Soziale Netzwerke bilden ein vergleichsweise junges Medium, das auf dem Prinzip eines interaktiven und partizipativen Internets basiert (Web 2.0) (Cormode/Krishnamurthy 2008; Shirky 2009). Die Umsetzung der sozialen virtuellen Realität erfolgt über digitale Plattformen, deren Nutzer zu einem entscheidenden Teil selbst dazu beitragen, die dort erfahrbaren Inhalte zu generieren. VR wird es zukünftig ermöglichen, soziale Netzwerke als digitalen Raum für soziale Interaktion erlebbar zu machen (Interviews Harth u. Janssen). Die Nutzer der Netzwerke werden dann nicht mehr nur wie heute üblich über das geschriebene Wort, per Fotos, Video oder Sprachnachrichten miteinander kommunizieren, sondern im virtuellen Raum über Avatare interagieren, was die Intensität und Körperlichkeit der Begegnungen deutlich verstärkt (Interview Metzinger). Statt über Keyboards oder andere konventionelle Eingabegeräte zu kommunizieren, können im virtuellen Raum natürliche Kommunikationsformen wie Sprache, Mimik und Gestik genutzt werden (Interviews Fröhlich u. Janssen). An der Umsetzung dieser sogenannten sozialen VR arbeitet insbesondere Facebook. Im April 2017 haben sich erste Ergebnisse dieser Ambitionen in der Betaversion der sogenannten Spaces-App konkretisiert, mittels derer Nutzer als Avatare in einer virtuellen Welt miteinander interagieren können (Franklin 2017). Mittel- bis langfristig ist davon auszugehen, dass technologische Weiterentwicklungen bei Motion und Face Capturing die Aufzeichnung und digitale Repräsentation von Menschen in Echtzeit ermöglichen und damit zukünftig viel realer und natürlicher wirken werden (Interview Runde).

2 »Second Life« ist eine seit 2003 verfügbare Online-3-D-Infrastruktur zur Gestaltung einer virtuellen Welt, in der Menschen durch Avatare interagieren, spielen, Handel betreiben und anderweitig kommunizieren können. »World of Warcraft« ist der bekannteste Titel sogenannter Massively Multiplayer Online Role-Playing Games, in denen eine prinzipiell unbegrenzte Zahl von Spielern zeitgleich in einer persistenten virtuellen Welt (inter-) agiert.

Abb. 3.1 Auf dem Weg zu realistischen VR-Avataren



Bei der F8-Entwicklerkonferenz (2. Mai 2018) zeigte Facebook, an welchen VR-Technologien der Zukunft das Tochterunternehmen Oculus arbeitet.

Quelle: Facebook Technologies, LLC

3.1.3 Film und Fernsehen

Die Produktion von Filmen ist ein naheliegendes Anwendungsfeld insbesondere für VR. Als neues Medium der filmischen Darstellung erfordert VR von Drehbuchautoren, Regisseuren und an der Produktion beteiligten Professionen (Kamera, Ton, Beleuchtung etc.) grundsätzlich neue Ansätze. Während bei konventionellen Filmen der Zuschauer bloß Betrachter ist, kann er durch VR in den Film eintauchen und Teil des Geschehens werden. Im Vergleich zur zumeist linearen Erzählweise konventioneller Filme werden innerhalb der VR dadurch viel komplexere Dramaturgien ermöglicht. Erste Versuche, diese Vision umzusetzen, bilden animierte Kurzfilme wie »Henry« (produziert vom Oculus Story Studio) oder »Pearl« (produziert von Google).³ Die benannten Beispiele zeigen einerseits, wie sich das Filmerlebnis durch das virtuelle Eintauchen in die filmische Szenerie verstärkt, verdeutlichen andererseits aber auch die technologischen und dramaturgischen Herausforderungen, die an die Produktion virtuell erlebbarer Filmproduktionen geknüpft sind (Interview Janssen). Wird es kurzfristig aus technischen Gründen nur wenige frei wählbare Betrachtungspositionen oder -bereiche geben, werden Regisseurinnen und Regisseure perspektivisch zunehmend mehr Blickwinkel für das Publikum ermöglichen können, um Filme »begehbar« zu machen und Erzählverläufe zu beeinflussen.

³ <https://www.youtube.com/watch?v=IUY2yI5F16U>; <https://www.youtube.com/watch?v=WqCH4DNQBUA> (16.10.2018)

3.1.4 Pornografie

Eine Vorreiterrolle für die filmische Anwendung von VR und AR nimmt das Pornografiegenre ein, in dem nicht nur das Angebot, sondern auch die Nachfrage an immersiven Inhalten stetig steigt (Interview Ludwig). Laut Nutzungsstatistik der Plattform »Pornhub« erhöhte sich das Angebot an VR-Videos in diesem Bereich zwischen Juni 2016 und April 2017 von 30 auf 2.600. Im selben Zeitraum konnte sich auch die durchschnittliche Zahl der täglichen Zugriffe mehr als versechsfachen (Silver 2017). Da VR die wahrgenommene Nähe zwischen Darstellern und Konsumenten gegenüber konventionell produzierten Filmen mit pornografischen Inhalten deutlich verstärkt, findet die Technologie besonders hier ein Anwendungsfeld (Holden 2016).

3.1.5 Location-based Entertainment

Ergänzend zu den skizzierten Film- und Spieleanwendungen bilden Location-based-Entertainment-Angebote einen weiteren interessanten Nutzungsaspekt virtueller Realität im Unterhaltungskontext, in dem sich das VR-Erlebnis vom heimischen Umfeld auf öffentliche Orte verschiebt. Beispielhaft hierfür sind einige Achterbahnen und Themenwelten in Disneys Freizeitparks, in denen Besucherinnen und Besucher über VR-Headsets in die Szenerien der Science-Fiction-Filme »Avatar«, »Guardians of the Galaxy« oder »Star Wars« eintauchen können (Bishop 2017). In dieselbe Richtung gehen die Ambitionen des kanadischen Kinobetreibers IMAX, der im Jahr 2017 in Los Angeles und New York erste VR Experience Center eröffnete.⁴ Statt eines Films auf einer Kinoleinwand kann das Publikum dort in Anlehnung an Kinofilme wie »Ghostbusters« oder »Star Wars«, VR-Szenerien erleben und avancierte VR-Technologien nutzen, die für den Privatgebrauch aufgrund der Kosten nur selten infrage kommen (Fink 2017). Ähnlich dazu entsteht insbesondere im asiatischen Raum (China, Japan, Südkorea) und in den USA eine neue Generation von Spielhallen (sogenannte Arcade Center), in denen VR-Games gespielt werden können (Stone 2017). Offen ist, inwiefern diese Angebote eher einen Zwischenschritt für die umfassende Diffusion von VR in Filmen oder eine eigenständige und ergänzende Weiterentwicklung etablierter Unterhaltungsangebote insbesondere für das Kino darstellen (Fink 2017; Goldman Sachs 2016).

3.1.6 Edutainment

An der Schnittstelle von Bildung (Education) und Unterhaltung (Entertainment) bildet Edutainment ein weiteres Anwendungsfeld für VR und AR. Die

⁴ Aktuell gibt es sieben VR Experience Center, unter anderem in Bangkok, Manchester, Shanghai und Toronto (<http://imaxvr.imax.com/> [16.10.2018]).

lernbezogenen Potenziale liegen darin, die Anschaulichkeit der vermittelten (Lehr-)Inhalte zu erhöhen und das Lernerlebnis dadurch zu intensivieren. Weltweit nutzen bereits viele Museen VR und AR als Erweiterung ihres Ausstellungsangebots: In London können beispielsweise Besucherinnen und Besucher des British Museums einen virtuellen Rundgang durch die Ausstellung über die Bronzezeit unternehmen oder im Natural History Museum in einem 15-minütigen VR-Kurzfilm die Unterwasserwelt der ersten Erdbewohner ansehen (Albrand 2015).⁵ AR ermöglicht darüber hinaus, Hintergrundinformationen zu einzelnen Exponaten zu vermitteln oder Führungen und Rundgänge digital zu begleiten (Radsky 2015). Google verfolgt mit seiner Plattform »Arts & Culture« einen Ansatz, der künstlerische, natur-, zeit- und kulturgeschichtliche Exponate, die sonst in Museen oder Galerien ausgestellt werden, digital zugänglich und virtuell erlebbar zu machen.⁶ Über eine App schafft die Plattform eine Schnittstelle zur Nutzung der Google Cardboard. Es werden beim Vor-Ort-Besuch der Partnereinrichtungen virtuelle Inhalte angeboten, darüber hinaus aber auch rein virtuelle Rundgänge (Cardboard Tours) ermöglicht und damit den Zugang zu Kunst und Kultur von der Notwendigkeit physischer Anwesenheit in Museen oder Galerien entkoppelt.⁷ Laut Google stellen mittlerweile über 1.200 internationale Museen als Partner auf Arts & Culture aus, darunter zahlreiche Topmuseen wie das British Museum in London, das Guggenheim Museum in New York oder das Pergamonmuseum in Berlin.

Neben den Möglichkeiten, die in Museen und Galerien ausgestellten Exponate in der virtuellen Realität zu erleben, beziehen viele Künstler die technologischen Möglichkeiten von VR in die Schaffung ihrer Werke mit ein. So nutzen bekannte zeitgenössische Künstler wie Jeff Koons, Olafur Eliasson oder Marina Abramović Virtual Reality bereits intensiv, um neue Zugänge zu bildender Kunst zu erschließen (Hollein 2017).⁸

Auch bei wichtigen Veranstaltungen wie der New Yorker Whitney Biennale oder der Kunstbiennale in Venedig finden zunehmend Werke Beachtung, die VR als Medium der Kunstbetrachtung und -erfahrung nutzen. Die künstlerischen Einsatzmöglichkeiten von virtueller Realität sind dabei nicht auf bildende Künste, Installationen oder Performances begrenzt: In London wird mit »Ctrl« z. B. ein Theaterstück fast gänzlich in der virtuellen Realität aufgeführt. Die Zuschauer sitzen zwar in einem Theatersaal, tragen jedoch über die gesamte Dauer der Vorstellung ein HMD, über das sowohl die Szenerie als auch die Handlung vermittelt werden. Da die künstlerische Freiheit im Theater größer ist als beispielsweise bei der Produktion von Kinofilmen, finden auch experimentelle Gestaltungs- und Erzählformate Anwendung.

5 <http://www.nhm.ac.uk/discover/news/2015/november/explore-great-barrier-reef-sir-david-attenborough.html> (16.10.2018)

6 <https://artsandculture.google.com/> (24.5.2018)

7 https://artsandculture.google.com/exhibit/vwLy6CV0-_S5Lw (24.5.2018)

8 siehe auch <https://www.acuteart.com> (16.10.2018)

Abb. 3.2 Weltkarte der Museen auf Google Arts & Culture



Die Karte zeigt die über 1.200 internationalen Museen, deren (ausgewählte) Werke man bei Google Arts & Culture virtuell besichtigen kann, darunter 147 mitunter sehr renommierte Einrichtungen in Deutschland (davon 29 allein in Berlin).

Quelle: Kartendaten 2018 Google, INEGI

3.1.7 Immersiver Journalismus

Auch journalistische Reportagen sind ein Anwendungsfeld für VR. Die New York Times nahm diesbezüglich eine Vorreiterrolle ein, als sie im November 2015 eine eigene VR-App veröffentlichte, ihren Abonnenten Google Cardboards zur Verfügung stellte und ankündigte, regelmäßig VR-spezifische Inhalte anbieten zu wollen (Moynihan 2015; Wohlsen 2015). Diesem Impuls folgend machen mittlerweile viele andere journalistische Medien wie beispielsweise das Time Magazin, CNN, Blick oder der Guardian ebenfalls VR-Angebote. Häufig werden Reportagen im 360°-Format produziert, was den Zuschauern den Eindruck ermöglicht, selbst am Ort des Geschehens zu sein (Interview Fröhlich).

Obwohl VR im Fachdiskurs über den Journalismus im digitalen Zeitalter eine wichtige Rolle spielt, fehlt es bisher noch an ausreichend guten Inhalten, um eine breite Zielgruppe zu erreichen und darüber neue und kommerzialisierbare Angebote zu entwickeln (Watson 2017). Auch erscheint es noch nicht abschließend geklärt, inwiefern der momentane Fokus auf Reportageformate, die oft dramatische, gesellschaftspolitische Inhalte verarbeiten (Einblicke in Guantanamo, Fluchtgeschichten etc.) und deren Wirkung durch das immersiv wirkende Medium VR zusätzlich verstärkt wird, Zuschauer eventuell zu sehr aufwühlen und damit abschrecken (Interview Janssen). Umgekehrt kann auch vermutet werden, dass durch das immersive Erlebnis das Mitgefühl und das persönliche (und gesellschaftspolitische) Engagement gestärkt werden.

3.1.8 Übertragung von (Live-)Veranstaltungen

Mit Blick auf TV-Formate stellt die Übertragung von Sport-, Konzert- oder sonstigen Veranstaltungen das zentrale Anwendungsfeld von VR dar. So kooperiert beispielsweise der auf Liveübertragungen spezialisierte Anbieter nextVR bereits unter anderem mit den US-amerikanischen Basketball- und Footballligen wie der National Basketball Association (NBA) oder der National Football League (NFL), um deren Spiele möglichst immersiv erlebbar zu machen (Interview Janssen).⁹ Zukünftig könnten Zuschauer die Spiele z. B. von der Trainerbank oder Musikkonzerte von der Bühne aus verfolgen. Aktuell scheitert die Umsetzung dieser Vision noch an der geringen Auflösung und schwierigen Synchronisierung von 360°-Kameras. Sofern es zukünftig gelingt, diese technologischen Hürden zu überwinden, versprechen derartige Anwendungen potenziell hohe Umsätze (Interview Janssen).

3.1.9 Resümee

Das Anwendungsfeld Medien und Unterhaltung ist durch ein breites inhaltliches Spektrum verschiedener Schwerpunkte gekennzeichnet. Es lassen sich trotz dieser Unterschiedlichkeit einige allgemeine Befunde ableiten. So ist das prospektive Veränderungspotenzial von VR und AR bei Medien und Unterhaltung umso höher, je immersiver und komplexer Inhalte dargestellt werden können. Mit Blick auf die konkrete Gestaltung von Inhalten und Formaten stellt die soziale virtuelle Realität einen wesentlichen Treiber dar, der sich nicht ausschließlich auf die zunehmende Bedeutung von VR im Kontext sozialer Netzwerke wie Facebook beschränkt, sondern auch für das gemeinsame virtuelle Erleben von Computerspielen, Filmen oder Liveveranstaltungen gilt. Zukünftig muss sich hieran eine Debatte um die gesellschaftlichen Folgen von VR knüpfen: Während die Technologien einerseits dafür kritisiert werden können, ihre Nutzer von der realen Welt abzukapseln, ermöglichen sie andererseits eine Intensivierung sozialer Interaktion im virtuellen Raum (Interview Metzinger).

Des Weiteren zeigt sich an den skizzierten Beispielen, dass die Entwicklungsdynamik von VR und AR bei Medien und Unterhaltung stark unternehmensgetrieben ist. Während Hersteller wie Oculus, Samsung, HTC und Sony an der nächsten Generation leistungs- und ergonomieoptimierter HMDs arbeiten, entwickeln Medienanbieter und Betreiber sozialer Netzwerke Inhalte und Anwendungen, mit denen sie hohe Umsatzerwartungen verknüpfen (Interview Metzinger). Mittelfristig ist davon auszugehen, dass die Wechselwirkung von Technologie- und Contententwicklung erfolgreiche mediale Anwendungen zum Vorschein bringen wird, diese aber eher eine Ergänzung zu bereits etablierten Formaten und Medien darstellen werden (Interviews Harth u. Janssen).

⁹ <https://www.nextvr.com/nba>; <https://www.nextvr.com/nflnews> (16.10.2018)

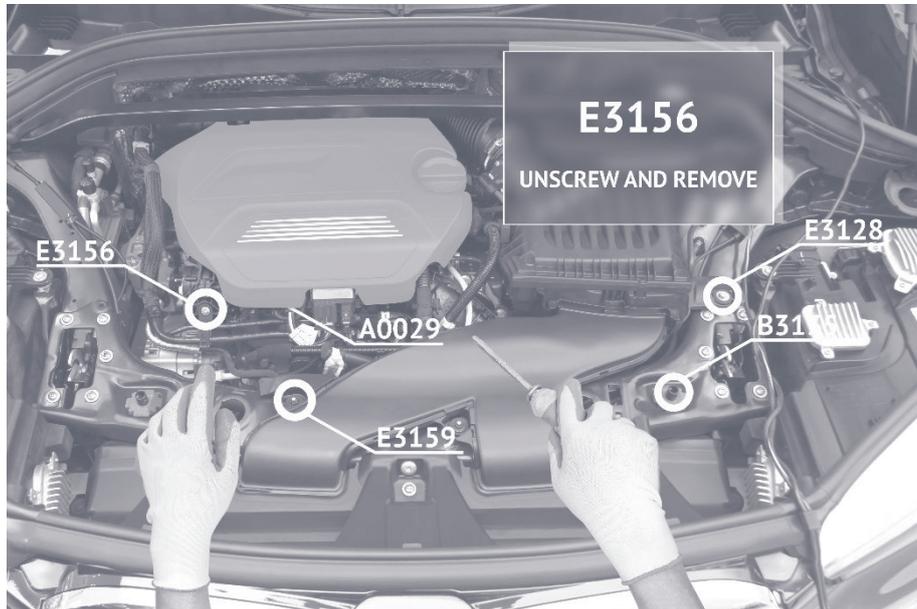
3.2 Arbeit und Produktion

VR und AR ermöglichen im Kontext von Arbeit und Produktion ein breites Spektrum unterschiedlicher Anwendungen, das sowohl allgemein die Aus- und Weiterbildung als auch branchenspezifisch die Unterstützung von Produktions- und Wertschöpfungsschritten umfasst. VR und AR sind Bestandteil einer zunehmend digitalisierten Wirtschaft und damit Teil der aktuellen Entwicklungen und Diskurse rund um Industrie 4.0 (Interview Kuhlen). Dementsprechend ist das Interesse an VR und AR insbesondere im produzierenden Gewerbe groß, was sich bei anwendungsnaher Forschung und Entwicklung sowie in ersten Test- und Pilotphasen in großen Unternehmen widerspiegelt (Interview Oppermann).

3.2.1 Assistenzsysteme für Produktion, Wartung und Logistik

Insbesondere Datenbrillen und Displays, die auf AR basieren, eignen sich zur Unterstützung praktischer Arbeitsschritte, indem sie zusätzliche Informationen ins Sichtfeld der handelnden Personen einblenden, ohne dass diese die unmittelbare Arbeitssituation verlassen oder den Blick abwenden müssen. Erste diesbezügliche Praxistests liefen bei Unternehmen wie Bayer, VW oder Audi, die ihre Mitarbeiter mit Smart Glasses des deutschen Unternehmens Ubimax ausstatteten (Interviews Meixner u. Oppermann). Ob sich die AR-basierten Assistenzsysteme in der Arbeitspraxis durchsetzen, hängt davon ab, ob durch ihren Einsatz ein messbarer Effizienz- und Qualitätsgewinn erzielt werden kann. Dieser ergibt sich insbesondere in Bereichen, in denen Informationen zwischen Mitarbeitern ausgetauscht werden, die an verschiedenen Arbeitsplätzen tätig sind. Die Fernwartung von Spezialmaschinen (Remote Maintenance) bildet einen exemplarischen Anwendungsfall, der für den Einsatz von AR-Assistenzsystemen prädestiniert erscheint (Interviews Latoschik u. Oppermann). So arbeitet beispielsweise der AR-Spezialist Scope AR gemeinsam mit dem Baumaschinenhersteller Caterpillar an einer AR-basierten Livevideoplattform, um Mitarbeiter vor Ort bei Wartung und Reparatur der Maschinen zu unterstützen (Edwards 2017). Ein ebenfalls hohes Anwendungspotenzial wird AR im Bereich der Logistik zugeschrieben. DHL beispielsweise führt aktuell weltweit ein Vision-Picking-Programm ein, in dem Kommissionierer Datenbrillen nutzen, auf denen dargestellt wird, wo jeder kommissionierte Artikel in welcher Stückzahl auf Transportwagen zu positionieren ist (Interview Hartmann).

Abb. 3.3 AR-Assistenzanwendung für die Kfz-Werkstatt



Quelle: zapp2photo/Adobe Stock

3.2.2 Design, Prototyping und Produktentwicklung

Die virtuelle Realität öffnet einen Möglichkeitsraum, um bereits in frühen Planungsphasen die Gestalt und Funktionalität neuer Produkte realistischer als bisher möglich zu simulieren. Bildet computergestützte Modellierung (Computer-aided Design [CAD]) einen bereits langjährig etablierten Bestandteil von Prototypingprozessen, tragen VR-Technologien und -Applikationen wie HMDs oder CAVEs dazu bei, physische Prototypen überflüssig zu machen und Produktentwicklungen noch schneller und flexibler umzusetzen (Interview Mohler). Insbesondere der Automobil- und der Flugzeugbau sind diesbezügliche Vorreiter und unterhalten teilweise eigene VR-Labore. Darüber hinaus ergeben sich hohe Anwendungspotenziale dort, wo die Produktion auf Kleinserien bis hin zur Losgröße 1 oder den Einsatz von Sondermaschinen ausgerichtet ist und ein konventionelles Prototyping sehr aufwendig wäre (Cannarozzi/Runde 2015). Eine unmittelbare Herausforderung für diesen Anwendungsbereich betrifft die Anforderungen an die Daten: Während CAD präzise und detailreiche Datensets benötigt, sollte die Datenmenge für VR-Anwendungen möglichst gering gehalten werden, um Systeme nicht zu verlangsamen. Daher ist die Transformation von CAD-Daten in eine VR-Umgebung unproblematisch, die Rückwandlung von in der VR veränderten Modellen aber noch nicht möglich (Interview Runde).

3.2.3 Virtuelle Geschäftstreffen und Konferenzen

Weitere Anwendungsoptionen von VR im Arbeitskontext ergeben sich mit Blick auf die Weiterentwicklung von Telefon- und Videokonferenzlösungen durch virtuelle Räume (Interview Strehlitz). In dieser Hinsicht lassen sich sowohl Prinzipien als auch Plattformen für soziale VR (Kap. 3.1.1) vom privaten Umfeld in professionelle Situationen wie Coworking oder -conferencing überführen, um die ortsunabhängige Interaktion zwischen Einzelakteuren und Gruppen zu intensivieren (Interview Harth; Zakrzewski 2016). Je nach Qualität entsprechender Anwendungen können solche Lösungen dazu beitragen, die Notwendigkeit von Dienstreisen und damit verbundene zeitliche, ökologische und ökonomische Nachteile zu mindern (Azizullah 2016).

3.2.4 Visualisierung komplexer Daten

Das Leitbild der Industrie 4.0 beschreibt die Digitalisierung und Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen und produktionsrelevanten Daten (Hirsch-Kreinsen et al. 2015). In Anbetracht der dafür notwendigen Informationsfülle, die neben Materialflüssen weitere Aspekte wie Auslastung und Wartungsbedarfe von Maschinen oder Fertigungsfortschritte beinhalten, liegt eine Kernherausforderung übergreifender Produktionsleitsysteme (Manufacturing Execution Systems) darin, die Komplexität der Daten zu erfassen und adäquat zu verarbeiten (ZVEI 2017). VR und AR können in diesem Zusammenhang eine Schnittstelle bilden, die es erlaubt, auch komplexe Daten anschaulich zu visualisieren (Interview Kuhlen). Beispielhaft für derartige Anwendungen ist die Simulation sogenannter digitaler Zwillinge, wie sie beispielsweise von Siemens zur Fernüberwachung von laufenden Gasturbinen umgesetzt wird.

Abb. 3.4 Visualisierung digitaler Zwillinge



Mit einer VR-Brille kann der digitale Zwilling einer Gasturbine bis ins kleinste Detail auf mögliche Unregelmäßigkeiten und Überhitzungen hin überprüft werden.

Quelle: Siemens AG

Mit einer VR-Brille betreten Ingenieure eine virtuelle Halle mit der digitalen Zwillingsturbine, die durch Sensordaten der realen Turbine gespeist wird und so die Überwachung der Verbrennungstemperatur oder Drehzahl der Maschine ermöglicht (Siemens 2017).

3.2.5 Assistenzsysteme im Bereich Mobilität und Verkehr

Im Automobilbereich werden AR-basierte Head-up-Displays als Ergänzung zu etablierten Fahrassistenzsystemen weiter an Bedeutung gewinnen. Die Displays ermöglichen es den Fahrern, die Kopfhaltung bzw. Blickrichtung beizubehalten, indem die relevanten Informationen (beispielsweise von Bordcomputer oder Navigationsgerät) in ihr Sichtfeld projiziert werden. Während Glasflächen als Projektionsebene bereits handelsüblich sind, arbeiten Autohersteller an Technologien, die Fahrinformationen als Holografien unmittelbar in das Blickfeld der Fahrer einblenden (Gomoll et al. 2017). Panasonic entwickelt außerdem ein AR-gestütztes Assistenzsystem, das Objekte auf der Straße über eingebaute Kameras erkennt und diese in potenziellen Gefahrensituationen im Sichtfeld der Fahrer visuell hervorhebt (Burgess 2017).

3.2.6 Visualisierung von Bauprojekten

Ein branchenspezifisches Anwendungsfeld, in dem VR ein hohes Innovationspotenzial zugeschrieben wird, entsteht im Zusammenhang mit Architektur und Bauwesen (Interviews Kuhlen u. Wenzel). Ähnlich wie beim industriellen Prototyping bieten vor allem HMDs und CAVE-Lösungen (Kap. 2.3.4) einen Mehrwert, um digitale Pläne von Häusern, Inneneinrichtungen oder auch Fertigungsstraßen in Fabriken erlebbar zu machen und so dazu beizutragen, Fehler früh zu erkennen und den Bau zu optimieren (Interview Kuhlen). Besondere Potenziale ergeben sich bei kollaborativen Arbeitsformen, da sich auch Personen, die keine Architekten oder Bauingenieure sind, in abstrakte Planungen hineinversetzen und dadurch an Abstimmungsprozessen partizipieren können – dies schließt Kunden genauso ein wie Vertreter anderer Disziplinen (Interview Wenzel).

In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Modellprojekt »BIMiD – BIM-Referenzobjekt in Deutschland« wird an einer Arbeitsmethode gearbeitet, die verschiedene relevante Daten eines Bauwerks verknüpft. Beispielsweise werden die Daten der Bauteile mit Daten zu Lieferanten, Preisen oder Terminen in einem 3-D-Modell verknüpft. Über Headsets wird am Bau beteiligten Personen gezeigt, wie bestimmte Arbeiten auszuführen sind. Mittels Building Information Modeling (BIM) sollen Planungs- und Bauprozesse optimiert und vereinfacht werden (Greve 2017; top fair 2017).

Abb. 3.5 Einsatz von VR in Planungsprozessen



Im Immersive Engineering Lab des Fraunhofer IAO lassen sich durch mehrseitige Projektionsumgebungen gemeinsam virtuelle Umgebungen begehen, um so z. B. die Temperaturverteilung in zukünftigen Gebäuden (links) oder eine komplette Fabrikhalle im Maßstab 1:1 in 3-D zu erfahren (rechts).

Quelle: Fraunhofer IAO

3.2.7 Simulation und Training

Die virtuelle Simulation professioneller Tätigkeiten zu Trainings- und Weiterbildungszwecken stellt einen Querschnittsbereich der VR- und AR-Anwendung dar, der sich je nach Profession und Tätigkeit unterschiedlich konkretisiert. Wie für das Anwendungsfeld Medizin und Pflege beschrieben, nutzen beispielsweise Ärzte VR-Applikationen, um sich auf komplizierte Operationen vorzubereiten (Interview Mühlberger). Auch im Rahmen der Berufsausbildung von Mechatronikern und anderen industrienahen Professionen können beispielsweise AR-basierte Datenbrillen eingesetzt werden, um Prozessabläufe über eingeblendete Informationen und Anleitungen in praxisnahen Kontexten schneller zu erlernen (Interview Meixner).

3.2.8 Resümee

VR- und AR-Anwendungen im Bereich Arbeit und Produktion betten sich in die allgemeinen Entwicklungen und Diskurse um die Digitalisierung der Wirtschaft und die Gestaltung zukünftiger Arbeitsroutinen ein. Sie können dazu beitragen, Produktionsprozesse zu beschleunigen, relevante Informationen und Daten zu visualisieren und ortsunabhängig zugänglich zu machen oder Kompetenzen digital und on demand zu vermitteln. Anwendungsbeispiele wie virtuelle Meetings oder simulierte Begehungen von Bauvorhaben können darüber hinaus positive ökologische Effekte auslösen, indem die Notwendigkeit phy-

sischer Dienstreisen reduziert wird.¹⁰ Die erhofften Potenziale führen aktuell dazu, dass viele Unternehmen als Early Adopter erste VR- und AR-basierte Lösungen pilothaft erproben oder zum Teil bereits in die betrieblichen Abläufe implementieren.

3.3 Handel und Konsum

Der Bereich Handel und Konsum bietet sehr viele Anknüpfungspunkte für die Nutzung von VR und AR. Diese lassen sich in zwei grundlegende Einsatzfelder unterteilen: Zum einen bieten sowohl VR als auch AR neue Möglichkeiten der Beeinflussung und Unterstützung von Kaufentscheidungen durch Produktpräsentationen, Werbung oder Marketing (Interviews Berssenbrügge u. Schild). Erste Anwendungen erfahren bereits eine Umsetzung und werden kurz- bis mittelfristig an Bedeutung gewinnen (Interview Runde). Zum anderen können sich Beziehungen und Transaktionen zwischen Händlern und Kunden vollständig in den virtuellen Raum verschieben, beispielsweise durch virtuelle Warenhäuser, in denen Kunden »einkaufen gehen« (Forbes Agency Council 2017). Konkrete Umsetzungsbeispiele befinden sich aktuell noch in Testphasen.

3.3.1 Werbung und Marketing

VR und AR ermöglichen ein breites Spektrum neuartiger Vermarktungsansätze für Produkte und Dienstleistungen (Forbes Agency Council 2017). Aus dem Deutschen Markenreport 2017 (Brandoffice 2017) geht hervor, dass zwei Drittel der befragten Marken- und Marketingverantwortlichen führender Unternehmen davon ausgehen, dass VR und AR einen großen bis sehr großen Einfluss auf Kaufentscheidungen und das Konsumverhalten von Kunden haben werden. Seitens der Unternehmensvertreter werden die größten Potenziale in der Schaffung intensiver Marken- und Produkterlebnisse sowie bei Kundendialog und -service gesehen. Konkrete Umsetzungen existieren bis dato jedoch noch nicht. Aktuell werden jedoch auf Ebene der Contentplattformen die technologischen Rahmenbedingungen für immersive Werbung geschaffen: Sowohl das Unternehmen Unity, das die führende Entwicklungsumgebung für die Herstellung virtueller Inhalte bereitstellt, als auch Google, welches seinen Hauptumsatz aus

10 Auch wenn bisher keine Forschungsarbeiten mit dezidiertem VR- und AR-Fokus existieren, belegen beispielsweise Guerin (2017) oder das Carbon Disclosure Project (2010) die Einsparpotenziale von CO₂ Emissionen durch technologisch etablierte Videokonferenz-/Telepräsenzlösungen. Es zeigt sich auch, dass die Umsetzung entsprechender technologischer Potenziale organisationaler Strukturen bedarf, bei denen z. B. die Notwendigkeit von Dienstreisen hinterfragt bzw. deren Durchführung beschränkt werden. Sofern VR- und AR-Anwendungen zu qualitativen Verbesserungen oder Effizienzsteigerungen im Kontext virtueller Business Meetings führen, ist davon auszugehen, dass sie positive ökologische Effekte auslösen können.

digitaler Werbung generiert, haben ihre Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zuletzt intensiviert, um für Unternehmen einen möglichst niedrighschweligen Einstieg für die Entwicklung eigener virtueller Werbeangebote zu schaffen (Stinson 2017; Upadhyay/Rao 2017). Mit Blick auf AR existiert darüber hinaus die Vision, die reale Welt, sei es in Supermärkten oder auf der Straße, mit personalisierter virtueller Werbung zu erweitern (Forbes Agency Council 2017). Dies würde jedoch die Entwicklung von AR-Headsets für den alltäglichen Gebrauch voraussetzen.

3.3.2 Produktpräsentation und -vertrieb

VR und AR ermöglichen sowohl Online- als auch Einzelhändlern neue Möglichkeiten, ihren Kunden Produkte näherzubringen, indem Gestalt, Nutzen oder Mehrwert der Produkte virtuell erfahrbar werden. Im Onlinehandel kommen hier aktuell vor allem AR-Anwendungen zum Einsatz, mit denen die Hersteller und Verkäufer Konsumwaren sehr anschaulich präsentieren können. So hat z.B. IKEA eine AR-App entwickelt, mit der potenzielle Kunden Möbelstücke bereits vor dem Kauf mithilfe mobiler Endgeräte in ihrem realen Wohnumfeld begutachten können (Rondinella 2017).

Abb. 3.6 AR-Anwendung zur Produktpräsentation



Quelle: zapp2photo/Adobe Stock

In ähnlicher Weise plant auch die Verkaufsplattform für Mode »YOOX« eine App, mit der Kunden Accessoires wie Handtaschen, Sonnenbrillen und Schmuck über eine AR-App an sich ausprobieren und per Live Fashion Shoots

festhalten können (Preuss 2017). Im analogen Einzelhandel ermöglichen VR und AR eine Reihe neuer Point-of-Sales-Anwendungen, um Geschäfts- oder Messeflächen durch virtuelle Produktpräsentationen zu ergänzen. Während für frühe Anwendungen vor allem AR genutzt wurde, um beispielsweise den Inhalt von Lego-Kartons in Originalgröße abzubilden (Lorenzen 2013) oder Mode virtuell anzuprobieren (Magic Mirror der japanischen Modekette Uniqlo),¹¹ gehen aktuelle Anwendungstrends eher in Richtung VR. So nutzt beispielsweise Audi HMDs dazu, potenziellen Kunden einen möglichst realistischen Eindruck ihrer individuell konfigurierten Fahrzeuge zu vermitteln (Ilg 2017). Auch die Tourismusbranche nutzt bereits HMDs, um Kunden ihre Reiseziele möglichst anschaulich nahe zu bringen. Dabei geht es (noch) nicht darum, einen Urlaub durch virtuelle Reisen zu ersetzen – Reiseveranstalter wie TUI oder Thomas Cook nutzen die Technologien vor allem als Unterstützung im Verkaufsprozess, um so ihre Attraktivität gegenüber Onlinereiseportalen zu stärken (dpa 2017b; Gerrard 2017).

3.3.3 Virtuelle Geschäfte und Kaufhäuser

Neben den bereits benannten Anwendungsperspektiven von VR und AR zu Zwecken von Werbung, Marketing und Produktpräsentation, die auch stationären Einzelhändlern Vorteile bieten, kann vor allem VR mittel- bis langfristig dazu beitragen, dass sich Konsum noch weiter als bisher in die digitale Welt verlagert. Bilden aktuell Internetwebshops den Kern des Onlinehandels, in denen Produkte nur einfach dargestellt werden, kann VR dazu beitragen, Geschäfte oder Kaufhäuser in ihrer Komplexität zu simulieren, in denen Kunden virtuelle Ladenrundgänge machen können (Wang 2016). Ein erstes Umsetzungskonzept für diese Vision bietet das chinesische Unternehmen Alibaba Group auf seiner Handelsplattform »Alibaba.com« an. Die Alibaba Group stellte 2016 eine Betaversion der Buy+-App vor, die 360°-Ansichten eines virtuellen Geschäfts liefert und Möglichkeiten bietet, Kleidungsstücke von virtuellen Modells vorführen zu lassen, ausgewählte Produkte in den Warenkorb zu legen und im virtuellen Raum zu bezahlen (Brien 2016). In diesem Zusammenhang ist auch ein Videoclip¹² zu nennen, in dem gezeigt wird, wie Nutzer der App in der virtuellen Realität mit einem Taxi vom New Yorker Times Square in das nahegelegene Kaufhaus Macy's fahren, um dort einkaufen zu gehen (Wang 2016).

3.3.4 Resümee

Anhand der Anwendungsbeispiele wird deutlich, dass VR- und AR-Technologien sowohl für den traditionellen, lokalen Einzelhandel als auch für Online-shops anschlussfähig sind. Aktuell sehen Einzelhändler in der virtuellen

¹¹ <https://holition.com/portfolio/uniqlo> (5.6.2018)

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=wP2SXkcMhX0&feature=youtu.be> (5.6.2018)

Produktpräsentation eine Möglichkeit, das Konsumerlebnis der Kunden vor Ort zu stärken, um so einen Mehrwert gegenüber dem Onlinehandel zu generieren. Dieser Ansatz trägt jedoch voraussichtlich nur so lange, bis qualitativ hochwertige Endgeräte zur Wiedergabe virtueller Inhalte eine flächendeckende Verbreitung bei Endkunden erfahren, sodass die virtuellen Erlebnisse von zu Hause aus möglich sind. Je umfassender die Technologie den Massenmarkt durchdringt, desto stärker wird ihr Einfluss auf Handel und Konsum sein. Während die Integration von AR in Smartphones bereits kurzfristig zu einer umfassenden Nutzung darauf basierender Verkaufs-Apps führen wird, werden VR-Lösungen erst mittel- bis langfristig neue Verkaufsmöglichkeiten eröffnen.

Abb. 3.7 AR-Anwendungen beim Einkaufen



Quelle: zapp2photo/Adobe Stock

3.4 Medizin und Pflege

VR- und AR-basierte Ansätze werden in der Medizin zwar bereits seit über 20 Jahren erprobt, finden aber erst in Teilbereichen von Medizin und Pflege erste praktische Anwendungen. Ein Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung bilden VR- und AR-basierte Therapiemaßnahmen zur Behandlung von Phobien, Traumata, Depressionen, posttraumatischen Belastungsstörungen oder Süchten (Interviews Mühlberger u. Steinicke). Besonders die Forschung zu spezifischen Phobien ist weit fortgeschritten und verspricht eine Effizienzsteigerung und höhere Teilnahmequoten an Maßnahmen der psychotherapeutischen Versorgung. AR-Anwendungen werden zusätzlich auch für die diagnostische und praktische Unterstützung oder für die Aus- und Weiterbildung behandelnder Ärzte und Pflegekräfte erschlossen.

3.4.1 Therapie psychischer Erkrankungen

Ein besonderes Potenzial ergibt sich in der Therapie von spezifischen Phobien wie Angst vor Spinnen, Höhen- oder Flugangst, bei der Patienten mithilfe von virtuellen Darstellungen der angstauslösenden Situation mit ihren Ängsten konfrontiert werden (Diemer et al. 2015, S. 140 ff.; Shiban et al. 2016). Auch die Therapie diffuserer Ängste (insbesondere Sozialphobien)¹³ wurde im Rahmen von Forschungsprojekten bereits erfolgreich erprobt (Dechant et al. 2017). Entsprechende Ansätze der Expositions- bzw. Konfrontationstherapie basieren auf dem psychologischen Mechanismus, dass durch die virtuelle Wahrnehmung die gleichen emotionalen Reize in Form von Angstreaktionen ausgelöst werden können wie bei echten Erlebnissen. So kann auch die virtuelle Simulation des Berührens von Spinnen oder des Erlebens schwindelnder Höhen, enger Räume etc. erwiesenermaßen einen effektiven therapeutischen Nutzen erzielen (Diemer et al. 2015, S. 138; Interview Mühlberger). Posttraumatische Belastungsstörungen, wie sie etwa bei Soldaten nach Kriegseinsätzen auftreten können, bilden einen weiteren therapeutischen Einsatz von VR (Interviews Meixner u. Mühlberger). Dazu werden traumatische Erlebnisse realitätsgetreu nachgestellt, wobei allerdings die Gefahr der Retraumatisierung oder gar Neutraumatisierung besteht. Die Evidenzlage zu Langzeiteffekten und Wirkungen der virtuellen Therapie von posttraumatischen Belastungsstörungen ist bislang noch sehr gering (Interview Mühlberger). Weitere Potenziale für virtuelle Therapieansätze bestehen bei Depressionen, Süchten, Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung, Essstörungen oder der Schizophrenie (Diemer et al. 2015; Hone-Blanchet et al. 2014; Mühlberger et al. 2016). Die Forschung befindet sich in einer sehr frühen Phase, entsprechend ist auch hier die Evidenzlage zur Wirksamkeit noch sehr gering (Interview Mühlberger).

3.4.2 Schmerzkontrolle

Das Eintauchen in virtuelle Welten kann auch einen Beitrag zur Schmerzlinderung leisten, indem Patienten eine Ablenkung bei Schmerzen erfahren, die z. B. bei Verbandswechseln von Brandwunden oder nach Operationen entstehen. Ähnliche Einsatzmöglichkeiten werden beim Zahnarzt oder bei gebärenden Frauen zur Ablenkung bei Wehenschmerzen erprobt (Interview Mühlberger; Amirtha 2016). Die erste VR-Software zur Schmerzkontrolle namens »Snow-World«¹⁴ wurde an der Universität von Washington mit dem Ziel entwickelt, US-amerikanischen Soldaten mit Verbrennungswunden beim Verbandswechsel Linderung zu verschaffen. Dazu werden die Patienten in verschneite Eiswelten versetzt, wo sie mit Schneemännern, Pinguinen oder Mammuts interagieren, die

13 <http://catch.ewi.tudelft.nl/> (5.6.2018)

14 www.vrpain.com (5.6.2018)

sie beispielsweise mit Schneebällen bewerfen können; gleichzeitig läuft entspannende Musik. In verschiedenen Studien zu »SnowWorld« konnte belegt werden, dass sich das Schmerzempfinden der Verbrennungsoffer um bis zu 35 bis 50% verringern lässt (Hoffman et al. 2011). Inwieweit dafür tatsächlich das Eintauchen in eine kühle Eiswelt oder die allgemeine Ablenkung durch virtuelle Erfahrungen ursächlich ist, wurde wissenschaftlich noch nicht abschließend belegt (Interview Mühlberger). In ähnlicher Weise bietet auch das US-amerikanische Start-up AppliedVR¹⁵ therapeutische VR-Anwendungen zur Schmerzlinderung. Es fokussiert hierbei auf Anwendungen im Bereich Verbandswechsel sowie Angst- und Schmerzreduktion im Verlauf medizinischer Behandlungen (z.B. OPs, urologische Untersuchungen, Infusionen). Durch den Aufenthalt in virtuellen Welten sollen sich vor allem Kinder bei medizinischen Behandlungen gut ablenken lassen können (Panjwani 2017). Neuere Ansätze versprechen eine Linderung bei chronischen Schmerzen, darunter Phantomschmerzen, die nach Amputationen auftreten können. Hier ist die Wirksamkeit von VR- und AR-Lösungen noch nicht eindeutig belegt (Dunn et al. 2017; Ortiz-Catalan et al. 2016).

3.4.3 Unterstützung bei Rehabilitation und Demenzbehandlung

Einen weiteren medizinischen Anwendungsbereich von VR bildet die neurologische Rehabilitation von Schlaganfallpatienten mit Lähmungserscheinungen. Über die präzise Rückmeldung von Bewegungen sowie die motivierende und spielerische Wirkung von VR soll die Rehabilitation motivierender und effektiver für die Patienten gestaltet werden. Das Schweizer Start-up-Unternehmen MindMaze¹⁶ bietet Patienten z.B. die Möglichkeit, bewegungstherapeutische Übungen durchzuführen und dabei virtuell zu beobachten, wie sich der eigentlich gelähmte Körperteil bewegt. Klinische Studien belegen bisher noch keine eindeutigen Wirkungsvorteile der VR-Ansätze gegenüber traditionellen Therapien (Henderson et al. 2007; Laver et al. 2015; Viñas-Diz/Sobrido-Prieto 2017). Weitgehend unerschlossen, jedoch mit Potenzial für die Zukunft, ist der Einsatz von VR- bzw. AR-Technologien zur Unterstützung, Pflege und Therapie von Demenzkranken (Dechant et al. 2017). AR könnte beispielsweise neue Funktionalitäten für Assistenzsysteme erschließen und während des Aufenthalts in virtuellen Welten einen angenehmen Zeitvertreib ermöglichen. Daneben könnte VR auch für ein kognitives Training oder für eine Realitätsorientierung genutzt werden, um das Erinnerungsvermögen zu stimulieren. Diese Form der Unterstützung könnte professionelle Pflegekräfte und Angehörige bei ihren täglichen Aufgaben entlasten und den betroffenen Patienten mehr Freiräume bieten (Interview Mühlberger).

15 <https://appliedvr.io/about> (5.6.2018)

16 <https://www.mindmaze.com> (5.6.2018)

Abb. 3.8 VR-Anwendungen in der Bewegungstherapie

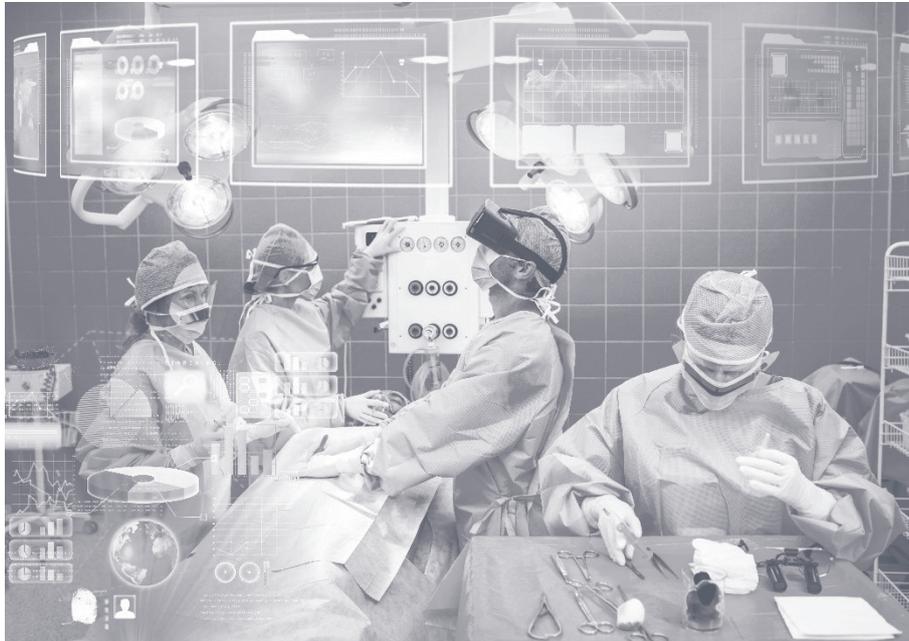


Quelle: marino bocelli/Adobe Stock

3.4.4 Assistenz bei Diagnosestellung und Operationen

Auch für behandelnde Mediziner oder angehende Ärzte sowie Pflegekräfte erschließen sich durch VR und AR neue Möglichkeiten. So kann vieles von dem, was angehende Ärzte und Pflegekräfte erlernen müssen, mittels virtueller Simulation geübt werden. Das Anwendungsspektrum reicht dabei von der Kommunikation in der Arzt-Patienten-Beziehung über die Diagnosestellung bis hin zum chirurgischen Eingriff. Durch die Simulation eines virtuellen Patienten mit seinen individuellen radiologischen Bilddaten können z.B. heikle Eingriffe vorab erprobt werden (Interviews Fröhlich, Mühlberger u. Runde). Erste Feldversuche finden bereits bei der Vorbereitung schwieriger Operation am Gehirn oder der Erprobung neuer Techniken der Zahnmedizin statt, die sonst nur an plastischen Figuren ohne Sensoren und Feedback erlernbar sind. Im 2009 begonnenen Forschungsprojekt »HapTEL« konnten angehende Zahnärztinnen und Zahnärzte ihre Behandlung an einem virtuellen Patienten erproben. Auch die Steuerung von Operationsrobotern, die für menschliche Hände nicht mögliche Bewegungen erlauben, können in der virtuellen Realität trainiert werden. In unmittelbaren Operationssituationen werden AR-basierte Assistenzsysteme ferner zur Visualisierung und Markierung operationsrelevanter Daten während chirurgischer Eingriffe eingesetzt (Condcliffe 2017; Fraunhofer IGD 2017). VR ermöglicht darüber hinaus das risikofreie Sammeln praktischer Erfahrungen von lebensrettenden, heiklen Eingriffen und Prozeduren.

Abb. 3.9 AR-Anwendungen bei chirurgischen Eingriffen



Quelle: vectorfusionart/Adobe Stock

3.4.5 Resümee

Grundsätzlich bilden Medizin und Pflege aufgrund ihrer Nähe zu Mensch und Gesundheit anspruchsvolle Anwendungsfelder für neue Technologien, weshalb der Diffusion neuer Ansätze und Methoden in die Praxis zumeist lange Phasen von Forschung und Entwicklung voranstehen. VR- und AR-Technologien bilden diesbezüglich keine Ausnahme und befinden sich daher aktuell noch in der Erprobung und Wirkungsvalidierung. Ihre Nutzungspotenziale zeigen sich insbesondere da, wo die menschliche Wahrnehmung eine Schnittstelle für psychische und neurologische Therapieansätze bildet. So können z. B. Organisationsaufwand und Kosten für die Therapie von Phobien mittels VR und AR deutlich reduziert werden, weil die Konfrontation mit echten angsteinflößenden Tieren, wie Spinnen oder Schlangen, unnötig wird und Flüge, Aussichtsplattformen und weitere Situationen, in denen die Patienten Ängste entwickeln, virtuell simuliert werden können. Auch die beschriebenen Anwendungen im Kontext von Schmerzkontrolle sowie der Unterstützung bei Rehabilitation und Demenz sind vielversprechende Ansätze. Besondere Fragestellungen und Herausforderungen für das Anwendungsfeld Gesundheit und Pflege ergeben sich hinsichtlich der Sicherheit von digitalen Daten im Gesundheitssystem, die in jedem Fall gewährleistet sein muss.

3.5 Schutz und Sicherheit

Das Anwendungsfeld Schutz und Sicherheit weist neben dem militärischen Bereich auch Bezüge zur Polizeiarbeit, zu Rettungseinsätzen und zum Katastrophenschutz auf. Innerhalb dieses Spektrums kommen viele unterschiedliche VR- und AR-Anwendungen zum Einsatz, mit denen teilweise sehr spezifische Ziele und Zwecke verfolgt, zum Teil aber auch Lösungen aufgegriffen werden, die bereits in den zuvor beschriebenen Feldern zum Tragen kamen.

3.5.1 Militärisches Einsatztraining, Kriegsführung und Behandlung von Nachkriegseffekten

Einen Schwerpunktbereich der VR-Anwendung bildet das militärische Training, bei dem die virtuelle Darstellung von Extremsituationen das Militärpersonal auf reale Einsätze vorbereiten soll. So können beispielsweise Fallschirmsprünge simuliert oder das Lage- und Situationsbewusstsein (Situational Awareness) von Soldaten trainiert werden (Avantis Systems 2017; Nye 2017). Darüber hinaus stellt die Stärkung des Situationsbewusstseins einen Anwendungsbezug insbesondere bei der Nutzung von AR-basierten Headsets dar, die über den Trainingskontext hinaus bereits für anstehende Gefechtssituationen getestet werden. Während in diesem Zusammenhang z. B. die israelische Armee mit Microsofts HoloLens experimentiert (dpa 2017a), setzt das Army Research Lab des US-amerikanischen Militärs auf eine Eigenentwicklung namens Tactical Augmented Reality (TAR) (Gallagher 2017; Vergun 2017).

Abb. 3.10 Militärischer Einsatz von HMD-Helmen



Tactical Augmented Reality (TAR) bietet Bilder mit integrierten Mapping-, Navigations- und 3-D-Oberflächenmodellen für eine Vereinfachung von Manövern im Feld. Bisher zusätzlich benötigte Geräte sind hier in den HMD-Helm integriert.

Quelle: U.S. Army, DoD Lab Day 2017 (https://www.army.mil/article/188088/heads_up_display_to_give_soldiers_improved_situational_awareness [29.5.2018])

Perspektivisch erweitern VR- und AR-basierte Technologien auch die Möglichkeiten ferngesteuerter Kriegsführung mit Flug- und Kampfdrohnen, die z. B. mittels VR-Headsets besser navigiert werden können (Interview Malaka). Sowohl bei militärischen als auch bei medizinischen Anwendungen können VR-basierte Therapieansätze zur Behandlung von Nachkriegseffekten, wie beispielsweise von posttraumatischen Belastungsstörungen bei Soldaten, genutzt werden (Interview Meixner).

3.5.2 Vorbereitung auf Rettungseinsätze und Katastrophenschutz

Grundsätzlich weisen die Anwendungspotenziale von VR und AR beim militärischen Einsatz und im Kontext von Rettungseinsätzen und Katastrophenschutz eine große Schnittmenge auf.

Abb. 3.11 VR beim Training für Kriseneinsätze



In der österreichischen Kleinstadt Kapfenberg führten die Feuerwehrleute ein virtuelles Atemschutztraining mit Abschlusstest durch (Kleine Zeitung 2018).

Quelle: FF Kapfenberg-Stadt

Virtuelle Simulationen eröffnen für Polizei, Feuerwehr und Rettungskräfte neue Trainingsansätze (Interview Meixner). Dabei muss jedoch eine hohe Realitäts-treue gewährleistet werden, was zum Teil die Integration realer Objekte (Feuerwehrschräuche, Waffen etc.) erfordert (Interview Meixner). Die Einblendung situationsspezifischer Informationen über AR-Headsets bildet darüber hinaus einen naheliegenden Anwendungsbereich, um die Koordination und Effizienz von Rettungseinsätzen zu verbessern (Interview Latoschik).

3.5.3 Resümee

VR und AR finden seit Beginn ihrer Entwicklung ihren besonderen Einsatz für militärische Anwendungen. Da in diesem Bereich jedoch nur wenig publiziert wird und Informationen geheim gehalten werden, bleiben viele Aktivitäten vermutlich im Verborgenen.

Schutz und Sicherheit stellen aufgrund ihrer großen Ressourcen und spezifischen Anwendungsbezüge ein Feld dar, in dem signifikante Umsatzpotenziale zu erwarten sind. Mit Blick auf die Weiterentwicklung von VR und AR in diesem Anwendungsfeld wird es perspektivisch interessant sein zu beobachten, inwiefern auch dort handelsübliche Lösungen der großen kommerziellen Anbieter zum Einsatz kommen oder ob verstärkt eigene technologische Ansätze vorangetrieben werden, die im Sinne einer Verwendbarkeit in nichtmilitärische Bereiche (Dual Use) diffundieren können. Aktuell deutet sich diesbezüglich noch keine klare Tendenz ab.

3.6 Schule und Hochschule

Während der Aspekt beruflicher Bildung und (Weiter-)Qualifizierung bereits in Kapitel 3.2 beschrieben wurde, stellen Schule und Hochschule ein weiteres Anwendungsfeld dar, in dem VR zukünftig zu weitreichenden Veränderungen führen kann. Es wird angenommen, dass mittels einer immersiven Vermittlung die Einprägsamkeit von Lehrinhalten steigt. Aktuell bieten bereits einige kommerzielle Anbieter entsprechende Konzepte an.

Besondere Aufmerksamkeit hat in diesem Zusammenhang die 2015 gestartete und seitdem sukzessiv erweiterte Software bzw. App »Expeditions« von Google erfahren. Schulen wird für einen begrenzten Zeitraum die Soft- und Hardware bereitgestellt, um Klassen auf virtuelle Zeitreisen und Erkundungstouren zu schicken (Reede/Bailiff 2016). Google stellt dafür passende Inhalte, wie z. B. Reisen zur Chinesischen Mauer oder auf den Mars, zur Verfügung. Das Angebot kann mit Tablets und Smartphones sowie der dazu passenden Google Cardboard genutzt werden. Die technischen Voraussetzungen sind also relativ gering und seitens der Schulen vergleichsweise leicht zu realisieren (Interview Janssen).

Eine ähnliche Richtung, jedoch mit stärkerem Bezug zum unmittelbaren schulischen Curriculum, verfolgt die Kollaboration von Samsung und dem deutschen Schulbuchverlag Cornelsen, aus der eine prototypische VR-App für den Biologieunterricht hervorgegangen ist. Schülerinnen und Schüler können mithilfe von Tablets, Smartphones und VR-Brillen auf eine Reise durch den menschlichen Körper gehen und biologische Prozesse innerhalb des Organis-



mus realitätsnah miterleben (Cornelsen Verlag 2016; Interview Ludwig).¹⁷ Diesem Vorbild folgend kann VR dazu beitragen, auch die Lehrinhalte in Fächern wie Geografie, Geschichte und diversen naturwissenschaftlichen Fächern erlebbar zu machen (Interview Fröhlich). Dabei ist jedoch grundsätzlich zu beachten, dass seitens der Wissenschaft bisher nicht bewiesen wurde, dass durch VR vermittelte Lehrinhalte z. B. im Vergleich zu gewöhnlichen Computeranimationen tatsächlich nachhaltigere Lernerfolge erzielen (Interview Metzinger).

¹⁷ Ein Beispiel für einen Imagefilm zur VR-Applikation für den Biologieunterricht findet sich unter https://www.youtube.com/watch?v=sWqD_WEiuZo (16.10.2018).



4 Thesen

Die nachfolgenden Thesen wurden auf Basis der Literatur- und Quellenanalyse sowie den Interviews mit den Fachexperten erstellt. Sie fassen die wesentlichen Ergebnisse der TA-Vorstudie zusammen. Die Ableitung der einzelnen Thesen wird im Folgenden ausführlich erläutert. Die Reihenfolge der Thesen stellt keine Gewichtung oder Schwerpunktsetzung dar.

4.1 Technologie

4.1.1 Voraussetzungen für künftige Entwicklungen

These 1

Die wesentlichen technologischen Herausforderungen für die weitere Entwicklung von VR und AR bestehen in Grafikkarten- und Rechnerleistung, der Erweiterung des Sichtfelds, der Erstellung von 3-D-Daten sowie der Echtzeitfähigkeit der Bewegungserfassung (Tracking und Capturing).

Die eingeschränkte Grafikkarten- und Rechnerleistung stellt aktuell nach wie vor eine Limitierung dar. Einerseits muss eine hohe Exaktheit gewährleistet werden, wie dies beispielsweise bei der Visualisierung von Konstruktionsdaten der Fall ist, andererseits steht die Echtzeitfähigkeit bei der Datenübertragung und -aufbereitung im Vordergrund, um eine möglichst detailreiche visuelle Darstellung zu erhalten. Für den Einsatz von VR und AR ist somit eine ausreichende Datenverarbeitungskapazität eine zentrale Voraussetzung. Hier sind in den nächsten 5 bis 8 Jahren allerdings die notwendigen Entwicklungssprünge zu erwarten (Interview Schild).

Für ein schärferes und realistischeres Bild muss nicht nur die Auflösung der Displays mitbedacht werden, sondern auch das Sichtfeld und das Sehvermögen des Menschen. Die Auflösungsfähigkeit aktueller Displays ist laut Expertenauffassung noch zu gering, um ein hohen Immersionsgrad zu erreichen. Die heute verfügbaren Full-HD-, 4K- und 6K-Displays erzielen zwar bereits gute Ergebnisse (4K bezieht sich auf die Auflösungsfähigkeit der Bildschirme 4.096×2.160 Pixel), erst jedoch bei 16K-Displays sind in der visuellen Wahrnehmung kaum noch Unterschiede zwischen der virtuellen und realen Welt zu erkennen (Harth 2017). Bei 16K-Bildschirmen werden die Bilder mit der 64-fachen Auflösung gegenüber herkömmlichen Full-HD-Bildschirmen (1.080 Pixel) dargestellt. Die Kosten für solche Bildschirme sind mit rund 10.000 Euro jedoch noch sehr hoch (Herold 2017).

Mit Blick auf das Sichtfeld und das Sehvermögen ist zwischen dem dreidimensionalen und dem peripheren, nichtdreidimensionalen Sehen zu unterscheiden. Menschen verfügen über ein dreidimensionales Sichtfeld von 120° horizontal und 135° vertikal, das um jeweils rund 30° durch das periphere Sichtfeld erweitert wird. Die nächsten technologischen Schritte bestehen nach Experten-erwartung neben der Erhöhung der Detailgrade im fokalen Sehen (Verringerung des Refokussierungsbedarfs der Augen) in der Erweiterung des virtuellen Sichtfelds in den Bereich des peripheren Sehens (Field of View).

Eine noch zu klärende Frage ist, wie 3-D-Daten für VR- und AR-Systeme kosteneffizient erstellt werden können. Heute ist die Übersetzung von realen Objekten in 3-D-Daten noch wenig automatisiert und erfolgt größtenteils von Hand. Hier gilt es, bessere bzw. effizientere Verfahren zu entwickeln (Interview Latoschik).

Eine weitere technologische Herausforderung ist die Echtzeitfähigkeit der Bewegungserfassung (Tracking und Capturing). Dabei geht es um die gleichzeitige Verfolgung und Darstellung von (bewegten) Objekten. Momentan werden 3-D-Aufnahmen häufig erst zwischengespeichert und dann auf Systeme zur Aufbereitung übertragen. Zukünftig geht es darum, Veränderungen im Zeitverlauf aufzunehmen und diese in Echtzeit übertragen zu können. Dies ist besonders relevant bei professionellen Anwendungen, die eine hohe Präzision erfordern (z. B. medizinische Operationen). Auch für das realitätsgetreue virtuelle Erleben sozialer Interaktion ist die Echtzeitfähigkeit einer detailreichen Darstellung von Gesichtern und mimischen Bewegungen besonders relevant (Interviews Fröhlich, Malaka, Runde u. Schild). Erforderlich sind technologische Verbesserungen bei Kameras, Software sowie bei Capturing-, Tracking- und Übertragungssystemen (Interview Fröhlich).

These 2

Auch in Zukunft bilden der Ausbau der digitalen Infrastruktur und die Erhöhung von Bandbreiten für die mobile Datenübertragung zentrale Grundvoraussetzungen, um die Anwendungspotenziale von VR und AR voll ausschöpfen zu können.

Die Steigerung von Netzbandbreiten und Übertragungsgeschwindigkeiten für die Übermittlung digitaler Daten bildet eine Grundvoraussetzung für die Weiterentwicklung von VR- und AR-Lösungen in den meisten der zuvor genannten Anwendungsfelder. Für die Übertragung von 3-D-Daten müssen hohe Transferaten zur Verfügung stehen. Die Netzinfrastruktur in Deutschland bedarf hierfür noch weiterer Verbesserungen, um die erhöhten Datenvolumina reibungsfrei zu transportieren (Interview Fröhlich). Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die bestehenden Probleme bei der Datenübertragung durch die

Weiterentwicklung der Übertragungsraten beim Mobilfunk wie 5G (5. Generation) deutlich verringern werden. 5G soll Datenraten von bis zu 10 Gigabit pro Sekunde ermöglichen (ca. 10-fach so schnell wie der aktuelle LTE-Standard) (Interview Strehlitz).

4.1.2 Zukünftige Entwicklungspfade

These 3

Die technologischen Entwicklungspfade von VR und AR weisen unterschiedliche Dynamiken auf. Gegenwärtig überholt vor allem die Entwicklung mobiler AR den Bereich VR, zieht diesen aber weiter mit. Es kommt dementsprechend zu einer vorübergehenden Entkopplung. Langfristig gesehen konvergieren die technologischen Entwicklungspfade.

Obwohl VR und AR oft in einem Atemzug genannt werden, ist vor dem Hintergrund ihrer jeweiligen Anwendungspotenziale davon auszugehen, dass sich die Entwicklungspfade von VR und AR vorübergehend weiter entkoppeln und jeweils spezifisch ausdifferenzieren werden. Während AR zukünftig vor allem das Funktionsspektrum von Smartphones und anderen mobilen Geräten erweitern wird, werden VR-Anwendungen über HMDs weiterhin lokal genutzt, um Menschen in vollständig simulierte virtuelle Umgebungen zu versetzen.

Langfristig ist jedoch eine Konvergenz in den Entwicklungspfaden vorstellbar, da vor allem die grundlegenden Technologien zur Aufnahme und Verarbeitung sowohl für AR als auch für VR genutzt werden können. Auch die Verbreitung von Inhalten kann auf identischen Plattformen erfolgen. Die Nutzung von Synergieeffekten (z. B. bei der Datenverarbeitung) kann einen positiven Effekt auf die technologische Konvergenz ausüben.

These 4

Aktuell werden für einen hohen Immersionsgrad durch VR-Systeme vor allem die Sinne Sehen und Hören angesprochen. Nächste Entwicklungsschritte gehen in Richtung der Verbesserung der haptischen Erfahrungen und der Wahrnehmung der eigenen Positionierung im Raum sowie der Bewegung.

Wenngleich sich gezeigt hat, dass einfachste Visualisierungen des Körpers wie z. B. Kugeln als Hände bereits ausreichen, um das eigene Körpergefühl zumindest ansatzweise in die virtuelle Welt zu übertragen, sind die Möglichkeiten der Simulation des eigenen Körpers und des haptischen Erfahrens virtueller Realität bisher bei Weitem noch nicht ausgereizt (Interviews Malaka, Runde u.

Steinicke). Zur Erhöhung des Immersionsgrades ist besonders das Erleben von taktilen Reizen relevant. Die aktuell zur Verfügung stehende Hardware kann haptische Erlebnisse jedoch nur rudimentär erfahrbar machen, sie ist darüber hinaus unbequem zu tragen und kostenintensiv (Interview Malaka). Aktuelle Entwicklungsansätze adressieren beispielsweise Datenhandschuhe mit integrierter Sensorik. Zum Beispiel sollen die Handschuhe der niederländischen Firmen Manus VR¹⁸ oder DextaRobotics¹⁹ ein Gefühl für unterschiedliche Materialien erzeugen können, etwa wenn weiches Material wie ein Schwamm oder hartes Material wie Metall gegriffen wird (Interview Ludwig). Ein Beispiel für das taktile Erleben beim Gehen ist der haptische Fußcontroller Taclim der japanischen Firma Cerevo: Es ist eine Art Stiefel mit acht Vibrationsmotoren, die beim Gehen das Gefühl erzeugen sollen, als würde man sich auf unterschiedlichen Untergründen (z. B. Sand, Gras) bewegen (Bezmalinovic 2017a). Zu Haptik zählt auch das Erleben von Wärme/Kälte, bewegter Luft oder auch von Schmerz, was ein noch größeres Entwicklungsfeld darstellt.

Erscheint das Erfahren taktiler Reize in der VR durch die skizzierten Ansätze technisch mittelfristig machbar, so ist die Integration des Geschmacks- und Geruchssinns zum jetzigen Zeitpunkt nahezu unmöglich, weil der Mensch zwischen einer Vielzahl unterschiedlicher Geschmacks- und Geruchsnuancen differenzieren kann und sich diese bis jetzt nicht in ihrer vollständigen Komplexität künstlich darstellen und ohne Einschränkungen für den Nutzer tragen lassen (Interviews Ludwig u. Runde). Der Immersionsgrad kann noch einmal gesteigert werden, wenn sich der Nutzer in der virtuellen Welt hindernisfrei bewegen kann. Hierfür stehen omnidirektionale Laufbänder mit integrierten Sensoren zur Verfügung, die es den Nutzern erlauben, in alle Richtungen zu gehen, ohne sich allerdings von der Stelle zu bewegen (Interviews Meixner u. Runde).

Ein völlig anderer Ansatz wird bei Entwicklungen verfolgt, Nerven direkt zu stimulieren. Durch Nutzung sogenannter Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain Computer Interfaces [BCI]) soll langfristig das Tragen körpernaher Wiedergabegeräte obsolet werden (Lecuyer et al. 2008; Li et al. 2017). Dazu sind allerdings noch enorme Hürden zu überwinden, unter anderem da derartige Implantate bislang noch nicht dauerhaft im Gehirn eingesetzt werden können und sich die diesbezügliche Forschung noch im Grundlagenstadium befindet (TAB 2016a).

18 <https://manus-vr.com> (5.6.2018)

19 www.dextarobotics.com (5.6.2018)



These 5

Auf dem technologischen Pfad der Mensch-Technik-Schnittstellen, auf dem beispielsweise Touchdisplays konventionelle Eingabemedien wie Tastaturen als führende Interfaces für mobile Geräte abgelöst haben, stellen VR und AR eine neue Entwicklungsstufe dar.

Bei der Mensch-Technik-Interaktion geht es um die Schnittstelle zwischen Menschen (Anwendern) und technischen Systemen sowie die Frage, wie Menschen mit technischen Systemen über Benutzerschnittstellen interagieren. Typische konventionelle Benutzerschnittstellen sind Computertastatur oder Maus, bei mobilen Endgeräten das Touchdisplay.

VR und AR stellen neue Entwicklungsstufen im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion dar, da sie völlig neuartige Interaktionsmöglichkeiten mit technischen Systemen ermöglichen (z. B. Gestensteuerung, Steuerung durch Augenbewegungen, Spracheingabe). Gleichzeitig bedarf es für VR- und AR-Anwendungen eigener Steuerungs- und Eingabeinstrumente, die eine als natürlich empfundene Interaktion unabhängig von Maus, Tastatur und Touchdisplays ermöglichen. Sprachbefehle, Gesten oder Augenbewegungen werden zur Interaktion in VR- und AR-Umgebungen Bedeutung erlangen (Interviews Meixner u. Runde).

These 6

Aktuell reicht die Nutzerfreundlichkeit von VR- und AR-basierten Benutzerschnittstellen noch nicht aus, um sich zu einem Standardmedium für Computerinteraktion zu etablieren. Die Nutzerfreundlichkeit der VR- und AR-Systeme wird sich in den nächsten Jahren jedoch maßgeblich verbessern, da die Geräte deutlich ergonomischer, kleiner und kabellos werden.

Aktuell sind die HMDs für VR-Anwendungen noch relativ groß und schwer, was zwar für temporär begrenzte Anwendungen im Bereich der Telekommunikation, Exploration oder Spiele noch akzeptabel erscheint, jedoch nicht alltags-tauglich ist (Janssen 2017a). High-End-VR-Brillen sind außerdem noch größtenteils über Kabel mit stationären Computern verbunden, was die Bewegungsfreiheit im Raum einschränkt und die Nutzungsmöglichkeiten beeinträchtigt (Interview Steinicke).

Auch Smart Glasses für AR sind noch nicht vollständig ausgereift, um sie über längere Zeit zu nutzen. Die HoloLens von Microsoft ist gemäß Experteneinschätzung zwar schon recht weit entwickelt, jedoch aufgrund des zu kleinen Blickfelds und der mangelhaften Grafikleistung noch nicht für den Massenmarkt geeignet.

Ergonomische Aspekte beziehen sich jedoch nicht allein auf Größe, Gewicht und Kabelgebundenheit. Im Idealfall werden die Brillen individuell an den Nutzer anpassbar sein. Physische Eigenschaften wie Körpergröße und Beweglichkeit müssen genauso wie sensorische Eigenheiten in Hinsicht auf Sehkraft und Gleichgewichtssinn berücksichtigt werden. Für die zukünftige Nutzungsperspektive von VR- und AR-Anwendungen wird es entscheidend sein, die Geräte diesbezüglich zu verbessern.

Signifikante Weiterentwicklungen im VR-Bereich werden schon in den nächsten 5 Jahren erwartet. Die nächste Generation handelsüblicher HMDs wird deutlich ergonomischer sein und Displays enthalten, die in puncto Auflösung, Beleuchtung, Farbinformation und Blickfeld verbessert wurden (Interview Schild).

Die haptische Interaktion in der virtuellen Realität wird bisher über spezielle Controller realisiert, mit denen virtuelle Objekte hochgehoben oder bewegt werden können (Interviews Meixner u. Runde; Raffler 2016). Zukünftig wird es im Sinne der Ergonomie und Nutzerfreundlichkeit darum gehen, Hand-, Fuß- oder Augenbewegungen möglichst bruchlos in die virtuelle Realität zu integrieren und damit Controller überflüssig zu machen. Gesten und Spracheingabe bilden in dem Zusammenhang eine einfache, aber ebenfalls noch nicht ausreichende Alternative (Interviews Ludwig u. Meixner).

Die Weiterentwicklung praktikabler AR-Brillen wird im Vergleich mit den Entwicklungen im VR-Bereich vermutlich etwas weiter in der Zukunft liegen und dürfte sich erst in den nächsten 10 Jahren als massentauglich erweisen. Die Alltagstauglichkeit stellt gerade für AR-Brillen ein zentrales Nutzungskriterium dar, das neben ergonomischen Aspekten auch ein ansprechendes Design voraussetzt. Da die AR-Brillen beispielsweise bei der Arbeit dauerhaft getragen werden, müssen sie leicht und bequem sein, ohne dass sie an Leistungsfähigkeit einbüßen (Interview Janssen). In den nächsten 10 Jahren wird die technische Entwicklung weiter darauf abzielen, Smart Glasses auch optisch an normale Brillen anzugleichen.

Zudem arbeiten seit einigen Jahren die großen Technologiekonzerne wie Google, Facebook, Samsung und Sony an AR-fähigen Kontaktlinsen, deren Nutzung jedoch erst in ferner Zukunft erwartet wird.

4.1.3 Merkmale zukünftiger VR- und AR-Technologien

These 7

Die Erzeugung virtueller Welten, die neben ihrem visuellen Detailreichtum auch ein immersives Abbild aller anderen Sinneserfahrungen bietet, ist generell eher unwahrscheinlich.



Weiterentwicklungen bei der Displaytechnologie, Grafik- und Rechnerleistung, 3-D-Simulationssoftware und Echtzeitfähigkeit virtueller Simulationen zielen darauf, dass sich virtuelle Welten visuell kaum noch von der realen Welt unterscheiden lassen. Speziell über VR-Brillen werden bereits hohe visuelle Immersionsgrade erreicht. In den meisten VR-HMDs sind zusätzlich Mikrofone und Lautsprecher integriert, sodass neben räumlich korrekt verorteten visuellen Inhalten auch korrespondierende, d. h. im dreidimensionalen Raum korrekt positionierte Audiosignale übermittelt werden können (Raffler 2016). Das Erlebnis des Eintauchens in virtuelle Welten wird sich dadurch weiter verstärken, was die Attraktivität von VR in vielen Anwendungsbereichen erheblich steigern wird. Eine vollständige, alle Sinne ansprechende Immersion in eine virtuelle Realität erscheint aufgrund der in den vorangehenden Thesen genannten Herausforderungen generell eher unwahrscheinlich.

These 8

Aktuell entstehen bei der Nutzung von VR- und AR-Systemen mitunter Begleiterscheinungen wie VR-Sickness bzw. Cybersickness. Technologische Lösungen genauso wie Gewöhnungseffekte im Umgang mit den Systemen werden zukünftig zu einer Verminderung der Cybersickness beitragen.

Bei der sogenannten VR-Krankheit (VR-Sickness bzw. Cybersickness) handelt es sich um eine Art Bewegungskrankheit, die ausgelöst wird, weil die Sinnesorgane widersprüchliche Informationen zur räumlichen Lage und Bewegung des Körpers liefern (Barret 2004; Kemeny et al. 2017). Je nach Prädisposition kann dem Nutzer übel werden.

Durch verbesserte Technologien lassen sich die Symptome zum Teil abmildern (Interviews Latoschik, Mohler u. Steinicke). Verbesserungsansätze zur Abmilderung von Symptomen stellen beispielsweise die Verringerung der Latenzzeiten im Sinne der zeitlichen Synchronisation realer und virtueller Bewegungen sowie eine Erweiterung des bislang im Vergleich zum natürlichen Sehen eingeschränkten virtuellen Blickfeldes dar. Verringerte Latenzzeiten und Verbesserung des peripheren Sehvermögens der Nutzer könnten dazu beitragen, Übelkeit zu vermeiden.

4.1.4 Interdependenzen mit anderen technologischen Entwicklungen

These 9

Maschinelles Sehen (Computer Vision) und maschinelles Lernen (Machine Learning) als konkrete Anwendungen von künstlicher Intelligenz (KI) können die zukünftige Entwicklung von VR und AR vorantreiben.

Aus den Wechselwirkungen zwischen den Entwicklungen im Bereich VR und AR sowie der künstlichen Intelligenz ergibt sich eine große Schnittmenge bei Computer Vision (Interview Mohler). Hierbei geht es darum, dem Computer das Sehen und Erkennen von Bildern und Videos beizubringen. Anwendungen findet Computer Vision z. B. in der Transformation von 2-D-Bildern in 3-D-Objekte oder in der Bewegungserfassung (Capturing, Tracking), die dadurch optimiert werden kann.

Auch Machine Learning stellt einen konkreten Anwendungsfall von KI-Technologien für VR und AR dar. Durch Verfahren des maschinellen Lernens können beispielsweise Smart Glasses die Wartung von industriellen Anlagen unterstützen, wenn auf Basis von Erfahrungen mit vorherigen Problemen Lösungsvorschläge erstellt werden. In der Konsequenz müssten Wartungs- und Reparaturarbeiten nicht mehr zwingend durch Spezialisten vor Ort durchgeführt werden, sondern könnten auch von durch virtuelle Assistenzsysteme unterstützte Generalisten erfolgen (Interview Runde). Auch können virtuelle Agenten als Weiterentwicklung von Chatbotanwendungen auf Verfahren des Machine Learning basieren und im VR- und AR-Bereich zur Unterstützung von Beratungsangeboten (Kaufberatung o. Ä.) eingesetzt werden.

4.2 Gesellschaft

4.2.1 Einfluss auf das alltägliche Leben

These 10

VR und AR werden die Digitalisierung des Alltags weiter vorantreiben, indem sie die Integration von sozialer Interaktion, Mediennutzung, Konsum und Unterhaltung im digitalen Raum befördern und zu deren Verschränkung beitragen. Kernaspekte des alltäglichen Lebens verlagern sich dadurch noch stärker als bisher in die digitale Sphäre.



VR und AR stellen neuartige Schnittstellen zur Verknüpfung der realen Welt mit virtuellen Welten dar, die in Zukunft verschiedene Bereiche des Alltags zum Teil maßgeblich verändern können. Daran geknüpfte Zukunftsszenarien stellen sich für VR und AR jedoch unterschiedlich dar. Während die virtuelle Realität eine digitale Parallelwelt bildet, in der Nutzer über Avatare mit anderen interagieren, Waren einkaufen, Konzerte erleben oder an geschäftlichen Meetings teilnehmen, kann AR zu einem allgegenwärtigen Assistenzsystem avancieren, das Nutzer in der realen Welt mit Informationen, wie z. B. Wegbeschreibungen, Newsfeed oder lokalen Marketingaktionen versorgt.

Ja nach Eingriffstiefe von VR und AR in den menschlichen Alltag werden sowohl Einzelnutzer als auch die Gesellschaft insgesamt vor neue Herausforderungen gestellt, die vor allem die Frage des adäquaten und sicheren Umgangs mit der Technologie adressiert. Die Lernkurven, die sich bei der Nutzung von Fernsehen, Computer und dem Internet entwickelt haben, werden in ähnlicher Weise auch im Zuge eines verstärkten Gebrauchs von VR und AR zum Tragen kommen (Interviews Harth u. Schild).

These 11

AR-Technologien werden in Form von Brillen, Kontaktlinsen o. Ä. zu einem ständigen Begleiter des Menschen und werden dessen Fähigkeiten durch die Einblendung zusätzlicher situationsrelevanter Informationen erweitern.

AR-basierte Assistenzsysteme werden über als natürlich empfundene Interfaces wie Brillen oder Kontaktlinsen noch dezenter und unsichtbarer werden und mehr als bisherige Kommunikationstechnologien mit dem Alltag verschmelzen. Im Vergleich dazu sind aktuelle Smartphones groß, ihre Nutzung ist für andere sichtbar und nachvollziehbar. Bei AR-Anwendungen hingegen weiß beispielsweise ein Gesprächspartner nicht, ob der Träger eines solchen Systems gerade Informationen (über ihn) abrufen; die Nutzung findet also im Verborgenen statt (Interview Wimmer).

Die kognitiven Fähigkeiten des Menschen werden erweitert, indem situationsrelevante Informationen verfügbar gemacht werden (Interview Wimmer). Diese Möglichkeiten werden aufgrund der erwarteten Geräte- und Nutzungskosten voraussichtlich zunächst einer digitalen Elite vorbehalten sein, die durch den Zugang zu exklusivem Content einen Informations- und Bildungsvorsprung erlangen kann. Die AR-basierten Assistenzsysteme werden sich bei nachgewiesenem Nutzen weiterverbreiten und in vielen gesellschaftlichen Gruppen unverzichtbar werden.

Die jüngsten Erfahrungen des Scheiterns von Googles AR-Brille »Glass« legen jedoch nahe, dass die Diffusionskurve AR-basierter Assistenzsysteme nicht so steil verlaufen wird, wie es beispielsweise bei Smartphones der Fall war

(Lorenzen 2014). Es hat sich gezeigt, dass vor allem eingebaute Kamerasysteme als Angriff auf Persönlichkeitsrechte und somit als Problem wahrgenommen werden. Darüber hinaus kann die Asymmetrie der Informationsverteilung aufseiten der Nichtnutzer Vorbehalte gegenüber Interaktionen mit Nutzern dieser Systeme erzeugen. Während die Anwendung solcher Assistenzsysteme im privaten Umfeld vor Akzeptanzproblemen steht, erzeugt die Integration von Smart Glasses im beruflichen Umfeld eine tendenziell positive Resonanz (Berkemeier et al. 2018).

4.2.2 Erweiterung sozialer Interaktion

These 12

Im virtuellen Raum lösen sich die räumlichen Distanzen der realen Welt vollständig auf. Für Nutzer der virtuellen Realität werden so ortsunabhängige Zugänge und Kommunikationsmittel geschaffen, um die Chancen zur Teilhabe an intensiven sozialen Interaktionsprozessen zu erhöhen. Im professionellen wie privaten Umfeld erweitern sich dadurch die Möglichkeiten, um neue Kontakte zu knüpfen bzw. bestehende Beziehungen zu pflegen.

Die virtuelle Realität wird einen neuen Raum für soziale Interaktion bieten, der sich je nach Anwendung sowohl auf private als auch auf professionelle Inhalte bezieht (Interview Harth). Obgleich der Zugang zur virtuellen Realität über HMDs prinzipiell individuell und von der realen Umwelt entkoppelt erfolgt, kann der virtuelle Raum neue Formen ortsunabhängiger sozialer Nähe ermöglichen (Interview Fröhlich).

Im professionellen Umfeld werden perspektivisch neue Kommunikationskanäle der Telepräsenz geschaffen, die aktuelle Technologien für Telefon- und Videokonferenzen deutlich erweitern und z. B. die Durchführung kollaborativer Arbeitsformen wie Workshops oder die Veranstaltung von Fachgesprächen und -konferenzen im virtuellen Raum ermöglichen (Interviews Harth, Runde u. Strehlitz).

Im privaten Umfeld könnte VR beispielsweise den Zusammenhalt unter Freunden oder von weit auseinanderlebenden Familienmitgliedern unterstützen, indem gemeinsame Treffen oder Aktivitäten im virtuellen Raum unternommen werden (Interview Meixner). Ein Teilaspekt davon ist die Bereicherung der Sexualität durch VR: In fernerer Zukunft werden die technologischen Möglichkeiten durch VR gemeinsame körperliche Näheerlebnisse unter Partnern auf Distanz erlauben (Interview Wimmer). In einer positiven Vision wird die Nutzung von VR daher zu mehr Nähe und Gemeinsamkeitsgefühl unter Menschen führen können (Interview Fröhlich).



These 13

Im Fall von VR besteht das Risiko, dass Eintauchen und Interagieren in zum Teil hyperreal simulierten Welten so attraktiv für einige Nutzer werden, dass diese die virtuelle der realen Welt vorziehen. Infolgedessen können sich die Suchtgefahr der Mediennutzung sowie das Risiko sozialer Entfremdung erhöhen.

Der technologische Fortschritt in der Entwicklung von Inhalten und Darstellungsformen für virtuelle Realität wird perspektivisch Anwendungen ermöglichen, die ihren Nutzern einen sehr angenehmen und intensiven Aufenthalt in virtuellen Welten ermöglichen. Im Zuge dessen werden es immer mehr Personen vorziehen, soziale Interaktion und privaten Zeitvertreib zunehmend in die virtuelle Realität zu verlagern. In Abhängigkeit von der Art und Dauer der erlebten Interaktion könnte dies zu einer sozialen Abschottung oder gar Entfremdung von der realen Welt führen. Das Verhalten in der realen Welt (und auch die Persönlichkeit) kann durch prägende Erfahrungen in einer visuell wie emotional idealisierten (d.h. hyperrealen) VR verändert werden (Interviews Meixner u. Wimmer).

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit und die erwartbaren Folgen zu prüfen, müssen die Wirkungen von VR auf den Menschen wissenschaftlich untersucht werden. Hier kann und muss an vorhandene Erkenntnisse beispielsweise zur Nutzung von Smartphones oder zu den Effekten intensiven Computerspielens angeknüpft werden. In diesem Zusammenhang ist insbesondere zu klären, ob oder inwiefern VR die Suchtgefahr der Mediennutzung erhöht oder sich entsprechende Bedenken ggf. sogar zerstreuen.

These 14

In virtuellen Welten kann Interaktion sowohl zwischenmenschlich als auch zwischen menschlichen Avataren und künstlichen Agenten stattfinden. Perspektivisch werden sich die künstlichen Agenten den menschlichen Verhaltens- und Kommunikationsweisen angleichen. In der Folge wird sich die Interaktion zwischen Menschen und algorithmengesteuerten Agenten in der virtuellen Realität zukünftig intensivieren.

Die technologischen Entwicklungen der virtuellen Realität verfolgen das primäre Ziel, Simulationen immer realer und immersiver darzustellen. Die Grenzen zwischen Realität und Virtualität werden in der VR zunehmend verschwimmen, sodass die Unterscheidbarkeit von dem, was real, bzw. von dem, was virtuell ist, immer schwieriger werden wird (Interviews Metzinger u. Mohler). Eine Kernvision der sozialen VR besteht ferner darin, soziale Interaktion über Avatare fließend und in Echtzeit in die virtuelle Welt zu übertragen.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie realistisch Avatare dargestellt werden sollen, ohne für den Nutzer abschreckend oder unheimlich zu wirken. Dies berührt den Aspekt des Uncanny Valley, welches das Phänomen beschreibt, dass Nutzer cartoonartige Figuren mitunter sympathischer und akzeptabler finden, als wenn diese besonders menschenähnlich bzw. natürlich gestaltet sind. Es wird von den zukünftigen Nutzerpräferenzen abhängig sein, inwiefern diese eine realitätsnahe Darstellung ihrer selbst gegenüber einer cartoonhaften virtuellen Identität bevorzugen – eine diesbezügliche Diversifizierung der Angebote ist in Zukunft in jedem Fall wahrscheinlich (Interview Janssen).

Neben Avataren, die ein digitales, mehr oder weniger realitätsgetreues Abbild der sie steuernden Menschen darstellen, werden Teile des virtuellen Raumes auch von sogenannten Agenten durchdrungen sein, die vollständig künstlichen Ursprungs sind und typischerweise durch intelligente Algorithmen gesteuert werden. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass sich in der technologischen Schnittmenge von VR und KI auch das Ausmaß und die Intensität der Interaktionen zwischen menschlich gesteuerten Avataren und künstlichen Agenten erweitern werden (Interview Harth). Im Zuge dieser Entwicklung werden die empathischen und kommunikativen Fähigkeiten der Agenten kontinuierlich trainiert, sodass sich deren soziales Verhalten immer stärker an die Avatare menschlichen Ursprungs angleichen und eine zunehmend anschlussfähige bzw. natürliche Interaktion ermöglicht wird. Daran anschließend kann es für die Nutzer der virtuellen Realität zunehmend schwerer werden, zwischen menschlich gesteuerten Avataren und künstlichen Agenten zu unterscheiden; gleichzeitig wird es immer üblicher werden, mit Agenten zu interagieren (Interview Harth).

Grundsätzlich wird es für die Ausgestaltung von Interaktionsroutinen in sozialer VR daher entscheidend sein, inwiefern die technologischen Plattformen die Form und die Formate der kommunikativen Beziehungen zwischen Avataren und Agenten regulieren und beispielsweise die Kennzeichnung der Avatare durch Klarnamen bzw. Hinweise auf den künstlichen Ursprung von Agenten einfordern (Interview Harth).

4.2.3 Zugang zu und Kontrolle von Inhalten

These 15

Ursprung, Zuschnitt und Verfügbarkeit von Inhalten sind entscheidend für die zukünftige Nutzung von VR und AR. Es ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung von Content stark kommerziell getrieben wird und proprietäre Plattformen wie die heutigen App Stores oder Streamingdienste deren Verbreitung regulieren.

Die zukünftige Nutzung von VR und AR wird entscheidend durch die Inhalte und Applikationen beeinflusst sein, die über die Endgeräte zugänglich gemacht werden. Die Anwendungen müssen als sinnvoll erlebt werden, d.h. sich hinsichtlich ihrer Funktionalität und Attraktivität von etablierten Lösungen und Formaten abheben, um bei den Nutzern erfolgreich zu sein (Interview Ludwig).

Es ist davon auszugehen, dass die Bereitstellung von Content stark kommerziell getrieben sein wird und proprietäre Plattformen wie die heutigen App Stores, Streamingdienste wie Netflix und YouTube oder Vertriebsplattformen für Games, Software etc. wie STEAM deren Verbreitung regulieren. In der Konsequenz werden die großen Plattformanbieter entscheidend beeinflussen, nach welchen Regeln und in welcher Form Inhalte für die Nutzer zugänglich gemacht werden (Interview Mohler). So können einerseits zwar eine technische Kompatibilität sowie inhaltliche Qualität verlässlich gewährleistet werden, andererseits verstärkt sich so auch der Einfluss multinationaler Großkonzerne auf die Ausgestaltung der digitalen Sphäre (Lischka 2011).

Es ist anzunehmen, dass neben den proprietären Marktplätzen für VR- und AR-Inhalte und -Anwendungen auch unregulierte Möglichkeiten des Austauschs von Content entstehen. Dies könnten einerseits Plattformen sein, die lediglich weniger populär und kommerziell sind, und andererseits Plattformen, über die Inhalte im Sinne eines Schwarzmarkts im Verborgenen getauscht werden (Interview Harth).

4.2.4 Stärkung von Empathie und Partizipation

These 16

Das immersive Erleben neuer Perspektiven und Blickwinkel kann zur Stärkung von Toleranz und zum Verständnis für andere Menschen führen.

Mit dem Eintauchen in virtuelle Welten können neue, unbekannte Perspektiven eingenommen werden, in denen Situationen aus dem Blickwinkel anderer erlebt werden können. Psychologische Versuche im Rahmen des EU-Projekts »VERE – Virtual Embodiment and Robotic Re-Embodiment«²⁰ (2010–2015) mit VR haben gezeigt, dass Menschen mehr Verständnis für andere aufbringen, wenn sie sich virtuell in andere Personen hineinversetzen (z.B. Männer in Frauen, Weiße in Menschen anderer Hautfarbe, Erwachsene in Kinder, Jüngere in ein älteres Selbst). Ein solcher Perspektivwechsel kann bei Menschen positive Veränderungen fördern, Denken in Stereotypen abbauen und die Kommunikation verbessern. Eine aus solchen Versuchen abgeleitete Idee ist, dass dies der Resozialisierung dienen könnte, wenn die Täter die Opferperspektive mittels

20 <http://www.vereproject.eu/> (5.6.2018)

VR selbst erleben (Slater/Sanchez-Vives 2016, S. 19 f.). Die Versuche haben gezeigt, dass die erzeugte Illusion das reale Verhalten beeinflusste und die Effekte auch nach Beendigung der Versuche bestehen blieben (Interview Mühlberger). Grundsätzlich ist in dieser Hinsicht jedoch zu berücksichtigen, dass Verständnis auch für gesellschaftlich wenig erwünschte Perspektiven erzeugt werden kann, beispielsweise wenn VR-basierte Inhalte für politische Propagandazwecke oder die Verbreitung radikaler Weltbilder genutzt werden (siehe auch These 18).

These 17

VR und AR können als neuer Kanal für die Vermittlung politisch-gesellschaftlicher Themen genutzt werden.

Nach Experteneinschätzung könnte es mittels VR und AR gelingen, die politisch-gesellschaftliche Teilhabe von Menschen zu verbessern, indem diese z. B. bei der Umsetzung großer, komplexer Bauvorhaben informiert und beteiligt werden. Verschiedene demografische Zielgruppen könnten per VR mit unterschiedlichen Inhalten angesprochen werden (Interviews Wenzel u. Wimmer).

Weitergedacht wäre es ebenfalls möglich, gesellschaftliche Partizipationsprozesse in die virtuelle Realität zu verlagern, beispielsweise Townhallmeetings mittels Social VR stattfinden zu lassen. Bisher gibt es diesbezüglich zwar noch keine Initiativen, im Rahmen einer umfassenden Implementierung von E-Government wäre dies jedoch ein denkbarer Ansatz (Interview Ludwig).

4.2.5 Gefahren manipulierter und manipulativer Inhalte

These 18

Indem Informationen in der virtuellen Realität sehr anschaulich vermittelt werden können, bergen sie die erhöhte Gefahr, manipulierten Inhalten den Anschein einer hohen Glaubwürdigkeit zu verleihen.

Da VR und AR das Wahrnehmungsfeld ihrer Nutzer entweder vollständig simulieren oder durch Zusatzinformationen überblenden, führt dies zu einem Vermischen natürlicher und künstlicher Realitäten. Daraus ergibt sich die potenzielle Gefahr, den Content von VR und AR zu fingieren und die Wahrnehmung ihrer Nutzer gezielt zu manipulieren.

Denkbar ist es beispielsweise, dass mittels AR zukünftig bestimmte Gegenstände oder Personengruppen aus dem Blickfeld gelöscht werden. Schon jetzt gibt es erste Ansätze hierfür, beispielsweise von dem von der Technische Universität Ilmenau ausgegründeten Start-up fayteq, das Ende August 2017 von

Facebook gekauft wurde. Die Diminished-Reality-Technologie von fayteq erlaubt es, Gegenstände aus Videostreams zu entfernen, sodass diese von Betrachtern im Nachhinein nicht mehr erkannt werden (Beiersmann 2017; dpa 2017a). Das Besondere an der Technologie besteht darin, dass der Vorgang des Löschens nicht im Nachhinein, im Anschluss an die Videoaufnahme, sondern live und synchron möglich ist. In Echtzeit sind so Veränderungen von Film- und Videomaterial möglich. Zum Beispiel könnten unerwünschte Objekte oder Personen eliminiert werden. Die Auswirkungen und potenziellen Nebenfolgen, die mit daran geknüpften AR-Anwendungen einhergehen, sind aktuell noch nicht absehbar (Interview Wimmer).

Da die virtuellen Informationen und Inhalte visuell wahrgenommen, d. h. mit den eigenen Augen gesehen werden, erwecken sie eine hohe Glaubwürdigkeit, die jedoch nicht zwingend mit ihrem tatsächlichen Wahrheitsgehalt übereinstimmen muss, da Realismus in virtuellen Darstellungen auch vorgetäuscht werden kann. Insbesondere in Kontexten von immersivem Journalismus öffnet dies die Tür dafür, um manipulierte Inhalte (Fake News) besonders nachdrücklich zu vermitteln (Gensch et al. 2017).

These 19

Neben bewusst fingierten Inhalten schaffen VR und AR außerdem neue technologische Möglichkeiten, um über suggestive Inhalte und Werbung die Reaktionen und Emotionen der Nutzer zu manipulieren.

Im Vergleich zu fingierten Informationen, die bewusst zur Täuschung ihrer Empfänger eingesetzt werden, werden Nutzer der virtuellen und erweiterten Realität durch manipulative Inhalte vergleichsweise subtil beeinflusst. Dies wird insbesondere im Bereich Marketing und Vertrieb zum Thema, wenn kommerzielle Werbeeinblendungen verstärkt in die erweiterte/virtuelle Umwelt Einzug halten. Da viele HMDs und Smart Glasses Technologien integrieren, die das Tracking von Blicken in Echtzeit ermöglichen, kann die Aufmerksamkeit der Nutzer gesteuert werden, um beispielsweise Werbung gezielt zu platzieren (nextMedia.Hamburg 2016). Durch kommerzielle Einblendungen könnte gerade in der virtuellen und erweiterten Realität so eine »Wirklichkeitsverschmutzung« entstehen, in deren Zusammenhang Marketinginhalte noch aufdringlicher (bzw. in umgekehrter Form noch subtiler) in die Wahrnehmung der Menschen drängen (Interview Harth).

4.3 Wirtschaft

4.3.1 Marktentwicklung und -durchdringung

These 20

VR und AR schaffen durch ihre breiten und innovativen Anwendungsmöglichkeiten in vielen unterschiedlichen Branchen zukünftig große Verwertungspotenziale, die bisher nur ansatzweise erschlossen wurden.

VR und AR bieten viele Anwendungsmöglichkeiten in prinzipiell jeder Branche. VR und AR haben vergleichbar mit anderen Technologien wie Computer oder Smartphone das Potenzial, neue Märkte zu erzeugen oder bestehende Märkte zu verändern.

In dieser Vorstudie werden sechs Anwendungsfelder vorgestellt (Kap. 3), in denen der Einfluss von VR und AR besonders hoch ist. Innerhalb der 6 Felder wird anhand von 26 Anwendungsbeispielen illustriert, welche umfassenden Innovations- und Entwicklungspotenziale VR und AR aufweisen. Es wird deutlich, wie sehr VR und AR den beruflichen und privaten Alltag verändern können, wie etwa zukünftig ein Fußballspiel übertragen wird oder Nachrichten gesehen werden, mit welchen Mitteln eine medizinische Behandlung erfolgt, wie Produkte präsentiert und gekauft werden oder wie Maschinen konstruiert und gewartet werden können. Den weitreichenden Innovations- und Entwicklungspotenzialen stehen aktuell jedoch vergleichsweise wenig marktfähige Lösungen und Produkte gegenüber – in vielen Bereichen fehlt es an Killerapplikationen, mit denen Märkte besonders schnell erschlossen und Geschäftsfelder entwickelt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Realisierung unternehmerischer Verwertungschancen im Wechselspiel mit der sukzessiven technologischen Reife und Verbreitung VR- und AR-basierter Lösungen in beruflichen und privaten Kontexten perspektivisch zunehmen wird.

These 21

Die Märkte für VR und AR werden sich unterschiedlich schnell und in verschiedene Richtungen entwickeln.

In den Studien und Prognosen zur Marktentwicklung wird in der Regel zwischen den Märkten für VR einerseits und für AR andererseits differenziert, die aufgrund verschiedener Technologien, Immersionsgrade und Anwendungsmöglichkeiten eine abweichende Entwicklungsdynamik aufweisen. Wird AR überwiegend durch Unternehmen wie Apple, Google oder Microsoft geprägt,

sind Facebook, HTC, Samsung sowie die führenden Game-Engines-Unternehmen Unity und Unreal die maßgebenden Akteure bei VR. Google nimmt eine Doppelrolle ein, weil das Unternehmen mit der Plattform »Daydream« auch den VR-Markt beeinflusst. Die Frage, ob oder inwieweit sich vor diesem Hintergrund AR gegenüber VR durchsetzen wird und wie sich die beiden Märkte entwickeln werden, wird unterschiedlich eingeschätzt (Kap. 2.4.2).

Eine klare Prognose, dass sich beispielsweise AR in den nächsten Jahren eher im B2B-Bereich, VR eher im B2C-Bereich behaupten wird, gibt es nicht. Vielmehr wird sich auf der Ebene einzelner Anwendungsfelder mittelfristig eine Dominanz bestimmter technologischer Ansätze einstellen. So ist z. B. die Erschließung virtueller Assistenzfunktionen im industriellen Kontext aktuell klar durch AR getrieben, da hierdurch Arbeitsprozesse mittels Einblendungen zusätzlicher, kontextrelevanter Informationen unterstützt werden können. Anwendungen der virtuellen Realität scheinen ihre Stärken dagegen eher im Entertainment- und Gamesbereich sowie bei neuen Formen digital vermittelter sozialer Interaktion in beruflichen und privaten Kontexten ausspielen zu können.

These 22

Die Entwicklung von VR- und AR-Geräten und -Anwendungen zu Massenprodukten ist aktuell von einem für junge Technologien typischen Etablierungsproblem geprägt: Einerseits sind höherwertige Endgeräte noch vergleichsweise teuer, wenig nutzerfreundlich und schnell veraltet. Andererseits gibt es nur ein geringes Angebot ansprechender, hochqualitativer Inhalte, die nötig sind, um potenzielle Nutzer für die Anschaffung entsprechender Technologien zu motivieren.

Während einfache VR-Geräte wie Google Cardboard und damit verbundene Anwendungen wie 360°-Videos auf mobilen Endgeräten schon vielfach genutzt werden, sind hochqualitative VR- und AR-Geräte mit entsprechenden Anwendungen noch nicht flächendeckend verbreitet. Laut Deloitte (2017) besaßen 2017 lediglich 3 % der befragten deutschen Konsumenten VR-Brillen, damit war nur ein Anstieg von 1 Prozentpunkt gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Auch die geäußerte Kaufabsicht lässt gemäß Deloitte (2017) kurzfristig nur eine verhaltene Steigerung der Verkaufszahlen erwarten. Bitkom kommt bei einer Befragung zu einem positiveren Ergebnis. Demnach besitzen schon etwa 6 % der Deutschen eine VR-Brille und immerhin ein Drittel der Befragten gibt an, die Technologie zukünftig nutzen zu wollen (Bitkom 2017).

Der zukünftige Erfolg von VR und AR wird davon abhängen, ob sowohl die Technologien als auch die dadurch erlebbaren Inhalte ein möglichst breites Publikum ansprechen. Beide Aspekte stehen in einem wechselseitigen Verhältnis zueinander, das sich als Henne-Ei-Problem beschreiben lässt und typisch für

junge Technologien ist. Einerseits lohnen sich Investitionen zur Entwicklung VR- und AR-optimierter Inhalte für deren Anbieter nur, wenn die Gewinnaussicht entsprechend hoch ist. Andererseits bilden attraktive Inhalte und Anwendungen für Konsumenten den zentralen Anreiz, um sich Geräte für den Privatgebrauch anzuschaffen.

Führende Anbieter (z. B. Filmemacher, Videospieleanbieter) investieren jedoch nur zögerlich in die Entwicklung von VR-Inhalten. So werden offenbar noch zukünftige HMDs abgewartet, die bestehende technologische Hürden mit Blick auf Batterielaufzeit, Nutzerfreundlichkeit oder Onlinedatenübertragung beseitigen (Goldman Sachs 2016). Des Weiteren hat sich bis heute noch keine Standardplattform zur Verbreitung von Inhalten durchgesetzt. Auch aufseiten der Konsumenten entwickelt sich die Nachfrage schleppend, da die Geräte trotz Preissenkungen weiterhin kostspielig und zugleich technisch schnell überholt sind (GamesWirtschaft 2017; Merel 2017b).

Goldman Sachs (2016) sieht allerdings bei den Unternehmen Facebook, Google, Microsoft und Sony erfolgreiche Versuche, das Dilemma aufzulösen. Mit Blick auf HMDs hat Google bereits über 2 Mio. Cardboards (davon alleine 1 Mio. kostenlos über die New York Times) verbreitet. Oculus hat mit der Oculus Rift die erste PC-basierte Brille geschaffen. Mit Blick auf Inhalte sind Facebook und YouTube mit den 360°-Videos erste Schritte in Richtung VR gegangen. Zu erwähnen ist an dieser Stelle auch Google Daydream, eine Plattform für kostenlose mobile VR-Inhalte, die zur Marktdiffusion beiträgt. Entwicklungen wie einfache VR-Headsets aus Karton oder AR-Anwendungen auf Smartphones ermöglichen einen niedrighschwelligem Zugang zur Nutzung von VR und AR, wenngleich diese den Nachteil haben, nur einen Bruchteil des technologischen Potenzials abrufen zu können. So können Nutzer mit einfachen VR-Geräten wie Cardboards und mobilem Endgerät zwar bereits eine Reihe von 360°-Videos ansehen, jedoch ist dies nur ansatzweise mit dem immersiven Eintauchen in die VR vergleichbar, das beispielsweise durch HMDs erzeugt werden kann.

Bezüglich der zukünftigen Diffusion von AR-Anwendungen stellen Smartphones eine Möglichkeit der Überwindung des Etablierungsproblems dar: Apple hat z. B. mit dem iPhone 8/X im Herbst 2017 ein neues Smartphone auf den Markt gebracht, das optimierte Möglichkeiten zur Nutzung von AR bietet; mit der Android-7.0-Version »Nougat« ermöglicht auch Google AR-Funktionalitäten. Damit stellen Smartphones die wahrscheinlich erste AR-Plattform für den Massenmarkt dar, bevor Smart Glasses als ergänzendes System Einzug halten werden. AR könnte dann auch verstärkend auf ein weiteres Wachstum im Mobiltelefonsektor wirken.

4.3.2 Gründungsdynamik und Start-ups

These 23

Start-ups tragen entscheidend zur wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung von VR und AR bei. Die Übernahmen von VR- und AR-Start-ups durch große Akteure wie Google, Facebook und Apple führen aktuell jedoch zu einer tendenziellen Konsolidierung des Gründungsgeschehens, die auch auf Deutschland abstrahlt.

Neben den großen Technologiekonzernen, die sich über spezifische Geräte und Anwendungen im VR- und AR-Markt positionieren, sind die wirtschaftlichen Dynamiken der vergangenen Jahre durch Start-up-Gründungen und -Finanzierungen sowie von Unternehmensfusionen und -übernahmen geprägt. Viele junge Unternehmen werden von den großen Technologiekonzernen sukzessive aufgekauft und verschwinden damit wieder vom Markt (Merel 2017b).

Digi-Capital (2017) berichtet für den Zeitraum von Anfang 2016 bis Anfang 2017 über Investitionen in Höhe von 1,5 Mrd. US-Dollar in die Finanzierung von VR- und AR-Start-ups sowie von weiteren 600 Mio. US-Dollar für Unternehmensübernahmen und -fusionen, bei denen Start-ups in der Regel in größeren, etablierten Unternehmen aufgehen. Die größten Investitionen wurden bei Unternehmen in den Bereichen Lösungen/Dienste, Video/Spiele getätigt, während Transaktionen für Fusionen und Übernahmen größtenteils bei Start-ups stattfanden, die sich auf Technologieentwicklung spezialisierten (Merel 2017a).

Facebook ist bislang der größte Investor im Bereich VR und AR. Das Unternehmen kaufte im Jahr 2014 für ca. 2 Mrd. US-Dollar das Unternehmen Oculus Rift und investierte mutmaßlich weitere rund 500 Mio. US-Dollar in die Technologien (Merel 2017a u. 2017b). Apple war ebenfalls unter den Einkäufern und übernahm unter anderem die deutschen Start-ups metaio, fayteq und SensoMotoric Instruments. Über Microsoft wird berichtet, dass es ca. 150 Mio. US-Dollar in Patente vom Smart-Glass-Entwickler ODG investierte, auch Google, Intel und Snapchat kauften jeweils Start-ups, die Komponenten oder Lösungen bereitstellten (Merel 2017b). Die höchsten Investments im AR-Bereich erhielt Magic Leap, das Smart Glasses entwickelt und damit Großinvestoren wie Google (Finanzierungsrunde 2014) sowie Alibaba (Finanzierungsrunde 2016) gewinnen konnte (WCP 2016).

Das Gründungsgeschehen im Kontext von VR und AR ist insofern ambivalent: Führen die Übernahmen von reiferen Start-ups durch große Technologiekonzerne einerseits zu einer Konsolidierung von jungen und etablierten Unternehmen, tragen neu gegründete Start-ups andererseits kontinuierlich zu einer hohen Entwicklungs- und Marktdynamik für VR- und AR-Geräte und -Anwendungen bei.

4.3.3 Treibende Akteure, Wertschöpfung und Geschäftsmodelle

These 24

Erfolgt die ökonomische Wertschöpfung aktuell insbesondere über HMDs, wird sie sich zukünftig klar in Richtung Content verschieben. Der Vertrieb von VR- und AR-Inhalten wird primär über bereits vorhandene App Stores oder Streamingdienste erfolgen. Daneben werden sich alternative Vertriebsplattformen etablieren, wie z.B. Selfpublishing oder offene Plattformen. Zusätzlich wird Content vergleichbar mit In-App-Käufen auch innerhalb virtueller Räume vertrieben werden.

Einnahmen im Bereich VR und AR werden zukünftig weniger über Hardware wie HMDs, sondern über die darüber vermittelten Inhalte generiert werden. Prognosen lassen erwarten, dass bis zum Jahr 2020 weltweit der Höhepunkt in Bezug auf HMDs erreicht ist, während der Verkauf von Software voraussichtlich weiter wächst. Im Jahr 2018 wird demnach mit 3.885 Mio. US-Dollar ein nahezu gleichbleibender Umsatz mit HMDs erwartet wie 2017 (3.990 Mio. US-Dollar), während sich der Umsatz mit VR-Software nahezu verdoppeln soll, von 2017 2.574 Mio. auf 4.666 Mio. US-Dollar (Loesche 2017b). Auch Goldman Sachs (2016) sagt einen stetigen Anstieg der Einnahmen von Software voraus (Kap. 2.4).

Die Geschäftsmodelle und der Vertrieb von VR- und AR-Anwendungen werden sich vermutlich an denen anderer digitaler Medien wie Musik, Videos oder Spiele orientieren (Interview Malaka). Demzufolge werden Distributionsplattformen großer Anbieter wie z.B. Valve Steam, Google Play Store, Apple iTunes, Amazon oder Netflix eine große Rolle für die Verbreitung VR- und AR-bezogener Inhalte und Anwendungen spielen.

Die Fokussierung des Vertriebs von VR- und AR-Inhalten über wenige Plattformen wird den Trend zu The-Winner-takes-it-all-Märkten,²¹ d.h. die Konzentration der Nutzer auf wenige Plattformen, weiter befördern. Damit findet die in der Internetökonomie verbreitete Form der Oligopolbildung im Bereich VR und AR ihre Fortsetzung, und insbesondere große Player, die auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen aktiv sind, werden die Gewinner sein (Deloitte 2017). Mit dem Plattformprinzip einher geht jedoch auch der Vorteil, dass sich der Marktzugang von Nischenprodukten und -inhalten aufgrund geringer Transaktionskosten deutlich erweitert (Anderson 2008). In der Konsequenz erhalten auch kleine Unternehmen, die VR- und AR-bezogene Inhalte anbieten, die Chance, potenzielle Kunden zu erreichen und deren (Nischen-)Bedürfnisse

21 Bekannte Beispiele sind die Suchmaschine Google, der Streamingdienst Netflix oder die Distributionsplattformen Amazon, Apple iTunes oder Google Play Store, die sich jeweils dominierend in ihren Feldern auf dem Markt durchgesetzt haben.

zu befriedigen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass der durch Drittanbieter angebotene Content mit den Regeln und Richtlinien der Plattformbetreiber übereinstimmt, was das Spektrum des Möglichen letztlich doch begrenzt (These 14 zu Contentkontrolle und -zugang, Kap. 4.2.2).

Ergänzend zur kommerziellen Distribution über proprietäre Plattformen wie den heutigen App Stores oder Streamingdiensten werden sich auch alternative Vertriebsmuster etablieren, die eher dezentrale Ansätze wie Selfpublishing oder die nichtproprietäre Entwicklung von Inhalten nach Open-Source-Prinzipien verfolgen. Ein bestehendes Beispiel ist das Projekt »Open Source Virtual Reality«.²²

Zusätzlich wird ähnlich wie bei In-App-Käufen auch ein Vertrieb bzw. Kauf innerhalb virtueller Räume realisiert werden. Samsung beispielsweise bereitet dies mit Samsung Pay bereits vor (Kharpal 2016). Einerseits geht es um den Vertrieb virtueller Produkte bzw. Content, wie z. B. die Ergänzung der genutzten VR- und AR-Anwendungen um weitere Optionen und Funktionalitäten. Andererseits kann sich der Kauf innerhalb der virtuellen Welt auch auf reale Produkte beziehen (s. a. nachfolgende These zu Geschäftsmodellen).

These 25

Neben dem Verkauf von VR- und AR-Hardware sowie entsprechendem Hardwarezubehör werden Geschäftsmodelle auch auf den vermittelten Inhalten und Anwendungen von VR und AR basieren. Schwerpunkte dieser Geschäftsmodelle werden vorwiegend in folgenden Bereichen liegen: Content/Premium-Apps, E-Commerce, Streamingabonnements, In-App-Käufe, Social VR/Kommunikation, Werbung sowie Auswertung von Nutzerdaten.

Geschäftsmodelle im Bereich VR und AR ermöglichen entweder eine direkte Monetarisierung über Entgeltzahlung oder eine indirekte Monetarisierung über Werbung oder den Verkauf von Nutzerdaten.

In die Kategorie der Geschäftsmodelle zur direkten Monetarisierung fallen beispielsweise Content/Premium-Apps, die Spiele, Programme oder anderweitige digitalisierte VR- und AR-Produkte und -Dienstleistungen zusammenfassen (Grohgan 2016). Bezahloptionen ergeben sich beispielsweise mit VR und AR beim einmaligen Kauf oder on demand, z. B. über Streaming oder Leasing, vergleichbar mit den Monetarisierungsmechanismen beim Kauf von Software. Direkte Einnahmequellen ergeben sich auch durch VR-Filmangebote in Kinos oder über Location-based-Entertainment-Angebote z. B. in Freizeitparks oder Spielhallen.

22 <http://www.osvr.org/> (5.6.2018)

Ein weiterer Geschäftsmodellansatz besteht im Bereich E-Commerce unter Nutzung erweiterter und virtueller Realitäten. Dies schließt virtuelle Geschäfte und Kaufhäuser genauso ein wie die Produktpräsentation und den -vertrieb mittels VR und AR. In den virtuellen Geschäften und Kaufhäusern können die Kunden Ladenrundgänge machen (Wang 2016). Beispiele hierfür sind der Einkauf in einem virtuellen eBay-Shop oder die VR-Shoppingmall der chinesischen Konzerngruppe Alibaba (Friedrich 2016; Rick 2017). Die virtuelle Produktpräsentation kann genutzt werden, um Kunden Produkte näherzubringen und deren Gestalt, Nutzen oder Mehrwert virtuell zu simulieren.

Vergleichbar mit den Streamingabonnements bei Amazon, Netflix und Spotify sind zukünftig auch monatliche Bezahlvereinbarungen mittels VR- und AR-Content denkbar, wobei es entscheidend darauf ankommen wird, ansprechende Inhalte zu produzieren, die Menschen zum Kauf motivieren. Dies könnten z.B. Angebote für Musikkonzerte, VR-Filmblockbuster oder der virtuelle Nachbau von bekannten Fernsehserien und Filmszenarien wie z. B. »Star Wars« sein (Grohgan 2016).

Schon heute stellen In-App-Käufe eine wichtige Einnahmequelle dar. Allein in Deutschland wuchs der In-App-Markt 2017 auf 1,5 Mrd. Euro, was nahezu einer Verdreifachung im Vergleich zu 2013 entspricht, als der Umsatz bei 547 Mio. Euro lag (Bitkom 2018). Es ist wahrscheinlich, dass zukünftig auch in virtuellen Welten In-App-Käufe etwa für ein Upgrade von Spielen oder zum Kauf von virtuellen Gegenständen für Nutzer attraktiv ist.

Social VR und Kommunikation bieten weitere Optionen für Geschäftsmodelle. Hier sind verschiedene kostenpflichtige Angebote im Konsumentenbereich und auch im professionellen Kontext, etwa im Business-Conferencing-Bereich, vorstellbar, um Kommunikation und Interaktion durch Visualisierung besser erlebbar zu machen. Vorreiter sind AltspaceVR oder Facebook, das im Jahr 2017 mit der Spaces-App eine Betaversion für Social VR vorgestellt hatte. Dort können die Nutzer als Avatare in einer virtuellen Welt miteinander interagieren (Franklin 2017).

Neben der direkten Bezahlung für VR- und AR-Hardware, -Inhalte oder damit verknüpften Dienstleistungen ergeben sich neuartige Ansätze der indirekten Monetarisierung. Dies umfasst Werbung sowohl in der virtuellen Welt als auch in der erweiterten Realität. Für AR besteht ein großes Anwendungspotenzial im Location-based Advertising und im Contentmarketing. Den Nutzern werden z.B. Werbebanner oder Zusatzinformationen im Display eingeblendet. In virtuellen Welten ist zusätzlich dazu eine Produktplatzierung vorstellbar. Ähnlich wie bei digitalen Werbeanzeigen (Bannern, Autoplayvideos etc.) wird auch die Intensität immersiver Werbung gerade so hoch sein, dass sie für deren Nutzer erträglich bleibt bzw. durch den Mehrwert der Anwendungen gerechtfertigt ist. Allerdings ist auch zu vermuten, dass Werbung noch sehr viel subtiler platziert werden kann.

Eine weitere indirekte Einnahmequelle wird sich über die Verwertung erfasster Nutzerdaten ergeben, vergleichbar mit den Geschäftsmodellen von Internetkonzernen wie Google und Facebook, die Nutzerdaten auswerten und personalisierte Werbung bereitstellen. Die beim Surfen im Internet hinterlassenen Daten werden gesammelt und ausgewertet; sie stellen eine wichtige Ressource dar, um z. B. den Besuchern der Webseiten passgenaue Informationen und Werbung zu präsentieren. Geschäftsmodelle mittels Datenerfassung bestehen darin, die eigenen Angebote zu verbessern und Nutzer zu binden sowie die Anzeigenschaltungen zur Generierung von Werbeeinnahmen zu optimieren. Ein weiteres Geschäftsmodell besteht darin, die gesammelten Daten an Dritte zu verkaufen (klicksafe 2018). Es liegt nahe, dass diese Geschäftsmodelle auf VR- und AR-Anwendungen übertragen werden. Die Datenerfassung über die Browser in den HMDs werden sowohl das Surfverhalten als auch biometrische Daten erfassen, die voraussichtlich für eine noch stärker personalisierte Werbung oder Informationsbereitstellung genutzt werden können.

These 26

Die Märkte in konsumnahen B2C-Bereichen teilen sich aktuell insbesondere große US-amerikanische und asiatische Konsumkonzerne. Europäische und deutsche Unternehmen müssen hier größere Anstrengungen unternehmen, um Anschluss zu halten. In Deutschland besteht ein hohes Marktpotenzial im B2B-Bereich.

Vor allem privatwirtschaftliche Technologie- und Medienkonzerne werden die Entwicklungen von VR- und AR-Geräten, -Content sowie auf deren Verwertung ausgelegte Geschäftsmodelle weiterentwickeln. Eine wichtige Rolle nehmen dabei die Spieleentwickler ein, die mit den Game Engines wichtige Entwicklungsplattformen bereitstellen.

Dies belegen Angaben von Goldman Sachs (2016) zu Investitionsaktivitäten großer Technologiekonzerne in VR- und AR-Technologien. Die Entwicklungen werden maßgeblich von US-amerikanischen (z. B. Apple, Disney, Facebook, Google, Microsoft, Snap) und asiatischen Unternehmen (z. B. HTC, Samsung, Sony) forciert. Bei Smart Glasses wird erwartet, dass vor allem auch die chinesischen Unternehmen wie Baidu, Alibaba und Tencent eine große Rolle spielen (Merel 2017b). Der internationale Wettbewerb um konsumnahe Hardware und Inhalte fordert europäische und deutsche Unternehmen heraus, hier Anschluss zu halten.

Deutschland kann jedoch seine Stärke in spezifischen Lösungen im B2B-Bereich ausspielen. Die deutsche Wissenschaft mit ihren vielen, zum Teil sehr anwendungsnahen Forschungsinstituten trägt entscheidend zur Weiterentwicklung von VR- und AR-basierten Lösungen im industriellen Kontext bei. Es

fällt jedoch sowohl den Forschungsinstitutionen als auch den entwicklungsstarken Unternehmen mitunter schwer, ihren Wissensvorsprung in kommerzielle Anwendungen zu überführen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es auch für Unternehmen im B2B-Bereich noch schwer, für ihre hochspezialisierten Anwendungen wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle zu etablieren. Oft sind die Zielmärkte ihrer Lösungen dafür noch sehr klein und auf wenige potenzielle Kunden begrenzt (Interview Kuhlen).

Die Prognosen für die Marktentwicklung gehen im B2B-Bereich jedoch von hohen Wachstumsraten aus. Laut Deloitte, Fraunhofer FIT und dem Branchenverband Bitkom (Esser et al. 2016) werden bis 2020 Unternehmen in Deutschland mit VR und AR rund 840 Mio. Euro im Bereich B2B erzielt. Dabei entfällt nur ein kleinerer Anteil (rund 10%) auf Hardware, während der größere Umsatz mit softwarebasierten Lösungen wie Entwicklung, Lizenzierung und Instandhaltung generiert wird. Dabei handelt es sich um spezifische Lösungen, die auf die individuellen Zwecke im industriellen Einsatz zugeschnitten sind, wie z. B. die Entwicklung von Schnittstellen (Deloitte 2016). Diese Prognose spiegelt die Eigenheiten des B2B-Marktes wider, in dem die Umsätze über softwarebasierte Lösungen und nicht wie im Konsumentenmarkt wesentlich über Hardware erzielt werden (Esser et al. 2016).

5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft

Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse belegen einerseits die vielfältigen Anknüpfungspunkte und Anwendungspotenziale von VR und AR im privaten und professionellen Umfeld. Damit einher geht andererseits eine wachsende wirtschaftliche Bedeutung: Sollten sich VR und AR perspektivisch als Schlüsseltechnologien der Digitalisierung etablieren, ist es für das deutsche Innovationssystem wichtig, relevante Forschungs- und Entwicklungsthemen mitzuprägen sowie Chancen für die wirtschaftliche Verwertung von innovativen VR- und AR-Lösungen zu erzeugen und zu ergreifen. Gleichzeitig ist es aus TA-Sicht wichtig, die gesellschaftlichen Implikationen in den Blick zu nehmen und insbesondere potenzielle Risiken rechtzeitig zu antizipieren. Die Voraussetzungen und Eckpunkte dafür werden aufbauend auf der bisherigen Auseinandersetzung in der nachfolgenden Gegenüberstellung der Chancen und Herausforderungen durch VR und AR für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft skizziert. Daran anschließend werden die regulatorischen Handlungsbedarfe erläutert, die sich daraus ableiten lassen.

5.1 Chancen

Die deutsche *Wissenschaft* ist durch viele Forschungsprojekte, Publikationen und ihre führende Stellung in Fachgremien im internationalen Forschungsdiskurs im Kontext von VR und AR gut positioniert (siehe auch vertiefte Analyse wissenschaftlicher Aktivitäten im internationalen Vergleich; Anhang 2).

Im internationalen Vergleich der Publikationsaktivitäten im Zeitraum von 2012 bis 2017 liegt Deutschland mit 638 Veröffentlichungen zu VR und AR nach den USA (2.175) und Großbritannien (924) an dritter Stelle.

Etwas überraschend liegt China mit 599 Publikationen ebenfalls auf den vorderen Plätzen, knapp hinter Deutschland und Spanien und weit vor Südkorea und Japan. In den Experteninterviews wurde China nicht als wesentlicher Akteur herausgehoben. Das heißt, dass China als wichtiger Akteur in der Wissenschaft noch nicht angemessen wahrgenommen wird.

Unter den Institutionen ist die Technische Universität München hervorzuheben. Mit 63 Publikationen liegt sie auf dem zehnten Platz in der EU und ist führend in Deutschland. Darüber hinaus zeichnen sich die Standorte München, Heidelberg, Tübingen und Würzburg nicht nur durch eine hohe Zahl an Publikationen aus, sondern auch durch eine starke Vernetzung mit anderen wissenschaftlichen Institutionen im In- und Ausland.

Die Schwerpunkte der Publikationsthemen zu VR- und AR-Technologien liegen in Deutschland ähnlich wie auch in der EU und den USA im Bereich

^
› 5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft
v

Medizin und Neurowissenschaften. In den USA sind zusätzlich Forschungsfelder wie Elektrotechnik und Informatik stark vertreten, was auf eine Hardwareentwicklung deutet, die in Deutschland dagegen schwach ausgeprägt ist. Ebenso deuten die Forschungsschwerpunkte in China darauf hin, dass dort hauptsächlich die Hardwareentwicklung vorangetrieben wird.

Auch die anwendungsnahe Forschung und die technologische Entwicklung unter Beteiligung von Unternehmen sind in Deutschland im europäischen Vergleich sehr gut aufgestellt. Insbesondere die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft sind europaweit maßgeblich an Förderprojekten mit Bezug zu VR und AR beteiligt. Perspektivisch ergeben sich daraus folgende Chancen:

- › Deutsche Forscher und Entwickler können in wichtigen Teilbereichen von VR und AR (Medizin, industrielle Anwendungen etc.) Wissensführerschaft erlangen und den internationalen Diskurs entscheidend mitprägen.
- › Da sich in Deutschland bereits eine vergleichsweise interdisziplinäre Wissenschaftscommunity mit VR und AR beschäftigt, sind zukünftig auch Erkenntnisse zu drängenden sozialen und ethischen Fragestellungen hinsichtlich der Nutzung von VR und AR zu erwarten (insbesondere Thesen in Kap. 4.2).
- › Insbesondere aus der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung können wichtige Innovationsimpulse hervorgehen, die in eine wirtschaftliche Verwertung münden.

Mit Blick auf die Chancen durch VR und AR für die *Wirtschaft* bietet vor allem die Digitalisierung industrieller Produktion in Deutschland relevante Anknüpfungspunkte für professionelle VR- und AR-Anwendungen (Kap. 3.2). Um die daraus resultierenden Innovationspotenziale auch wirtschaftlich nutzen zu können, bedarf es neben adäquater Verwertungs- und Transferstrategien vor allem ambitionierter Unternehmensgründungen, die neue Geschäftsmodelle entwickeln und Märkte erschließen. Vor diesem Hintergrund können sich für die Wirtschaft zukünftig folgende Chancen ergeben:

- › VR und AR bieten durch ihre breiten Anwendungsmöglichkeiten für viele Branchen hohe Innovations- und Entwicklungspotenziale. VR und AR werden neue Märkte erzeugen und bestehende Märkte verändern. Die Akteure des deutschen Innovationssystems können sich in diesem Prozess vor allem durch die Entwicklung und Vermarktung von Anwendungen im B2B-Bereich, wie z. B. in der Industrie oder Medizin, gut im internationalen Wettbewerb behaupten.
- › Für Unternehmen kann der Einsatz von VR- und AR-basierten Anwendungen die Kosten- und Ressourceneffizienz (z. B. bei Produktion, Design, Wartung, Meetings) verbessern. Des Weiteren können VR- und AR-Lösungen für die Steigerung von Umsätzen oder zur Kundengewinnung eingesetzt werden (z. B. neue Geschäftsmodelle, Produktpräsentation im Bereich

Marketing und Vertrieb). Ferner bieten sie Potenziale auch für die Assistenz und Unterstützung von Arbeitsabläufen (z. B. bei der Montage, oder Diagnosestellung).

- > Erfolgt die ökonomische Wertschöpfung aktuell insbesondere über VR- und AR-Hardware, wird sie sich zukünftig klar in Richtung der Inhalte verschieben, wodurch sich neue Entwicklungspotenziale eröffnen.
- > Neue Geschäftsmodelle werden in den Bereichen Content/Premium Apps, E-Commerce, Streamingabonnements, In-App-Käufe, Social VR/Kommunikation, Werbung sowie Auswertung von Nutzerdaten liegen.
- > Da die Märkte für anwendungsspezifische Lösungen und Technologien erst entstehen und sich große Technologiekonzerne in erster Linie auf die Entwicklung von konsumnahen Endgeräten und Inhalten konzentrieren, können sich junge Start-ups vergleichsweise gut im Wettbewerb positionieren. Start-ups, die aus der Wissenschaft ausgegründet werden, können außerdem entscheidend dazu beitragen, Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung kommerziell zu verwerten.

Die Chancen durch VR und AR für die *Gesellschaft* verdichten sich primär im Bildungskontext sowie in neuen Formaten und Kanälen sozialer Interaktion. Indem insbesondere VR eine Schnittstelle für ortsunabhängige immersive Kommunikation bildet, kann die Technologie die ohnehin hohe gesellschaftliche Bedeutung digitaler Medien und Interaktionskanäle noch weiter verstärken. Darüber hinaus ermöglichen therapeutische Anwendungen im Medizinbereich, beispielsweise für die Behandlung psychischer Störungen, weitere positive Effekte für die menschliche Gesundheit. Schließlich bieten sich Potenziale für die öffentliche Hand, und zwar primär in den Bereichen Bildung und Qualifizierung, Partizipation sowie Prävention und Sicherheit:

Bildung und Qualifizierung: Im schulischen, beruflichen und akademischen Bildungs- sowie im (Weiter-)Qualifizierungskontext werden durch VR und AR neue, interaktive Formate der Wissensvermittlung entstehen. Trainieren in virtuellen Szenarien wird dadurch genauso möglich wie die anschauliche Vermittlung von theoretischen Lehrinhalten.

Entertainment: Für Verbraucherinnen und Verbraucher bieten sich neuartige Angebote in den Bereichen Film, Sport, Kunst und Kultur.

Formate sozialer Interaktion: VR hat das Potenzial, die soziale Interaktion zu beleben und zu einer Überwindung sozialer Isolation beizutragen, indem beispielsweise die Kontaktgestaltung mit Freunden oder der Familie verbessert und intensive Interaktion auch über räumliche Grenzen hinweg ermöglicht werden.

Einstellung: Weiterhin können über das Ausprobieren neuer Perspektiven und Blickwinkel oder das Erleben vorbildhafter Verhaltensweisen Nutzer, sofern sie sich darauf einlassen, mehr Verständnis und Toleranz für andere Menschen entwickeln.

^
› 5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft
v

Therapie: VR- und AR-Technologien können Therapien z. B. zur Behandlung von Phobien oder posttraumatischen Belastungsstörungen unterstützen. Ferner besitzen VR-Anwendungen das Potenzial, zur Linderung von Schmerzen eingesetzt zu werden.

Prävention: Zum Zwecke der Prävention können Extremsituationen wie Militär-, Rettungs- oder Katastropheneinsätze trainiert werden.

Partizipation: Es können Möglichkeiten zur Partizipation geschaffen bzw. eine stärkere Transparenz erzeugt werden (z. B. Visualisierung öffentlicher Bauvorhaben).

5.2 Risiken

Für die deutsche *Wissenschaft* ergeben sich im Kontext von VR und AR aktuell keine wesentlichen Risiken. Um ihre prägende Rolle in der Forschung weiterhin ausfüllen und ggf. ausbauen zu können, muss jedoch der Zugang zu entsprechenden Fördermöglichkeiten gewährleistet sein. Ist dies zukünftig nicht gegeben, droht die Gefahr, im internationalen Wettlauf um Wissensführerschaft abgehängt zu werden.

Die Risiken für die deutsche *Wirtschaft* spiegeln in erster Linie den allgemeinen Wettbewerb um die Markt- und Innovationsführerschaft im Bereich digitaler Technologien und Geschäftsmodelle wider, der durch VR und AR um weitere Spielfelder ergänzt wird. Grundsätzlich haben die großen IT-Konzerne und Hersteller von Unterhaltungselektronik wie HTC, Samsung, Sony oder die Facebooktochter Oculus in diesem Wettbewerb strukturelle Vorteile, da sie Basistechnologien und Systemplattformen – wenn auch nicht mit hoher Durchdringung – bereits flächendeckend in konsumnahen Märkten positioniert haben. Ähnlich stellen sich auch die Bedingungen für die Entwicklung und den Vertrieb der Inhalte für VR und AR dar: Auch diese werden im B2C-Bereich zukünftig nicht über inländische oder europäische, sondern primär über die Plattformen großer US-amerikanischer Anbieter wie z. B. Amazon, Apple, Google, Netflix oder Steam vertrieben. Aus Sicht der deutschen Wirtschaft schließen sich daran folgende potenzielle Risiken an:

- › Da die derzeit meistgenutzten Endgeräte für VR und AR auf Technologien und Systemplattformen führender Konzerne basieren, schränkt dies die Wertschöpfungsmöglichkeiten kleinerer Unternehmen prinzipiell ein. Dies kann perspektivisch auch für deutsche Unternehmen Abhängigkeiten erzeugen, wenn sie sich beispielsweise mit Spezialanwendungen, die auf den Systemen anderer Hersteller aufsetzen, am Markt positionieren wollen.
- › Die proprietären Plattformen, wie die heutigen App Stores oder Streamingdienste, werden die Bereitstellung von Content bzw. dessen Verbreitung



regulieren und damit einen großen Einfluss haben, welche Inhalte distribuiert werden.

- › Die sich generell verdichtende Marktmacht von Konzernen wie Google, Facebook und Apple zeigt sich außerdem an deren Übernahmen von innovativen VR- und AR-Start-ups. Auch junge deutsche Unternehmen wurden im Zuge dessen aufgekauft. Sollte sich dieser Trend verstetigen, könnte sich die kommerzielle Verwertung in Deutschland entwickelter Technologien und Lösungen noch stärker ins Ausland verlagern.

Mit Blick auf die *gesellschaftlichen Risiken* zeigt sich die Ambivalenz der Effekte, die durch das immersive Eintauchen in virtuelle Welten für die Nutzer von VR entstehen kann. Während die Technologie einerseits dazu beitragen könnte, soziale Isolation durch neue Kommunikationsformen zu überwinden, kann die virtuelle Realität auch zu einem Leben in einer Traumwelt verführen und in Isolation und Entfremdung resultieren. Darüber hinaus kann auch die virtuelle Welt manipuliert werden. Auch wenn die daran geknüpften Risiken nicht kausal auf die Nutzung von VR zurückzuführen sind und stark von den Dispositionen der einzelnen Nutzer abhängen, ist doch davon auszugehen, dass die hohe Intensität des Erlebens virtueller Realität ihre Eintrittswahrscheinlichkeit tendenziell erhöht:

- › Die virtuelle Realität kann eine Parallelwelt erzeugen, die sich für manche Nutzer attraktiver und zugänglicher als die physische Realität darstellt. Soziale Isolation und Entfremdung können die Folge sein.
- › Soziale Interaktion, die heute noch in öffentlichen Räumen erfolgt, könnte sich zukünftig noch stärker in kommerzielle Räume verlagern, da auch soziale VR-Plattformen in der Regel von Unternehmen mit wirtschaftlichen Interessen betrieben werden.
- › Das Auslösen empathischer Gefühle durch VR-vermittelte Inhalte und das starke immersive Gefühl der virtuellen Realität bergen die Gefahr, dass Empathie bzw. die Empfindung gegenüber der Realität abstumpft oder Menschen noch empfänglicher für manipulative Inhalte (Propaganda, Werbung etc.) werden.

5.3 Handlungsfelder

VR und AR stellen ein dynamisches Entwicklungsfeld im Bereich digitaler Medien dar. Aufbauend auf den zuvor dargestellten Chancen und Risiken werden in diesem Kapitel Handlungsfelder beschrieben, in denen sich mögliche Regulationsbedarfe ergeben können. Grundsätzlich zeigt sich hinsichtlich des potenziellen Einflusses von VR und AR auf Wirtschaft und Gesellschaft, dass sie als neues digitales Medium viele grundlegende Fragen und Probleme der Digitalisierung aufwerfen. Dies betrifft Aspekte wie die oftmals noch unklare

- ^
› 5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft
v

Rechtsverbindlichkeit des digitalen Raums genauso wie etwaige Auswirkungen eines extensiven Konsums entsprechender Anwendungen auf die Psyche und Physis ihrer Nutzer. Aus TA-Sicht stellt sich in diesem Zusammenhang insbesondere die Frage, inwiefern die gesteigerte Immersion der virtuellen Realität die möglichen nichtintendierten Nebenfolgen digitaler Medien verschärft. Wissenschaftlich fundierte Aussagen gibt es diesbezüglich noch nicht. Diese prinzipielle Einschränkung ist bei der Bewertung der meisten nachfolgenden Punkte zu berücksichtigen.

5.3.1 Gesetze und Regeln für den virtuellen Raum

Die Verschränkung von physischer und virtueller Realität und die Verlagerung von Arbeits- und Freizeitaktivitäten sowie sozialer Interaktion von der realen Welt in einen virtuellen Raum werfen die grundsätzliche Frage auf, wie und in welchem Umfang soziale und juristische Regeln und Konventionen auch für den virtuellen Raum gelten. Zum jetzigen Zeitpunkt sind hier die zahlreichen rechtlichen und ethischen Fragen noch weitgehend unbeantwortet und bedürfen eines gesellschaftlichen Diskurses bis hin zur Vereinbarung klarer Regeln und Gesetze. Rechtliche und regulatorische Problemstellungen ergeben sich maßgeblich zum Datenschutz, zur Datensicherheit, zum Urheberrecht und zu den Persönlichkeitsrechten mit Blick auf Belästigung, Mobbing oder Missbrauch.

Datenschutz, Datensicherheit und Urheberrecht

VR und AR berühren als Teilaspekte der Digitalisierung grundsätzliche Fragen zum Datenschutz, zur Datensicherheit und zum Urheberrecht. Generell werden Menschen auch in der virtuellen Realität einen umfassenden digitalen Fußabdruck hinterlassen. Es ist noch ungeklärt, welche Daten gesammelt und zu welchen Zwecken diese letztlich genutzt werden. Es deutet sich jedoch bereits an, dass große Technologieunternehmen wie Oculus und Google über die HMDs und den darin integrierten proprietären Browser einen exklusiven Zugang zu Daten ihrer Nutzer erhalten. Die über die Browser in den HMDs erfassten Daten werden nicht nur das Surfverhalten, sondern auch biometrische Nutzerdaten enthalten, welche voraussichtlich für eine noch stärker personalisierte Werbung oder Informationsbereitstellung ausgewertet werden. Die gesammelten biometrischen Daten aus VR-Anwendungen umfassen beispielsweise Informationen darüber, wie lange und wohin geschaut wird, welche Körperbewegungen ausgeführt werden und welche Körpermaße vorliegen. Schon heute haben sich Firmen auf die Erstellung sogenannter Gaze-Maps spezialisiert. Diese zeigen, wohin ein Benutzer in der virtuellen Welt geschaut hat. Bislang werten VR-Headsets lediglich Kopfbewegungen und keine Pupillenbewegungen aus; dieser

technologische Schritt ist jedoch in Vorbereitung (Leske 2017) und vergrößert das Ausmaß des digitalen Fußabdrucks.

Darüber hinaus stellen VR- und AR-Anwendungen auch den Schutz persönlicher und professioneller Daten vor neue Herausforderungen (Interviews Malaka u. Meixner). So kann z. B. die Nutzung von Smart Glasses Betriebsgeheimnisse oder hochvertrauliche medizinische Informationen von Patienten betreffen (Interview Mühlberger). Darüber hinaus können bei privaten Anwendungen Persönlichkeitsrechte auch indirekt berührt werden. So ist es denkbar, dass den Trägerinnen und Trägern von Smart Glasses aus dem Internet gewonnene Informationen zu Personen eingeblendet werden, wenn Fotos mit Daten verknüpft werden (Interview Runde; siehe auch These 11).

Wichtige rechtliche Aspekte betreffen Urheber- und Verwertungsrechte für den virtuellen Raum. Es ist weitgehend unklar, wie sich Produzenten von VR-Inhalten urheberrechtlich absichern können bzw. müssen. So ist zu klären, wie z. B. Screenshots, Bilder von anderen Avataren oder Selfies im virtuellen Raum mit Blick auf Urheberrechte zu bewerten sind und ob diese ggf. nur mit Einverständnis an anderer Stelle veröffentlicht werden dürfen. Bislang sind Avatare erst ab einer gewissen Gestaltungs- oder Schöpfungshöhe, also einer deutlichen individuellen Prägung durch ihre Urheber, auch urheberrechtlich geschützt (Hornung/Müller-Terpitz 2014, S.168 f.). Klärungsbedarf besteht in der Vergabe von Lizenzen für die virtuelle Verwertung z. B. von Events wie die Übertragung von Sportereignissen oder Konzerten (Interview Ludwig).

Umgang mit Belästigungen und Persönlichkeitsrechten im virtuellen Raum

Obwohl soziale virtuelle Realität noch ein sehr junges Phänomen darstellt und sich Anwendungen wie AltspaceVR und Facebook Spaces noch in Pilotphasen befinden, ist der Umgang mit sexuellen Übergriffen und Cybermobbing bereits jetzt ein relevantes Thema (Wolfangel 2016). Sexuelle Belästigungen stellten bereits bei »Second Life«²³ ein Problem dar. Die Avatare wurden beispielsweise verbal und körperlich von anderen Avataren belästigt. Erste Studien belegen, dass sich eine soziale Ausgrenzung in der virtuellen Realität negativ auf das Sozialverhalten und das Wohlbefinden von Menschen auswirken kann und die virtuelle soziale Ausgrenzung dieselben physiologischen Prozesse auslöst wie soziale Ausgrenzung in der Realität (Kothgassner et al. 2017).

23 »Second Life« ist eine seit 2003 verfügbare Online-3-D-Infrastruktur zur Gestaltung einer virtuellen Welt, in der Menschen durch Avatare interagieren, spielen, Handel betreiben und anderweitig kommunizieren können. 2013 waren rund 36 Mio. Benutzer registriert. Die Zahl der aktiven Nutzer ist ebenso wie die mediale Präsenz in den letzten Jahren kontinuierlich zurückgegangen und lag Mitte 2017 bei schätzungsweise 800.000. Als Nachfolger wird das Projekt »Sansar« entwickelt, das seit Mitte 2017 für ausgesuchte Betatester zugänglich ist (<https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=168205989> [25.10.2017]).

Da sich die Regelungen zu Missbrauch und Mobbing im Strafgesetzbuch ausschließlich auf reale Tatbestände beziehen und selbst hier bisweilen nicht eindeutig ausgelegt werden (beispielsweise Erheblichkeitsschwellen im Sexualstrafrecht), stellen Übergriffe auf Avatare aktuell noch keinen juristischen Tatbestand dar. Weil Avataren der persönlichkeitsrechtliche Schutz fehlt, gelten sie beispielsweise nicht als beleidigungsfähig, die dahinter stehenden Menschen jedoch schon (Hornung/Müller-Terpitz 2014, S. 168 f.). Da sich die Erfahrungen in der virtuellen Realität für die Menschen hinter den Avataren im Positiven wie im Negativen jedoch sehr echt und unmittelbar anfühlen können, haben sie auch real erfahrbare Konsequenzen, was sich in einem zugefügten Leid ausdrücken kann (Madary/Metzinger 2016). Gegen die Ursachen gibt es bisher juristisch noch keine Handhabe. Eine Ausnahme bildet das sogenannte Cybermobbing, das in Deutschland zwar kein eigener Straftatbestand ist, in einzelnen Ausprägungen jedoch Gegenstand zivilrechtlicher Ansprüche und somit strafbar sein kann (z. B. Unterlassung und Schadenersatz). Eine Übertragung der gesetzlichen Regulierung mit Blick auf Cybermobbing auf den virtuellen Raum ist gut vorstellbar (Interview Runde).

Da der juristische Schutz der Persönlichkeitsrechte für den virtuellen Raum bislang nicht gegeben ist, liegt es aktuell in der Verantwortung der Anbieter wie AltspaceVR, für ihre Nutzer bindende Verhaltensregeln festzulegen und bei Verstößen über Moderatoren zu vermitteln. Sanktionen gehen bis zum Ausschluss aus der Community. Ferner wurden technische Lösungen gegen Belästigung entwickelt, die von Betreibern sozialer Plattformen leicht zu implementieren sind. AltspaceVR hat eine sogenannte Space Bubble entwickelt. Diese ist vergleichbar mit einem Schutzraum, der nicht durchbrochen werden kann bzw. entspricht einer selbst zu regulierenden Individualdistanz für den eigenen Avatar. Beispielsweise werden in die Space Bubble tretende fremde Avatare einfach unsichtbar sowohl für die Nutzer selbst als auch für andere (Marshburn 2017).

Es stellt sich ferner die Frage, wie mit dem Avatar verfahren werden soll, wenn der dahinter stehende Mensch verstirbt. Noch haben Avatare keine Menschen- bzw. auch keine Persönlichkeitsrechte, die verletzt werden können. In der virtuellen Welt wird der eigene Avatar jedoch immer stärker mit der eigenen Person und Identität verschmelzen (TAB 2016b).

5.3.2 Physische und psychische Folgen

Die physischen und psychischen Folgen von längeren Aufenthalten in der virtuellen Realität sind noch weitgehend unbekannt. Die psychischen und neuronalen Effekte, der Einfluss auf das Sehvermögen, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen, sowie ein möglicher Einfluss auf das Verhalten sind noch ungeklärt und bedürfen weiterer Forschung. Konkrete Folgen, die bei (sehr langen) Aufenthalten in virtuellen Umgebungen eine Rolle eintreten könnten, sind



Persönlichkeitsveränderung, Entfremdung und soziale Isolation sowie körperliche Auswirkungen.

Persönlichkeitsveränderung, Entfremdung, soziale Isolation

Wenn sich Personen zunehmend virtuell und weniger physisch begegnen oder sich soziale Interaktion verstärkt mit künstlichen Agenten vollziehen, kann aufseiten des Nutzers der Wunsch entstehen, die virtuelle Welt nicht mehr zu verlassen. Wenn die Erfahrungen in der VR zunehmend von den Erfahrungen in der physischen Realität abweichen, kann dies eine Veränderung der Selbst- und Weltsicht bewirken und in der Konsequenz zu sozialer Isolation und einer Entfremdung von der Wirklichkeit führen.

Die Forschung zu onlinebasierten Multiplayercomputerspielen wie »Second Life« oder »World of Warcraft« hat gezeigt, wie empfänglich einige Menschen dafür sind, sich persönlich mit ihren Avataren zu identifizieren (Edgar 2016). Da VR eine noch stärkere Immersion in virtuelle Welten ermöglicht, erleben die Nutzer diese noch intensiver. Es ist davon auszugehen, dass sich die Gefahr für Persönlichkeitsveränderung und Entfremdung von der realen Lebenswelt weiter erhöht und auch die Suchtgefahr mit der Intensität und Attraktivität der Anwendungen zunimmt (Interview Metzinger).

Körperliche Auswirkungen

Die Frage körperlicher Auswirkungen stellt sich insbesondere im Sinne des Arbeits- und Verbraucherschutzes. Für HMDs existieren noch keine Normen und Regelwerke vergleichbar mit der Arbeitsstättenverordnung²⁴ (Anhang, Abschnitt 6), die Orientierung bieten, dass mit den Geräten sicher in einem Arbeitsumfeld gearbeitet werden kann. Beispielsweise bestehen neben gesundheitlichen Risiken für die Augen potenzielle Gefahrenquellen darin, dass durch die kabelgebundenen Geräte Stolperfallen entstehen oder durch die eingeschränkte Sicht Hände in eine Maschine geraten können. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin untersuchte im Jahr 2016 gesundheitliche Risiken von HMDs mit besonderem Fokus auf Augen (BAuA 2016; Theis et al. 2016; Wille 2016). In den Studien konnten keine ernstzunehmenden gesundheitlichen Risiken festgestellt werden. In Bezug auf die Augen wird zu HMDs lediglich empfohlen, Pausen einzuhalten. Allerdings wurden sehr verschiedene Technologien miteinander verglichen (BAuA 2016). Langzeitstudien zum Einfluss von VR und AR auf das Sehvermögen speziell bei Kindern und

²⁴ Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV), Anhang Anforderungen und Maßnahmen für Arbeitsstätten nach § 3 Absatz 1

Jugendlichen, aber auch bei Erwachsenen stehen noch aus (Cannarozzi/Runde 2015; Interview Meixner).

5.3.3 Technologiemißbrauch durch Manipulation

Resultieren die zuvor benannten Risiken eher aus nichtintendierten Technikfolgen, eröffnen VR- und AR-Technologien perspektivisch auch Möglichkeiten des intendierten Mißbrauchs. Daher ist es notwendig, das manipulative Potenzial von VR und AR genau zu beobachten.

Manipulation durch VR und AR

Die neuen Darstellungsmöglichkeiten von VR und AR bieten aufgrund ihres anschaulichen und immersiven Charakters verschiedene Möglichkeiten der Manipulation, die von der Beeinflussung des Kaufverhaltens bis hin zu einer gezielten Manipulation durch Vortäuschung von scheinbar Realem reichen können. Da die virtuelle Welt eine vollständige Simulation darstellt und deren Inhalte insofern immer nur digitale Abbilder der Realität sind, verschwimmt die Grenze zwischen Realität und Fiktion; in der Konsequenz können manipulierte Inhalte nur schwer von nichtmanipulierten unterschieden werden. Staaten, Unternehmen, Gruppierungen oder Einzelperson könnten dies nutzen, um manipulative Inhalte gezielt in die virtuelle und/oder erweiterte Realität einzuspeisen und die Aufmerksamkeit und Meinungsbildungsprozesse ihrer Nutzer gezielt mit (Werbe-)Strategien zu beeinflussen.

Eine grundlegende Aufklärung darüber, wie und durch wen Inhalte manipuliert werden können, sowie die Unterrichtung von Grundzügen informationstechnischer Funktionsweisen und Zusammenhänge erscheinen deshalb sinnvoll. Kinder, Jugendliche und auch Erwachsene sollten in der Lage sein, die Angebote und Möglichkeiten, die aus der virtuellen Welt stammen, kritisch zu bewerten und einordnen zu können. Der Erwerb von Medienkompetenz sollte ein selbstverständlicher Teil schulischer Lehrpläne sein.

Ein möglicher Ansatz für die Beglaubigung des Wahrheitsgehalts und für die Seriosität der Herkunft der dargestellten virtuellen Inhalte und damit für den Qualitätsnachweis der dahinter liegenden Daten könnte z. B. in einem Qualitätssiegel bestehen, mit dem die Quelle und die Qualität der Daten nachgewiesen werden. Darüber hinaus existieren mit sogenannten Content Verification Tools bereits einige technologische Ansätze, um die Vertrauenswürdigkeit digitaler Inhalte zu testen (Matzakou 2017) – eine Übertragbarkeit dieser Lösungen auf VR und AR wäre zu prüfen. Die Notwendigkeit einer Qualitätskontrolle für virtuelle Inhalte entsteht vor allem dann, wenn VR und AR für eine politisch-gesellschaftliche Teilhabe, z. B. bei der Umsetzung großer, komplexer Bauvorhaben oder bei der Verlagerung von gesellschaftlichen Partizipationsprozessen

in die virtuelle Realität in Form von Townhallmeetings mittels Social VR, eingesetzt werden soll.

Missbrauch

Schließlich besteht die Möglichkeit, dass VR-Anwendungen durch das Militär, Geheimdienste oder terroristische Gruppen zur Folter eingesetzt werden (Interview Metzinger). Eine solche virtuelle Folter würde keine sichtbaren Spuren hinterlassen. Bisher gibt es allerdings noch keine Anhaltspunkte, dass VR zu Folterzwecken eingesetzt worden wäre (Bierend 2015). Mögliche Folderszenarien könnten sein, Menschen die Illusion zu geben, sich in Einzelhaft oder einem sehr kleinen Raum, wie einem Sarg, zu befinden. Auch sind Szenarien denkbar, die eine Illusion von Schmerz auslösen. Mittels VR sind völlig neue, individuell auf die Person zugeschnittene Formen der psychischen Folter denkbar (Johnson 2017).

5.3.4 Innovationslandschaft: Forschung, Entwicklung und Verwertung

In Anbetracht der wirtschaftlichen Relevanz des Themas und des intensiven internationalen Wettbewerbs um Technologie- und Wissensführerschaft stellt es für das deutsche Innovationssystem trotz der guten Positionierung eine grundsätzliche Herausforderung dar, diese Potenziale tatsächlich bestmöglich zu erschließen und nachhaltig zu sichern. Handlungsbedarfe, die aus den Befunden dieser Vorstudie abgeleitet werden können, betreffen

- > die Positionierung Deutschlands in relevanten Schwerpunktthemen für Forschung und Entwicklung,
- > die Intensivierung des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, insbesondere durch die Förderung und Verstetigung der wirtschaftlichen Entwicklung von VR- und AR-basierter Start-ups, sowie
- > die Standardisierung von Formaten und die Etablierung von Entwicklungsschnittstellen.

Schwerpunktthemen für Forschung und Entwicklung

Die Ergebnisse der Web-of-Science-Analyse, die Betrachtung der geförderten Forschungsprojekte sowie die Experteninterviews haben gezeigt, dass deutsche Akteure keine wesentlichen Treiber von Hardwareentwicklungen sind (detaillierte Analyse in Anhang 2). Im internationalen Wettbewerb bei Hardware und Inhalten sind es vor allem US-amerikanische und asiatische Technologieunternehmen, die Entwicklungen von HMDs und Vertriebsplattformen forcieren.

^
› 5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft
v

Die Forschung in Deutschland ist demgegenüber stärker anwendungsgetrieben in dem Sinne, dass Forschungsergebnisse überwiegend in praxisrelevante Lösungen und Applikationen für den B2B-Bereich übertragen und kommerzialisiert werden (Interviews Oppermann u. Strehnitz).

Mit Blick auf die zukünftige Förderung in Deutschland bietet es sich deshalb an, anwendungsbezogene Forschung in solchen Bereichen zu unterstützen, in denen Deutschland traditionell stark ist. Gezielte, auf VR- und AR-Themen ausgerichtete Förderprogramme könnten helfen, Marktpotenziale im B2B-Bereich zu erschließen. Wesentliche Schwerpunkte liegen in der Medizin/Medizintechnik, dem Maschinenbau und auch im Bausektor sowie generell in Produktion, Automatisierung und Industrie 4.0. Besonderes Augenmerk sollte in diesem Zusammenhang auf die Einbindung von kleinen und mittleren Unternehmen in die Technologieentwicklungen gelegt werden, die gemäß Experteneinschätzung noch im Hintertreffen sind und sich durch die gezielte Entwicklung von VR- und AR-Applikationen einen Wissens- und Innovationsvorsprung erarbeiten können.

Zudem bieten laut Experten angewandte, themenübergreifende Forschungsvorhaben in enger Verzahnung mit contentproduzierenden Unternehmen die Chance, dass praxistaugliche und ansprechende Anwendungen die Diffusion von VR und AR befördern. Ferner werden Entwicklungen im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz wichtige Impulse für VR und AR geben können. Dennoch sollte neben der anwendungsorientierten Forschung auch die Grundlagenforschung nicht aus den Augen verloren werden.

Vor dem Hintergrund, dass viele mit VR und AR verbundene Fragen mit Blick auf die sozialen, rechtlichen, ethischen und ökologischen Folgen offen sind, sollten zukünftige Förderschwerpunkte nicht allein auf technologische Themen fokussieren, sondern auch die nichttechnologischen Themen adressieren. Da Deutschland im internationalen Vergleich schon heute in diesem Feld in der Forschung besonders ausgewiesen ist, bieten sich hier gute Anknüpfungspunkte. Fördermaßnahmen in Bereichen wie Medizin, Psychologie, Technikphilosophie und -ethik könnten den Einfluss deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die internationalen Forschungsdiskurse weiter erhöhen. Da es forschungsseitig bisher keine fundierten Erkenntnisse über die ökologischen Effekte von VR und AR gibt, die beispielsweise Ressourceneinsparpotenziale durch virtuelle Geschäftstreffen oder Konferenzen spezifizieren, existiert hier eine Wissenslücke, die geschlossen werden könnte.

Mit Blick auf den B2C-Bereich könnten sich weitere Potenziale durch eine spezifische Förderung und Gestaltung von Rahmenbedingungen im Bereich (Serious)²⁵ Games, Content oder Social VR ergeben. Speziell Spiele haben sich in der Vergangenheit als wesentliche Treiber technologischer Entwicklungen

25 Unter Serious Games werden digitale Spiele verstanden, die z. B. primär Informations- oder Lernzwecken dienen, aber auch unterhaltende Elemente enthalten können.



erwiesen, die in professionelle und konsumorientierte Anwendungen diffundiert sind. Deutschland hat eine Tradition in der Förderung von Film- und Fernsehproduktionen. Der Film wird als ein wichtiges Kultur- und Wirtschaftsgut bewertet, weshalb die Entwicklung mit dem Ziel gefördert wird, die deutsche Filmkultur sicherzustellen. Eine vergleichbare Bewertung für Games oder Content im Allgemeinen als kulturelle Errungenschaften hat sich bislang noch nicht gesellschaftlich durchgesetzt. Verbesserte Rahmenbedingungen könnten dazu beitragen, dass Deutschland im B2C-Sektor für VR international konkurrenzfähiger wird. Ansonsten läuft Deutschland Gefahr, bei der Entwicklung VR- und AR-basierter Games, Filme und ähnlichen Medienformaten international den Anschluss zu verlieren.

Intensivierung des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Wirtschaft bzw. Förderung von VR- und AR-basierten Start-ups

Obwohl deutsche Forschungsakteure im internationalen Vergleich im Bereich VR und AR bereits gut positioniert sind und beispielsweise bei vielen Forschungsprojekten, Publikationsvorhaben und Fachgremien eine führende Rolle einnehmen, erfolgen die Verwertung und die Wertschöpfung überwiegend im Ausland.

Technologie-Start-ups sind eine vielversprechende Option, um neue Erkenntnisse aus der Forschung und Entwicklung von VR und AR in kommerzielle Geschäftsmodelle zu überführen. Demzufolge böte sich aus Expertensicht die verstärkte Einbindung von bereits existierenden Start-ups in aktuelle wie zukünftige VR- und AR-Förderprogramme genauso an wie eine spezifisch technologiefokussierte Förderung von Unternehmensgründungen und deren wirtschaftlicher Entwicklung.

Zu berücksichtigen ist außerdem, dass die großen Technologieunternehmen in den vergangenen Jahren sehr stark in den Kauf von VR- und AR-Start-ups investiert haben und dabei auch junge deutsche Unternehmen aufgekauft wurden. Beispielsweise übernahm Apple in den letzten Jahren Start-ups wie metaio (2015) und SensoMotoric Instruments (2017) sowie Facebook das Start-up fayteq (2017). Diese und ähnliche Unternehmen wurden mitunter über viele Jahre mit öffentlichen Fördergeldern unterstützt. In den Förderprojekten wurden Patente angemeldet, die nun für eine kommerzielle Verwertung in Deutschland nicht mehr zur Verfügung stehen. Obwohl die steuerlichen Abgaben auf Unternehmensverkäufe eine indirekte monetäre Kompensation der öffentlichen Fördermittel darstellen, verliert Deutschland in der Konsequenz potenzielle Wertschöpfungschancen und relevantes Know-how. Es stellt sich die Frage, wie dies vermieden werden kann oder die negativen Auswirkungen zumindest gemindert werden können.

- ^
› 5 Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft
v

Standardisierung und Schnittstellen

Aktuell versuchen Anbieter wie HTC oder Oculus, auf Basis ihrer Geräte und Inhalte möglichst viele Nutzer an ihre proprietären technologischen Systeme zu binden. Was aus individueller Konzernsicht eine probate Strategie zur Erhöhung unternehmerischer Wertschöpfungschancen darstellt, ist für die generelle Diffusion von VR und AR eher ein Nachteil. Die fehlende Standardisierung und der Mangel an offenen Entwicklungs- und Programmierschnittstellen können innovationshemmende Folgen haben. Um in diesem Zusammenhang gestalterischen Einfluss zu nehmen oder daraus resultierende Entwicklungschancen proaktiv zu erkennen, ist eine deutsche Beteiligung an internationalen Standardisierungsgremien (wie beispielsweise der VRAR – Virtual Reality and Augmented Reality Working Group in der IEEE Standards Association) von hoher Relevanz.



6 Literatur

- Albrand, C. (2015): Virtual Reality im Museum: VR-Tour durch die Bronzezeit. VRODO, 6.8.2015, <https://vrodo.de/virtual-reality-im-museum/> (15.9.2017)
- Amirtha, T. (2016): Can virtual reality help women cope with childbirth? The Guardian, 9.12.2016, <https://www.theguardian.com/technology/2016/dec/09/virtual-reality-childbirth-pain-relief> (8.9.2017).
- Anderson, C. (2008): The long tail. Why the future of business is selling less of more (includes a new chapter: The long tail of marketing). New York u. a. O., http://dl.motamem.org/long_tail_chris_anderson_motamem_org.pdf (21.2.2018)
- Anthes, C., Garcia-Hernandez, R.J., Wiedemann, M., Kranzlmüller, D. (2016): State of the art of virtual reality technology. 2016 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, doi: 10.1109/AERO.2016.7500674
- AP Lellwitz Marktforschung; Visibility Communications; Toluna Germany (2017): Virtual Reality. Vorstudie zu VR im deutschen Markt. Dreieich u. a. O.
- Avantis Systems Ltd. (2017): Reduce Costs for Military Training with Virtual & Augmented Reality. <http://www.classvr.com/virtual-reality-industry-work/vr-military-defence-training/> (14.11.2017)
- Azizullah, Y. (2016): Holoportation. Is this how you'll get to your next meeting? World Economic Forum, 20.6.2016, <https://www.weforum.org/agenda/2016/07/fourth-industrial-revolution-boardroom> (7.11.2017)
- Ballhaus, W., Bruns, L., Deligios, F., Gräber, T., Kämmerling, S., Lorenz, M., Schink, N., Wipper, A.-K., Wilke, N. (2016): Digital Trend Outlook 2016. Virtual Reality: Nimmt der Gaming-Markt eine Pionier-Rolle ein? PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, http://www.cpwissen.de/tl_files/pdf/STUDIEN/PwC_Studie_Virtual_Reality.pdf
- Barret, J. (2004): Side Effects of Virtual Environments: A Review of the Literature. Edinburgh. Australian Government, Department of Defence, Defence Science and Technology Organisation, Edingburgh South Australia, <https://pdfs.semantic scholar.org/ab1b/4153e44abb4c1a1fcac5f2aaee847d30ecf3.pdf> (21.2.2018)
- BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) (2016): Head-Mounted Displays – Arbeitshilfen der Zukunft. Bedingungen für den sicheren und ergonomischen Einsatz monokularer Systeme. baua: Praxis, Dortmund
- Beiersmann, S. (2017): Apple arbeitet an Augmented-Reality-Headset für Marktstart im Jahr 2019. ZDNet, 9.11.2017, http://www.zdnet.de/88317679/bericht-apple-arbeitet-an-augmented-reality-headset-fuer-marktstart-im-jahr-2019/?google_editors_picks=true&inf_by=59c1e9be681db8140e8b4b71 (9.2.2018)
- Bezmalinovic, T. (2017a): Cerevos haptische Stiefel holen die Füße in die Virtual Reality. VRODO, 4.1.2017, <https://vrodo.de/cerevos-haptische-stiefel-holen-die-fuesse-in-die-virtual-reality/> (17.10.2017)
- Bezmalinovic, T. (2017b): Unitys VR-Chef: »Virtual und Augmented Reality werden sich ausdifferenzieren«. VRODO, 26.12.2017, <https://vrodo.de/unitys-vr-chef-virtual-und-augmented-reality-werden-sich-ausdifferenzieren/> (21.2.2018)
- Bierend, D. (2015): The Dark Age of Virtual Reality-Based Torture Is Approaching Fast. Motherboard, 31.1.2015, https://motherboard.vice.com/en_us/article/vvbx/mm/how-virtual-reality-could-be-used-for-torture (24.10.2017)
- Bishop, B. (2017): Theme parks are the inevitable evolution of franchise movies. The Verge, 3.6.2017, <https://www.theverge.com/2017/6/3/15732968/disney-guardians->



- of-the-galaxy-mission-breakout-pandora-world-of-avatar-theme-parks (14.9.2017)
- Bitkom e.V. (2017): Jeder fünfte Deutsche hat schon eine Virtual-Reality-Brille benutzt. Presseinformation vom 6.10.2017, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Jeder-fuenfte-Deutsche-hat-schon-eine-Virtual-Reality-Brille-benutzt.html> (1.11.2017)
- Bitkom e.V. (2018): Deutscher App-Markt knackt 1,5-Milliarden-Marke. Presseinformation vom 29.1.2018, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Deutscher-App-Markt-knackt-15-Milliarden-Marke.html> (8.2.2018)
- Bloch, Y. (2015): AMD: 16K Auflösung pro Auge für echte Immersion notwendig. VRNERDS, 13.8.2015, <https://www.vrnerds.de/amd-16k-aufloesung-pro-auge-fuer-echte-immersion-notwendig/> (16.10.2017)
- Bond, P. (2017): Virtual Reality Set to Become a \$5 Billion Industry by 2021. The Hollywood Reporter, 6.7.2017, <http://www.hollywoodreporter.com/news/virtual-reality-set-become-a-5-billion-industry-by-2021-1010193> (14.6.2017)
- Börner, M. (2017): Marktentwicklung und Trends der Unterhaltungselektronik. Bitkom e.V., Berlin, <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Bitkom-Praesentation-PK-CE-29-08-2017.pdf> (15.9.2017)
- Brandoffice GmbH (2017): Deutscher Markenreport 2017. Virtual & Augmented Reality im Marketing – große Erwartungen, aber wenig Know-how. http://brandoffice.com/wp-content/uploads/2017/03/170315_Deutscher_Markenreport_2017.pdf (5.6.2018)
- Brien, J. (2016): Buy+: Alibaba zeigt ersten eigenen Virtual-Reality-Shop. T3n – digital pioneers, 25.7.2016, <http://t3n.de/news/alibaba-virtual-reality-shop-728845/> (22.9.2017)
- Bruns, K., Reichert, R. (Hg.) (2007): Reader Neue Medien. Texte zur digitalen Kultur und Kommunikation. Cultural Studies 18, Bielefeld
- Burgess, M. (2017): Death to the dashboard: AR windscreens in cars could make driving safer and easier. WIRED, 14.1.2017, <http://www.wired.co.uk/article/panasonic-augmented-reality-car> (5.1.2018)
- Buss, S., Bohnhoff, T. (2016): Virtual Reality: Mehr als nur Gaming? Statista GmbH, Hamburg
- Cannarozzi, M., Runde, C. (2015): Virtual Reality im Sondermaschinenbau. Digital Engineering Magazin, 23.11.2015, <https://www.digital-engineering-magazin.de/fachartikel/virtuelle-techniken-im-sondermaschinenbau> (27.10.2017)
- Condliffe, J. (2017): AR für den OP. Technology Review, 23.5.2017, <https://www.heise.de/tr/artikel/AR-fuer-den-OP-3714405.html> (26.10.2017)
- Constine, J. (2014): Facebook's \$2 Billion Acquisition Of Oculus Closes, Now Official. TechCrunch, 21.7.2014, <https://techcrunch.com/2014/07/21/facebooks-acquisition-of-oculus-closes-now-official/> (6.9.2017)
- Cormode, G., Krishnamurthy, B. (2008): Key differences between Web 1.0 and Web 2.0. In: First Monday 13(6), 2.6.2008, <http://firstmonday.org/article/view/2125/1972> (21.10.2017)
- Cornelsen Verlag GmbH (2016): Faszinierende Lernwelten: Offizielle Präsentation einer innovativen Virtual Reality-Applikation für den Biologieunterricht in Berlin. Pressemeldung vom 1.11.2016, Berlin, <https://www.cornelsen.de/unternehmensinformationen/1.c.4381553.de> (29.5.2018)



- Dechant, M., Trimpl, S., Wolff, C., Mühlberger, A., Shiban, Y. (2017): Potential of virtual reality as a diagnostic tool for social anxiety. A pilot study. In: *Computers In Human Behavior* 76, S. 128–134
- Deloitte Consulting GmbH (2017): Global Mobile Consumer Survey 2017. Stuttgart/Düsseldorf, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology-media-telecommunications/Global%20Mobile%20Consumer%20Survey%202017%20Study%20Deloitte1.pdf> (1.11.2017)
- Deutsch, M., Ebert, D., von der Gracht, H., Lichtenau, P. (2016): Neue Dimensionen der Realität. Executive Summary zur Studie der Potenziale von Virtual und Augmented Reality in Unternehmen. KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, München, <https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/virtual-reality-exec-summary-de.PDF> (29.5.2018)
- Diemer, J., Pauli, P., Mühlberger, A. (2015): Virtual Reality in Psychotherapy. In: Wright, J.D. (Hg.): *International encyclopedia of the social & behavioral sciences*. Amsterdam u. a. O., S. 138–146
- Digi-Capital (2017): After mixed year, mobile AR to drive \$108 billion VR/AR market by 2021. 13.1.2017, <https://www.digi-capital.com/news/2017/01/after-mixed-year-mobile-ar-to-drive-108-billion-vrar-market-by-2021/> (1.11.2017)
- Dörhöfer, P. (2017): Virtual Reality wird immer realer. Frankfurter Rundschau, 26.8.2017, <http://www.fr.de/politik/technik-virtual-reality-wird-immer-realer-a-1338682> (6.2.2018)
- dpa (Deutsche Presse-Agentur) (2017a): Israels Armee testet Brille für den Cyberkrieg. Handelsblatt, 31.5.2017, <http://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/microsoft-hololens-israels-armee-testet-brille-fuer-den-cyberkrieg/19873040.html> (14.11.2017)
- dpa (2017b): Wie Reisebüros dem Internet trotzen. Handelsblatt, 26.8.2017, <http://www.handelsblatt.com/my/unternehmen/dienstleister/mit-sicherheit-und-virtual-reality-wie-reisebueros-dem-internet-trotzen/20233068.html> (22.9.2017)
- Dregde, S. (2016): The complete guide to virtual reality – everything you need to get started. *The Guardian*, 10.11.2016, <https://www.theguardian.com/technology/2016/nov/10/virtual-reality-guide-headsets-apps-games-vr> (20.7.2017)
- Dunn, J., Yeo, E., Moghaddampour, P., Chau, B., Humbert, S. (2017): Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. In: *NeuroRehabilitation* 40(4), S. 595–601
- Dyson, E., Gilder, G., Keyworth, G., Toffler, A. (2007): Cyberspace und der amerikanische Traum. Auf dem Weg zur elektronischen Nachbarschaft: Eine Magna Charta für das Zeitalter des Wissens (19954). In: Bruns/Reichert (2007), S. 132–137
- Edgar, A.R. (2016): Personal identity and the massively multiplayer online world. In: *Sport, Ethics and Philosophy* 10(1), S. 51–66
- Edwards, B. (2017): Scope AR and Caterpillar® Launch CAT® LIVESHARE Live Support Tool. Scope AR, 7.3.2017, <https://www.scopear.com/2017/03/07/scope-ar-and-caterpillar-launch-cat-liveshare-live-support-tool/> (29.5.2018)
- Eichelbaum, F. (2014): Eyeware. Project Glass und die Zukunft von Smartphones. iF-Schriftenreihe Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung 02/14, Institut Futur, Freie Universität Berlin, Berlin
- Esser, R., Oppermann, L., Lutter, T. (2016). Head Mounted Displays in deutschen Unternehmen. Ein Virtual, Augmented und Mixed Reality Check. Deloitte Consulting GmbH, Düsseldorf, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/>



- Documents/technology-media-telecommunications/Deloitte-Studie-Head-Mounted-Displays-in-deutschen-Unternehmen.pdf (29.5.2018)
- Fink, C. (2017): The Future Of Virtual Reality Isn't Your Living Room – It's The Mall. Forbes, <https://www.forbes.com/sites/charlifink/2017/03/07/the-future-of-virtual-reality-isnt-your-living-room-its-the-mall/#223c751f3f36> (19.9.2017)
- Forbes Agency Council (2017): 11 Creative Uses Of Augmented Reality In Marketing And Advertising. 13.7.2017, <https://www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2017/06/13/11-creative-uses-of-augmented-reality-in-marketing-and-advertising/#748ccad26b12> (19.9.2017)
- Franklin, R. (2017): Facebook Spaces: A New Way To Connect With Friends In VR. Facebook, 18.4.2017, <https://newsroom.fb.com/news/2017/04/facebook-spaces/> (6.9.2017)
- Fraunhofer IGD (Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung) (2017): Augmented Reality im OP. Pressemeldung vom 4.7.2017, <https://www.igd.fraunhofer.de/presse/aktuelles/augmented-reality-im-op> (29.5.2018)
- Friedrich, T. (2016): Shoppen in der virtuellen Realität: eBay eröffnet ersten VR-Store. T3n – digital pioneers, 20.5.2016, <https://t3n.de/news/virtual-reality-store-ebay-708604/> (8.2.2018)
- Gallagher, S. (2017): Heads up: Augmented reality prepares for the battlefield. ars TECHNICA, 25.5.2017, <https://arstechnica.com/information-technology/2017/05/heads-up-augmented-reality-prepares-for-the-battlefield/> (14.11.2017)
- GamesWirtschaft (2017): Virtual Reality: Studie attestiert »Flaute nach dem Hype«. 10.10.2017, <http://www.gameswirtschaft.de/wirtschaft/virtual-reality-studie-deloitte-2017/> (1.11.2017)
- Gerrard, B. (2017): Virtual reality to the rescue for high street travel agent. The Telegraph, 2.4.2017, <http://www.telegraph.co.uk/business/2017/04/02/virtual-reality-rescue-high-street-travel-agent/> (22.9.2017)
- Gibbs, S. (2017): Augmented reality: Apple and Google's next battleground. The Guardian, 30.8.2017, <https://www.theguardian.com/technology/2017/aug/30/augmented-reality-apple-google-smartphone-ikea-pokemon-go> (20.9.2017)
- Glasner, J. (2017): Virtual reality gets its groove back. TechCrunch, 2.12.2017, <https://techcrunch.com/2017/12/02/virtual-reality-gets-its-groove-back/> (1.3.2018)
- Goldman Sachs Group, Inc. (2016): Virtual & Augmented Reality. Understanding the race for the next computing platform. New York, <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf> (29.5.2018)
- Gomoll, W., Oliveira, J., Grundhoff, S. (2017): Die Autoindustrie auf der CES 2017 in Las Vegas. Heise online, 5.1.2017, <https://www.heise.de/autos/artikel/Die-Autoindustrie-auf-der-CES-2017-in-Las-Vegas-3588696.html?artikelseite=2> (5.1.2018)
- Greve, N. (2017): Wie BIM beim Bau des Bürohauses B11 für VW in Braunschweig eingesetzt wurde – Bauhandwerk. Magazin bauhandwerk, http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_2016-04_BIM_beim_Bau_des_Buerohauses_B11_fuer_VW_in_Braunschweig_2769594.html (29.5.2018)
- Grohgan, C. (2016): Mit welchen Geschäftsmodellen Virtual Reality zum Milliarden-geschäft wird. VR Nerds GmbH, 11.11.2016, <https://www.vrnerds.de/mit-welchen-geschaeftsmodellen-virtual-reality-zum-milliardengeschaeft-wird/> (8.2.2018)

- Hartmann, S. (2016): DHL rollt globales Augmented Reality-Programm mit Datenbrillen aus. LOGISTIK express, 31.8.2016, <https://www.logistik-express.com/dhl-rollt-globales-augmented-reality-programm-mit-datenbrillen-aus/> (29.5.2018)
- Henderson, A., Korner-Bitensky, N., Levin, M. (2007): Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. In: Topics in stroke rehabilitation 14(2), S. 52–61
- Heng, S. (2015): Augmented Reality: Bei Spezialanwendungen sollte Deutschland von dynamischem Zukunftsmarkt profitieren können. Deutsche Bank Research, Frankfurt, https://www.dbresearch.de/PROD/RPS_DE-PROD/PROD0000000000443900/Augmented_Reality%3A_Bei_Spezialanwendungen_sollte_D.PDF (1.11.2017)
- Herold, M. (2017): Spielen in 16K. Youtuber baut Grafikkarten für 10.000 Dollar in PC ein. GameStar, 14.8.2017, <http://www.gamestar.de/artikel/spielen-in-16k-youtuber-baut-grafikkarten-fuer-10000-dollar-in-pc-mit-16-monitoren,3318362.html> (16.10.2017)
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P., Niehaus, J. (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden
- Hoffman, H.G., Chambers, G.T., Meyer, W.J., Arceneaux, L.L., Russell, W.J., Seibel, E.J., Richards, T.L., Sharar, S.R., Patterson, D.R. (2011): Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. In: Annals of behavioral medicine: a publication of the Society of Behavioral Medicine 41(2), S. 183–191
- Holden, J. (2016): The reality of VR porn. TechCrunch, 20.8.2016, <https://techcrunch.com/2016/08/20/the-reality-of-vr-porn/> (14.9.2017)
- Hollein, M. (2017): Wie die virtuelle Realität die Kunstwelt erobert. Welt, 25.7.2017, www.welt.de/wirtschaft/bilanz/article166947136/Wie-die-virtuelle-Realitaet-die-Kunstwelt-erobert.html (2.5.2018)
- Hone-Blanchet, A., Wensing, T., Fecteau, S. (2014): The use of virtual reality in craving assessment and cue-exposure therapy in substance use disorders. In: Frontiers in human neuroscience 8, S. 844
- Hornung, G., Müller-Terpitz, R. (Hg.) (2014): Rechtshandbuch Social Media. Berlin
- Ilg, P. (2017): Audi – Vorsprung durch Virtual Reality. ZEIT ONLINE, 24.1.2017, <http://www.zeit.de/mobilitaet/2017-01/audi-virtual-reality-autohaus-vertriebsverkaufsprozess> (21.9.2017)
- Jacobsen, N. (2017): Apple auf Allzeithoch: iPhone 8 sorgt für Euphoriewelle. Handelsblatt, 14.2.2017, <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/it-medien/apple-auf-allzeithoch-iphone-8-sorgt-fuer-euphoriewelle/19388316.html> (1.11.2017)
- Janssen, J.-K. (2017): »die große empathiemaschine_«. In: trendradar_2030. Ein Blick in die Zukunft der digitalen Technologien und wie sie unsere Welt besser machen können. betterplace lab, Berlin, S. 136–139
- Johnson, J. (2017): We should be talking about torture in VR. KILL SCREEN Versions, <https://killscreen.com/versions/we-should-be-talking-about-torture-in-vr/> (24.10.2017)
- Kanter, D. (2017): Graphics processing requirements for enabling immersive VR. <https://pdfs.semanticscholar.org/7663/0ed95526a03b8150f820b359584d12bd60d5.pdf> (29.11.2017)



- Kemeny, A., George, P., Mérienne, F., Colombet, F. (2017): New VR navigation techniques to reduce cybersickness. In: *Electronic Imaging* 6, S. 48–53
- Kharpal, A. (2016): Samsung Pay sees virtual reality, in-app purchases in the future. CNBC, 6.4.2016, <https://www.cnbc.com/2016/04/06/samsung-pay-sees-virtual-reality-in-app-purchases-in-the-future.html> (8.2.2018)
- Kleine Zeitung GmbH & Co KG (2018): Die Feuerwehr über in der virtuellen Realität. 23.4.2018, https://www.kleinezeitung.at/steiermark/muerztal/5410698/Kapfenberg_Die-Feuerwehr-uebt-in-der-virtuellen-Realitaet (29.5.2018)
- klicksafe (2018): Das Geschäftsmodell von Facebook oder: Wozu verwendet Facebook die Daten? <http://www.klicksafe.de/themen/rechtsfragen-im-netz/irights/daten-schutz-auf-facebook-wem-gehoren-meine-daten/teil-1-das-geschaeftsmodell-von-facebook-oder-wozu-verwendet-facebook-die-daten/> (1.1.2018)
- Kothgassner, O.D., Griesinger, M., Kettner, K., Wayan, K., Völkl-Kernstock, S., Hlavacs, H., Beutl, L., Felnhofer, A. (2017): Real-life prosocial behavior decreases after being socially excluded by avatars, not agents. In: *Computers In: Human Behavior* 70, S. 261–269
- Laver, K.E., George, S., Thomas, S., Deutsch, J.E., Crotty, M. (2015): Virtual reality for stroke rehabilitation. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2, CD008349
- Lecuyer, A., Lotte, F., Reilly, R.B., Leeb, R., Hirose, M., Slater, M. (2008): Brain-computer interfaces, virtual reality, and videogames. In: *Computer* 41(10), S. 66–72
- Li, S., Leider, A., Qiu, M., Gai, K., Liu, M. (2017): Brain-Based Computer Interfaces in Virtual Reality. In: *IEEE 4th International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)*, New York, S. 300–305
- Lischka, K. (2011): Apple, Facebook und Co. Großwesire des Web. SPIEGEL ONLINE, 23.6.2011, <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/apple-facebook-und-co-grosswesire-des-web-a-770110.html> (29.11.2017)
- Loesche, D. (2017): Prognostizierter Umsatzanstieg mit Virtual-Reality-Produkten bis 2020. Statista GmbH, 5.1.2017, <https://de.statista.com/infografik/7432/prognostizierter-umsatzanstieg-mit-virtual-reality-produkten-bis-2020/> (1.11.2017)
- Lorenzen, M. (2013): Augmented Reality – Die Welt mit neuen Augen sehen. *WirtschaftsWoche*, 27.7.2013, <http://www.wiwo.de/technologie/digitale-welt/innovationen-augmented-reality-die-welt-mit-neuen-augen-sehen-/8554884.html> (21.9.2017)
- Lorenzen, M. (2014): Ist Google Glass am Ende? *WirtschaftsWoche*, 4.4.2014, <http://www.wiwo.de/technologie/gadgets/datenbrille-ist-google-glass-am-ende/9698296.html> (29.11.2017)
- Lutter, T., Meinecke, C.-M., Prescher, D., Böhm, K., Esser, R. (2016): *Zukunft der Consumer Technology – 2016. Marktentwicklung, Schlüsseltrends, Mediennutzung Konsumentenverhalten, Neue Technologien*. Bitkom e. V., Berlin
- Madary, M., Metzinger, T.K. (2016): Real Virtuality: A Code of Ethical Conduct. Recommendations for Good Scientific Practice and the Consumers of VR-Technology. In: *Frontiers in Robotics and AI* 3, Article 3, doi: 10.3389/frobt.2016.00003
- Marshburn, R. (2017): IT’S A (HU)MAN’S WORLD. *AltspaceVR*, 12.1.2017, <https://medium.com/@AltspaceVR/its-a-hu-man-s-world-f8684ea99b36> (1.12.2017)
- Merel, T. (2017a): The reality of M&A for augmented and virtual reality. *VentureBeat*, 23.4.2017, <https://venturebeat.com/2017/04/23/the-reality-of-ma-for-augmented-and-virtual-reality/> (6.11.2017)
- Merel, T. (2017b): The reality of VR/AR growth. *TechCrunch*, 11.1.2017, <https://techcrunch.com/2017/01/11/the-reality-of-vrar-growth/> (1.11.2017)



- Milgram, P., Kishino, F. (1994): A taxonomy of mixed reality visual displays. In: IEICE Transactions on Informatic Systems E77-d
- Morena, M. (2017): VR so good we can smell it. <http://simianvr.com/news/vr-good-can-smell/> (20.12.2017)
- Moynihan, T. (2015): The NYT is about to launch VR's big mainstream moment. WIRED, <https://www.wired.com/2015/10/the-nyts-new-project-will-be-vrs-first-mainstream-moment/> (18.9.2017)
- Muhanna, M.A. (2015): Virtual reality and the CAVE. Taxonomy, interaction challenges and research directions. In: Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences 27(3), S. 344–61
- Mühlberger, A., Jekel, K., Probst, T., Schecklmann, M., Conzelmann, A., Andreatta, M., Rizzo, A.A., Pauli, P., Romanos, M. (2016): The influence of methylphenidate on hyperactivity and attention deficits in children with ADHD: A virtual classroom Test. In: Journal of attention disorders, pii: 1087054716647480
- Nafarrete, J. (2017): Report: Global VR hardware revenue to hit \$3.6 billion in 2017. VRScout, 24.2.2017, <https://vrscout.com/news/global-vr-hardware-revenue-forecast/>
- Nanalyze (2017): Smart contact lenses – how far away are they? 1.3.2017, <https://www.nanalyze.com/2017/03/smart-contact-lenses/> (17.4.2018)
- nextMedia.Hamburg (2016): Virtual Reality-Experte Frank Steinicke: »Die Zeit ist jetzt reif«. Interview vom 10.5.2016, <http://www.nextmedia-hamburg.de/blog/blog-detail/artikel/virtual-reality-experte-frank-steinicke-die-zeit-ist-jetzt-reif/> (23.11.2017)
- Nye, L. (2017): The US military is using VR to simulate combat jumps. Business Insider Deutschland, 19.5.2017, <http://www.businessinsider.de/us-military-using-new-virtual-reality-trainer-simulate-combat-jumps-2017-5?r=US&IR=T> (14.11.2017)
- Ortiz-Catalan, M., Guðmundsdóttir, R.A., Kristoffersen, M.B., Zepeda-Echavarria, A., Caine-Winterberger, K., Kulbacka-Ortiz, K., Widehammar, C., Eriksson, K., Stocksélius, A., Ragnö, C., Pihlar, Z., Burger, H., Hermansson, L. (2016): Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain. A single group, clinical trial in patients with chronic intractable phantom limb pain. In: The Lancet 388(10062), S. 2885–2894
- Panjwani, L. (2017): Virtual reality reduces pain, anxiety for kids in hospitals. Research & Development, 28.8.2017, <https://www.rdmag.com/article/2017/08/virtual-reality-reduces-pain-anxiety-kids-hospitals> (8.9.2017)
- Preuss, S. (2017): Yoox startet Augmented Reality für Modebranche. FaschionUnited, 27.6.2017, <https://fashionunited.de/nachrichten/einzelhandel/yoox-startet-augmented-reality-fuer-modebranche/2017062722458> (20.9.2017)
- Radsky, A. (2015): Where history comes alive: Augmented reality in museums. The Synapse, 6.5.2015, <https://medium.com/synapse/where-history-comes-alive-augmented-reality-in-museums-64a81825b799> (15.9.2017)
- Raffler, D. (2016): Virtual Reality – Die Technik. Social Augmented Learning, 20.10.2016, <http://www.social-augmented-learning.de/virtual-reality-technik/> (17.10.2017)
- Ranasinghe, N., Do, E.Y.-L. (2016): Virtual sweet: Simulating sweet sensation using thermal stimulation on the tip of the tongue. In: Rekimoto, J., Igarashi, T., Wobbrock, J.O., Avrahami, D.: UIST 2016 Adjunct. Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, 16.–19. Oktober, New York, S. 127–128



- Reede, E.; Bailiff, L. (2016): When virtual reality meets education. TechCrunch, 23.1.2016, <https://techcrunch.com/2016/01/23/when-virtual-reality-meets-education/> (14.11.2017)
- Rick, A. (2017): The other side of singles' day: Alibaba's virtual reality testing ground. Forbes, 12.11.2017, <https://www.forbes.com/sites/augustrick/2017/11/12/the-other-side-of-singles-day-alibabas-virtual-reality-testing-ground/#4474ee7a1c81> (8.2.2018)
- Road to VR (2017): Best VR graphics cards for Rift and Vive. 10.7.2017, <https://www.roadtovr.com/best-vr-graphics-cards-for-oculus-rift-and-htc-vive-2017-gpu/> (20.12.2017)
- Robertson, A. (2014): Virtual reality panic. Have we learned anything from the VR freakout that happened over 20 years ago? The Verge, 20.6.2014, <https://www.theverge.com/2014/6/20/5827424/a-kind-of-electronic-bsd> (6.2.2018)
- Rolland, J., Hua, H. (2005): Head-mounted display systems. Encyclopedia of Optical Engineering, doi: 10.1081, <https://www.creol.ucf.edu/Research/Publications/1519.pdf> (20.12.2017)
- Rondinella, G. (2017): Ikea und Apple kündigen gemeinsame Augmented-Reality-App an. HORIZONT, 20.6.2017, <http://www.horizont.net/tech/nachrichten/Virtuell-shoppen-Ikea-und-Apple-kuendigen-gemeinsame-Augmented-Reality-App-an-158942> (20.9.2017)
- Runde, C. (2017): Anwendungsfelder und Trends virtueller Techniken. Vortragsfolien, 3. Zukunftsforum Technik 2017, Schweinfurt
- Sennheiser (2017): Die ultimative VR-Sound-Erfahrung. 3D AMBEO® Mikrofon. <https://de-de.sennheiser.com/shape-the-future-of-audio-robin-schulz-ambeo-ultimate-vr-sound-experience> (20.12.2017).
- Shiban, Y., Diemer, J., Brandl, S., Zack, R., Mühlberger, A., Wüst, S. (2016): Trier social stress test in vivo and in virtual reality: Dissociation of response domains. In: International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology 110, S. 47–55
- Shirky, C. (2009): Here comes everybody. The power of organizing without organizations (with an updated epilogue). New York
- Siegle, J. (2017): 60 Millionen spielen Pokémon Go. Neue Züricher Zeitung, 6.7.2017, <https://www.nzz.ch/digital/mobile-gaming-60-millionen-spielen-pokemon-go-ld.1304608> (13.10.2017)
- Siemens AG (2017): Simulation und virtuelle Welten – Virtueller Röntgenblick in Gasturbinen. 6.7.2017, <https://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/digitalisierung-und-software/simulation-und-virtuelle-welten-simulation-gasturbinen.html> (8.11.2017)
- Silver, C. (2017): How VR porn is penetrating our minds, erecting the future of virtual reality. Forbes, 11.5.2017, <https://www.forbes.com/sites/curtissilver/2017/05/11/how-vr-porn-is-penetrating-our-minds-erecting-the-future-of-virtual-reality/#29e40e1640d1> (14.9.2017)
- Slater, M., Sanchez-Vives, M.V. (2016): Enhancing our lives with immersive virtual reality. In: Frontiers in Robotics and AI 3, doi:10.3389/frobt.2016.00074
- Statista GmbH (2018): Smartphones – Absatz weltweit bis 2017. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173049/umfrage/weltweiter-absatz-von-smartphones-seit-2009/> (12.4.2018)
- Stinson, E. (2017): VR ads are almost here. Don't act surprised. WIRED, 21.7.2017, <https://www.wired.com/story/vr-ads-are-almost-here/> (21.9.2017)



- Suhr, F. (2017): Infografik: Virtual Reality ist vor allem beim Gaming attraktiv. Statista GmbH, 5.1.2017, <https://de.statista.com/infografik/7430/virtual-reality-ist-vor-allem-beim-gaming-attraktiv/> (1.11.2017)
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2016b): Digitale Nachlassverwaltung (Thiele, D.; Ehrenberg-Silies, S.). TAB-Themenkurzprofil Nr. 3, Berlin
- TAB (2016a): Technologien und Visionen der Mensch-Maschine-Entgrenzung (Kehl, C.; Coenen, C.). Sachstandsbericht zum TA-Projekt »Mensch-Maschine-Entgrenzungen. Zwischen künstlicher Intelligenz und Human Enhancement«. TAB-Arbeitsbericht Nr. 167, Berlin
- Templeton, G. (2017): What's up with augmented reality contact lenses? Inverse, 22.5.2017, <https://www.inverse.com/article/31034-augmented-reality-contact-lenses> (17.4.2018)
- Theis, S.; Pfendler, C.; Alexander, T.; Mertens, A.; Brandl, C.; Schlick, C.M. (2016): Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- top fair (2017): BIM kommt: Digitalisierung der TGA-Planung. 13.3.2017, <https://www.topfair.de/blog/haus-und-wohnen/bim-kommt-digitalisierung-der-tga-planung/> (29.5.2018)
- Turk, V. (2016): Face electrodes let you taste and chew in virtual reality. New Scientist, 4.11.2016, <https://www.newscientist.com/article/2111371-face-electrodes-let-you-taste-and-chew-in-virtual-reality/> (17.4.2018)
- Upadhyay, A., Rao, N. (2017): Experimenting with VR Ad formats at Area 120. Google Developers, 28.6.2017, <https://developers.googleblog.com/2017/06/experimenting-with-vr-ad-formats-at.html> (21.9.2017)
- Vergun, B. (2017): Heads-up display to give soldiers improved situational awareness. U.S. Army, 19.5.2017, <https://www.army.mil/article/188088?a> (14.11.2017)
- Viñas-Diz, S., Sobrido-Prieto, M. (2017): Virtual reality for therapeutic purposes in stroke: A systematic review. In: *Neurología* 31(4), S.255–277
- vr-nerds.de (2017): VR-Glossar. <https://www.vrnerds.de/vr-glossar/> (20.12.2017).
- Wang, H.H. (2016): From virtual reality to personalized experiences: Alibaba is bringing us the future of retail this singles day. Forbes, 6.11.2016, <https://www.forbes.com/sites/helenwang/2016/11/06/how-alibaba-will-use-the-worlds-biggest-shopping-day-to-transform-retail/#264de6756d4e> (22.9.2017)
- Watson, Z. (2017): VR for News: The New Reality? Reuters Institute for the Study of Journalism, <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/research/files/VR%2520for%2520news%2520-%2520the%2520new%2520reality.pdf> (18.9.2017)
- WCP (Woodside Capital Partners International, LLC and Tracxn Inc) (2016): Augmented reality market report. Palo Alto, <http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2016/06/Augmented-Reality-Report-FINAL.pdf> (1.11.2017)
- Wille, M (2016): Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes. Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- Wohlsen, M. (2015): Google Cardboard's New York Times experiment just hooked a generation on VR. WIRED, 11.9.2015, <https://www.wired.com/2015/11/google-cardboards-new-york-times-experiment-just-hooked-a-generation-on-vr/> (18.9.2017)



- Wolfangel, E. (2016): Digitaler Grapscher. DIE ZEIT, 22.9.2016, <http://www.zeit.de/2016/38/virtual-reality-sexuelle-uebergriffe-internet-social-vr> (1.12.2017)
- Zakrzewski, C. (2016): Virtual reality takes on the videoconference. The Wall Street Journal, 18.9.2016, <https://www.wsj.com/articles/virtual-reality-takes-on-the-videoconference-1474250761> (7.11.2017)
- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) (2017): Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement. Aufgabenstellungen und künftige Anforderungen. Positionspapier, Frankfurt a.M., https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2017/April/Industrie_40_MES_Voraussetzung_fuer_das_digitale_Betriebs-_und_Produktionsmanagement/Industrie-40-MES-Voraussetzung-fuer-das-digitale-Betriebs-und-Produktionsmanagement.pdf (29.5.2018)



7 Anhang

7.1 Interviewpartner

Name	Organisation
Dr. Leif Oppermann	Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT
Prof. Dr. Thomas Metzinger	Universität Mainz
Ph.D. Betty Mohler	Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik
Prof. Dr. Torsten Kuhlen	RWTH Aachen
Dr. Jonathan Harth	Witten-Herdecke
Prof. Dr. Bernd Fröhlich	Bauhaus Universität
Prof. Dr. Frank Steinicke	Universität Hamburg
Prof. Dr. Andreas Mühlberger	Universität Regensburg
Arne Ludwig	Erster Deutscher Fachverband für Virtual Reality EDFVR e. V.
Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner	Hochschule Heilbronn
Prof. Dr. Marc Erich Latoschik	Universität Würzburg
Prof. Dr. Rainer Malaka	Universität Bremen
Prof. Dr. Jonas Schild	Hochschule Hannover
Dr.-Ing. Jan Berssenbrügge	Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik
Thomas Bedenk	Virtual Reality Consultant
Prof. Dr. Jeffrey Wimmer	Universität Augsburg, Institut für Medien, Wissen und Kommunikation
Günter Wenzel	Fraunhofer IAO
Dr. Christoph Runde	Visual Dimension Center
Jan-Keno Janssen	Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG
Markus Strehnitz	Journalist

7.2 Analyse wissenschaftlicher Aktivitäten im internationalen Vergleich

Ergänzend zu der in dieser Vorstudie durchgeführten Quellenanalyse und den Interviews wurden die internationalen wissenschaftlichen Aktivitäten zu VR und AR vertiefend untersucht. Hierzu wurde eine semiquantitative Web-of-Science-Analyse von Publikationsdaten vorgenommen, um die Publikationsaktivitäten zu VR und AR in den letzten 5 Jahren nachzuzeichnen. Die Kernaussagen der Analysen sind hier eingeflossen.

Methodischer Ansatz

Die Datenbank »Web of Science« deckt gegenwärtig eine große Vielfalt an englischsprachigen wissenschaftlichen Publikationen mit rund 50.000 Büchern, 12.000 Journalen und 160.000 Conference Proceedings aus den Bereichen Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften ab. Die Datenbank wird täglich aktualisiert und erweitert. Suchergebnisse enthalten reichhaltige Metadaten wie Schlagwörter, Jahr der Veröffentlichung, Veröffentlichungsort, Themengebiet, Adressen der Autoren, Anzahl der Zitationen etc., die für die quantitative Auswertung genutzt wurden. Die Analyse hatte zum Ziel, wissenschaftliche Publikationen mithilfe ihrer Metadaten nach Ländern, Forschungsinstitutionen und Themen zu kategorisieren. Für die Visualisierung der länder- und organisationsbezogenen Publikationstätigkeiten sowie der länderspezifischen Themenfelder wurden die Metadaten mithilfe von Microsoft Excel und der Software »Gephi« zur Netzwerkanalyse grafisch aufbereitet.

Zudem wurde auf Basis der Web-of-Science-Metadaten untersucht, inwiefern wissenschaftliche Aktivitäten und Organisationen miteinander vernetzt sind. Hierfür wurde eine Netzwerkanalyse durchgeführt und die Vernetzungen der Institutionen auf Basis von Koautorenschaft analysiert. Die Größe der Knoten spiegelt die Zentralität im Netzwerk wider, d. h., je größer ein Knoten dargestellt ist, desto größer und weitreichender ist die Publikationsaktivität der Institution. Die Knoten verbindenden Kanten (Verbindungslinien) spiegeln die Anzahl der Koautorenschaften zwischen zwei Institutionen wider, d. h., je stärker die Kante gezeichnet ist, desto mehr Publikationen wurden in Kooperation veröffentlicht. Die Einfärbung der Knoten stellt die Zugehörigkeit zu verschiedenen Clustern im Netzwerk dar. Cluster sind Mengen von Knoten, die über eine besonders häufige Vernetzung untereinander verfügen, beispielsweise eine Gemeinschaft von Institutionen, die besonders stark gemeinsam publizieren.

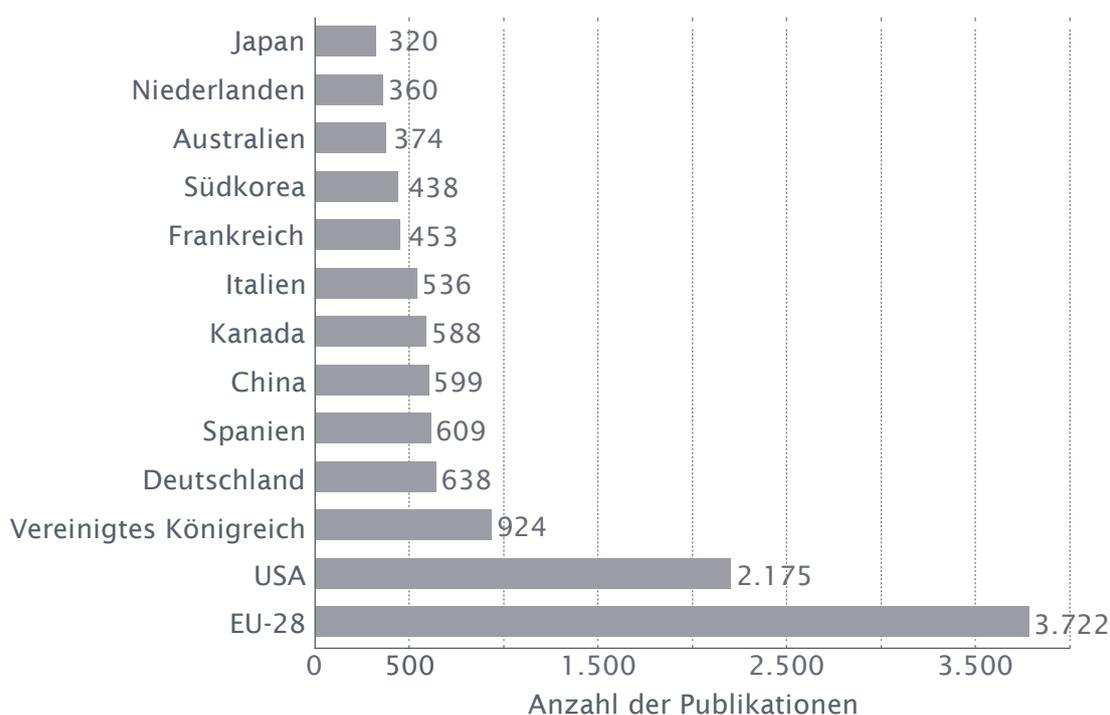
Für die Auswahl der relevanten wissenschaftlichen Artikel wurde eine Suchanfrage mit ausgewählten Begriffen durchgeführt, um das Themengebiet VR und AR möglichst spezifisch zu erfassen. Die Anfrage im »Web of Science« erfolgte deshalb mit folgenden Bezeichnungen, die mit einem ODER-Operator verknüpft wurden: »virtual real*«, »augmented real*«, »augmented virtual*«. Bei dem Sternchen hinter den Suchbegriffen handelt es sich um sogenannte Wildcards, die alle Ergebnisse mit einschließen, auch wenn diese unterschiedlich enden. So wurde sichergestellt, dass sich Ergebnisse, die beispielsweise »reality« oder »realistic« enthalten, in der Suchmenge enthalten bleiben.

Ergebnisse

Die Suche nach wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema VR und AR lieferte für Oktober 2012 bis Oktober 2017 ca. 8.400 Treffer. Abbildung 7.1 zeigt

die zwölf publikationsstärksten Staaten inklusive EU-28 ab. Aufgeschlüsselt nach Nationalstaaten nehmen die USA mit 2.175 Veröffentlichungen mit großem Abstand den ersten Platz ein. Deutschland liegt nach den USA und Großbritannien mit 924 Veröffentlichungen an dritter Stelle. Der Wissenschaftsraum der EU weist eine kumulierte Publikationsanzahl von 3.722 auf und liegt damit deutlich vor den USA. Auch Südkorea und Japan nehmen unter den Einzelstaaten eine führende Rolle ein. Ein überraschendes Ergebnis ist der fünfte Platz Chinas mit 599 Publikationen, obwohl das Land in keinem der Experteninterviews als großer Wissenschaftsakteur im Bereich VR und AR genannt wurde. Die Rolle Chinas in diesem Bereich scheint also eher unterschätzt zu werden.

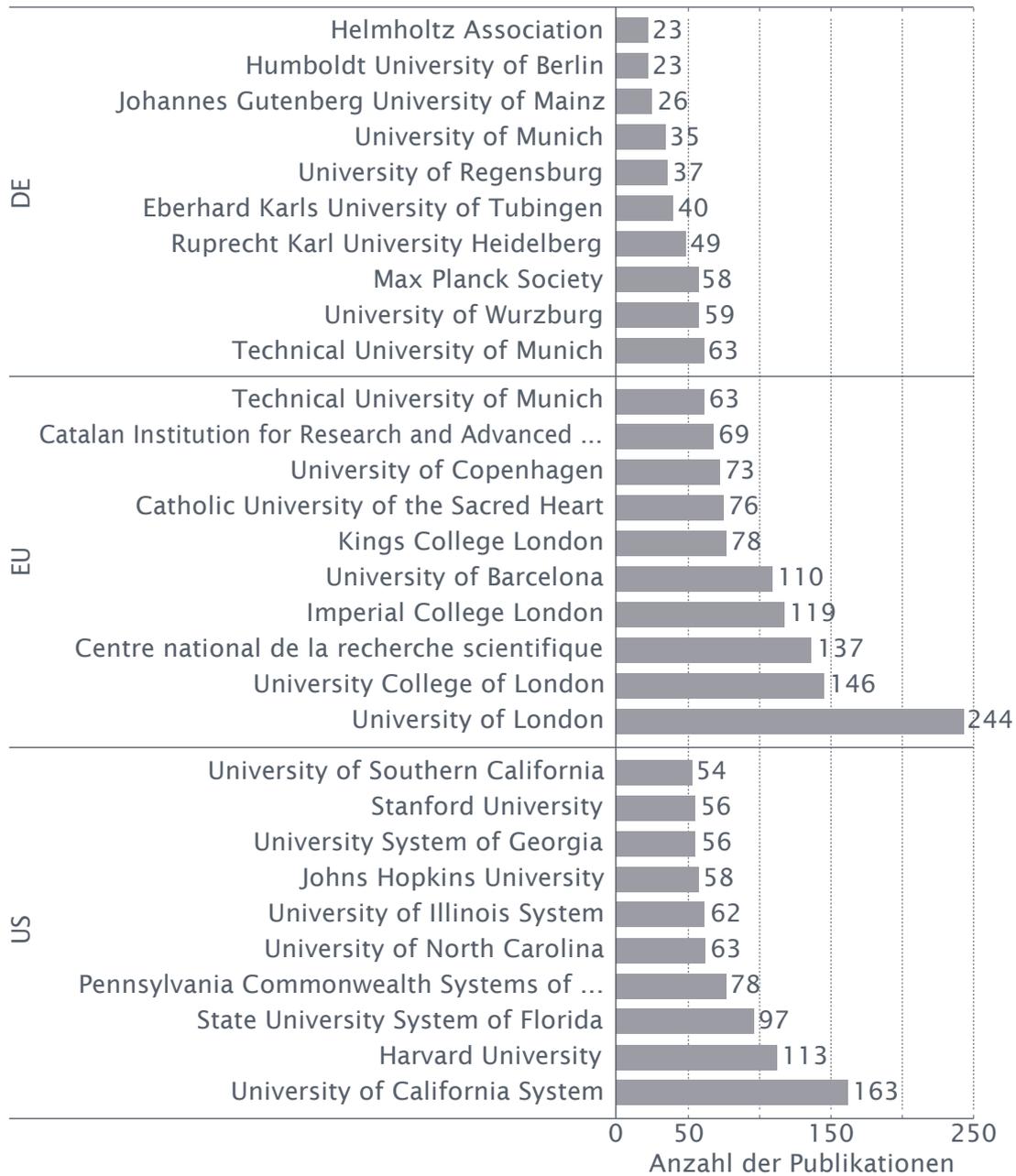
Abb. 7.1 Anzahl der Publikationen stark publizierender Nationalstaaten und Regionen (Förderzeitraum 2012–2017)



Eigene Darstellung

Mit Blick auf Forschungseinrichtungen im Bereich VR und AR sticht im internationalen Vergleich (Abb. 7.2) besonders der Standort London mit drei Hochschulen hervor. Die University of London ist mit großem Abstand die publikationsstärkste Institution. Standorte mit vielen Veröffentlichungen in Europa finden sich auch in Spanien und Frankreich, weitere wichtige Standorte befinden sich in Dänemark und Italien. Die Technische Universität München belegt als führende deutsche Institution im europäischen Ranking den zehnten Platz.

Abb. 7.2 Top 10 der publikationsstärksten Einrichtungen in Deutschland, der EU und den USA (Förderzeitraum 2012–2017)

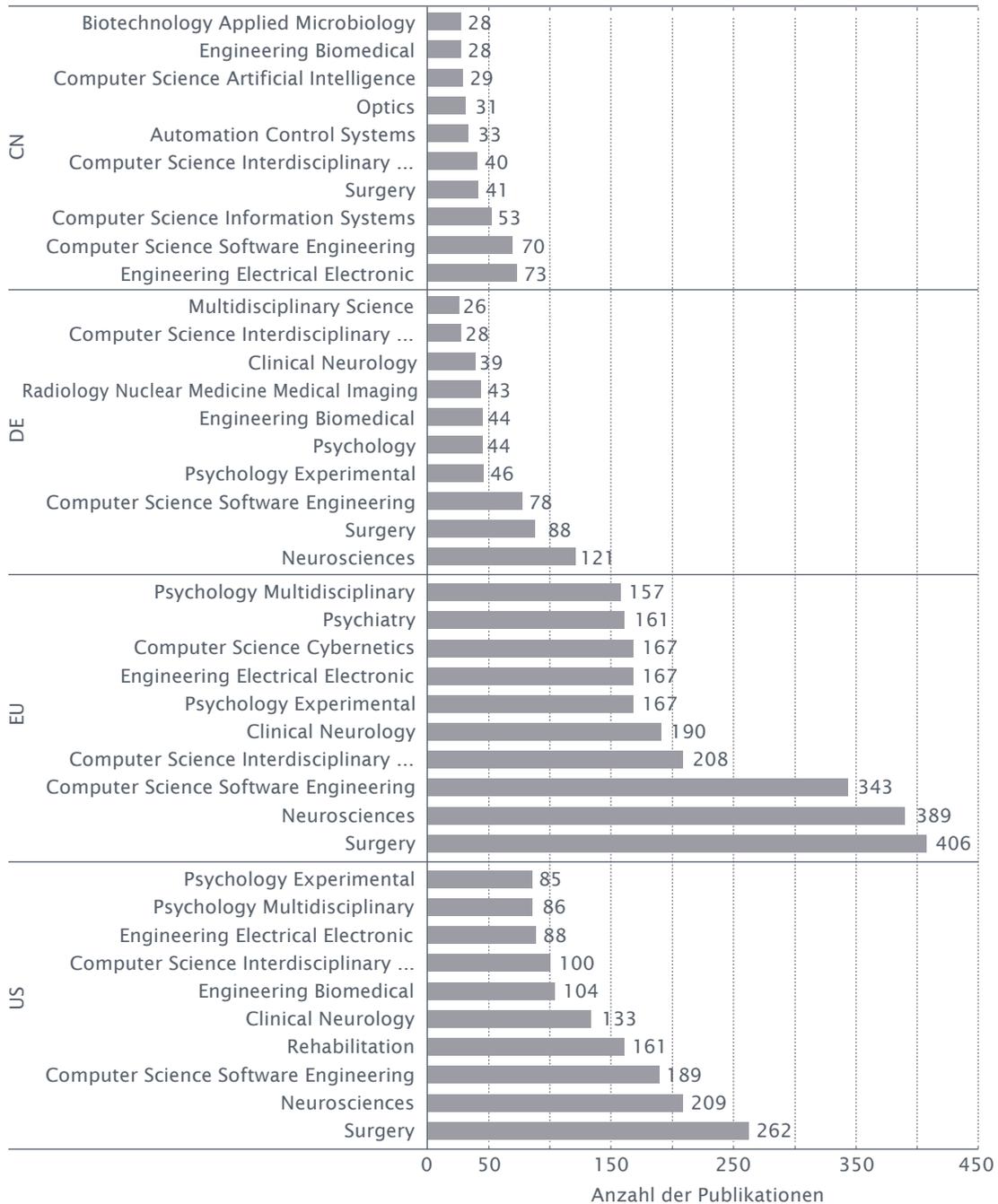


Eigene Darstellung

Beim Blick auf Institutionen in Deutschland fällt eine starke Konzentration auf Süddeutschland auf. Neben der Technischen Universität München sind Standorte in Tübingen (Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik), Heidelberg oder Würzburg zu nennen, die besonders in den Bereichen Medizin und Psychologie aktiv sind.



Abb. 7.3 Top 10 der Themenfelder in China, Deutschland, der EU und den USA (Förderzeitraum 2012–2017)



Eigene Darstellung

Abbildung 7.3 stellt für verschiedene ausgewählte Regionen die Top-10-Themenfelder mit den meisten Publikationen dar. Im Vergleich fällt ein besonderer Schwerpunkt bei Medizin und Pflege in den USA, in der EU und in Deutschland

auf. Speziell der psychologisch-neurologische Bereich nimmt in diesen Regionen eine prominente Rolle ein. Im Gegensatz dazu sind in China überwiegend Forschungsschwerpunkte in den Ingenieurwissenschaften und der Informatik zu verzeichnen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Hardwareentwicklung in China stark gefördert wird.

Im direkten Vergleich mit den USA fällt auf, dass in Deutschland eine thematische Konzentration in den Bereichen Psychologie und Medizin zu beobachten ist, während in den USA auch die Elektroingenieurwissenschaften relativ stark vertreten sind. Das lässt vermuten, dass in den USA im Gegensatz zu Deutschland ein Forschungsschwerpunkt auf Hardware liegt. Auch deckt sich dies mit den Aussagen aus den Experteninterviews (Meixner, Steinicke u. Wenzel), in denen die deutsche Forschung weniger auf Hardware, sondern eher auf Grundlagen fokussiert und anwendungsgetrieben beschrieben wurde. Deutschlands Forscher arbeiten beispielsweise an Software zur Anwendung und Umsetzung in professionellen Anwendungsbereichen von B2B.

7.3 Abbildungen

Abb. 2.1	Immersionskontinuum	20
Abb. 2.2	360°-Kamera	23
Abb. 2.3	Smart Glasses	24
Abb. 2.4	Head-up-Display in einem Flugzeugcockpit	25
Abb. 2.5	Head-up-Display in einem Automobil	26
Abb. 2.6	Head-mounted Displays	27
Abb. 2.7	Technische Lösungen zum Erleben haptischer Eindrücke	29
Abb. 3.1	Auf dem Weg zu realistischen VR-Avataren	38
Abb. 3.2	Weltkarte der Museen auf Google Arts & Culture	41
Abb. 3.3	AR-Assistenzanwendung für die Kfz-Werkstatt	44
Abb. 3.4	Visualisierung digitaler Zwillinge	45
Abb. 3.5	Einsatz von VR in Planungsprozessen	47
Abb. 3.6	AR-Anwendung zur Produktpräsentation	49
Abb. 3.7	AR-Anwendungen beim Einkaufen	51
Abb. 3.8	VR-Anwendungen in der Bewegungstherapie	54
Abb. 3.9	AR-Anwendungen bei chirurgischen Eingriffen	55
Abb. 3.10	Militärischer Einsatz von HMD-Helmen	56
Abb. 3.11	VR beim Training für Kriseneinsätze	57
Abb. 7.1	Anzahl der Publikationen stark publizierender Nationalstaaten und Regionen (Förderzeitraum 2012–2017)	111

Abb. 7.2	Top 10 der publikationsstärksten Einrichtungen in Deutschland, der EU und den USA (Förderzeitraum 2012–2017)	112
Abb. 7.3	Top 10 der Themenfelder in China, Deutschland, der EU und den USA (Förderzeitraum 2012–2017)	113

7.4 Tabellen

Tab. 2.1	Beispielhafte Einsatzzwecke von VR, AR, MR	21
Tab. 2.2	Technische Komponenten für VR- und AR-Systeme	22
Tab. 3.1	Anwendungsfelder und -beispiele von VR und AR	35

7.5 Glossar

Basierend auf den Glossaren der Webseiten vr-room.ch, cyber-classroom.de und vr-nerds.de.

360°-Video: Videos mit Rundumsicht, bei denen der Zuschauer die Blickrichtung frei wählen kann. Die Videos können auf einem Bildschirm oder mit einem VR-Headset angesehen werden. Eine wichtige Plattform für 360°-Videos ist YouTube.

Augmented Reality (AR): die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. Bild- oder Videomaterial der echten Welt wird in Echtzeit mit Zusatzinformationen versehen. Häufig beschreibt erweiterte Realität nur die visuelle Darstellung von Informationen, also die Ergänzung von Bildern oder Videos mit computergenerierten Zusatzinformationen oder virtuellen Objekten mittels Einblendung/Überlagerung. Bei bestimmten Tätigkeiten (Reparaturen etc.) ist erweiterte Realität z. B. das Einblenden von zusätzlichen Informationen und Anleitungen in Form von Textfeldern.

Avatar: virtueller Stellvertreter einer Person. In Computerspielen kann dieser zumeist nach eigenen Vorstellungen verändert bzw. angepasst werden.

Bildwiederholungsrate: Unter einer Bildwiederholungsrate versteht man die Anzahl der Bilder, die über ein Ausgabegerät wie einen Bildschirm oder eine VR-Brille pro Sekunde angezeigt wird. Die technische Abkürzung dafür ist FPS (Frames per Second). Eine hohe Bildwiederholungsrate erzeugt angenehme und realistische Illusionen.

Cardboard: einfachste Version einer VR-Brille, z. B. ein Kartonbrillengestell, mit dem ein Smartphone gehalten werden kann, über dessen Display VR-Inhalte angezeigt werden.

Controller: Geräte, mit denen sich per Hand- oder Fingersteuerung durch die virtuelle Realität navigieren lässt oder mit denen Spiele bedient werden können.

Eye Tracking: Augenbewegung, mit dem die Aufzeichnung der Bewegungen des Auges zur Steuerung von VR-Anwendungen gemeint ist. In VR-Brillen erkennen spezielle Sensoren die Augenbewegung und übertragen diese in die virtuelle Realität.

Field of View (FOV): Unter dem Gesichtsfeld wird der Bereich verstanden, den ein Mensch mit den Augen erfassen kann. Ein zu kleines Gesichtsfeld kann schwarze Ränder links und rechts entstehen lassen. Große Gesichtsfelder (über 180°) erzeugen eine realistische Wahrnehmung.

- Haptisches Feedback: Dank der Haptikfunktion können Geräte und Controller den Nutzer spüren lassen, wenn dieser mit der virtuellen Welt interagiert. Dies kann mithilfe von einfachen Vibrationen bis hin zu ungefährlichen Stromimpulsen geschehen.
- Headset: erforderliche Hardware für das virtuelle Erlebnis. Einfache VR-Headsets bestehen mindestens aus einer optischen Halterung für Smartphones (z. B. Gear VR, Cardboard). Höherwertige Headsets können zusätzlich mit Kopfhörern, Controllern oder Motiontrackern ausgestattet sein (z. B. HTC Vive, Oculus Rift). Höherwertige High-End-Headsets benötigen leistungsstarke PCs oder Konsolen zur Verarbeitung der großen Datenmengen.
- Head Tracking: bezeichnet die Erkennung der Blickrichtung und Neigung des Nutzers. Diese sollte so genau und verzögerungsfrei wie möglich sein, damit die Rotationsbewegungen des Nutzers 1 : 1 in die virtuelle Welt übertragen werden können.
- Head-mounted Display (HMD): wie z. B. eine Video- oder eine VR-Brille. Die Video-Brille zeigt Bilder auf einem Bildschirm direkt vor den Augen. Ein VR-Headset hat sowohl zusätzliche Sensoren, um die Bewegungen des Kopfes zu erfassen, als auch Linsen, die ein möglich großes FOV erzeugen.
- Immersion: von immersio (Eintauchung), wird hier verstanden als ein Maß für die Erfahrung des realitätsnahen Eintauchens in eine künstlich geschaffene Umgebung.
- Latenz/Verzögerung: jede Form von wahrgenommener, technisch bedingter Verzögerung, entweder bei der Übertragung von Bildern auf das Auge oder von Tönen auf das Ohr. Eine zu hohe Latenz, meist aufgrund nicht ausreichend leistungsfähiger Hardware, kann das virtuelle Erlebnis trüben oder sogar Schwindel hervorrufen.
- Mixed Reality (MR): MR bezeichnet die Verbindung der echten Welt mit virtuellen Welten. Es sind Umwelten oder Visualisierungen, in denen physische und digitale Objekte gemeinsam dargestellt werden und in Echtzeit miteinander interagieren. Zum Beispiel nimmt eine reale Person in Form eines virtuellen Abbilds an einem Meeting mit anderen Personen teil.
- Motion Tracking: Motion Tracking oder Motion Capture beschreibt ein Trackingverfahren zur Erfassung von Bewegungen und der Umwandlung in ein von Computern lesbares Format.
- Omnidirektionales Laufband: ermöglicht die Fortbewegung in der virtuellen Welt. Das Gerät erkennt die Laufbewegungen und überträgt diese in die virtuelle Realität. Real bleibt die Person nahezu auf der Stelle stehen.
- Positions oder Positional Tracking: Dies erfolgt oft mithilfe von externen optischen Sensoren, die die Position von VR-Headsets und damit der Person, die ein solches trägt, im Raum erkennen.
- Presence/Telepräsenz: beschreibt den Zustand, sich in einer entfernten Umgebung anwesend zu fühlen. Je höher der Grad der Immersion ist, desto mehr fühlen sich die Nutzer in der virtuellen Umgebung.
- Virtual Reality (VR): Virtuelle Realität bezeichnet eine computergenerierte Darstellung erfundener oder realer Umgebungen, in die der Betrachter eintauchen, sich bewegen und mit andern interagieren kann.
- VR Sickness/Cybersickness: Dabei handelt es sich um eine Art Simulatorkrankheit. Der Begriff Simulatorkrankheit (Simulator bzw. Motion Sickness) bezeichnet ein Gefühl des Unwohlseins (Schwindel, Übelkeit etc.), das durch eine Irritation der Sinnesorgane bei Menschen entsteht. Dies kann durch eine hohe Latenz der Trackingsysteme in der virtuellen Realität hervorgerufen werden.



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Tel.: +49 30 28491-0
buero@tab-beim-bundestag.de
www.tab-beim-bundestag.de
[@TABundestag](https://www.instagram.com/TABundestag)