



## V/AR-Anwender-Hersteller-Dialog:

Bericht #7: Positionspapier Datenbrillen:  
Status Quo und Industriebedarfe

Stand: v18. 23.04.2021

Gefördert von



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT,  
ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

# Inhalt

1.	Zusammenfassung.....	4
2.	Einführung .....	4
2.1	Wearable Computing.....	4
2.2	Datenbrillen .....	4
2.3	AR-Datenbrillen.....	5
3.	Anwendungsbereiche .....	5
4.	Marktpotenzial .....	6
4.1	Größe und Entwicklung des Marktes.....	6
4.2	Insolvenzen größerer Unternehmen .....	7
4.3	Einstieg neuer Global Player in den Markt .....	7
5.	Technologische Entwicklungsreife.....	9
5.1	Augmented Reality & Mixed Reality .....	9
5.2	Digitale Zwillinge in der Augmented Reality-Cloud .....	10
5.3	5G als Katalysator für Augmented Reality .....	10
6.	Aktueller Entwicklungsstand .....	11
6.1	Robustheit.....	11
6.2	Sensorik.....	12
6.3	System.....	13
6.4	Ergonomie .....	14
7.	Entwicklungsbedarfe .....	15
7.1	Auszuweitende Robustheit und Zuverlässigkeit .....	15
7.2	Mangelnde Datenversorgung/Netzwerk .....	15
7.3	Stromversorgung .....	15
7.4	Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit.....	16
7.5	Mangelnde Anpassbarkeit .....	16
7.6	Reduktion auf 1 Auge.....	16
7.7	Mangelnde Integration der Software .....	16
7.8	Mangelnde Geschäftsprozesse und Modelle.....	17
7.9	Sicherheitsbedenken und Herausforderungen durch die DSGVO .....	17
7.10	Akzeptanz.....	17
7.11	Standards .....	18
8.	Zukunftsausblick .....	18
8.1	Retinaldisplays .....	18
8.2	Lichtfeld-Displays .....	19

8.3	3D-Tiefenbildsensoren.....	19
8.4	LiDAR-Scanner (Light Detection and Ranging).....	19
8.5	Foveated Rendering und Eyetracking.....	19
9.	Erwartungen an die Politik.....	20
9.1	Infrastruktur.....	20
9.2	Datenschutz und Sicherheit.....	20
9.3	Standards.....	20
9.4	Hygiene.....	20
10.	Erwartungen an die Industrie.....	21
11.	Abkürzungen.....	22
12.	Literaturverzeichnis.....	23
13.	Impressum.....	29
14.	Förderhinweis.....	29

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	U.S: smart glass market size, by technology, 2014 -2025 (USD Million).....	6
Abbildung 2:	Global Smart Glass Market.....	7
Abbildung 3:	Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2019.....	9
Abbildung 4:	Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2018.....	10

# 1. Zusammenfassung

Dieses Positionspapier behandelt sowohl die aktuelle technologische als auch wirtschaftliche Entwicklung von Datenbrillen und untersucht deren Potential als innovative Zukunftstechnologie. In diesem Kontext wurden auch weitere Zukunftstechnologien analysiert, welche die Entwicklung und Verbreitung von Datenbrillen begünstigen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden Entwicklungsbedarfe herausgearbeitet und Erwartungen an die Politik und Industrie gestellt. Datenbrillen bergen ein großes Potenzial für den Einsatz als Assistenzsysteme für diverse Branchen und Anwendungsgebiete, um Arbeitsprozesse zu optimieren. In der Logistik und im Service werden Datenbrillen aktuell geringfügig, aber auch gewinnbringend eingesetzt. Für einen flächendeckenden und skalierbaren Einsatz sollte diese Technologie weiterentwickelt und die Auswirkungen auf das Arbeitsverhalten weiter erforscht werden, um so insbesondere die Akzeptanz nachhaltig zu erhöhen.

## 2. Einführung

### 2.1 Wearable Computing

Die Anzahl und Wahrnehmung von Wearable-Computing-Lösungen ist in den vergangenen Jahren sehr stark angestiegen [1]. Ein Wearable Computer ist ein Computersystem, das während der Anwendung am Körper des Benutzers befestigt ist. Wearable Computing unterscheidet sich von der Verwendung anderer mobiler Computersysteme dadurch, dass die hauptsächliche Tätigkeit des Benutzers nicht die Benutzung des Computers selbst, sondern eine durch den Computer unterstützte Tätigkeit in der realen Welt ist. Beispiele für Wearable Computer sind Smart Watches, Activity Tracker, Datenbrillen (zum Beispiel Google Glass) oder Kleidungsstücke, in die elektronische Hilfsmittel zur Kommunikation eingearbeitet sind. Wearable Computing ist ein interdisziplinäres Gebiet der Informatik. Es gab eine Reihe von Forschungsprojekten, die die Anwendung von Wearables im industriellen Umfeld zum Ziel hatten [2, 3]. Diese Projekte haben zumeist interessante Anwendungen aufgezeigt, die praktische Umsetzung haderte jedoch stets mit der verfügbaren Hardware.

### 2.2 Datenbrillen

Eine sehr große öffentliche Wahrnehmung, aber eine überschaubare industrielle habe in den letzten Jahren die Datenbrillen erfahren. Datenbrillen erweitern das Sichtfeld des Benutzers um zusätzliche Informationen und ermöglichen damit Augmented und Mixed Reality. In der weiten Öffentlichkeit ist die Google Glass am bekanntesten. Ihre erste Version (2012) weist allerdings noch gravierende Mängel wie Überhitzung und mangelhafte Akkulaufzeit auf. Sie findet geringfügig im Logistik-Bereich Anwendung. Die Google Glass Enterprise Edition 2 wird seit 2019 für Unternehmen für 999 US-Dollar angeboten und verfügt über einen USB-Port sowie eine längere Akkulaufzeit [4]. Andere Hersteller wie Vuzix und Realwear haben bereits länger Systeme im Markt, die teils auch für rauere Umgebungen ausgelegt sind. Firmen wie North, Nreal, Rokid und Huawei entwickeln Datenbrillen für den Konsumentenmarkt, die auf ein schlankeres Design setzen, um so auf eine höhere soziale Akzeptanz im Alltag abzielen. Amazon entwickelte Ende 2019 die kostengünstige und schmale Datenbrille Echo Frames, die den Nutzer akustisch mit dem hauseigenen virtuellen AI-Assistenten Alexa verbindet und so Smart Home Anwendungen wie Echo Frames unterstützt.

### 2.3 AR-Datenbrillen

AR-Brillen können holografische Inhalte durch die Erkennung der Umwelt mit Hilfe von Tiefensensoren und Stereoskopie in das Sichtfeld des Trägers passgenau einblenden. Die bekannteste Augmented Reality-Brille (AR-Brille) im industriellen Einsatz ist die Microsoft HoloLens, die seit März 2016 in den USA verfügbar ist. Herkömmliche Datenbrillen fungieren oft nur als Visualisierung einer eigenständigen (im Gehäuse verbauten) oder externen (z. B. Smart-Phone) Recheneinheit. Seit Ende 2019 wird die HoloLens 2 an erste Kunden und zertifizierte Partner ausgeliefert und bietet nun auch ein Leasingmodell, das eine kostengünstige Probe-Nutzung ermöglicht. Die HoloLens 2 bietet im Vergleich zur HoloLens ein größeres Sichtfeld (50° diagonal), eine intuitivere und genauere Gestensteuerung, Eyetracking, ein geringeres Gewicht sowie mehr Tragekomfort, Sprachsteuerung, bessere Sensorik und mehr Anwendungen.

Datenbrillen sind grundsätzlich durch folgende Eigenschaften beschrieben [5]:

- Der Großteil der natürlichen Sicht ist unbehindert.
- Im Allgemeinen verfügen sie über eine kleinere Displayfläche als Head-Mounted Displays (HMDs).
- Im Allgemeinen verfügen sie über eine geringere Auflösung des Displays als HMDs.
- Sie werden zumeist anders verwendet als Head-Mounted Displays, nämlich als Zusatzanzeige von Computer-generiertem Content beim Aufenthalt in natürlichen Umgebungen (z. B. Arbeit, Freizeit, Reise).
- Der Content ist häufig symbolisch, alphanumerisch oder als Piktogramm ausgeführt aufgrund der Auflösung und Größe des Displays.
- Bei High-End-Produkten im Marktsegment (AR-Brillen) sind Video Conferencing und Augmented-Reality (AR)-Anwendungen möglich. AR-Anwendungen werden allerdings durch eine nicht einstellbare Fokalebene des virtuellen Bildes beeinträchtigt.
- Ein Vorteil gegenüber Tablet Computern ist, dass Datenbrillen (bis auf die Bedienung) die Hände zum Arbeiten freihalten.

## 3. Anwendungsbereiche

Datenbrillen werden vorteilsbringend als Assistenzsysteme im Bereich Wartung, Reparatur und Betrieb (MRO) eingesetzt, um lokal oder per Fernzugriff durch die Zuschaltung von Experten zu unterstützen [6, 7, 8]. Dadurch können Qualifikationsanforderungen gesenkt, Experten in strategischen Projekten konzentriert, Reisekosten gesenkt, Lösungen ad-hoc angeboten, sowie Vorgänge und Prozesse dokumentiert werden [5].

In der Produktion können sie die Anleitung unterstützen und so die Einarbeitung beschleunigen, die Qualität erhöhen, die Arbeitssicherheit erhöhen, dabei unterstützen, kundenindividuelle Produkte zu beherrschen sowie Vorgänge und Prozesse zu dokumentieren [5, 8].

In der Logistik-Assistenz können Datenbrillen bei der Kommissionierung Arbeitsabläufe beschleunigen, Fehler reduzieren und die Effizienz steigern [6]. Informationen werden durch Pick by Vision direkt im Blickfeld angezeigt. Die Hände bleiben frei für Kommissioniertätigkeiten und die Steuerung von Transportfahrzeugen. Die Lagerei wird als ein zukünftiges Hauptanwendungsfeld von Datenbrillen gesehen [6].

Im Fertigungsumfeld leisten Datenbrillen Beiträge zum Konzept der Industrie 4.0. Industrie 4.0 bedeutet die Informatisierung und Vernetzung der Produktion. Im Sinne eines Internets der Dinge sind hier

allerdings nicht nur die Maschinen Elemente einer vernetzten Welt, sondern auch der Werker. In seiner Rolle als Informationsquelle erkennt, misst und bewertet der Werker. Zahlreiche Sensorsysteme, die er heute schon in Form mobiler Endgeräte mit sich führt, helfen ihm dabei (Beispiele für Sensoren: Mikrophon, Hall-Sensor, WIFI-Antenne, Lichtsensor, Kamera, 3D-Tiefenbildsensor, Beschleunigung, GPS). Gleichzeitig ist der Werker eine Informationssenke: er wird mit Informationen, Analysen, Anweisungen und Hilfestellungen versorgt, um zu informieren, zu reagieren und umzusetzen. Die Datenbrille kann in dieser Funktion eine wichtige Rolle spielen, etwa als einfaches Informationsdisplay, als Video-Conferencing-System oder als Augmented-Reality-Viewer [1].

## 4. Marktpotenzial

### 4.1 Größe und Entwicklung des Marktes

Das Marktpotenzial für Augmented Reality ist aktuell enorm und wird von zahlreichen Marktanalysen bestätigt [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18] [19, 20, 21, 22]. Ökosysteme an Hardware-Herstellern, Plattformanbietern und Dienstleistern bestehen und nutzen die Technologie für die Bereiche Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen, Service, Industrie, Sales, Marketing und Manufacturing, Automotive, Luftfahrt, Verteidigung, im weltweiten Gesundheitssektor, im Bereich Weiterbildung und Entwicklung und weitere. Aktuell gehen Forschungsinstitute davon aus, dass der globale Markt für Smart Glasses im Jahr 2018 ein Volumen zwischen 1,16 und 3,71 Milliarden US-Dollar und zwischen 2022-2026 ein Volumen von ca. 2,228 bis 9,083 Milliarden US-Dollar haben wird [23, 24, 25, 26]. Treiber der Marktentwicklung im Kontext industrieller Investitionsgüter sind globale Absatzmärkte, die Individualisierung und die stetig steigende Komplexität von Fertigungsausrüstung sowie neue Betreiber-/Geschäftsmodelle von Investitionsgütern (etwa Leistungsversprechen).

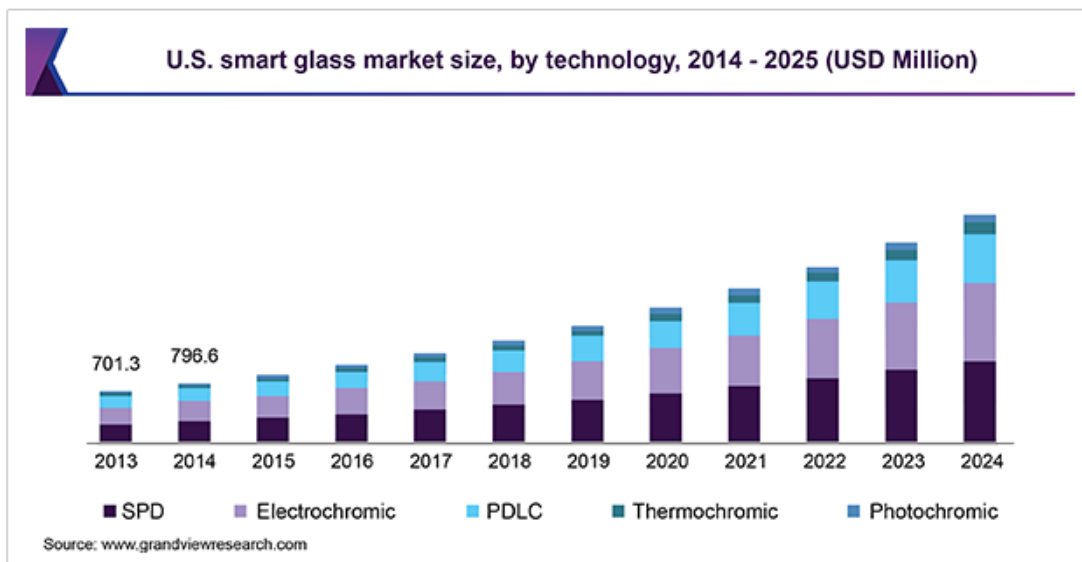


Abbildung 1: U.S: smart glass market size, by technology, 2014 -2025 (USD Million)

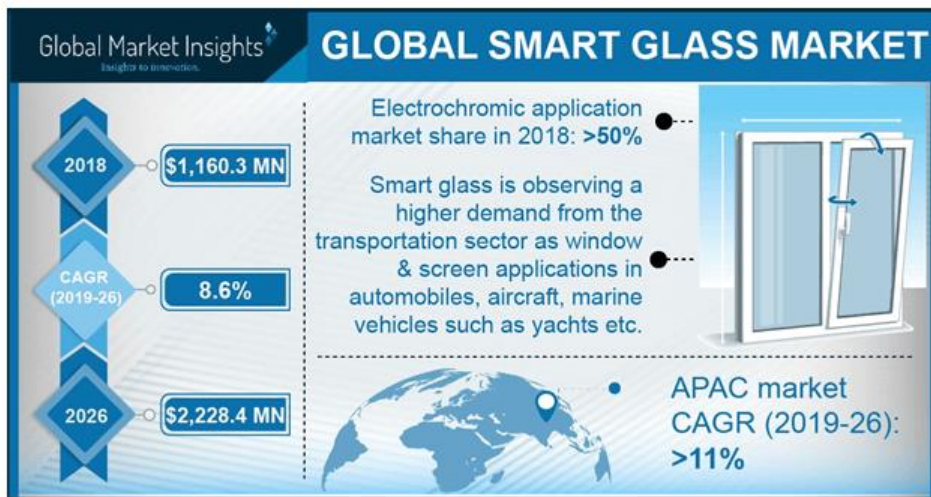


Abbildung 2: Global Smart Glass Market

#### 4.2 Insolvenzen größerer Unternehmen

In den vergangenen Jahren haben die Hersteller Meta, ODG (je ca. 70 Millionen US-Dollar Venture Capital) und Daquri (275 Millionen US-Dollar Venture Capital) Insolvenz angemeldet, da sie aufgrund der bereits erläuterten immensen technischen Herausforderungen an Datenbrillen nicht am Markt bestehen konnten [27]. Das mit dem höchsten Venture Capital ausgestattete AR-Brillen Startup Magic Leap (ca. 2,6 Millionen US-Dollar Venture Capital) kann die Erwartungen seiner Investoren nicht erfüllen, entlässt etwa die Hälfte seiner Belegschaft und soll bereits in Gesprächen zu einer Übernahme im Wert von 10 Millionen US-Dollar gewesen sein [28]. Magic Leap vollführt nun einen Strategiewechsel, verlässt den Konsumentenmarkt und fokussiert sich nun wie Microsoft auf den B2B-Markt. Industrie und Militär sieht Microsoft hier als potentielle AR-Märkte an [29]. Der angekündigte Marktstart von Magic Leap 2 für 2021, die mit einem doppelt so großen Sichtfeld aufwarten soll, könnte diesen technischen Anforderungen ähnlich wie den Verbesserungen der Hololens 2 im Vergleich zu Hololens, entgegenkommen [30].

#### 4.3 Einstieg neuer Global Player in den Markt

Die mangelnde Marktbereitschaft für Datenbrillen und AR-Brillen basiert auf der großen Verbreitung und höheren Akzeptanz von etablierten Wearables wie Smartphones und Tablets [31]. Folglich werden insbesondere Big Player am Markt wie Microsoft, die über ausdauernde finanzielle Möglichkeiten verfügen, deren Entwicklung in den nächsten Jahren vorantreiben. Darüber hinaus haben weitere Big Player verkündet, dass sie in den AR-Markt aufgrund seines hohen Potenzials einsteigen werden.

Facebook arbeitet mit dem Sonnenbrillenunternehmen Ray Ban an einer AR-Brille mit dem Codenamen „Orion“, die in Zukunft das Smartphone ersetzen soll. Diese soll Telefonanrufe ermöglichen, Informationen auf einem kleinen Display darstellen und Live-Streaming aus der eigenen Perspektive für soziale Medien ermöglichen. Als Eingabegeräte wird an ringförmigen Bewegungssensoren und intelligenten Sprachassistenten gearbeitet [32]. Zudem hat sich das Unternehmen Exklusivrechte mit dem auf die Herstellung von Micro-LED-Displays spezialisierten Unternehmen Plessey gesichert. Plessey ist ein preisgekrönter Anbieter von emittierenden Vollfeld-Mikro-LED-Displays, die RGB-Pixel-Arrays sehr hoher Dichte mit leistungsstarken CMOS-Backplanes kombinieren, um sehr helle, stromsparende und

hochauflösende Bildquellen für Head-Mounted Displays (HMDs) und Augmented-Reality (AR)- und Virtual-Reality (VR)-Systeme zu erzeugen [33]. Facebook investiert zudem in die AR-Cloud, indem es nun ebenfalls größter Anteilseigner von dem 2017 gegründeten Startup Scape, dessen Computer-Vision-System aus den Bilddaten von kamerabasierten Geräten 3D-Modelle von ganzen Städte erstellt hat, ist [34]. Die technischen Herausforderungen bestehen darin, einen hohen Tragekomfort und eine hohe Darstellungsqualität in einen schmalen Formfaktor zu realisieren und damit das Gewicht gering zu halten. Laut Facebooks XR-Chef Michael Abrash könnte dies noch fünf bis zehn Jahre dauern [35].

Auch Apple sieht in AR die nächste große Plattform, wie CEO Tim Cook in seinen Vorträgen betont, und beschäftigt 1000 Ingenieure in diesem Themenfeld [36]. Nach den Angaben des Bloomberg-Journalisten Mark Guman soll in einem Mitarbeitermeeting die dazugehörige Roadmap vorgestellt worden sein. Apple zieht den Marktstart seiner AR-Brille für 2020 zurück und möchte neben einer Mixed-Reality-Brille 2022 eine AR-Brille mit geringem Formfaktor für den Massenmarkt Anfang 2023 auf den Markt bringen [37].

Samsung hat auf der CES 2019 seinen Fokus von Mobile Phones auf Augmented Reality gewechselt und zeigte erstmals den Prototyp einer AR-Brille für den Bereich Fitness in einer Live-Demonstration [38]. Ein 2019 akzeptiertes Patent zeigt zudem das Design einer AR-Brille [39].

Huawei kündigte an, in den Markt für AR-Brillen innerhalb von ein bis zwei Jahren mit einem eigenen Produkt einzusteigen und stellte 2019 seine VR-Brille mit kleinem Formfaktor vor [40].

Sony testete im Herbst 2019 im Rahmen einer AR-Attraktion den Prototypen seiner AR-Brille [41] und nutzte hierfür wie Plessey Wellenleiter auf Micro-LED-Basis und einen speziell entwickelten Chip. Die größte Limitation des Prototypen ist das geringe Sichtfeld, dessen Vergrößerung ein entscheidendes Kriterium für die Industrietauglichkeit darstellt [42].



## 5. Technologische Entwicklungsreife

### 5.1 Augmented Reality & Mixed Reality

Sowohl AR als auch Mixed Reality (MR) wurde 2019 aus dem Hype Cycle of Emerging Technologies des renommierten amerikanischen Marktforschungsinstitut Gartner entfernt [43]. Dieses Instrument wird oft von Beratern und Unternehmen als Orientierung für die Relevanz neuer Technologien verwendet und untersucht jährlich neuartige Technologien hinsichtlich ihrer prognostizierten Erwartungen. Gartner versteht unter Mixed Reality Technologien, die virtuelle und reale Welt miteinander zu vermischen und unter AR speziell Datenbrillen und Projektoren. Wenn eine Technologie dem Hype-Zyklus entfernt wird, nähert sie sich laut Gartner-Analysten einem ausgereiften Zustand. Die Analysten von Gartner beschränken ihre Prognose auf sich entwickelnde Technologien im Bereich Business und IT. Zu der Verbreitung im Konsumentenmarkt werden somit keine Aussagen getroffen.

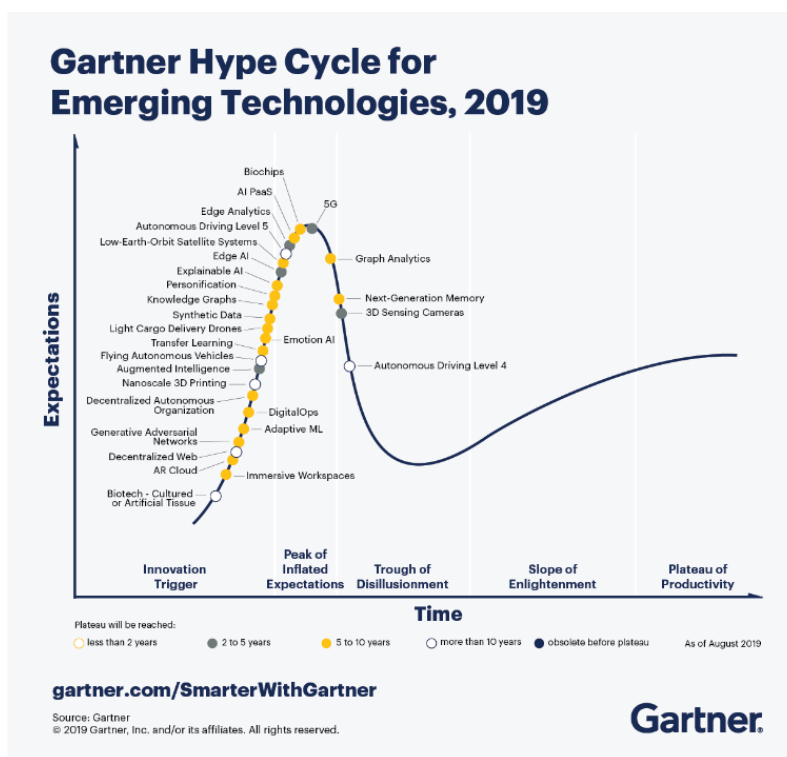


Abbildung 3: Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2019

Augmented Reality befand sich 2018 nach Gartner noch in der Talsohle der Desillusionierung und Mixed Reality auf der Talfahrt dorthin [44]. Beide Technologien wurden so eingeschätzt, dass sie noch rund fünf bis zehn Jahre Entwicklungszeit benötigen, um einen höheren Reifegrad zu erreichen.

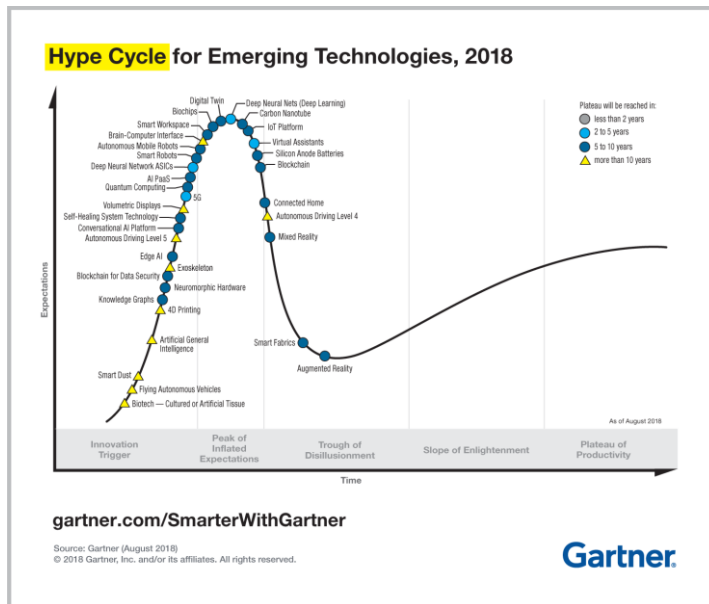


Abbildung 4: Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2018

## 5.2 Digitale Zwillinge in der Augmented Reality-Cloud

Eine weitere wichtige Technologie, die zur Verbreitung von AR genutzt wird und die von Gartner als Innovationsauslöser eingestuft wird, ist die AR-Cloud. Diese verbindet als digitale 3D-Echtzeit-Karte der Welt die physische und digitale Welt miteinander. Sie ermöglicht es, Informationen und Erfahrungen zu erweitern, auszutauschen und an bestimmte physische Orte zu binden, die über Anwendungen und Geräte hinweg auftreten und fortbestehen. Die Großkonzerne Google und Apple haben bereits erste Versionen einer AR-Navigation entwickelt, die mit Wearables genutzt werden können [45]. Ein weiteres Beispiel sind die im Konsumentenmarkt bekannten AR-Emojis oder Gesichtsfiler [46]. Im industriellen Kontext werden bereits digitale Zwillinge von größeren Städten erstellt [34].

## 5.3 5G als Katalysator für Augmented Reality

5G ist der Mobilfunkstandard der fünften Generation und ermöglicht eine höhere Bandbreite, weniger Ausfälle, geringere Latenzen, eine hohe Informationsdichte und Echtzeitfähigkeit. Dadurch können Datenbrillen, insbesondere AR-Brillen, zuverlässiger mit höheren Datenmengen versorgt werden, so dass datenaufwendige Visualisierungen und Haptikdaten übermittelt werden können [47, 48]. Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch Remote Rendering Datenbrillen nur als Wiedergabegerät zu verwenden und somit die Leistung zu vergrößern und den Formfaktor zu verringern. Im Gartner Hype Zyklus 2019 befindet sich 5G am „Gipfel der erhöhten Überwartungen“ und wird als nächstes in den „Trog der illusionieren“ stürzen [43]. Gartner schätzt zudem, dass 2019 10,4 % (4,146.6 Milliarden US-Dollar) der gesamten Einnahmen aus der drahtlosen Infrastruktur der Kommunikationsanbieter in den Ausbau der 5G geflossen ist und 7 % der Kommunikationsanbieter bereits 5G in ihrer Infrastruktur einsetzen [49]. In 2020 werden diese Investitionen auf 21,3% (8,127.3 Milliarden US-Dollar) ansteigen. Dieser Ausbau wird durch die Erwartungen von Regierungen und Regulatoren, dass 5G ein Katalysator und Multiplikator für weitreichendes wirtschaftliches Wachstum in vielen Industrien sein wird, stark vorangetrieben.

## 6. Aktueller Entwicklungsstand

Um den aktuellen Entwicklungsstand von Datenbrillen zu verdeutlichen, wird eine Auswahl an am Markt verfügbaren Systemen näher betrachtet, die sich bereits etabliert haben oder ein großes Potenzial aufweisen. Zudem werden industrierelevante Kriterien aufgeführt:

	Veröffentlichung	Preis	Anzeige
<b>Google Glass 2 Enterprise Edition</b>	2019	1.000 \$	monokular
<b>Realwear HMT-1</b>	2017	1.995 €	monokular
<b>Vuzix M400</b>	2019	1.846 €	monokular
<b>Hololens 2</b>	2019	3.752 €	binokular

### 6.1 Robustheit

Es wurden folgende industrielle Sicherheitszertifikate und industrierelevante Kriterien betrachtet:

- **IPX-Bewertung:**  
Die IPX-Bewertung gibt an, in welchem Grad das Gerät resistent gegen Wasser und Staub ist.
- **MIL-STD 810G:**  
Der MIL-STD-810 ist eine US-amerikanische technische Militärnorm, die Umwelt-Testbedingungen für militärische Ausrüstung spezifiziert.
- **ATEX (ATmosphäre Explosible)**  
ATEX ist die Kurzbezeichnung für die europäische Richtlinie 2014/34/EU für das Inverkehrbringen explosionsgeschützter elektrischer und mechanischer Geräte, Komponenten und Schutzsysteme.
- **Fallschutz:**  
Die Hersteller geben eine Stoßfestigkeit gegenüber einer bestimmten Fallhöhe an.
- **Kompatibilität mit Schutzausrüstung**

	Google Glass 2 Enterprise Edition	Vuzix M400	RealWear HMT-1	Hololens 2
<b>IP-Rating</b>	IPX3	IP 67	IP66	Nein
<b>Wasserresistent</b>	Ja	Ja	Ja	Nein
<b>Staubresistent</b>	Ja	Ja	Ja	Nein
<b>Temperaturresistenz</b>	Nein	Nein	-20° + 50° (MIL-STD-810G)	Nein
<b>Fallschutz</b>	Nein	2 m*	2 m	Nein
<b>Atex-Zertifikat</b>	Nein	Nein	Optional: ATEX, IECEx Zone1 und NEC500**	Nein
<b>Kompatibilität mit Schutzausrüstung</b>	Sicherheitsgläser- und Gehörschutz	Schutzhelme	Schutzhelme und Schutzbrillen	***Sicherheitsgläser und Schutzhelme (Trimble XR10)

\* Der Hauptrahmen der Vuzix M400 ist zerbrechlich.

\*\* Die Realwear HMT-1Z1 kann in Industrien wie der Öl/Gas-, Chemieindustrie usw. aufgrund ihres Explosionsschutzes nach ATEX, IECEx und NEC500 eingesetzt werden.

\*\*\* Die HL2 wird sogar in einer robusteren Version vom US-Militär für Kampfsimulationen genutzt und weiterentwickelt.

## 6.2 Sensorik

	<b>Google Glass 2 Enterprise Edition</b>	<b>Vuzix M400</b>	<b>RealWear HMT-1</b>	<b>Hololens 2</b>
<b>Kamera</b>	8MP	12 MP, 4K Video bei 30 Fps	16 MP, 1080P Video bei 30 Fps	8 MP, 1080P Video bei 30 Fps
<b>Tracking</b>	Nein	3-DOF Headtracking*	Nein	6-DOF-Tracking**
<b>Tiefensensor</b>	Nein	Nein	Nein	Ja***
<b>Mikrofon</b>	Drei Beam-Forming-Mikrofone mit Spracherkennung	Mikrofone mit dreifacher Rauschunterdrückung	Vier digitale Mikrofone mit aktiver Lärmunterdrückung bis zu 95 dB typischer Industrieräusche	Mikrofon-Array mit fünf Kanälen
<b>Barcodescanner</b>	Via Bluetooth	Integriert	Integriert	Nein

\* Die VM400 unterstützt 3-DOF Headtracking mit folgenden Features:

- Kopfverfolgung mit drei Freiheitsgraden (DOF)
- 3-Achsen-Kreisel
- 3-Achsen-Beschleunigungsmesser
- 3-Achsen-Magnet/integrierter Kompass

\*\* Die HL2 verfügt über 6-DOF-Tracking und weitere Features, da sie als AR-Brille dafür ausgelegt ist, Hologramme in die Realität zu projizieren und räumlich zu verankern:

- 6-DOF-Tracking: World-Scale-Positions-Tracking
- Hand-Tracking: Zweihändig voll artikuliertes Modell mit direkter Manipulation
- Eye-Tracking in Echtzeit

\*\*\* Nur die H2 verfügt als AR-Brille über einen 1-MP-TOF-Tiefensensor, um die Umgebung scannen zu können und Hologramme räumlich korrekt zu verankern und folgende Features zu unterstützen:

- Spatial Mapping: Realtime environment mesh
- Mixed Reality Capture: Mixed hologram and physical environment photos and videos

### 6.3 System

	<b>Google Glass 2 Enterprise Edition</b>	<b>Vuzix M400</b>	<b>RealWear HMT-1</b>	<b>Hololens 2</b>
<b>Chip</b>	8 Core 2.52 Ghz Qualcomm XR1*	8 Core 2.52 Ghz Qualcomm XR1*	2.0 GHz 8 Core Qualcomm Snapdragon 625	Qualcomm Snapdragon 850 + Holo- graphic Pro- cessing Unit**
<b>Speicher</b>	2 GB RAM, 16 GB Interne Lagerung	6 GB RAM, 64 GB Interne Lagerung	2 GB RAM, 16 GB Interne Lagerung	4 GB RAM, 64 GB Interne Lagerung
<b>Betriebssystem</b>	Android Oreo	Android 8.1 Be- triebssystem: And- roid und IOS kom- patibel	Android 6.0.1 + WearHF	Windows Holo- graphic Opera- ting System
<b>Konnektivität</b>	Wifi, Bluetooth	Wifi, Bluetooth, GPS, 4G****	Wifi, Bluetooth, 4G	Wifi, Bluetooth,
<b>Batterie</b>	820 mAh	1000 mAh	3250 mAh	
<b>Batterielaufzeit</b>	Bis zu 8 Stunden	2,5-3 Stunden	9-10 Stunden	2-3 Stunden ***

\* Der XR1 ist auf den Support von hochqualitativen Streams und Darstellung, Machine Learning und bis zu 6-Dof Tracking Optionen ausgelegt.

\*\* Die HL2 verwendet einen Snapdragon 850 und zusätzlich eine „Holographic Processing Unit“, die für die Bildstabilisierung und Sensorinputverarbeitung speziell entwickelt wurde.

\*\*\* Die HL2 muss nach 2-3 Stunden wieder aufgeladen werden, was auf den hohen Stromverbrauch von zusätzlichen Sensoren zurückzuführen ist.

\*\*\*\* Vuzix kündigte an, 2020 noch ein Modem mit 5G-Support zu veröffentlichen [50].

## 6.4 Ergonomie

	<b>Google Glass 2 Enterprise Edition</b>	<b>Vuzix M400</b>	<b>RealWear HMT-1</b>	<b>Hololens 2</b>
<b>Gewicht</b>	~46 g	190 g	380 g	566 g
<b>Sichtfeld</b>	19° diagonal	16,8° diagonal	20° diagonal	52° diagonal
<b>Eingebautes Audio</b>	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>Hot Swap*</b>	Nein	Ja	Ja	Nein
<b>Wegklappbares Display</b>	Nein	Ja	Ja	Ja
<b>Augenabstand einstellbar</b>	monokular	monokular	monokular	automatisch
<b>Fokusebene</b>	1	1	1	1
<b>Auflösung</b>	640x360	nHD color display	WVGA (854x480)	2k 3:2 Lichtgenerator
<b>Display + Helligkeit</b>	Optical Display Module	OLED, Helligkeit: > 2000 nits Kontrast: > 10,000:1 24-bit Farbtiefe	1 Meter Fixfokus, 24-Bit-Farb-LCD, 0,33 Zoll Diagonale, im Freien sichtbar	>2.500 Radiant (Lichtpunkte pro Radiant)
<b>Steuerung</b>	Touchpad und Spracherkennung	Touchpad, Navigationsknöpfe und Spracherkennung	Spracherkennung und Blicksteuerung	Gesten- und Spracherkennung
<b>Kompatibel mit Brille</b>	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>Kabellage</b>	keine	keine	Kabelverbindung hinter dem Kopf	keine
<b>Tragekomfort</b>	geringes Gewicht	Geringes Gewicht und bequeme Ohrhalterungen flexibel am Rahmen zu befestigen	Verstellbares Stirnband für mehrstündigen Einsatz	Auf 95 % der Kopfformen und Größen anpassbar
<b>Garantie</b>	?	1 Jahr	1 Jahr	1 Jahr
<b>Kamera unabhängig vom Display verstellbar</b>	Nein	Nein	Ja	Nein
<b>Kompatibilität mit Anwendungen</b>	Nur für Entwickler	Nicht alle Android-Anwendungen sind kompatibel	Nicht alle Android-Anwendungen sind kompatibel	Nicht alle Windows-Anwendungen sind kompatibel
<b>App-Store</b>	Nur für Entwickler	Kein Gruppen-Management, Vuzix-App Store ist sehr langsam	Cloud-Umgebung „Forseight“ für Verwaltung und Zuweisung von Policies; Langsame Aktualisierung der Geräte	Microsoft Store, Dynamics 365 Remote Assist, Programmierungen basierend auf Microsoft Azure und Microsoft Unity

\*unterbrechungsfreier Akku-Wechsel („Hot Swap“)

## 7. Entwicklungsbedarfe

Wenige der heutigen Smart-Glasses-Systeme sind für die Benutzung im privaten Umfeld ausgelegt, da die Anschaffungskosten aufgrund des aktuellen technologischen Entwicklungsstandes zu hoch für den Massenmarkt sind, sie die Konsumentenbedürfnisse nicht erfüllen oder nicht genug soziale Akzeptanz erfahren [31]. First Adopter sind häufig Technologie-Begeisterte, die solche Systeme als Gadget wahrnehmen und Unzulänglichkeiten im Sinne von Kinderkrankheiten akzeptieren. Diese Toleranz ist im industriellen Umfeld undenkbar. Smartglasses im praktischen industriellen Einsatz sind daher heute noch nicht stark verbreitet, werden jedoch beständig weiterentwickelt. Die wichtigsten Gründe dafür lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### 7.1 Auszuweitende Robustheit und Zuverlässigkeit

Die aktuellen Datenbrillen sind teilweise aufgrund ihres totalen Staubschutzes und ihrer Resistenz gegen Wasserstrahlen oder sogar Wasserdichte bis 1 m sowie ihres Fallschutzes bis zu 2m und ihrer Kompatibilität mit Schutzhelmen, Stoßkappen und Sicherheitsgläsern auf raue Umgebungen und Geräuschfilterung in typischen Industrieumgebungen bis zu 96 dB angepasst. Einzelne Bauteile wie der Hauptrahmen der VuzixM400 können dennoch anfällig für mechanische Fehlbelastungen sein. Die Realwear HMT-1Z1 ist sogar für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, brennbaren Zonen und gefährlichen Umgebungen zugelassen. Elektromagnetische Störfelder oder Störlichter können jedoch aufgrund der fehlenden Abschirmungen und der Verwendung von Kamera-Technologien zu Fehlfunktionen führen. Um den Einsatzbereich und die Zuverlässigkeit von Datenbrillen zu verbessern, besteht ein Bedarf an weiteren Anbietern, welche diese beiden Schwachpunkte auszubessern und Datenbrillen für extreme Industrieszenarien konstruieren oder anpassen.

### 7.2 Mangelnde Datenversorgung/Netzwerk

Die kabellose Datenversorgung ist mit GSM, WLAN und Bluetooth nicht für das raue industrielle Umfeld ausgelegt und funktioniert damit dort nicht zuverlässig [5]. Die Aufrüstung auf den Wifi6-Standard, der Ausbau des 5G-Netzes und der lokalen 5G-Netze, deren Lizenzierung wirtschaftlich auch für KMUs gestaltet wurde, schreitet nur langsam voran und ist aktuell von einer breiten Verfügbarkeit stark entfernt [51, 52, 53, 54]. So können Verbindungen mit einem größeren Datendurchsatz (Wifi6+5G), Echtzeitfähigkeit (5G), einem geringeren Stromverbrauch, reduzierten Ausfallzeiten von vernetzten Geräten sowie die Integration von Sicherheitsfunktionen in die Core-Netzwerkarchitektur (5G) ermöglicht werden, die einen großen Vorteil für industrielle Anlagen und die nötige Sicherheit und Zuverlässigkeit für IoT-Applikationen ermöglichen [55, 56].

### 7.3 Stromversorgung

Die Batterien/Akkus von Datenbrillen haben teilweise eine zu kurze Laufzeit, um eine komplette Arbeitsschicht lang halten zu können, oder keine Hot Swap-Funktion, um den Akku während des Betriebes auszutauschen. Eine solche Akkulaufzeit und/oder Hot-Swap-Funktion sollte jede Datenbrille besitzen.

#### 7.4 Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit

Die Bedienkonzepte von Datenbrillen-Systemen basieren überwiegend auf Navigationsbuttons auf dem Gerät, Touchpads, Sprachsteuerung und bei der HL2 als Einzelfall auf Gestenerkennung. Hierbei bergen insbesondere Sprachsteuerung und Gestenerkennung großes Potenzial, um eine möglichst intuitive Bedienung zu ermöglichen. Durch Sprachsteuerung können auch Eingaben, die durch Handschuhe geschützte Hände nicht möglich wären ausgeführt werden. Die Eingabegeräte- und befehle unterscheiden sich jedoch zwischen den Geräten. Es fehlen daher nach wie vor einheitliche Interaktions-Standards, die den Wechsel von einem Datenbrillen-System zu einem anderen erleichtern und die Akzeptanz verbessern würden [57]. Durch die Verbesserung des Tragekomforts durch individuell verstellbare Kopfhaltungen, ein geringes Gewicht und einer ergonomischeren Verteilung des Gewichtsschwerpunkts wurden Datenbrillen für einen mehrstündigen Arbeitseinsatz optimiert. Die meisten Anbieter scheitern dabei, den Tragekomfort so zu gestalten, dass die Geräte eine gesamte 8-Stunden-Schicht getragen werden können [58, 7, 59].

#### 7.5 Mangelnde Anpassbarkeit

Sowohl die Benutzer einer Datenbrille als auch die Umgebung, in der diese eingesetzt wird, ist individuell. Daher muss die Datenbrille individuell anpassbar sein. Zu den Aspekten der Anpassung gehören auf der Nutzerseite seine Sehschärfe und sein Augenabstand, auf der Szenenseite die Fokalebene und die Helligkeit. Die HL2 verfügt über eine automatische Anpassung des Augenabstands via Eyetracking. Eine (automatisch) angepasste Fokalebene ist weiterhin eine Grundvoraussetzung für eine qualitativ hochwertige AR-Darstellung, bei der reales und virtuelles Objekt in der gleichen Fokalebene liegen müssen [60]. Aktuell bieten jedoch alle Datenbrillen nur eine fixe Fokalebene [61].

#### 7.6 Reduktion auf 1 Auge

Viele Nutzer finden es irritierend bis störend, dass Inhalte nur über ein Display für ein Auge ausgegeben werden und tendieren zum Schielen. AR-Brillen mit stereoskopischer Sicht wie die HL2 ermöglichen dagegen eine stereoskopische Sicht durch zwei Gläser.

#### 7.7 Mangelnde Integration der Software

Smart Glasses müssen zur Nutzung mit (Kontext-sensitiven) Daten versorgt werden. Bedingt durch die einfache Art des Displays und die Kontext-Sensitivität müssen diese Daten mit großer Wahrscheinlichkeit Datenbrillen-gerecht aufbereitet werden. Damit die Vorteile, die sich durch die Nutzung der Datenbrille ergeben, nicht von den Aufwänden zur Content-Versorgung (über)kompensiert werden, muss die Content-Generierung weitestgehend automatisch erfolgen. Diese automatische Content-Generierung ist heute vielfach unzureichend [17, 62]. Es fehlen darüber hinaus Autorentools, so dass die Kosten für die Erstellung oder Anpassung des Contents durch einen Dienstleister den aktuellen Nutzen nicht kompensieren [17].



## 7.8 Mangelnde Geschäftsprozesse und Modelle

Für die Integration von Datenbrillen in Unternehmen muss eine ausreichende IT-Infrastruktur basierend auf einem fortgeschrittenen Digitalisierungsgrad gegeben sein. Aufgrund des geringen Digitalisierungsgrades in vielen Unternehmen wird die Integration von Datenbrillen nur schwerfällig oder überhaupt nicht durchführbar sein. Dazu gehört auch der Mehraufwand für die IT, die Systeme zu konfigurieren und für die Personalabteilung, die Belegschaft zu schulen. Für einige Unternehmen können dieser Mehraufwand und die Anschaffungskosten nicht in Relation zu den Vorteilen durch den Gebrauch von Datenbrillen stehen, so dass eine Anschaffung nicht als wirtschaftlich betrachtet wird. Auch Geschäftsprozesse, die eine Auslieferung von Produkten mit einer dazugehörigen Datenbrille für Trainings- und Servicefunktionen vorsehen, können daran scheitern, dass der verursachte Mehraufwand nicht in Relation zu den Vorteilen steht, oder eine andere Datenbrille bereits im Unternehmen verwendet wird.

## 7.9 Sicherheitsbedenken und Herausforderungen durch die DSGVO

Die Anwesenheit von Sensoren wie Kameras beim Einsatz einer Datenbrille kann datenschutzrechtliche oder Betriebsgeheimnis-spezifische Fragen aufwerfen. Insbesondere das Inkrafttreten der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) im Mai 2018 hat zu großen Unsicherheiten geführt und kann so die Einführung von innovativen Technologien wie Datenbrillen erschweren [63]. Auch im Erfahrungsaustausch Datenbrille des VDC Fellbach mit lokalen Maschinenbauern aus Baden-Württemberg, der seit 2016 besteht, werden Unsicherheiten in Bezug auf das Recht am Bild, Haftung und Datenschutz sowie Datensicherheit beim Remote Support betont, welche die Einführung von Datenbrillen zu einer großen Herausforderung macht [17]. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat im Rahmen des Smart Service Welt-Projekts Glass@Service 2018 ein Gutachten bezüglich der Anforderungen an Datenschutz bei adaptiven Datenprozessen anfertigen lassen [64]. Unabhängig vom Endgerät ist das unspezifische Sammeln von personenbezogenen Daten nur sehr begrenzt möglich. Die Verarbeitung der Daten muss daher für einen bestimmten Zweck im Unternehmen notwendig sein, um eine vollständige Verarbeitung zu ermöglichen. Das Gutachten empfiehlt Kollektivvereinbarungen, um schwer umsetzbare individuelle Einwilligungen der Angestellten zu vermeiden. Da auch der technische Datenschutz durch die DSGVO gestärkt wurde, empfiehlt das Gutachten eine Überprüfung der technischen Sicherheit der Geräte. So soll festgestellt werden, ob Eingriffe in die Persönlichkeitsrechte von Mitarbeitern durch datenschutzfreundliche Voreinstellungen, Anonymisierungs- oder Pseudonymisierungskonzepte minimiert werden können. Das Gutachten weist daraufhin, welche Rechtsgebiete beim Einsatz von adaptiven Assistenzsystemen in Unternehmen betrachtet werden müssen und bietet darüber hinaus konkrete Hinweise mit Praxisbezug, wie ein rechtskonformer Umgang mit personenbezogenen Daten umgesetzt werden kann.

## 7.10 Akzeptanz

Die permanenten und schlecht kontrollierbaren Möglichkeiten, Bildaufnahmen zu machen, haben schnell zu kritischen Äußerungen der Öffentlichkeit gegenüber Datenbrillen geführt [65, 62]. Der TÜV Rheinland testete Datenbrillen und kam zu dem Ergebnis, dass der Tragekomfort und die Arbeitserleichterung eine wichtige Rolle für die Akzeptanz von Datenbrillen spielt [66]. Die Fokussierung auf die gleiche Stelle (Display) sowie die eingeschränkte Kopfbewegung führen zu Ermüdung und Verspannungen [6]. Eine Literaturrecherche des Zentralinstituts für Arbeitsmedizin und Maritime Medizin (ZfAM), des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE), South Bank University London, der England

School of Applied Sciences und des Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung St. Augustin ergab, dass die Themen Datenschutz und Gesundheitsschutz (Hygiene) von Anwendern aus den Branchen Logistik, Bauwirtschaft, Automobil und Medizin stark kritisiert wurden [6]. Darüber hinaus wurde auch der Tragekomfort oft bemängelt. Usability-Probleme mussten zudem durch neue Interaktionsmethoden und Visualisierungstechniken verbessert werden. Studien zeigten auch, dass die kognitive Arbeitsbelastung durch den Einsatz von Datenbrillen zunimmt [6]. Die Nützlichkeit, Hygiene, der Tragekomfort, die Technikaffinität der Nutzer, die Displaykonfiguration, die Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit wurden von Experten als relevanteste Faktoren für den langfristigen Einsatz und Akzeptanz herausgearbeitet [6].

### 7.11 Standards

Das Themenfeld Standards für Datenbrillen ist aufgrund der Vielzahl an Schnittstellen und der technischen Detailtiefe zum Körper extrem komplex und adressiert eine große Anzahl an Spielern. Es besteht daher ein Bedarf, eine Übersicht über bestehende Standards zu erlangen, um somit weitere relevante datenbrillenspezifische Standards zu identifizieren und zu etablieren. Darüber hinaus sollten Experten von Managementeinrichtungen unterstützt und durch Veranstaltungen miteinander vernetzt werden, um eine kritische Masse aus der Industrie für neue Standardisierungsaktivitäten mit nachhaltiger Wirkung zu erreichen und so wirtschaftliche Vorteile zu erzielen und Interessen zu wahren. [67].

## 8. Zukunftsausblick

Datenbrillen werden in der Zukunft definitiv eine große Rolle spielen. Vereinzelt prognostizieren, dass Datenbrillen in den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren Smartphones verdrängen oder sogar ersetzen könnten und somit einen kritischen Durchbruch der Technologie im Massenmarkt erzielen [35, 68, 69, 70]. Die gesellschaftliche Akzeptanz von Datenbrillen entwickelt sich grundsätzlich positiv, abgesehen von vereinzelt Rückschlägen [65]. Die notwendigen Technologien werden aktuell schnell weiterentwickelt. Es ist damit zu rechnen, dass die o.a. technischen Einschränkungen abgeschafft oder zumindest abgemildert werden. Neue Technologien kommen hinzu, die die Erwartung wecken, dass die Ergonomie und die Funktionalität von Datenbrillen weiter ansteigen werden. Zu den vielversprechenden Technologien zählen aktuell:

### 8.1 Retinal-Displays

Virtual Retinal Displays (VRDs) haben kein Display mehr, das der Betrachter ansehen muss, sondern sie projizieren ein Bild direkt auf die Netzhaut, ohne dass andere Nutzer diese wahrnehmen können. Sie eliminieren das Problem der feststehenden Fokalebene und sind auch für Personen mit Seheinschränkungen (etwa Brillenträger) geeignet. Die Fortschritte in der LED-Technik der vergangenen Jahre führten zu einer deutlich gesteigerten Bildqualität und Farbdarstellung bei VRDs.

Intel entwickelte bis 2018 eine solche AR-Brille mit dem Codenamen „Vaunt“. Aufgrund der mangelnden Marktdynamik und fehlenden Partnern aus anderen Industriezweigen wurde das Projekt eingestellt. Zudem löste Samsung Intel als größten Halbleiterhersteller der Welt ab und auch Apple scheint sich seine Chips von anderen Konkurrenten beschaffen zu wollen [71].

Das Anfang 2020 präsentierte 10 Gramm leichte Displaymodul „Bosch Light Drive“ scheint hier die aktuell vielversprechendste Lösung zu bieten. Dieses ergänzt handelsübliche Brillen mit Korrekturgläsern um ein kleines trennscharfes und transparentes 2D-Display mit einer 14-stündigen Akkulaufzeit.

Das kann präzise an die Brille angepasst werden [72] und soll schon 2021 für Massenhersteller unter der Teilnummer BML500P verfügbar sein.

## 8.2 Lichtfeld-Displays

Die Lichtfeldtechnologie erfasst und speichert zu jedem Bildpunkt auch die Einfallsrichtung des Lichts. Dadurch wird es möglich, ein Bild ohne festgelegte Fokalebene zu erfassen und auszugeben. Die Fokalebene wird erst beim Betrachten festgelegt. Aktuell gibt es noch keine Datenbrillen mit dieser vielversprechenden Technologie, da sie einen enormen Rechenaufwand verursacht und so zu starken Trade-Offs bezüglich der Bildqualität, des Sichtfelds und des Formfaktors führt und somit nicht eingesetzt werden kann [73, 74].

## 8.3 3D-Tiefenbildsensoren

Tiefenbildsensoren sind Kameras, die zu jedem Bildpunkt auch den Entfernungswert erfassen. Sie arbeiten im Kurzdistanzbereich (Reichweite: einige Meter) und sind mittels einer entsprechenden Auswertesoftware dazu in der Lage, Gegenstände geometrisch zu digitalisieren. 3D-Tiefenbildsensoren lassen sich somit für die 3D-Erfassung (z.B. zur Qualitätssicherung oder für das Projekt-Controlling), zur Gestensteuerung (Erfassung der Hände und Finger) oder für die Verdeckungsrechnung für Augmented Reality einsetzen. Die HL2 ermöglicht durch die Verbesserung des Tiefenbildsensors ein präzises Hand-Tracking. Weitere Verbesserungen dieser Technologie können eine präzisere Auswertung der Umgebung, des Bodytracking und der Abgleiche mit digitalen Mustermodellen ermöglichen und den Einsatzbereich von AR-Brillen vergrößern.

## 8.4 LiDAR-Scanner (Light Detection and Ranging)

Apple hat in dem iPad Pro 2020 einen neuartigen LiDAR-Scanner verbaut, der in kurzer Zeit eine Folge von Laserimpulsen auf unterschiedliche Teile einer Szene abfeuert. Dadurch wird die Reichweite gegenüber herkömmlicher Time-of-Flight-Sensoren, die in Smartphones verbaut sind, auf bis zu 5 m erhöht und eine verbesserte Objekt-Okklusion ermöglicht. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Rechenleistung ist die aktuelle Präzision des LiDAR-Scanners noch stark ausbaufähig [75]. Die Technologie bietet aufgrund der beiden Vorteile viel Potenzial für den Einsatz in Datenbrillen.

## 8.5 Foveated Rendering und Eyetracking

Foveated Rendering ist eine Technik, die auf den Displaymittelpunkt fixiert oder dynamisch durch Eyetracking-Systeme durch die Blickrichtung den fovealen Bereich des Auges bestimmt und den Rendering-Aufwand reduziert, indem die Bildqualität im peripheren Bereich stark verringert wird. Das Auge sieht nur im fovealen Bereich scharf, der einen Sehwinkel von ca. 2° beträgt. Durch die freigesetzte Rechenleistung können aufwändige AR-Visualisierungen qualitativer dargestellt, das Sichtfeld vergrößert, der Formfaktor verkleinert und der Energiebedarf reduziert werden. Der Grafikkartenhersteller Nvidia hat bereits einen Display-Prototypen mit dieser Technologie erstellt [76]. Die Unternehmen Kura Technologies und Apple arbeiten an der Fertigstellung einer AR-Brille mit dieser vielversprechenden Technologie [77, 78].

## 9. Erwartungen an die Politik

Um die Integration von Datenbrillen in die vorhandenen Unternehmensstrukturen zu vereinfachen sowie zu beschleunigen und den größtmöglichen wirtschaftlichen Nutzen aus dieser innovativen Technologie zu ziehen, bestehen Erwartungen an die Politik in folgenden Bereichen:

### 9.1 Infrastruktur

Das deutsche Mobilnetz gehört im internationalen Vergleich bezüglich der Verfügbarkeit von 4G (75 %) als auch der Datenrate (4,9 Mbit/s) [51] als auch beim Breitbandausbau durch Glasfaser (4,1 %) zu den internationalen Schlusslichtern [53]. Auch der flächendeckende Ausbau des neuen Mobilfunkstandards 5G geht in Deutschland nur langsam voran. Gründe hierfür sind langwierige Genehmigungsprozesse für den Bau von Funkmasten [52], hohe Ausgaben der Netzbetreiber für die Frequenzversteigerung und die notwendige Anbindung dieser an Glasfaseranschlüsse, so dass sich der Ausbau bis 2025 noch hinziehen wird [54]. Sowohl der Breitband- und Mobilfunkausbau als auch der Ausbau des neuen Mobilfunkstandards 5G sollte stark vorangetrieben werden, um einen flächendeckenden Einsatz von Datenbrillen im Service-Bereich zu ermöglichen.

### 9.2 Datenschutz und Sicherheit

Das Gutachten, das die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen des Smart Service Welt-Projekts Glass@Service 2018 bezüglich der Anforderungen an Datenschutz bei adaptiven Datenprozessen hat anfertigen lassen, ist eine große Hilfe für die Unternehmenswelt bei der Integration von Datenbrillen. Dieser Prozess könnte zudem durch eine Vereinfachung der DSGVO erleichtert werden. Weiterhin würde dieser Prozess durch eine Forcierung der Digitalisierung beschleunigt werden.

### 9.3 Standards

Das Deutsche Institut für Normung DIN veranstaltete bis jetzt Experten-Workshops zu diesem Thema und Ende 2020 wird die Gründungssitzung des Arbeitsausschusses zum Thema Datenbrillen stattfinden. Da ein hoher gesamtwirtschaftlicher Nutzen durch Normungsprozesse besteht [79], sollten sowohl die Ergebnisse dieses Arbeitskreises und die bisher erarbeitete Ergebnisse von der Politik aufgegriffen und etabliert werden als auch weitere Initiativen in diesem Bereich unterstützt werden.

### 9.4 Hygiene

Vor dem Hintergrund der aktuellen COVID 19-Pandemie wächst die Bedeutung von Datenbrillen. Experten können durch Ferndiagnose und Fernzugriff bei Problemen im Service-Bereich effektiver hinzugezogen werden, so dass physische Kontakte reduziert werden. So können auch trotz der dynamischen Reisebeschränkungen und Einreisestopps Projekte fortgeführt und Dienstleistungen weiterhin angeboten werden. Ärzte können ebenfalls COVID-19-Patienten per Fernzugriff und Diagnose auf sichere Weise beraten.

## 10. Erwartungen an die Industrie

Datenbrillen bergen als innovative Zukunftstechnologie ein großes Potenzial für wirtschaftliches Wachstum. Wenn die genannten rechtlichen, sozialen und technologischen Barrieren überwunden werden, ergeben sich enorme Vorteile durch eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten im industriellen Kontext. Dieser Prozess wird durch die zunehmende Bedeutung von Datenbrillen und damit verbundenen Technologien wie AR, AR Cloud, 5G und maschinellem Lernen in der Industrie und der rasanten technologischen Entwicklung begünstigt. Industrielle Akteure sollten diesen Prozess durch aktive Mitwirkung und Investitionen beschleunigen, um die Digitalisierung voranzutreiben sowie enorme Wettbewerbsvorteile zu sichern.

## 11. Abkürzungen

3D	dreidimensional
AR	Augmented Reality (dt. Erweiterte Realität): Überlagerung der natürlichen Sicht mit Computer-generierten Informationen
ATEX	ATmosphère Explosible
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DOF	Freiheitsgrade (Degrees of Freedom)
Fps	Bilder pro Sekunde (Frames per Second)
GSM	Global System for Mobile Communications; globaler Mobilfunkstandard
GPS	Global Positioning System; Satelliten-gestütztes System zur globalen Positionsbestimmung
GG2	Google Glass Enterprise Edition 2
HMD	Head-Mounted Display (dt. Datenhelm)
HL2	Hololens 2
LED	Light Emitting Diode (dt. Leuchtdiode)
MR	Mixed Reality
MP	Megapixel
OLED	organische Leuchtdiode
RWH1	RealWear HMT-1
TOF	Time of Flight
VR	Virtual Reality (dt. Virtuelle Realität): interaktive Integration eines Benutzers in eine Computer-generierte 3D-Umgebung
VRD	Virtual Retinal Display (dt. Retinaldisplay); Netzhautprojektion
WIFI	Wireless Fidelity; Synonym für WLAN
WLAN	Wireless Local Area Network (dt. drahtloses lokales Netzwerk)
VM400	Vuzix M400
5G	Mobilfunkstandard der fünften Generation

## 12. Literaturverzeichnis

- [1] Erfahrungsaustausch Datenbrille, „Datenbrillen: eine Positionsbestimmung,“ Virtual Dimension Center Fellbach, Fellbach, 2016.
- [2] WearIT@Work, „Changing the way of working,“ 31 Januar 2016. [Online]. Available: <http://www.wearitatwork.com>.
- [3] SiWear, „Sichere Wearables-Systeme zur Kommissionierung industrieller Güter sowie für die Diagonose, Wartung und Reperatur,“ 31 Januar 2016. [Online]. Available: <http://www.siwear.de>.
- [4] J. Kothari, „Glass Enterprise Edition 2 now available for developers,“ 4 Februar 2020. [Online]. Available: [https://developers.googleblog.com/2020/02/glass-enterprise-edition-2-now.html?utm\\_source=feedburner&&utm\\_medium=feed&&utm\\_campaign=Feed%3A+GDBcode+%28Google+Developers+Blog%29](https://developers.googleblog.com/2020/02/glass-enterprise-edition-2-now.html?utm_source=feedburner&&utm_medium=feed&&utm_campaign=Feed%3A+GDBcode+%28Google+Developers+Blog%29).
- [5] C. Runde, „Whitepaper Datenbrillen,“ VDC Fellbach, Fellbach, 2015.
- [6] A. H. R. F. D. e. a. Holz, „Datenbrillen am Arbeitsplatz,“ *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00394-7>, 2 April 2020.
- [7] S. Weinzierl, „instandhaltung.de,“ 8 April 2019. [Online]. Available: <https://www.instandhaltung.de/organisation/so-nutzt-der-instandhalter-datenbrillen-und-tablets-111.html>.
- [8] K. B. Lampe F., „Die Einsatzfelder von AR und Datenbrillen Im Automobilssektor,“ 30 August 2019. [Online]. Available: <https://www.next-mobility.de/die-einsatzfelder-von-ar-und-datenbrillen-im-automobilssektor-a-859915/>.
- [9] DIGITAL BUSINESS CLOUD, „Augmented Reality: 2030 arbeiten in Deutschland 400.000 Menschen mit AR-Technologien,“ Dezember 2019. [Online]. Available: <https://www.digitalbusiness-cloud.de/augmented-reality-2030-arbeiten-in-deutschland-400-000-menschen-mit-ar-technologien/>.
- [10] BIS Research, „Global Augmented Reality and Mixed Reality Market, Analysis & Forecast (2018-2025),“ 2018. [Online]. Available: <https://bisresearch.com/industry-report/global-augmented-reality-mixed-reality-market-2025.html>.
- [11] VynZ Reasearch, „Global Augmented Reality and Virtual Reality Market – Analysis and Forecast (2015 – 2025),“ Mai 2020. [Online]. Available: <https://www.vynzresearch.com/ict-media/augmented-reality-and-virtual-reality-market>.
- [12] I. D. C. Tom Mainelli, „How Augmented Reality Drives Real-World Gains in Services, Training, Sales and Marketing, and Manufacturing,“ Mai 2018. [Online]. Available: <https://www.ptc.com/en/resources/augmented-reality/report/how-augmented-reality-drives-real-world-gains>.
- [13] MarketsandMarkets, „AUGMENTED REALITY MARKET GLOBAL FORECAST TO 2023,“ Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/augmented-reality-market-1143>.
- [14] V. L. J. H. C. M. N. R. Zia Yusuf, „Unleashing the Power of Data with IoT and Augmented Reality,“ März 2020. [Online]. Available: <https://www.bcg.com/publications/2020/unleashing-the-power-of-data-with-iot-and-augmented-reality>.
- [15] D. Takahashi, „AR companies have grown 50% since the end of 2017,“ 12 July 2018. [Online]. Available: <https://venturebeat.com/2018/07/12/ar-companies-have-grown-50-since-the-end-of-2017/>.

- [16] B. H. R.-W. Leitte, *Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) im industriellen Umfeld*, 2018.
- [17] Virtual Dimension Center Fellbach, „Mitschriebe des Erfahrungsaustausches Datenbrille,“ Fellbach, 2016-2020.
- [18] Capgemini Research Institute, „Augmented and Virtual Reality in Operations,“ September 2018. [Online]. Available: <https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2018/09/AR-and-VR-in-Operations-Report.pdf>.
- [19] D. Jönsson, „State-of-the-art in holography and auto-stereoscopic displays,“ 13 Mai 2019. [Online]. Available: <https://www.visualsweden.se/wp-content/uploads/Holography-Visual-Sweden.pdf>.
- [20] A. Hadwick, „XR Industry Insight Report 2019-2020,“ in *Medieninnovationen AR und VR.*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2020, pp. 1-10.
- [21] Atheer, „Making AR Real - A maturity model strategy for maximum enterprise ROI,“ 17 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://content.atheerair.com/armmwp>.
- [22] Artec 3D, „Artec 3D Survey Reveals Consumer Views on Augmented and Virtual Reality in Retail,“ 18 Dezember 2018. [Online]. Available: <https://www.artec3d.com/news/artec-survey-reveals-views-on-vr>.
- [23] BCC Research, „Global Markets and Technologies for Smart Glass,“ Juni 2018. [Online]. Available: <https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/global-markets-and-technologies-for-smart-glass.html>.
- [24] Grand View Research, „Smart Glass Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (SPD, PDLC, Liquid Crystal, Electrochromic), By Application (Consumer Electronics, Architectural, Transportation), And Segment Forecasts, 2019 - 2025,“ Jun 2019. [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-glass-market>.
- [25] S. M. Kiran Pulidindi, „Global Smart Glass Market Size by Technology [Active (Electrochromic, SPD, PDLC), [Passive (Photochromic, Thermochromic)], By Application (Construction, Transportation, Electronics), Industry Analysis Report, Growth Potential, Price Trends, Competitive Ma,“ Dezember 2019. [Online]. Available: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/smart-glass-market>.
- [26] Market Research Future, „Global Smart Glass Market Research Report,“ October 2019. [Online]. Available: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/smart-glass-market-1830>.
- [27] J. Roettgers, „Inside the collapse of Daqri's \$300M bet on AR,“ 24 Februar 2020. [Online]. Available: <https://www.protocol.com/daqri-snap-ar-failure>.
- [28] E. Hammond und S. Frier, „Augmented-Reality Startup Magic Leap to Explore a Sale,“ 11 März 2020. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-11/augmented-reality-startup-magic-leap-is-said-to-explore-a-sale>.
- [29] world-of-photonics.com, „„Mixed-Reality creates new working environments“,“ Juni 2019. [Online]. Available: <https://world-of-photonics.com/en/newsroom/photonics-industry-portal/photonics-interview/bernard-c-kress/>.
- [30] S. Ochanji, „The Magic Leap Enterprise Suite: AR Glasses Now Available in a B2B Package,“ 11 Dezember 2019. [Online]. Available: <https://2019/12/11/the-magic-leap-enterprise-suite-ar-glasses-now-available-in-a-b2b-package/>.
- [31] M. Plutz, „Augmented-Reality-Headsets für digitale Geschäftsmodelle,“ *Future Manufacturing*, November 2019.
- [32] S. Rodriguez, „Facebook working on smart glasses with Ray-Ban, code-named 'Orion',“ 17 September 2019. [Online]. Available: <https://www.cnbc.com/2019/09/17/facebook-enlists-ray-ban-maker-luxottica-to-make-orion-ar-glasses.html>.



- [33] Plessey micro LEDs, „microLED display developer to work with Facebook,“ 30 März 2020. [Online]. Available: <http://plesseysemiconductors.com/microled-display-developer-to-work-with-facebook/>.
- [34] S. Stuart, „This Augmented Reality Platform Is Smarter Than Pokemon Go,“ 13 August 2019. [Online]. Available: <https://uk.pcmag.com/pokemon-go-for-iphone/122352/this-augmented-reality-platform-is-smarter-than-pokemon-go>.
- [35] A. Heath, „Facebook’s Chief Scientist: Mass Adoption of AR Is Years Away,“ 2 Januar 2020. [Online]. Available: <https://www.theinformation.com/articles/facebooks-chief-scientist-mass-adoption-of-ar-is-years-away>.
- [36] L. Eadicicco, „Tim Cook keeps talking about why this one technology will ‚pervade‘ our lives in the future,“ 29 Januar 2020. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.de/international/apple-q1-earnings-call-tim-cook-augmented-reality-ar-2020-1/?r=US&IR=T>.
- [37] M. Gurman, „Apple Plans Standalone AR and VR Gaming Headset by 2022 and Glasses Later,“ 11 November 2019. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-11-11/apple-s-ar-push-will-start-with-ipad-and-culminate-with-glasses>.
- [38] B. Heater, „Samsung hints at AR ambitions, shows off prototype glasses,“ 7 Januar 2020. [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2020/01/06/samsung-hints-at-ar-ambitions-shows-off-prototype-glasses/?guccounter=1>.
- [39] J. Porter, „Samsung patent application reveals augmented reality headset design,“ 22 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2019/10/22/20926528/samsung-augmented-reality-headset-patent-application>.
- [40] A. Artashyan, „Huawei Enters AR / VR Field Like Apple, Google, and Microsoft,“ 19 August 2019. [Online]. Available: <https://www.gizchina.com/2019/08/19/huawei-ar-vr-products-expected-to-debut-at-ifa-2019/>.
- [41] Sony, „Reshaping the experience: Technology as entertainment,“ 28 Februar 2020. [Online]. Available: <https://www.sony.net/SonyInfo/design/stories/ghostbusters/>.
- [42] H. Mukawa, „Latency Compensation for Optical See-Through AR Headsets (Conference Presentation),“ 2 April 2020. [Online]. Available: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11310/113101W/Latency-Compensation-for-Optical-See-Through-AR-Headsets-Conference-Presentation/10.1117/12.2566409.full?SSO=1&tab=ArticleLink>.
- [43] K. Panetta, „The Gartner Hype Cycle highlights the 29 emerging technologies CIOs should experiment with over the next year.,“ 29 August 2019. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/>.
- [44] K. Panetta, „Widespread artificial intelligence, biohacking, new platforms and immersive experiences dominate this year’s Gartner Hype Cycle.,“ 16 August 2018. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>.
- [45] S. O’Hear, „Facebook has acquired Scape Technologies, the London-based computer vision startup,“ 8 Februar 2020. [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2020/02/08/scapebook/?guccounter=1>.
- [46] The Verge, „Samsung-Patent schlägt Video-Chat mit AR Emoji,“ 24 April 2018. [Online]. Available: <https://pressfrom.info/de/nachrichten/finanzen/-217819-samsung-patent-schlagt-video-chat-mit-ar-emoji.html>.

- [47] S. Bisson, „infoworld.com,“ 3 April 2020. [Online]. Available: <https://www.infoworld.com/article/3540770/getting-started-with-azure-remote-rendering.html>.
- [48] „Performance of Augmented Reality Remote Rendering,“ Gesellschaft für Informatik e.V. 2020 in B. Weyers, C. Lürig, D. Zielasko (Hrsg.): GI VR / AR Workshop 2020, 24. - 25, September 2020,, Trier, 2020.
- [49] Gartner, „gartner.com,“ 28 Juli 2020. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/gartner-says-worldwide-5g-network-infrastructure-spending-to-almost-double-in-2020>.
- [50] E. McGregor, „Vuzix M400 Smart Glasses Hands-Free AR Retail Solution Showcased by Verizon at NRF 2020,“ 13 1 2020. [Online]. Available: <https://ir.vuzix.com/press-releases/detail/1742/vuzix-m400-smart-glasses-hands-free-ar-retail-solution>.
- [51] WELT, „Deutsches Netz schlechter als das in Albanien,“ 27 Dezember 2018. [Online]. Available: <https://www.welt.de/politik/deutschland/article186160422/Mobilfunk-Studie-Deutsches-Netz-schlechter-als-das-in-Albanien.html>.
- [52] J. Schreier, „Deutschland: Voraussetzungen für den 5G-Ausbau besser als erwartet,“ 19 November 2019. [Online]. Available: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/deutschland-voraussetzungen-fuer-den-5g-ausbau-besser-als-erwartet-a-881690/>.
- [53] F. Tenzer, „Anteil von Glasfaseranschlüssen an allen stationären Breitbandanschlüssen in den Ländern der OECD im Dezember 2019,“ 23 07 2020. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/415799/umfrage/anteil-von-glasfaseranschluesen-an-allen-breitbandanschluesen-in-oecd-staaten/>.
- [54] Deutsche Presse Agentur, „5G-Netzausbau in Deutschland geht jetzt richtig los — ein Jahr nach der Frequenzversteigerung an Vodafone, Telekom und Co.,“ 5 Juni 2020. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.de/tech/so-steht-es-um-den-5g-netzausbau-in-deutschland-ein-jahr-nachdem-die-frequenzen-an-vodafone-telekom-und-co-versteigert-wurden/>.
- [55] Telekom, „<https://www.5g-anbieter.info/5g-vorteile.html>,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.telekom.com/de/konzern/details/was-ist-5g-grundwissen-zum-netz-der-zukunft-542352>.
- [56] J. Fruehe, „computerweekly.com,“ 14 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.computerweekly.com/de/antwort/Welche-Funktionen-und-Vorteile-bietet-5G-fuer-Unternehmen>.
- [57] U. H. A. H. R. H. C. T. V. H. J. W. K. C. A. R. E. B. G. C. S. M. W. D. Friemert, „Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Literaturrecherche: Auswirkungen von Datenbrillen auf Arbeitssicherheit und Gesundheit(ADAG),“ 2019.
- [58] A. Wild, „produktion.de,“ 4 Juli 2019. [Online]. Available: <https://www.produktion.de/trends-innovationen/wie-augmented-reality-bereit-fuer-den-produktionsalltag-wird-308.html>.
- [59] H. Lemme, „Datenbrillen nach Maß,“ 25 Mai 2018. [Online]. Available: <https://www.elektroniknet.de/elektronik/optoelektronik/datenbrillen-nach-mass-153939.html>.
- [60] C. Runde, „Datenbrillen: eine Positionsbestimmung,“ in *Informationsaustausches Datenbrille*, Fellbach, 2016.
- [61] D. Poll, „produktion.de,“ 17 Juni 2019. [Online]. Available: <https://www.produktion.de/trends-innovationen/wie-intralogistiker-datenbrillen-optimal-nutzen-koennen-315.html>.

- [62] N. K. S. V. K. P. N. M. Kumar, „Wearable Smart Glass: Features, Applications, Current Progress and Challenges,“ in *Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Bangalore, India, 2018, pp. 577-582, doi: 10.1109/ICGCIoT.2018.8753047., 2018.
- [63] R. Eggebrecht, „smartservicewelt-blog.de,“ Februar 2020. [Online]. Available: <https://www.smartservicewelt-blog.de/2020/01/20/datenbrillen-im-unternehmen-was-ist-erlaubt/>.
- [64] B. f. A. u. Arbeitsmedizin, „Rechtliche Anforderungen an den Datenschutz bei adaptiven Arbeitsassistenzsystemen,“ Dortmund/Berlin/Dresden, 2018.
- [65] Wearvision, „Google Glass Datenschutz Diskussion,“ 2014. [Online]. Available: <https://www.wearvision.de/googleglass/google-glass-datenschutz/>.
- [66] J. M. z. Altenschildesche, „Tüv testet Virtual Reality,“ 17 April 2018. [Online]. Available: <https://www.it-zoom.de/dv-dialog/e/tuev-testet-virtual-reality-19591/>.
- [67] C. Runde, „Workshop „Virtual-Reality- und Augmented-Reality-Standards“,“ Virtual Dimension Center (VDC), Fellbach, 2019.
- [68] L. Breit, „Könnten Datenbrillen das Smartphone ersetzen?,“ 9 Februar 2019. [Online]. Available: <https://www.derstandard.de/story/2000097685508/koennten-datenbrillen-das-smartphone-ersetzen>.
- [69] D. A.-L. G. Soeren Steudel, „AR-Brillen könnten in zehn bis 15 Jahren Smartphones ersetzen,“ 14 Januar 2020. [Online]. Available: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/ar-brillen-koennten-in-zehn-bis-15-jahren-smartphones-ersetzen-a-896122/>.
- [70] A. H. N. W. Wayne Ma, „Apple Eyes 2022 Release for AR Headset, 2023 for Glasses,“ 11 November 2019. [Online]. Available: <https://www.theinformation.com/articles/apple-eyes-2022-release-for-ar-headset-2023-for-glasses>.
- [71] WIRED, „Intel entwickelt seine Datenbrille nicht weiter,“ 19 April 2018. [Online]. Available: <https://www.gq-magazin.de/auto-technik/article/intel-stellt-sein-projekt-fuer-eine-datenbrille-ein>.
- [72] Bosch, „Smartglasses Light Drive: BML500P,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/optical-microsystems/smartglasses-light-drive/>.
- [73] B. Lang, „Founded by CERN Engineers, CREAL3D’s Light-field Display is the Real Deal,“ 16 Januar 2019. [Online]. Available: <https://www.roadtovr.com/creal3d-light-field-display-ar-vr-ces-2019/>.
- [74] H. L. a. H. C. M. Park, „Augmented Reality Lightfield Display for a Smart Window Using an Active Pinhole Array,“ *IEEE Access Volume 7*, pp. 171974 - 171979, 28 November 2019.
- [75] M. W. Ralf Renner, „Was ist eigentlich ein LiDAR-Scanner, der angeblich das große Kameraupdate des iPhone 12 sein soll?,“ 6 Juli 2020. [Online]. Available: <https://global.techradar.com/de-de/news/was-ist-eigentlich-ein-lidar-scanner-der-angeblich-das-grosse-kamera-upgrade-des-iphone-12-sein-soll>.
- [76] Y. J. M. S. K. A. R. A. B. B. T. G. J. K. W. L. Z. M. P. S. J. S. M. M. D. L. Jonghyun Kim, „Foveated AR: Dynamically-Foveated Augmented Reality Display,“ *SIGGRAPH 2019 Technical Paper*, 28 Julie 2019.
- [77] UPLOADVR, „Hands-On With Kura’s Breakthrough Wide Field Of View AR Technology,“ 11 September 2019. [Online]. Available: <https://uploadvr.com/hands-on-kura-wide-fov-lightweight-ar/>.
- [78] J. Purcher, „Apple Wins a Patent for a High-End Predictive, Foveated Mixed Reality HMD,“ 11 August 2020. [Online]. Available: <https://www.patentlyapple.com/patently-apple/2020/08/apple-wins-a-patent-for-a-high-end-predictive-foveated-mixed-reality-hmd.html>.

- [79] P. D. A. J. D. A. M. Prof. Dr. Knut Blind, „Nutzen für die Wirtschaft,“ DIN Deutsches Institut für Normung e. v, Berlin, 2019.
- [80] Kenneth Research, „Augmented Reality and Virtual Reality Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2018 – 2025,“ 29 Mai 2020. [Online]. Available: <https://www.kennethresearch.com/report-details/augmented-virtual-reality-market/10078896>.
- [81] Valuates Reports, „Augmented Reality (AR) Market Size is Projected to Reach USD 3664.5 Million by 2026 - Valuates Reports,“ Juli 2020. [Online]. Available: [https://reports.valuates.com/request/sample/QYRE-Othe-1P227/augmented\\_reality\\_market](https://reports.valuates.com/request/sample/QYRE-Othe-1P227/augmented_reality_market).
- [82] Research and Markets, „Military Augmented Reality Market to 2025 - Global Analysis and Forecasts by Components, Product Type & Functions,“ Februar 2018. [Online]. Available: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4471794/military-augmented-reality-market-to-2025>.
- [83] Grand View R, „Smart Glass Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (SPD, PDLC, Liquid Crystal, Electrochromic), By Application (Consumer Electronics, Architectural, Transportation), And Segment Forecasts, 2019 - 2025,“ [Online].
- [84] funkefuture1, „funkefuture.com,“ 11 Dezember 2019. [Online]. Available: <https://funkefuture.com/datenbrillientest-4-4-whitepaper-zu-den-testergebnis-der-m400-von-vuzix/>.
- [85] Entec, „entec.ch,“ 14 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.entec.ch/blog/microsoft-hololens-2-das-kann-die-neue-mixed-reality-brille>.
- [86] E. Fox, „forbes.com,“ 17 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/10/17/navigating-the-5g-hype-cycle/>.
- [87] Gartner, „gartner.com,“ 22 August 2019. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-22-gartner-forecasts-worldwide-5g-network-infrastructure>.
- [88] PWC, „Seeing is believing. How VR and AR will transform business and the economy,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/publications/economic-impact-of-vr-ar.html>.
- [89] T. Bezmalinovic, „AR-Schiffbruch: Wie es zu Daqris Megapleite kam,“ 25 Februar 2020. [Online]. Available: <https://mixed.de/ar-schiffbruch-wie-es-zu-daqris-megapleite-kam/>.
- [90] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Gut vernetzt. Weitere Entwicklungen, Ergebnisse und Erfahrungen aus der Smart Service Welt I.,“ Berlin, 2019.

## 13. Impressum

Verantwortlich für die Inhalte dieser Publikation ist das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach. Die Inhalte wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte kann jedoch keinerlei Gewähr übernommen werden. Die Inhalte unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Erstellers.

### Verantwortlich für den Inhalt:

Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach  
Kompetenzzentrum für Virtuelle Realität und kooperatives Engineering w.V.  
Sebastian Mareck  
Prof. Dr. Christoph Runde  
Auberlenstr. 13  
70736 Fellbach  
URL: [www.vdc-fellbach.de](http://www.vdc-fellbach.de)

### Kontakt:

Tel.: +49(0)711 58 53 09-0  
Fax : +49(0)711 58 53 09-19  
Email: [info@vdc-fellbach.de](mailto:info@vdc-fellbach.de)

## 14. Förderhinweis

Die vorgestellten Arbeiten entstanden im Rahmen des Projekts "*Applikationszentrum V/AR*", welches durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert wird.



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU