

# Augmented Reality in der Industrie - Chancen und Herausforderungen

DI Dr. Clemens Arth<sup>1\*</sup>

## Zusammenfassung

Die technologischen Anfänge von Augmented Reality reichen zurück bis in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts, als Ivan Sutherland das Konzept einer tragbaren Datenbrille erstmalig veröffentlichte. Auf Grund der fehlenden technischen Möglichkeiten dauerte es weitere 20 Jahre, bis sich in den 90er Jahren der Bereich um AR im Windschatten des allgemeinen Trends zur digitalen Bildverarbeitung als echtes Forschungsgebiet etablieren konnte. Tatsächlich hat aber erst die Entwicklung neuer Gerätschaften vor etwa 10 Jahren eine plausible Anwendung von AR in einem breiteren Umfeld möglich gemacht. Wie aber steht es nun um den Einsatz von AR im praktischen industriellen Anwendungsgebiet heutzutage, nachdem uns die technischen Möglichkeiten seit 10 Jahren zur Verfügung stehen?

In diesem Artikel beschreiben wir einen Teil des Spektrums, AR in der heutigen Zeit praktisch für die Industrie zu nutzen. Dabei beschreiben wir zuerst die praktikabelsten mobilen Gerätschaften und deren Vor- und Nachteile. Anhand einzelner ausgewählter Fallbeispiele diskutieren wir die dahinterliegenden Motive sowie die Ansätze, welche zur Problemlösung verfolgt werden. Schließlich nehmen wir Bezug auf die technischen sowie gesellschaftlichen Herausforderungen, vor die uns der Einsatz von AR im Feld in der Praxis zur Zeit stellt und auch in naher Zukunft stellen wird.

## Keywords

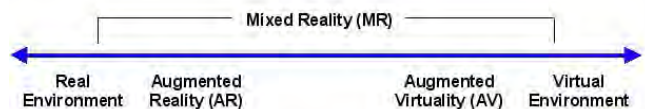
Augmented Reality — Infrastructure — Applications — Industry

<sup>1</sup> AR4 GmbH, Graz, Austria

\*Corresponding author: clemens@ar4.io

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Moderne AR Geräte</b>	<b>2</b>
2.1	Handheld Devices	2
2.2	Headworn Devices	3
2.3	Was für welchen Anwendungsfall?	3
<b>3</b>	<b>Anwendungsansätze von AR</b>	<b>4</b>
3.1	Wartung und Telepräsenz	4
3.2	Schulung und Ausbildung	5
3.3	Infrastruktur und Bauwesen	6
<b>4</b>	<b>Technische Herausforderungen</b>	<b>6</b>
4.1	Daten? Welche Daten?	7
4.2	Integration und Anwendungsentwicklung	7
<b>5</b>	<b>Gesellschaftliche Herausforderungen</b>	<b>8</b>
5.1	Interaktion	8
5.2	Datenschutz und Legalität	8
5.3	Bildung	8
<b>6</b>	<b>Conclusio</b>	<b>9</b>
	<b>Literatur</b>	<b>9</b>



**Abbildung 1.** Reality-Virtuality Kontinuum nach Milgram *et al.* [9]. Die reine Realität befindet sich auf der linken Seite, während die reine virtuelle Welt auf der rechten Seite zu finden ist. Der Bereich in der Mitte wird landläufig unter dem Oberbegriff MR zusammengefasst, wobei AR die am weitesten links angesiedelte, sowie VR die am weitesten rechts befindliche Technologieform darstellt.

## 1. Einleitung

Während Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Überbegriffe wie Mixed Reality (MR) und eXtended Reality (XR) einer breiten Öffentlichkeit nachwievor relativ unbekannt sind, haben diese Technologien doch schon eine mehrere Jahrzehnte lange Geschichte und einen sehr aktiven Forschungsbereich. Eine grundsätzliche Kategorisierung dieser Technologien kann anhand des sogenannten Milgram Kontinuums [9] erfolgen, welches gewissermaßen eine Einteilung basierend auf dem Anteil an virtuellen und realen Inhalten vornimmt (siehe Abb. 1). Auf der einen Seite des Kontinuums findet sich die reine reale Welt wieder, auf der anderen Seite

eine rein virtuelle Umgebung. Der dazwischenliegende Teil fasst alle in diesem Spektrum angesiedelten Technologieformen zusammen. AR behandelt dabei die direkte zeitliche und örtliche Verschmelzung virtueller Inhalte mit der Realität in der Wahrnehmung des Betrachters und ist damit die am weitesten links angesiedelte Technologie aus dem Oberbegriff von MR (im Gegensatz zu VR, welches als Technologie am weitesten rechts zu finden ist).

Natürlich wurden MR Technologien bereits vor langer Zeit auch von der Industrie für sich entdeckt. Speziell der Bereich um VR erreichte hier einen ersten Höhepunkt Anfang der 90er Jahre, als das erste kommerzielle VR System erhältlich wurde. Der Gründer der vermarktenden Firma VPL Research, Jaron Lanier, wurde deshalb 2010 vom Time Magazine zum Kreis der 100 einflussreichsten Personen gezählt [16]. Trotz des damals bereits erkennbaren Potenzials von MR Technologien, zum Beispiel für das Training von Astronauten oder Piloten, konnte sich die Technologie auf Grund der hohen Kosten nicht durchsetzen. Damit wurde das gesamte Thema für weitere Jahre in den Bereich der Forschung verbannt. Mit wenigen Ausnahmen wie zum Beispiel bei Boeing, welche seit 1994 bereits AR im Flugzeugbau erprobten, blieb die gesamte MR Entwicklung bis vor etwa 10 Jahren ein reines Forschungsthema. Erst die Einführung des ersten echten Smartphones durch Apple im Jahr 2007 [15] und die damit geschaffene Verfügbarkeit eines kabellosen Mini-Computers, ausreichender Rechenleistung gebündelt mit einer Kamera und einem Display im Hosentaschenformat, machten einen kosteneffizienten Einsatz von AR endlich möglich. Analog dazu wurde der VR Bereich 2012 durch die Entwicklung der ersten modernen VR Brille, der Oculus Rift, erschlossen [4]. Erst diese Entwicklungen markieren somit den Beginn des modernen Zeitalters im MR Bereich.

Über die letzten Jahre hinweg hat unter dem Druck der weltweiten Vernetzung und Digitalisierung, aber vor allem unter dem Aufhänger *Industrie 4.0*, das Interesse der Industrie speziell an AR Technologie stetig zugenommen<sup>1</sup>. Die Veröffentlichung des Spiels *Pokemon Go* im Jahr 2016 hat darüber hinaus wesentlich dazu beigetragen, zumindest das grundsätzliche Konzept von AR einer breiten Masse der Bevölkerung zugänglich zu machen, auch wenn dem AR-kundigen Fachmann eine klare Zuordnung als echte AR-Anwendung nach den Kriterien von Azuma schwer fällt [1]. Zum Einsatz von AR im industriellen Umfeld spielen unterschiedlichste Motive eine Rolle wie Kosten und Effizienz, aber etwa auch der Umweltschutz als Teil einer gewissen Umwegrentabilität. Ein Beispiel: *ein Unternehmen leistet technische Unterstützung durch den Einsatz eines Telepräsenz- und AR-Systems, um in einem weit entfernten Land einen Ingenieur vor Ort anzuleiten, an einer Maschine Installationsarbeiten durchzuführen - weniger Reisen, weniger Kosten, weniger Umweltbelastung*. Damit ergibt sich natürlich eine mögliche Verbesserung von

existierenden Prozessen auf mehreren Ebenen, wobei der ständige Mangel an entsprechendem Fachpersonal und der übliche Kostendruck als Motivationsgründe klar im Vordergrund stehen. Trotz der seit Jahren gegebenen technischen Machbarkeit und der offensichtlichen möglichen Vorteile sind konkrete Implementierungen von AR im heutigen täglichen industriellen Einsatz selten. Aber warum ist das so?

Im Rest dieses Artikels beschäftigen wir uns zunächst mit der Verfügbarkeit neuer Geräte und Technologien, die eine praktische Anwendung im Feld ermöglichen. Anhand einiger ausgewählter Beispiele diskutieren wir die Motivationsgründe, AR Technologien zu verwenden, und beschreiben mögliche Lösungsansätze für entsprechende Anwendungsfälle. Gleichermaßen beleuchten wir, warum der praktische Einsatz von AR in der Industrie eine gewisse Herausforderung darstellt, und erläutern kurz technische sowie gesellschaftliche Hürden, die sich beim oder gerade durch den Einsatz von AR in der Praxis ergeben. Zum Schluss fassen wir unsere Beobachtungen mit einer Gesamtbetrachtung des Themengebiets zusammen.

## 2. Moderne AR Geräte

Das Konzept von AR basiert auf drei wesentlichen Säulen: (i) der Echtzeit-Verarbeitung von Daten, (ii) der Fusion von virtuellen Inhalten mit der Welt, und (iii) einer sehr genauen Verortung im Verhältnis zur Umgebung [1]. Die ersten beiden Punkte sind durch neuartige Geräte gewährleistet, eine Lösung zu letzterem hängt aber davon ab, ob man im Innen- oder Außenbereich unterwegs ist. Zur genaueren Definition: wir müssen hier eine mathematische Gleichung lösen, welche es uns ermöglicht einen beliebigen 3D Punkt in der Welt einem 2D Punkt in unserem Visualisierungssystem, also beispielsweise einem Pixel auf dem Bildschirm, zuzuordnen zu können. Im Innenbereich, einer lokalen Umgebung, kann dieses Problem durch Entwicklungen der letzten Jahre heute als gelöst angesehen werden. Im Außenbereich allerdings, einer globalen Umgebung, gestaltet sich dies schwieriger. Dieses Szenario benötigt zusätzliche Sensorik und wurde deshalb in der Vergangenheit kommerziell nachrangig behandelt.

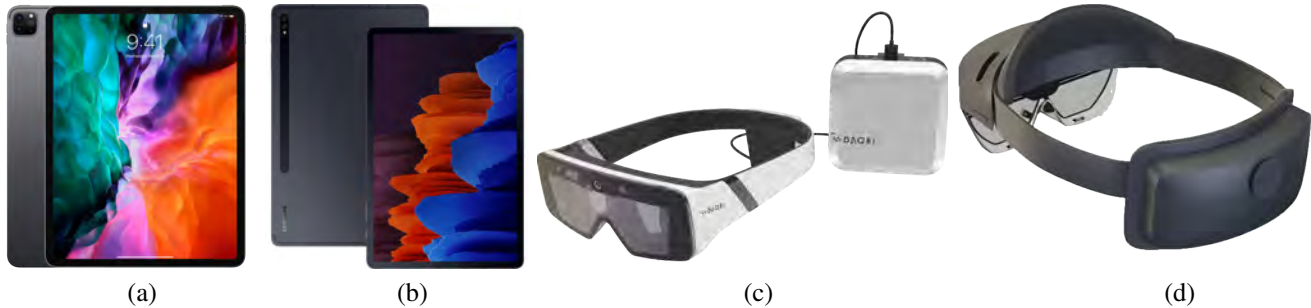
Für den praktischen Anwendungsfall von AR stehen im Grunde genommen zwei unterschiedliche mobile Geräteklassen zur Verfügung: (i) Handheld devices (also Smartphones und Tablets), bzw. (ii) Headworn devices (also Datenbrillen), die auch als head-mounted devices oder HMDs bezeichnet werden<sup>2</sup>. Beide Geräteklassen haben ihre klaren Vor- und Nachteile, dabei gibt es aber im Grunde keine großen Unterschiede in Bezug auf ihre Fähigkeiten, dem Anwender eine plausible AR-Experience zu bieten.

### 2.1 Handheld Devices

Smartphones und Tablets bilden die erste Gruppe von AR-fähigen Geräten. Ihr prinzipieller Einsatz hat sich in den letzten

<sup>1</sup>Im Rest dieses Artikels beziehen wir uns ausschließlich auf den Bereich von AR, und überlassen dem interessierten Leser ein genaues Studium der Einsatzmöglichkeiten anderer Technologien aus dem MR Portfolio.

<sup>2</sup>Hier beziehen wir uns explizit auf Brillen mit Raumbezug und binokularen Displays, im Gegensatz zu Geräten wie *Google Glass*, die gewissermaßen "ein Bildschirm vor dem Auge" sind ohne Bezug zur aktuellen Umgebung.



**Abbildung 2.** Unterschiedliche Geräteklassen für den Einsatz von AR. (a) Apple iPad Pro 12'' mit LIDAR sensor; (b) Samsung Tab S7 plus mit ToF Tiefenkamera; (c) DAQRI Smart Glasses; (d) Microsoft HoloLens 2. (Quellen der Bilder: [10, 17, 18])

Jahren generell in verschiedenen Bereichen der Industrie, aber auch im Privatleben etabliert. Als konkretes, aber relativ allein-stehendes Beispiel kann mit Bezug auf AR sicherlich der Ersatz von Audio-Guides in Museen genannt werden. Während AR früher für Gerätehersteller ein Randthema war, werden mittlerweile einzelne Gerätelinien speziell für den AR Einsatz gerüstet. Dazu zählt etwa das *Apple iPad Pro 2020*, welches bereits über LIDAR Sensoren verfügt (siehe Abb. 2 (a)), oder das *Samsung Tab S7 plus* und die Verwendung von Time-of-Flight (ToF) Sensoren in äquivalenten Android Geräten (siehe Abb. 2 (b))<sup>3</sup>.

Ein klarer Vorteil dieser Gerätegruppe ist die Verfügbarkeit und agile Weiterentwicklung. Gute Displays erlauben mittlerweile auch eine Verwendung in Umgebungen mit starker Beleuchtung oder im grellen Sonnenschein. Ein Großteil der für AR notwendigen Funktionalität findet sich bereits werksseitig in diesen Geräten wieder, was lediglich die Implementierung der jeweiligen App für den gegebenen Anwendungsfall nötig macht. Preislich findet man sich im Bereich von etwa 700-1.300 € wieder, was im industriellen Maßstab sicher erschwinglich ist. Darüber hinaus gibt es gehärtete Gehäuse, die diese Geräte vor Umwelteinflüssen in einem rauen Arbeitsumfeld in Werkshallen oder im Outdoor-Bereich schützen. Durch den Einsatz auch im Privatbereich liegen Grundkenntnisse zur Bedienung beim Personal in der Regel vor, was einen relativ geringen Einarbeitungs- und Einschulungsaufwand zur Folge hat.

## 2.2 Headworn Devices

Während schon das erste System von Sutherland 1968 eine Datenbrille war [14], sind echte AR Geräte erst seit der Einführung der ersten *HoloLens* von Microsoft 2016 verfügbar. Als Konkurrenz dazu, vor allem für den Industriesektor, wurden die *DAQRI Glasses* (siehe Abb. 2 (c)) und Datenbrillen von ODG angesehen. Leider sind nach dem Untergang beider Unternehmen 2019 diese Geräte nicht mehr verfügbar, womit ein entsprechender Nachfolger der *HoloLens*, die *HoloLens 2* (siehe Abb. 2 (d)) die nunmehr einzig verbliebene Option einer vollwertigen AR Datenbrille darstellt.

AR Datenbrillen haben einen großen Vorteil gegenüber handheld Geräten, da sie beide Hände des Benutzers für prak-

tische Arbeiten frei halten. Auch bieten diese mittlerweile einen adäquaten Tragekomfort. Umständlich gestaltet sich allerdings die Bedienung solcher Geräte durch z.B. Sprachsteuerung, was in lauten Industrieumgebungen, von der eingeschränkten Verfügbarkeit spezifischer Sprachen abgesehen, unpraktisch ist. Die manuelle Bedienung durch Gesten bedarf einer gewissen Übung und Schulung, auch sind diese Geräte nicht für die Verwendung durch mehrere Benutzer zugleich (z.B. im Schichtbetrieb) gedacht, da eine Weitergabe speziell auch in Zeiten von COVID-19 hygienisch fragwürdig erscheint. Die Laufzeiten der Batterien sind mit 2-3 Stunden im Dauerbetrieb überschaubar, gleichsam wurden diese Geräte nicht für den Industrieinsatz entworfen und sind daher nicht wirklich robust gegenüber äußeren Umwelteinflüssen - was man von Geräten im Preisbereich jenseits von 4.000 € schon erwarten könnte. Auch können diese Brillen nicht oder nur sehr eingeschränkt in hellen Umgebungen oder im Außenbereich verwendet werden, was in der verwendeten Displaytechnologie begründet liegt. Unabhängig davon ist die Qualität der AR-Experience aber durchaus eindrucksvoll und erlaubt eine Menge verschiedener Anwendungsfälle im Marketing- und Designbereich.

## 2.3 Was für welchen Anwendungsfall?

Mit dieser Analyse der Optionen stellt sich nun die Frage: *Welches Gerät sollte man verwenden?* In den obigen Ausführungen haben wir einige technische Details unter den Tisch fallen lassen, andere Aspekte werden in den Abschnitten 4 und 5 betrachtet. Zumeist reduziert sich die Diskussion aber darauf,

1. ob sich der Anwendungsfall im Innen- oder Außenbereich befindet, und
2. ob das Verfügen über beide freien Hände für manuelle Arbeiten ein Muß für den Anwendungsfall ist.

Generell kann beim heutigen Stand der Technik gesagt werden, dass im Innenbereich beide Geräteklassen gleichermaßen bei annähernd gleicher Leistungsfähigkeit zur AR Visualisierung und Interaktion verwendet werden können. Ob eher ein handheld oder ein headworn Gerät eingesetzt wird, sollte anhand des 2. Kriteriums und anderer Aspekte (user sharing, Entwicklungskapazitäten, etc.) entschieden werden.

Im Außenbereich ergeben sich mit headworn Geräten mehrere Probleme, was deren effizienten Einsatz eigentlich aus-

<sup>3</sup>Der interessierte Leser sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur rund um Laser-Scanning und alternative Sensorik verwiesen.





**Abbildung 3.** Fernwartungsszenario, in welchem der Experte (links) den Arbeiter vor Ort (rechts) bei der Bedienung einer Maschine anleitet (Szenario in den USA, System entwickelt durch die AR4 GmbH).

schließt. Dazu zählt in erster Linie die durch die erwähnte Displaytechnologie begründete schlechte Sichtbarkeit digitaler Inhalte in hellen Umgebungen, aber auch die eingeschränkte Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen und die im Vergleich zu handheld Geräten deutlich schlechtere Genauigkeit der Verortung zur aktuellen Umgebung. Während im Außenbereich für den Anwendungsfall oft eine globale Verortung notwendig ist, können aber auch handheld Geräte draußen nicht so ohne weiteres verwendet werden, da handelsübliches GPS dafür zu ungenau ist. Zur Beschreibung einer effizienten Lösung dieses Problems sei an dieser Stelle auf Abschnitt 3.3 verwiesen.

Bei der Zusammenschau all dieser Faktoren sind handheld Geräte zum jetzigen Zeitpunkt in allen Belangen für AR Anwendungen zu bevorzugen, wenn nicht aus Kostengründen, dann aus rein praktischen Gründen wie der weiteren Verwendung derselben im nicht-AR Kontext. Sollte letzteres genanntes Kriterium, also das Freihalten beider Hände, aber ein absolutes Muß sein, dann bleibt nur der Einsatz einer Datenbrille als mögliche Option.

### 3. Anwendungsansätze von AR

Kommen wir nun zum Einsatz von AR im industriellen Umfeld. Wir unterscheiden hier grob nach dem Anwendungszweck und den vorliegenden Rahmenbedingungen. Während es sicherlich noch andere Kategorien gibt, sind Wartung, Schulung und Bautechnik drei dominante Bereiche, die wir wie folgt behandeln.

#### 3.1 Wartung und Telepräsenz

Schon vor dem Ausbruch der COVID-19 Epidemie waren Unternehmen stark an der Nutzung von AR für den Wartungsbereich interessiert. Dabei geht es hauptsächlich um den Bereich der Fernwartung, also konkret *das Durchführen von Reparatur- oder Installationsarbeiten durch verhältnismäßig unbeholfenes Personal mit AR-fähigen Geräten unter der Anleitung eines Experten, welcher nicht vor Ort ist.*

Ein Beispiel einer solchen Anwendung ist in Abb. 3 dargestellt. Als Ausgangssituation betreibt ein weltweit agierendes Unternehmen eine hohe zweistellige Zahl von Fabriken auf 6 Kontinenten zur Produktion von Konsumgütern. Durch einen ungewollten Stillstand einer einzelnen Maschine, wobei eine Fabrik über bis zu 12 Maschinen verfügt und diese üblicherweise 24/7 im Einsatz sind, kommt es zu Produktionsausfällen

und dadurch entstandenen Kosten von 10.000 € pro Maschine und Stunde.

**Motivationsgründe:** Nun liegen die Kosten als Motivator für die Implementierung einer vernetzten und durch neue Technologien unterstützten Lösung klar auf der Hand. Welche Gründe sprechen aber nun darüber hinaus noch für den Einsatz von AR in einem solchen Szenario? Hier ein paar Beispiele:

1. Zur Reparatur einer Maschine benötigtes Fachpersonal ist ein rares Gut; in der Praxis führt ständige Reisetätigkeit vielfach innerhalb von 24 Monaten zur Abwanderung zu anderen Unternehmen mit geringerer Belastung. Diese Überlegung bildet die Grundlage, Fachpersonal mehr oder weniger zentral zusammenzubringen und dessen Expertise dem Rest des Unternehmens durch AR digital (und nicht physisch) zugänglich zu machen.
2. Eine Vielzahl von Maschinenausfällen ist nicht auf einen Defekt mit einer notwendigen Reparatur, sondern vielmehr auf einen Bedienfehler zurückzuführen. Ein Zurücksetzen, das Überprüfen loser Kabelverbindungen oder, im einfachsten Fall, das Überprüfen der Stromversorgung allein kann sicherlich auch unter der entsprechenden Anleitung durch einen Experten mit AR Unterstützung geschehen und bedarf keiner Reisetätigkeit.
3. Weniger offensichtlich ist das Streben nach einer erhöhten Qualitätssicherung. Während der Designprozess von Produkten im Labor gut dokumentiert ist, findet Dokumentation in der aktuellen Produktion jenseits von Chargennummern üblicherweise nur sporadisch statt. Durch den Einsatz von AR kann natürlich der Bediener einer Maschine über einen längeren Zeitraum hinweg geschult und ein Optimierungsprozess in Richtung einer qualitätsoptimierten Produktion ermöglicht werden.

Damit kann im Grunde bereits eine gute Zielsetzung für die Investition in ein AR System erarbeitet werden.

**Schwierigkeiten in der Praxis:** Wie so oft steckt der Teufel im Detail. Während sich Entscheidungsträger gern von geschönten Videos auf Youtube oder anderen Plattformen blenden lassen, bleiben viele der Probleme bis zum Praxistest verborgen. Im vorliegenden Szenario gibt es davon mehr als genug:

1. Stabile Audio- und Videokommunikation bildet einen essentiellen Bestandteil eines AR-Fernwartungssystems. Eine flächendeckende ausreichende Abdeckung mit drahtlosem Netzwerkempfang stellt sich als echte Herausforderung dar, von der tatsächlichen Anbindung einer Fabrik an das globale Internet und die zu meisternden Firewall- und Routingeinstellungen ganz zu schweigen.
2. Das Tragen von Schutzausrüstung in Produktionsumgebungen ist vorgeschrieben, Datenbrillen erfüllen aber nicht die gesetzlichen Anforderungen an eine echte Schutzbrille. Darüber hinaus ist deren Kombination mit Gehörschutzbügeln in Arbeitsumgebungen mit mehr als 60dB Dauerlärmbelastung mehr als unpraktisch. Zuletzt versteht man schon

- im persönlichen Gespräch miteinander das eigene Wort nicht, geschweige denn das Gegenüber in einem AV-Call.
- Die mit Abstand größte Schwierigkeit ist, eine solide Kosten- und Nutzenanalyse zu erstellen. Dafür ist es notwendig, einen längeren Beobachtungszeitraum zu wählen und tatsächlich ein gesamtes end-to-end System zur Verfügung zu haben. Dies gestaltet sich schwierig, da (i) der aktive Betrieb nicht gestört werden darf und immer im Vordergrund steht, (ii) dennoch ein gewisses Maß an regionalen Kompetenzen im Umgang mit einem neuartigen System geschaffen werden muss, und (iii) die tatsächliche Quantifizierung einer Verbesserung oder Verschlechterung einer Situation einer subjektiven Einschätzung unterliegt und schwer objektivierbar ist.

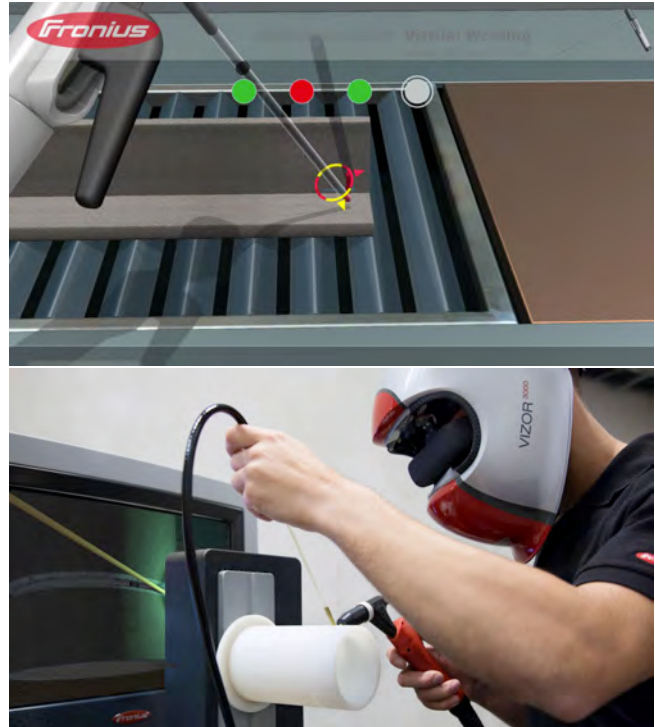
Wir unterschlagen hier dem Leser eine ganze Reihe weiterer Überlegungen, die in der Praxis zu nicht unerheblichen Problemen führen können (z.B. schlechte Steuerbarkeit durch das Tragen von Handschuhen, fehlende Mitarbeitermotivation durch fehlende emotionale Verbundenheit zum Unternehmen, fehlende Aufgeschlossenheit neuen Technologien gegenüber, rechtliche Konsequenzen bei Fehlern oder Unfällen etc.). An dieser Stelle sollte aber klar geworden sein, dass ein praktischer Einsatz doch erheblich schwieriger ist als erwartet.

**Erfolg oder Misserfolg?** Nach 24 Monaten Entwicklungszeit wurde unglücklicherweise der Bereich AR in diesem Szenario vorerst auf Eis gelegt und die Weiterentwicklung des darunterliegenden Datenhaltungssystems forciert. Bei einer genaueren Betrachtung der Beweggründe wird deutlich, dass die überwiegende Zahl der Schwierigkeiten keinen direkten Bezug zu AR selbst hat, sondern vielmehr durch generelle technische, rechtliche oder gesellschaftliche Probleme begründet ist. Daher ist aus Sicht des Autors der Ausgang dieses Projekts weder als Erfolg, noch als Misserfolg zu bewerten. Vielmehr würde man wohl zur Erkenntnis gelangen, dass man, salopp gesprochen, hier zwar zu früh, aber zumindest auf das richtige Pferd gesetzt hat.

### 3.2 Schulung und Ausbildung

Betrachten wir nun den Bereich der Ausbildung und den Einsatz von AR zu Schulungszwecken. Im vorliegenden Szenario entscheidet sich ein Unternehmen, eine Ausbildungsplattform basierend auf AR zu entwickeln und diese zusammen mit ihrem eigentlichen Produkt, einem Schweißgerät, zu vermarkten.

**Motivationsgründe:** Der Beruf des Schweißers ist vielfältiger als auf den ersten Blick ersichtlich. Es gibt eine große Menge an verschiedenen Gebieten, Techniken, Materialien und damit verbundenen Sonderausbildungen und Zertifizierungen. Eine virtuelle Einschulung kann natürlich niemals eine praktische Ausbildung ersetzen, auch wenn das über die letzten Jahre entwickelte AR-System einen großen Anteil an Information und die unterschiedlichsten Möglichkeiten des Schweißens sehr gut abdeckt. Die prototypische Anwendung des Systems wird in Abb. 4 gezeigt.



**Abbildung 4.** Virtual Welding AR Simulator von Fronius (Quelle: Fronius Virtual Welding [6]).

Da beim Schweißen immer Rohstoffe benötigt werden und diese mitunter nicht gerade günstig sind, ist ein Hauptmotivationsgrund für den Einsatz virtueller Technologien am Ende natürlich die dadurch resultierende Kosteneinsparung. Durch das Trockentraining können Auszubildende einen großen Anteil an Erfahrungen sammeln, die dann im praktischen Einsatz zu schnelleren und besseren Resultaten führen.

**Schwierigkeiten in der Praxis:** Im konkreten Fall handelt es sich bereits um ein voll ausgereiftes Produkt, welches seit einiger Zeit auf dem Markt ist. In diesem Sinne kann Fronius sicher als "early-adopter" der Technologie bezeichnet werden. Das System ist sehr ausgereift und bietet bei einer Vielzahl von Trainingsmöglichkeiten keine offensichtlichen Schwachstellen.

Unabhängig von der Produktentwicklung tritt aber natürlich ein Aspekt an einer gewissen Stelle in den Vordergrund, der am Ende prototypisch für das ganze Anwendungsgebiet von AR-Datenbrillen steht und der mit dem Schweißsimulator gar nichts zu tun hat: das Gewicht des Equipments. Aus Sicherheitsgründen ist in den verschiedensten Arbeitsbereichen das Tragen von Helmen oder Schutzbrillen vorgeschrieben oder - wie beim Schweißen - aus anderen Gründen erforderlich. Jedes Gramm Gewicht zusätzlicher Gerätschaften, die für AR notwendig sind und damit am Kopf getragen werden müssen, erhöht die physische Langzeitbelastung und führt damit zu gesundheitlichen Problemen.

Daraus ergibt sich die klare Aufgabe für Hersteller von AR-Datenbrillen, diese zukünftig leichtgewichtiger zu gestalten, sofern der technologische Fortschritt dies zulässt. Die in



**Abbildung 5.** Apple iPad Pro 12'' 2020 mit dazugehöriger GPS Antenne und dem Lokalisierungsgerät der AR4 GmbH.

Abschnitt 2.2 erwähnten DAQRI *Glasses* folgten ursprünglich dieser Idee. Dabei wurde ein Großteil der notwendigen Hardware am Gürtel getragen, während nur die Display- und Lokalisierungstechnologie in der eigentlichen, damit sehr leichtgewichtigen Brille verblieb. Langfristig gesehen scheint dieser Ansatz für einen Großteil von industriellen Anwendungen der Way-to-Go zu sein, da viele zu Hilfe genommene Arbeitsmittel in Prozessen ebenfalls in irgendeiner Art und Weise kabelgebunden sind und man ohnehin eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit vorfindet.

**Erfolg oder Misserfolg?** Ein Außenstehender kann den kommerziellen Erfolg eines solchen Systems nicht wirklich beurteilen. Es scheint allerdings hier ein Anwendungsfall vorzuliegen, bei dem eine klare Kosten-Nutzen Rechnung aufgestellt werden kann, die sicherlich zu Gunsten der eingesetzten AR Technologie ausfällt. Daher ist der Autor geneigt, eine solche Umsetzung als gelungen und damit als Erfolg auf ganzer Linie zu bewerten.

### 3.3 Infrastruktur und Bauwesen

Der letzte in Betracht gezogene Anwendungsfall betrifft die Anwendung von AR im Bauwesen. Dabei sei an dieser Stelle erwähnt, dass wir uns hier nach draußen begeben und eventuelle Anwendungsgebiete in Innenräumen außen vor lassen. Damit allein unterscheidet sich diese Kategorie wesentlich von den zuvor diskutierten. Hier wird ein spezielles Problem sofort schlagend, nämlich das Fehlen einer Möglichkeit, das AR-Gerät zentimetergenau positionieren und orientieren zu können, und zwar in Bezug auf die Umgebung - die Welt.

Das Thema Architekturvisualisierung ist ein althergebrachtes und hat in den letzten Jahren relativ wenig Aufmerksamkeit erregt. Es scheint nur zum Teil für echte Planungsarbeiten, aber doch mehr für Marketing geeignet zu sein. Zusätzlich waren relativ kostspielige zusätzliche Geräte notwendig, um im Außenbereich eine plausible Verortung durchführen zu können. Anders stellt sich die Wartung von Untergrund-Infrastruktur dar, die schon lange einen Forschungsbereich

darstellt [12]. Daher betrachten wir diesen Bereich nun näher.

**Motivationsgründe:** Durch Initiativen der EU zum Thema *Smart Cities* wird die stärkere Vernetzung von für Bautätigkeiten relevanten Datenbanken forciert, aber vor allem werden auch die Betreiber öffentlicher Infrastruktur zur stärkeren Zusammenarbeit angehalten [5]. Während Daten aus Mitteleuropa zu unmittelbaren Schäden an existierender Infrastruktur, welche durch Grabungsarbeiten verursacht werden, fehlen, sprechen Berichte aus UK von bis zu 320 Mio € [2, 7] und allein in den USA von mehr als 25 Mrd € jährlich [3]. Selbst wenn hierzulande nur ein Bruchteil davon an tatsächlichen Kosten aufläuft, sind die mittelbaren Kosten für die Wirtschaft darin nicht enthalten. Die Zielsetzung ist daher klar, solche Schäden durch den Einsatz von AR zu vermeiden.

**Schwierigkeiten in der Praxis:** Wie zuvor erwähnt, ist für den Einsatz von AR im Außenbereich zusätzliche Sensorik notwendig. In Abb. 5 ist eine von der AR4 GmbH entwickelte Lösung zu sehen, die ein mobiles AR-fähiges Gerät zu einem Kostenpunkt von ca. 1.000 € in Bezug auf die Lokalisierung outdoorfähig macht. Dadurch liegt sie mehr als eine Zehnerpotenz unter dem Preis für bisher verfügbare Gerätschaften [11, 13]. Der verbleibende Fehler liegt bei 2 – 4 cm, und der Orientierungsfehler mit Bezug zur Nordrichtung bei weniger als 1°. Im Vergleich dazu liefert handelsübliches GPS eine Genauigkeit von  $\pm 10m$ , bzw. liegt die übliche Kompassgenauigkeit bei 5° – 10°. Durch die vorgestellte Lösung als Plug-In oder Add-On ist im Grunde genommen die Basis für jede Anwendung von AR im Außenbereich geschaffen.

**Erfolg oder Misserfolg?** Während es sich hier noch nicht um eine kommerzielle Umsetzung handelt, sprechen die Ergebnisse in der Prototypenphase doch für sich. In der oberen Reihe in Abb. 6 sind virtuelle Markierungen zu sehen, die nach der Verortung im Außenbereich direkt auf die Straße "gemalt werden" und ihren Ursprung in einer zentralen GIS Datenbank haben. Diese ersetzen sozusagen die bekannten realen Markierungen, wobei tatsächlich kein Unterschied zwischen real und virtuell wahrnehmbar ist. In der unteren Reihe von Abb. 6 ist ein weiteres Konzept dargestellt. Hierbei wird während Grabungsarbeiten eine 3D Rekonstruktion des entstandenen "Lochs" vorgenommen und geodätisch verortet. Damit kann auch noch Jahre später ein virtueller Blick in den Untergrund ermöglicht werden. Während sich diese Technologie gerade in einer Pilotphase befindet, kann diese Entwicklung wohl ebenfalls als Erfolg verbucht werden, bei minimal höheren Kosten durch zusätzliche notwendige Hardware für den Außenbereich.

## 4. Technische Herausforderungen

Aus den einzelnen Anwendungsbereichen im industriellen Umfeld sind bereits einige der technischen Herausforderungen erkennbar geworden. Praktisch kann vor einer detaillierteren Diskussion aber festgehalten werden, dass es keine wirklichen technischen Herausforderungen gibt, die man mit dem nötigen





**Abbildung 6.** Außenanwendung von AR für Grabungsarbeiten. Die beiden oberen Bilder zeigen virtuelle Markierungen, welche direkt aus einer verfügbaren GIS Datenbank kommen und die eine sehr genaue Verortung von darunterliegender Infrastruktur ermöglichen. Die beiden unteren Bilder zeigt das 3D Modell von Untergrundinfrastruktur auf Basis einer zuvor stattgefundenen und dokumentierten Grabung (Bilder mit Setup aus Abb. 5 aufgenommen)

Kleingeld und der richtigen Herangehensweise nicht bewältigen könnte. Am Ende des Tages ist die schwierigste Aufgabe, den möglichen finanziellen Nutzen eines AR-Systems den entstehenden Investitions- und laufenden Betriebskosten in einem objektiven Maß gegenüberstellen zu können. Gleichsam ist dies auch gerade die Hürde, an der die überwiegende Zahl an Vorhaben, AR industriell einzusetzen, scheitert. Wir greifen nun dennoch zwei dominante technische Herausforderungen heraus und diskutieren diese etwas genauer.

#### 4.1 Daten? Welche Daten?

AR beinhaltet gleichermaßen Interaktion und Visualisierung. *Welche Inhalte sollen oder können visualisiert werden? Wie werden diese Inhalte erstellt, in welchem Format liegen sie vor und wie kommen diese auf das verwendete AR Gerät?* Das sind sehr viele Fragen auf einmal, aber ein großes, wenn auch seit langer Zeit bekanntes Problem ist das Datenformat an sich. CAD Daten, wie sie im Produktions- und Designprozess verwendet werden, sind unbearbeitet gänzlich ungeeignet für AR Visualisierungen und bedürfen einer fachmännischen Konvertierung (z.B. Konvertierung in ein passendes Format,

Reduzierung der Polygonanzahl, etc.). AR lebt von Formaten aus der Computer Grafik (CG) Welt, und hier gibt es derzeit keine automatisierbare Methodik, um von CAD nach CG zu kommen.

Hat man das geschafft, stellt sich die Frage: *Was will ich eigentlich?* 3D Modelle und dazugehörige Informationen in anderen Datenbanken (z.B. Ersatzteillisten, Hersteller etc.) sind nicht miteinander verbunden. Auch liegen Anleitungen für Wartung nur im Handbuchformat vor - weitere Hürden, die am Ende nur mit großem Arbeitsaufwand von in AR kundigem Personal übersprungen werden können. Summa summarum ist eine eigene Person notwendig, um sich um die firmeneigenen Daten und deren Verwendung in einem AR System - oder um die ganze AR Installation - zu kümmern.

#### 4.2 Integration und Anwendungsentwicklung

Konzeptionell sind AR-fähige Geräte mit allen möglichen Schnittstellen ausgestattet, die ihre Einbindung in ein größeres Netzwerk ermöglichen. Der produktive Einsatz bedingt aber auch die direkte Kommunikation mit firmeninternen Servern und spezifischen Software-Schnittstellen, um sowohl den



**Abbildung 7.** Ausschnitt aus dem Video *Sight*, welcher eine mögliche Zukunft unter der Verwendung digitaler Kontaktlinsen beschreibt.

Konsum von AR Inhalten, als auch den Rückfluss von Information (z.B. Fortschritt, Dokumentation) zu ermöglichen. Natürlich will man diese Inhalte transportieren und mit anderen teilen können, und was würde sich da grundsätzlich besser eignen als *die Cloud*? Spätestens an diesem Punkt ist für die meisten Unternehmen Schluss mit lustig, denn schließlich öffnet dies Tür und Tor für Firmenspionage und andere sich daraus ergebende Probleme.

Praktisch gibt es derzeit keine AR-Softwarelösungen, die auf der einen Seite keine Wünsche offen lassen und sich auf der anderen Seite vollkommen in Plug-and-Play Manier in eine existierende Infrastruktur einbinden lassen. Dazu sind immer ein Integrationsprojekt und ein gewisser administrativer Aufwand nötig - und natürlich das damit verbundene Budget.

## 5. Gesellschaftliche Herausforderungen

Wie wir gesehen haben, reduziert sich die Frage *AR - ja oder nein?* in Anbetracht der technischen Hürden am Ende auf eine Kostenabwägung. Wie sieht es aber mit den gesellschaftlichen Aspekten aus?

Die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft verändert viele Bereiche unseres Lebens. Darunter fallen natürlich vordringlich die Verwendung sozialer Medien als Kontaktmedium, aber natürlich auch die Bereiche wie Shopping über Online-Portale und die Abwicklung von Finanzdienstleistungen über Online-Banking. Dies sind nur ein paar Beispiele, wie die Gesellschaft sich grundsätzlich immer weiter auf die Verwendung elektronischer Datenverarbeitung und Datenübermittlung einlässt, mit allen damit verbundenen Vor- und Nachteilen.

Während der AR Bereich auch mit Herausforderungen konfrontiert ist, welche an anderer Stelle sehr offensichtlich erkennbar sind, wie in etwa beim Datenschutz, gibt es für AR aber noch ganz andere, subtilere Herausforderungen. Diese treten unter Umständen erst beim aktuellen Einsatz zu Tage, wie die folgenden Überlegungen verdeutlichen sollen.

### 5.1 Interaktion

Ein essentieller Baustein unserer üblichen Kommunikation ist der Augenkontakt. In unserem täglichen Umgang miteinander erscheint uns das Tragen von Brillen mit abgedunkelten oder verspiegelten Gläsern im persönlichen Gespräch als fremd oder eigenartig, wenn nicht sogar als unhöflich. Ohne wissenschaftliche Abhandlung kann man wohl festhalten, dass der Augenkontakt ein vertrauensbildendes Instrument darstellt.

Die Verwendung von Datenbrillen schafft hier ein klassisches Beispiel für eine etwas subtilere Herausforderung, die durch das Einbringen einer klaren, aber ungewollten Barriere gestellt wird. Dabei ist der gestörte Augenkontakt nicht das einzige Problem. Während der ununterbrochene Blick aufs Mobiltelefon dem Gegenüber eine gewisse Ablenkung oder ein Desinteresse eindeutig erkennen lässt, bleibt dies beim Verwenden von Datenbrillen verborgen. In Abb. 7 ist der Ausschnitt eines Konzeptvideos zu sehen, zusammen mit einer zugegebenermaßen futuristischen Vision, doch mit einem höchst manipulativen Hintergrund [8]. Wollen wir in Zukunft so miteinander interagieren?

### 5.2 Datenschutz und Legalität

Privatsphäre ist in Zeiten sozialer Medien ein heiß diskutiertes Thema, während im Bereich von AR generell noch weitestgehend der Coolness-Faktor im Vordergrund steht. Dennoch ist AR mit denselben Herausforderungen und Problemen konfrontiert wie andere Bereiche, in denen es um die Erstellung oder den Austausch teils persönlicher Daten geht. Da AR stark auf Sensorik aufbaut, also vordringlich dem Verwenden von Kamera- oder Bewegungsdaten, stellen sich natürlich in Zeiten verstärkter digitaler Vernetzung Fragen zu den Themen Sicherheit, Datenschutz und Legalität. Dabei geht es nicht nur um das eigene Befinden, sondern auch um das anderer.

Im deutschsprachigen Raum ist das freie Fotografieren fremder Personen oder deren Eigentums gesetzlich eingeschränkt. *Ist somit das Tragen einer Datenbrille im öffentlichen Bereich überhaupt legal? Angenommen, ich lasse mich selbst auf eine ständige digitale Abhängigkeit und damit verbundene Überwachung ein, dann ist das meine Sache. Muss ich mir aber eine solche Bespitzelung auch von anderen gefallen lassen?* Unabhängig davon gibt es im beruflichen Einsatz aber noch weitere Fragestellungen. *Erlaube ich durch das Tragen einer Datenbrille nicht meinem Arbeitgeber, mich ununterbrochen zu kontrollieren? Welche Folgen habe ich zu befürchten, wenn mir ein Fehler unterläuft? Meine "digitalen Augen" sehen ja auch Firmengeheimnisse oder sensible Firmendaten - wie schützen wir uns vor deren Diebstahl?* Diese und andere Beispiele zeigen, dass es doch weitreichender gesellschaftlicher und gesetzlicher Entwicklungen bedarf, um hier Antworten zu finden.

### 5.3 Bildung

Die vermeintlich größte Herausforderung für den praktischen Einsatz von AR ist, dem ungeübten Anwender das Verständnis für die Technologie und den Umgang mit den notwendigen Gerätschaften zu vermitteln. Angesichts des kommerziellen



Erfolgs von *Pokemon Go* erscheint dies zuerst verblüffend, allerdings handelt es sich dabei um ein Spiel ohne praktischen Hintergrund oder den Anspruch, eine effizientere Lösung zu einem existierenden Problem zu sein.

Der kommerziellen Einsatz von AR ist vielfach mit Erwartungen im Sinne von Effizienzsteigerungen und/oder Kostensenkungen verbunden. Dem stehen aber Ausbildungskosten für Mitarbeiter gegenüber, die neben den tatsächlichen Kosten für notwendige Hardware und Infrastruktur in vielen Fällen einen signifikanten Posten in der Aufwandsanalyse darstellen. Dieser Umstand betrifft vermehrt die angedachte Verwendung von Datenbrillen, da diese im Privatbereich nicht vorhanden sind und daher bei dem Personal keine Kenntnisse darüber abgerufen werden können. Deshalb wird in der Praxis der konkrete Einsatz von AR solange verschoben, bis das Erlangen notwendiger Kenntnisse von Firmenkosten auf den Bereich der Allgemeinbildung abgewälzt werden kann (wie in etwa der prinzipielle Umgang mit einem Tablet als Arbeitsgerät).

Als prominentes Beispiel kann hier das Windows Betriebssystem angeführt werden. In den Anfangsjahren duldete Microsoft mutmaßlich die illegale Verbreitung von Raubkopien im privaten Umfeld stillschweigend, um gewissermaßen eine Bildung des Privatanwenders an ihrem Betriebssystem zu erlauben. In weiterer Folge wurden damit auch Unternehmen zum Einsatz von Windows veranlasst, um auf die Vorbildung der Mitarbeiter aufbauen zu können - natürlich am Ende zum kommerziellen Vorteil von Microsoft. Aber wann und wie erreichen wir analog zu diesem Beispiel den notwendigen Bildungsstand über AR in der Bevölkerung?

## 6. Conclusio

AR bildet in gewisser Form die Weiterentwicklung des kontinuierlichen Trends, Daten, Visualisierungen und generell Kommunikation mobiler zu machen: von der uralten Telefon-Hotline vor 30 Jahren zum Rechner am Arbeitsplatz vor 15 Jahren, zum Tablet und Smartphone seit etwa 10 Jahren, bis hin zum nahtlosen Konsum durch digitale Brillen heute oder Kontaktlinsen irgendwann in der Zukunft.

Abseits gesellschaftlicher Fragestellungen sind für den Industriefall die notwendigen Voraussetzungen zum Einsatz von AR technisch vorhanden, allein die Kosten scheinen von Fall zu Fall eine produktive Umsetzung bisher unrentabel zu gestalten. Dies hängt zugegebenermaßen aber auch sehr davon ab, um welche Branchen der Industrie es sich handelt, wie konservativ oder zukunfts-fit sich Unternehmen selbst sehen und wie progressiv sie am Ende tatsächlich sein wollen. Insofern kann die Frage *„Kann und soll ich AR einsetzen?“* auch zumeist mit der Frage *„Sind wir als Unternehmen schon im Industrie 4.0 Zeitalter angekommen?“* gleichgesetzt werden.

Aus Sicht des Autors bildet AR einen essentiellen Bestandteil einer stattfindenden industriellen und technologischen Revolution, der man sich auf lange Frist nicht entziehen wird können. Alteingesessene Unternehmen haben hier naturgemäß größere Schwierigkeiten, erprobte Methoden und Praktiken in einer durchaus disruptiven Weise zu verbessern oder gar

zu ersetzen. Praktisch unterscheidet sich der Ersatz existenter Technologien und Arbeitsweisen durch AR aber nicht wesentlich von z.B. einem firmeninternen Wechsel des verwendeten EDV Betriebssystems, welcher auch Kosten, Schulungsaufwand und einen gewissen geistigen Haltungswechsel mit sich bringt.

Daher schließt der Autor mit dem Appell, sich als Entscheidungsträger von dem längerfristigen Nutzen von AR überzeugen zu lassen und durch die Einführung kurz- und mittelfristig entstehende Kosten nicht als schwergewichtiges Argument gegen eine geplante Modernisierung von Praktiken und Arbeitsvorgängen durch AR zu betrachten, sondern vielmehr als Investition in die Zukunft anzusehen.

## Literatur

- [1] R. T. Azuma. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 6(4):355–385, Aug. 1997. doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355
- [2] R. Broome, P. Cornforth, S. Crossland, N. Metje, and A. Rhoades. Utility strike damage report, 2019. Visited online 3 Mar 2021, [Utility Strike Avoidance Group Webpage](#).
- [3] DIRT. Dirt annual report of the common ground alliance, 2019. Visited online, 3 Mar 2021, [Common Ground Alliance Webpage](#).
- [4] Eurogamer. John Carmack and the Virtual Reality Dream, 2012. Visited online 30 Mar 2021, [Eurogamer Webpage](#).
- [5] European-Union. Smart cities: Cities using technical solutions to improve the management and efficiency of the urban environment, 2021. Visited online, 3 Mar 2021, [European Commission Webpage](#).
- [6] Fronius. Schweissausbildung der Zukunft: Fronius Virtual Welding, 2021. Visited online 30 Mar 2021, [Fronius Webpage](#).
- [7] L. O. Makana, N. Metje, I. Jefferson, M. Sackey, and C. D. Rogers. Cost Estimation of Utility Strikes: Towards Proactive Management of Street Works. *Infrastructure Asset Management*, pp. 1–34, 2018. doi: 10.1680/jinam.17.00033
- [8] E. May-Raz and D. Lazo. Robot genius films, 2012. [Sight Concept Video](#).
- [9] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telematics and Telepresence Technologies*, 2351, 01 1994. doi: 10.1117/12.197321
- [10] Re'flect. Why DAQRI's Smart Glasses are an option for Augmented Reality, 2017. Visited online 30 Mar 2021, [Re'flect Blog](#).
- [11] G. Schall. *Mobile augmented reality for human scale interaction with geospatial models: the benefit for industrial applications*. PhD thesis, Graz University of Technology, 2013.
- [12] G. Schall, E. Mendez, and D. Schmalstieg. Virtual redlining for civil engineering in real environments. In *ISMAR*, pp. 95–98, 2008. doi: 10.1109/ISMAR.2008.4637332
- [13] G. Schall, D. Wagner, G. Reitmayr, E. Taichmann, M. Wieser, D. Schmalstieg, and B. Hofmann-Wellenhof. Global pose estimation using multi-sensor fusion for outdoor augmented reality. In *ISMAR*, pp. 153–162. IEEE Computer Society, 2009. doi: 10.1109/ISMAR.2009.5336489
- [14] I. E. Sutherland. A head-mounted three dimensional display. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, AFIPS '68 (Fall, part I), p. 757–764. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1968. doi: 10.1145/1476589.1476686
- [15] Time Magazine. Invention of the year - the iPhone, 2007. Visited online 30 Mar 2021, [Time Magazine Webpage](#).
- [16] Time Magazine. Jaron Lanier - The 2010 TIME 100, 2010. Visited online 30 Mar 2021, [Time Magazine Webpage](#).
- [17] VR-Expert.com. Microsoft Hololens 2, 2020. Visited online 30 Mar 2021, [VR-Expert Webpage](#).
- [18] WorldofTablet. Beste LTE Tablets mit SIM-Karten-Slot, 2021. Visited online 30 Mar 2021, [WorldofTablet Webpage](#).

## **Short Bio**

Clemens Arth ist Geschäftsführer der AR4 GmbH und Senior Scientist am Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen an der TU Graz. Sein Unternehmen entwickelt Augmented Reality Technologie für industrielle Einsatzzwecke. Clemens Arth studierte Telematik und erlangte seinen Diplomingenieur- und Dokortitel in 2005, respektive 2008, an der TU Graz. Clemens Arth ist Autor und Co-Autor von mehr als 50 wissenschaftlichen Publikationen und mehr als 20 Patenten.

## **Abstract**

First steps in Augmented Reality were already taken in the 1960s when Ivan Sutherland introduced the idea of head-worn displays for the first time. Due to the lack of advances in computer technology it took more than 20 years for AR to become

an active field of research in the 1990s, taking advantage of an increasing trend towards digital image processing. Just around 2010 the first plausible AR applications became available outside laboratory spaces, driven by the development of modern smartphones and tablets. However, given that we have the technology available for around 10 years, how is the status of industrial AR adoption down to the present day?

In this article we describe a set of possibilities to use AR in practical industrial applications. We discuss the most suitable mobile hardware and its advantages and drawbacks. Based on a few selected case studies, we discuss the motivation for using AR and the developed solutions for individual problems in industrial areas. Finally, we discuss a non-exhaustive list of technical and societal challenges AR faces in practical applications now and in the near future.