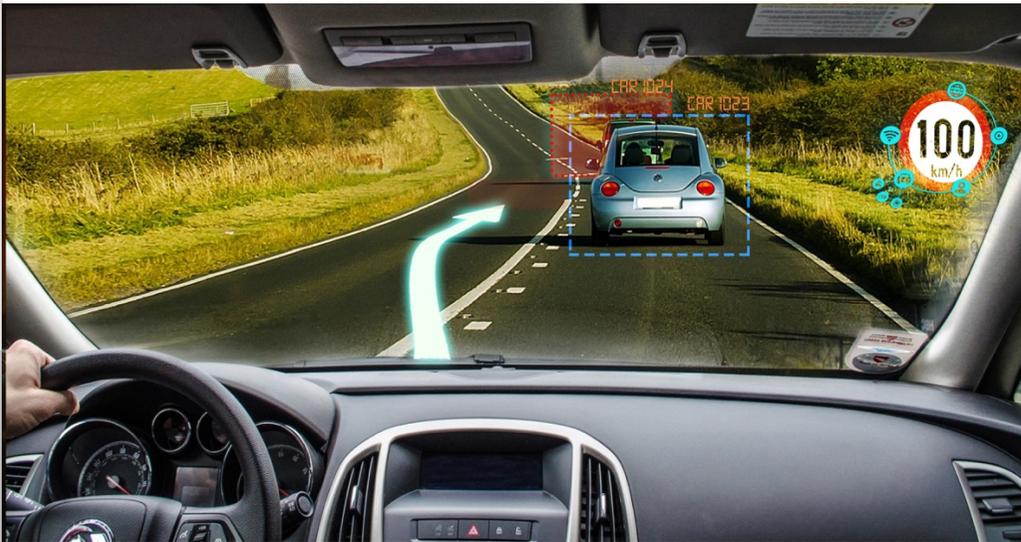


AUGMENTED REALITY (AR) IN PKWS

Ursula Niederländer



Teil 4 von Digital Business für Verkehr und Mobilität
Ist die Zukunft autonom und digital?

Institut für Digital Business

Digital Business für Verkehr und Mobilität

Ist die Zukunft autonom und digital?

Herausgeber: Johann Höller; Tanja Illetits-Motta; Stefan Küll;
Ursula Niederländer; Martin Stabauer

ISBN: 978-3-9504630-4-0 (eBook)
2020

Johannes Kepler Universität
Institut für Digital Business
A-4040 Linz, Altenberger Straße 69
<https://www.idb.edu/>

Detailliertere bibliographische Daten, weitere Beiträge,
sowie alternative Formate finden Sie unter
<https://www.idb.edu/publications/>

Bildquelle Titelbild: <https://pixabay.com/de/photos/auto-fahren-stra%C3%9Fen-armaturenbrett-316709/>



Dieser Beitrag unterliegt den Bestimmungen der Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 4.0 International-Lizenz.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Technische Anforderungen	8
2.1	Allgemeines	8
2.2	Benötigte Elemente.....	12
3	AR in Personenkraftfahrzeugen	15
3.1.1	Displays in Fahrzeugen	16
3.2	Anwendungsbeispiele	20
3.2.1	Mercedes-Benz.....	20
3.2.2	Volkswagen.....	21
3.2.3	BMW.....	22
4	Zukunftsperspektiven.....	22
	Literaturverzeichnis.....	30

AUGMENTED REALITY (AR) IN PKWS

Ursula Niederländer

„Simply put, we believe augmented reality is going to change the way we use technology forever. We're already seeing things that will transform the way you work, play, connect and learn.” (Tim Cook 2017, 15. Absatz).

1 Einleitung

Mobilitäts- sowie Interaktionskonzepte der Zukunft im Bereich der Automotive Industrie sehen große Wachstumspotentiale für Augmented Reality Funktionen infolge von Konnektivität und neuartigen Automotive Experience Innovationen, zum Beispiel in Form von intelligenten, kontextbezogenen Content Angeboten. Auch Sicherheitsaspekte sowie der Komfort spielen eine wichtige Rolle bei gegenwärtigen und zukünftigen Anwendungsszenarien. Neue Interaktionslösungen, die nicht erst mit der Einführung von vollständig autonomen Fahrzeugen kommen werden, sind längst Wirklichkeit geworden. Vorteile bringen optimierte User Experience durch zielgerichtete, personalisierte Inhalte, die beispielsweise auf die Fensterscheiben des Fahrzeugs projiziert werden können.

Im Bereich der Verkehrsmobilität verheißt Augmented Reality daher als supplementäre Ausgabemodalität für die Darstellung von Informationen, neben der höheren Sicherheit, außerdem eine Verbesserung der Usability und die Anreicherung des Fahrerlebnisses.

Gekoppelt werden kann dies mit unterschiedlichen Eingabemodi (zum Beispiel durch Sprache, Gestenerkennung oder Eye-Tracking) (Lenke 2019).

Die bereits realisierten AR-Anwendungsfälle im Bereich der Automotive Industrie beginnen nicht erst mit der Anwendung im Kraftfahrzeug - hier gibt es bereits Erfindungen wie Assistenzsysteme, die Zusatzinformationen auf Bildschirmen oder in die Darstellung via Frontscheibe integrieren -, sondern haben schon länger Eingang in der Erzeugung, Vermarktung, im Field Service oder im Bereich Design gefunden.

Der Automobilhersteller Mercedes-Benz etwa setzt Augmented Reality schon seit 2008 bei der Planung und Montage ein, indem beispielsweise virtuelle Bauteile oder Löt-/Schraubpunkte eingeblendet werden, die den FertigungstechnikerInnen anzeigen, an welcher Stelle diese Bauteile anzubringen sind oder wo zu bohren ist (Daimler AG 2015a). Auch andere Original Equipment Manufacturer (OEMs; Automobilhersteller) führten AR schon vor vielen Jahren in unterschiedlichsten Unternehmensbereichen ein (Scoble & Israel 2017, 84). Auf der folgenden Abbildung ist ersichtlich, auf welche Art und Weise Augmented Reality Verwendung in der Praxis findet. Die TechnikerInnen sehen auf dem Bildschirm (wahlweise kommt auch ein Tablet zum Einsatz) mittels automatischer Qualitätskontrolle den Soll-Zustand in Kombination mit dem von der Kamera aufgenommenen Ist-Zustand. Dadurch können Fehler erkannt und korrigiert werden (Daimler AG 2015a).



Abbildung 4-1: AR in der Fertigung (Daimler AG 2015b, Bild Nr. 15C1162_11)

2018 meldete Tesla im selben Bereich ein Patent für die Automotive Produktion an, welches es FertigungstechnikerInnen erlauben soll, das Fahrzeug bei der Montage von allen Seiten zu betrachten, während gleichzeitig nützliche Informationen (Schweiß- oder Klebepunkte, Anbringungsstellen für Schrauben oder Buchsen etc.) eingeblendet werden. Außerdem soll es möglich sein, den Nutzenden Schweißreihenfolgen oder Fertigungstoleranzen anzuzeigen (Blanco 2018).

Weitere Einsatzfelder finden sich im Bereich Wartung, Marketing und Training. Die Fahrzeugfabrikanten nutzen AR entlang der Customer Journey und schaffen zusätzliche Touchpoints, beispielsweise durch eine AR-App, die zukünftigen KäuferInnen das fotorealistisch dargestellte Auto in der realen Welt zeigen soll (Porsche 2019a), oder durch Showroom-Darstellungen, bei denen KundInnen „durch“ das Auto durchsehen und die verschiedenen verbauten Komponenten betrachten können (Ellis 2019).

In Zukunft werden von der Vermarktung bis zur Logistik und, wie schon erwähnt, in (den meisten) Fahrzeugen selbst Augmented Reality Elemente eingesetzt werden. Die Bandbreite, die (Zukunfts)Forscher spannen, reicht von Reklame, die auf Autofenster projiziert wird, wenn man an Ladengeschäften vorbeifährt, über Informationen im Hinblick auf Sehenswürdigkeiten, die beim Passieren auf den Seitenfensterscheiben angezeigt werden, über Warnhinweise in Bezug auf potentielle Gefahrenquellen, bis hin zu Games bzw. Infotainmentangeboten oder Wearables, die die Fahrtzeit verkürzen sollen (Rao et al. 2014, 1; Riegler et al. 2019, 127; Wang et al. 2017, 634).

In den USA werden bereits PKWs zum Verkauf angeboten, bei denen anstelle eines Rückspiegels eine Kamera montiert ist, die zusätzliche Informationen mittels AR-Elementen einblendet (Geiger 2018). Auch bei LKWs (vgl. das Projekt „*safeguARd der Europäischen Kommission*“) und bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen (Santana-Fernández et al. 2010, 10436) wird eruiert, wie Augmented Reality das Fahren bzw. die Arbeit sicherer und/oder effizienter gestalten kann. Zudem wird im Bereich Biometrie geforscht, auf welche Art und Weise zum Beispiel Linsen entsprechende Daten direkt vor dem Auge einblenden können (PWC 2016). Auf der CES (Consumer Electronics Show) wurde ein erster Prototyp einer Kontaktlinse mit integriertem Display vorgestellt, der Augmented Reality darstellen kann (Der Standard 2019).

Das Potential für Augmented Reality Anwendungen ist jedenfalls noch längst nicht ausgeschöpft, glaubt man Umfragen zur Entwicklung von Augmented Reality Geräten. Eine Studie von Statista etwa ergab, dass bis zum Jahr 2022 weltweit 26,7 Mio. AR-Geräte verkauft werden sollen, wie folgendes Diagramm zeigt (Statista 2018):

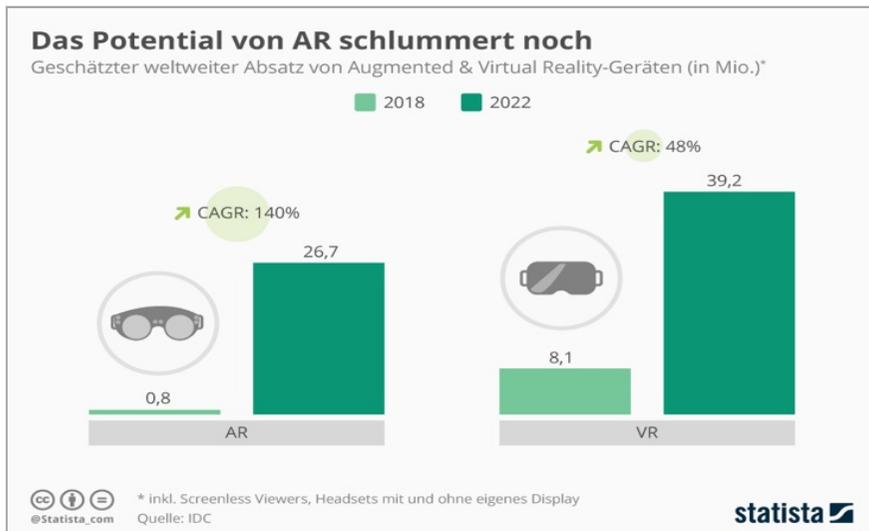


Abbildung 4-2: Geschätzter Absatz AR/VR 2018 und 2022 (Statista 2018)

Eine andere Studie berechnete, dass der globale AR- und VR-Markt im Hinblick auf den Automotive Bereich im Jahr 2018 einen Wert von 2,14 Milliarden US\$ erreichte und im Jahr 2025 auf ein Marktvolumen von 506 Milliarden US\$ steigen wird, wobei vom Jahr 2019 bis zum Jahr 2025 eine Wachstumsrate von 98,1% erzielt werden soll (Market Study Research 2019).

Erwartet wird, dass die rasanten technologischen Entwicklungen und die steigende kundenseitige Nachfrage nach Sicherheitsfunktionen am Automobil Sektor den Bedarf im Hinblick auf Augmented Reality Funktionen weiter steigen lassen werden, wobei in-vehicle Produkte (zum Beispiel in Form von Head Up Displays (HUDs)) in Personenwagen das am schnellsten wachsende Segment bildet. In Bezug auf die Autonomiestufen des autonomen Fahrens (siehe dazu auch das Kapitel von Jovana Jovanovic „Trust in Self-Driving Technology“) wächst der Bereich der Teil-Automation (z.B. Stauassistentz gekoppelt mit HUD) am schnellsten (Research and Markets 2017).

Bezüglich der Vorteile von Augmented Reality in PKWS wird idR die gesteigerte Effizienz/Fahrperformance sowie die Sicherheit und dadurch eine Senkung der Unfallraten (z.B. durch Warnung vor Gefahren beim Abbiegen, bei zu geringen Abständen, vor FußgängerInnen, die die Fahrbahn betreten.) angeführt (Kim & Dey 2016, 9587; Tönnis 2010, 140). Vorzüge ergeben sich insbesondere bei HUDs (anders als bei eingebauten Displays) durch die erhöhte Sicherheit, wenn LenkerInnen ihre Blicke nicht mehr vom Straßengeschehen abwenden müssen (Hannen 2019; Lenke 2019; Mehler-Bicher & Steiger 2014, 47; Tönnis, 140). AR soll außerdem mehr Komfort für die Fahrgäste bringen und die User Experience durch Zusatzinformationen und Interaktionsmöglichkeiten verbessern (Rinspeed 2017).

Als Nachteil von Augmented Reality wird genannt, dass es anderen Personen möglich ist, eigene Layer für die AR-Anzeige zu entwickeln, was zu einer Informationsüberlastung oder zu einer Überlagerung mit Informationen führen kann, ohne dass der Nutzende seine Zustimmung dazu gegeben hat (Chavan 2016, 1949), was insbesondere in Bezug auf den Straßenverkehr zu gefährlichen Situationen führen kann; dies gilt im Übrigen auch für ein Zuviel an Informationen vom Fahrzeug selbst. Durch die Zunahme der Fahrerassistenzsysteme und der wachsenden Zahl an Informationen, die angezeigt werden können, steigt auch die Gefahr, dass es zu einem Informations-Overload kommt und dadurch LenkerInnen abgelenkt werden und sich weniger auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren können (Plavšić et al. 2009, 10), wie folgende Abbildung zeigt:



Abbildung 4-3: Informations-Overload (Plavšic et al. 2009)

Gefürchtet wird auch, dass Spam diese „erweiterte Welt“ mit unerwünschter Werbung jeglicher Art überwältigen könnte (Chavan 2016, 1949), sodass LenkerInnen die Sicht auf die Fahrbahn versperrt werden könnte, was ebenfalls fatale Auswirkungen auf das Fahrverhalten haben würde.

Da sich die AR-Technologie noch in der Entwicklung befindet, ist ihre Verwendung möglicherweise noch teuer (Chavan 2016, 1949). So kostet beispielsweise aktuell ein Lidar Sensor mit einer 360-Grad Reichweite rund 75.000 US\$ (Davies 2019).

Ebenfalls nachteilig kann sich zudem die Interoperabilität durch mangelnde Datenportabilität zwischen den AR-Umgebungen auswirken (Chavan 2016, 1949). Auch mögliche falsche oder fehlende Anzeigen bzw. technische Probleme (Softwarefehler/Hardwaredefekte) oder fehlende Netzabdeckung stellen potentielle Gefahren dar, ebenso wie Hackerangriffe.

Bezüglich all dieser Vor- und Nachteile gilt allerdings, dass es noch weiterer Forschung bedarf, um abzuklären, wie sich der langfristige und flächendeckende Einsatz von AR in PKWS (insbesondere im Hinblick auf vollwertige AR HUDS) entwickeln wird.

Eine Umfrage zum Thema Augmented Reality aus dem Jahr 2016 ergab, dass 81,6% der Teilnehmenden befürchten, durch Augmented Reality Anwendungen unachtsam zu werden, was insbesondere in Bezug auf die Verkehrsmobilität schwerwiegende Folgen nach sich ziehen kann. Zudem empfand es die Hälfte der Befragten als nachteilig, dass es (speziell beim Tragen von AR-Brillen) zu einem Verschwimmen der Grenzen zwischen der realen und der virtuellen Welt kommen kann und dass sie von der Technik abhängig werden könnten. Ebenfalls knapp 50% der befragten Personen sorgen sich, dass der Einsatz von AR zu gesundheitlichen Risiken führen könnte und dass sie durch Augmented Reality zudem Erfahrungswerte und Fertigkeiten verlieren könnten (PWC 2016).

2 Technische Anforderungen

2.1 Allgemeines

Das englische Wort „Augmented“ heißt übersetzt „erweitert, angereichert, vermehrt“, „Augmented Reality“ bedeutet also in etwa „erweiterte Wirklichkeit“.

Im Gegensatz zu Virtual Reality (VR)- Elementen, bei denen die Personen (durch VR-Brillen beispielsweise) gewissermaßen komplett in eine virtuelle Welt abtauchen, wird bei Augmented Reality die Wirklichkeit lediglich um digitale Inhalte „angereichert“ (Schart & Tschanz 2018, 20).

„Bei Augmented Reality wird die reale Umgebung eines Benutzers mit digitalen (teilweise ortsbasierten) Informationen [...], interaktiven Elementen oder (3D-) Animationen erweitert, welche in reale Szenen eingeblendet werden“ (Schart & Tschanz 2018, 21).

Das heißt, es werden reale Objekte mit virtuellen Informationen verknüpft und die digitalen Inhalte so über eine Ansicht der realen Welt gelegt, dass diese trotzdem noch sichtbar bleibt (Schart & Tschanz 2018, 21).

Diese digitalen Inhalte können zum Beispiel aus Grafiken, Textpassagen, Videosequenzen oder Audiofiles bestehen und werden durch Blick auf (bzw. „durch“) Mobile Devices, Monitore, Scheiben oder AR – Brillen, Helme oÄ „erlebt“ (Papagaiannis 2017, 3).

Diese Erweiterung der Wirklichkeit geschieht dabei aber nicht statisch, sondern dynamisch, d. h. die Objekte werden kontinuierlich an den momentanen Blickpunkt des Users/der Userin angepasst (Broll 2013, 242).

Daher stellt Augmented Reality vielfältige Anforderungen an virtuelle Objekte hinsichtlich der visuellen und auditiven Qualität sowie der Interaktionen, damit diese nahtlos in der realen Welt integriert erscheinen (Peddie 2017), wie in der hier angeführten Abbildung ersichtlich:

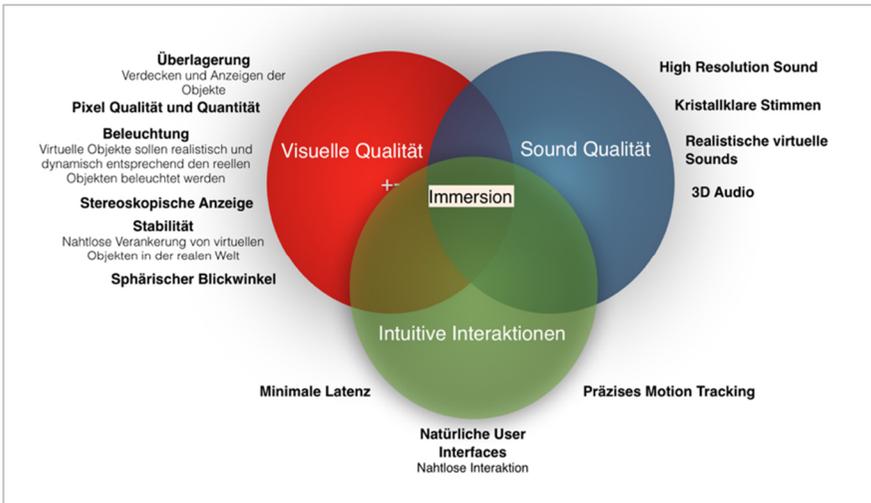


Abbildung 4-4: Immersion (Eigene Darstellung in Anlehnung an Peddie, 2017)

Das Augmented Reality Spiel Pokemon Go, das virtuelle Figuren via Mobile Device in die Realität „integriert“, schaffte es im Jahr 2016 in die Schlagzeilen zu kommen, als Millionen UserInnen weltweit auf die Jagd nach kleinen, virtuellen Monstern gingen (ORF 2016). Nachfolgende Abbildung auf der rechten Seite zeigt, wie die nahtlose Erweiterung der Realität funktionieren kann, denn es wirkt fast so, als ob sich der Hund und die virtuelle Figur tatsächlich auf der Straße begegnen würden. Beim Blick durch das Smartphone werden virtuelle Welt und Realität verknüpft und es scheint, als würden die 3-D Objekte in die Wirklichkeit projiziert werden. Beim linken Screenshot zeigt sich allerdings, dass Augmented Reality (noch) nicht immer korrekte bzw. sinnvolle Informationen (in diesem Fall Übersetzungen) liefert. Die App „Google Translate“ verspricht eine direkte Übersetzung von Textelementen (z. B. auf Schildern etc.). In der Praxis fällt allerdings auf, dass das System noch nicht vollständig ausgereift ist (was den Inhalt und die Verortung betrifft), wie folgende Übersetzung eines „Achtung Kinder“ Schildes veranschaulicht:

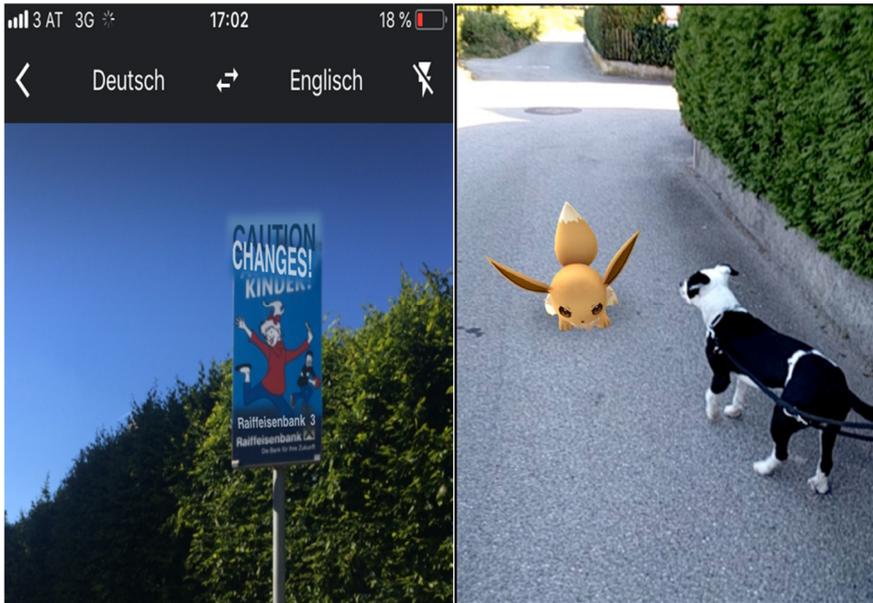


Abbildung 4-5: (links) Google Übersetzer (Foto: Alexander Niederländer)

Abbildung 4-6: (rechts) Pokemon Go (Niederländer & Niederländer 2017, 414)

Einer bereits aus dem Jahr 1997 stammenden Definition Azumas (1997, 356) zufolge, die weite Verbreitung fand, müssen folgende drei Kriterien erfüllt sein, damit ein System unter den Begriff Augmented Reality System subsumiert werden kann:

- eine Kombination von Realität und Virtualität mit teilweiser Überlagerung
- die Interaktivität in Echtzeit (dynamisch)
- 3D Registrierung/Anzeige

Um diese Verschmelzung von Wirklichkeit und virtueller Welt zu erreichen, ist es erforderlich, verschiedene Komponenten zu implementieren. Folgende drei Bereiche müssen abgedeckt werden (Tönnis 2010, 4):

- das Tracking
- die Darstellung
- die Interaktion

Augmented Reality entstand – wie viele andere Innovationen auch – im Zuge militärischer Laborexperimente und wurde dann von der Industrie weiterentwickelt. Restriktionen und Beschwerlichkeiten aufgrund von mangelnder Performance sowie fehlendem Komfort wurden vom Militär, der Wissenschaft und der Industrie in Kauf genommen. Um allerdings auch von der Masse akzeptiert zu werden, müssen sowohl Komfort als auch Performance stimmen, damit die Käufer und Käuferinnen vom Produkt überzeugt sind. Dazu gehört, dass entsprechende Applikationen/Systeme trotz der Komplexität der Materie kostengünstig, leicht und portabel gestaltet sind (Peddie 2017, 11).

2.2 Benötigte Elemente

Folgende Elemente werden benötigt, um AR Anwendungen zu realisieren:

Hardwareseitig bedarf es idR Kameras bzw. Sensoren sowie Anzeigergeräte wie etwa Mobile Devices, Helme, Smart Glasses (Brillen) oder HUDs. Da sowohl die Überlagerung als auch die Szenen generiert, berechnet sowie angezeigt werden müssen, ist außerdem eine Tracking-Software samt einem Renderer erforderlich (Schart & Tschanz 2018, 45).

Oftmals wird mit der (zuvor entsprechend kalibrierten) Kamera des benützten Gerätes (Front-/Heckkamera des Fahrzeugs, Smartphone etc.) zuerst ein Videostream der Umgebung der AnwenderInnen aufgenommen. Parallel dazu erfolgt mit Hilfe von (vernetzter) Sensortechnik die Bestimmung bzw. Schätzung der Position und der Lage/Orientierung der BetrachterInnen respektive der Kamera, denn um Augmented Reality Anwendungen zu realisieren, ist es notwendig,

den Blickpunkt des Anwenders/der Anwenderin jederzeit so exakt wie möglich zu bestimmen. Dies wird auch Tracking genannt. Außerdem ist die Registrierung erforderlich (Broll 2013, 242).

„Unter Registrierung (genauer geometrischer Registrierung) versteht man die Verankerung oder das korrekte Einpassen der künstlichen virtuellen Inhalte in die Realität“ (Broll 2013, 317).

Die Koordinationssysteme sowohl des virtuellen Contents als auch der Realität müssen – auf Grundlage der jeweils gewonnenen Positions- und Lagedaten des Trackings - so in einen gemeinsamen Konnex gesetzt werden, dass der virtuelle Content in der Wirklichkeit registriert, d.h. fest verortet, erscheint (Broll 2013, 243).

Zur Registrierung kann etwa ein Marker verwendet werden. Dies ist zum Beispiel - wie auf der unten angeführten Abbildung ersichtlich ist - durch den Merger Cube von Google durchführbar. Im Internet finden sich bereits Druckversionen des Cubes, die heruntergeladen und auf Papier ausgeschnitten zu einem Würfel geformt werden. Mittels Kamera wird der Marker erkannt, und es können je nach Wunsch Spiele gespielt, Artefakte von allen Seiten inspiziert oder naturwissenschaftliche Themen wie das Sonnensystem oder ein Vulkanausbruch betrachtet werden.



Abbildung 4-7: Merger Cube (Foto: Andreas Rösch)

Dann werden auf Basis der eruierten und berechneten Daten und der dadurch erfolgten Transformation die virtuellen Inhalte wiedergegeben. Dies wird auch als Rendering bezeichnet. Es kommt zu einer perspektivisch korrekten Projektion und Ausgabe der virtuellen Objekte in das Videobild beziehungsweise in die Umgebung des Users (Broll 2013, 243).

Diese Visualisierungsarten können in Bezug auf Fahrzeuge mittels Wearables, wie etwa Brillen, die Zusatzinformationen über die Welt, wie sie die Nutzenden sehen, oder mittels Projektionsflächen, die direkt im Auto integriert sind, legen (Lenke 2019).

3 AR in Personenkraftfahrzeugen

In Fahrzeugen herrschen besondere Bedingungen: Viele Glaselemente bieten Möglichkeiten, die Realität digital anzureichern, ganz ohne den Bedarf nach zusätzlichen Interfaces wie Wearables (Brillen bzw. Helme) oder Videoausgaben via separatem Display. Es gibt im Automotive Bereich verschiedenste Varianten, wie die Realität um virtuelle Elemente angereichert werden kann. Augmented Reality bietet einen zusätzlichen Ausgabekanal, um Fahrgästen nützliche Informationen interaktiv und geometrisch korrekt verortet zur Verfügung zu stellen. Während Anbieter anfangs hauptsächlich mit Augmented Reality Brillen (mono- oder binocular) oder Helmen experimentierten, werden heutzutage die Informationen beispielsweise auf Videobildschirmen (z.B. Rückfahrkameras) angezeigt, mittels Head-Up Display (HUD) auf die Windschutzscheibe projiziert oder Rückfahrspiegel ersetzt.

Wenn man die Definition Azumas im Hinblick auf jene HUDs anwendet, die derzeit im Einsatz sind und lediglich Fahrzeug- und Navigationsinformationen (gefährliche Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbegrenzungen etc.) auf einem kleinen Bereich der Windschutzscheibe darstellen, so zeigt sich, dass es sich dabei noch um keine AR-Anwendungen im eigentlichen Sinn handelt, denn weder sind die Objekte perspektivisch korrekt eingeblendet, noch ist Interaktivität gegeben. Im Gegensatz dazu trifft dies auf Rückfahrkameras, die beim Einparken helfen, sehr wohl zu, denn dabei kommt es zu einer perspektivisch korrekten Einblendung der Fahrspur, je nachdem in

welche Richtung der Lenkeinschlag erfolgt. Auch die Interaktivität ist in diesem Fall gegeben (Dörner et al. 2016, 33).

In Zukunft sollen smarte (also echte, semitransparente) Windschutzscheiben, bei denen die kompletten Scheibenflächen als transparente Anzeige genutzt werden, vollwertiges AR ermöglichen und die User Experience revolutionieren, sodass für jede mitfahrende Person die relevanten, personalisierten Daten eingeblendet werden und Interaktivität möglich ist.

3.1 Displays in Fahrzeugen

Augmented Reality wird oftmals mit Hilfe von Helmen oder Brillen umgesetzt. Der Nachteil von Brillen ist allerdings, dass sie nicht am gesamten Display, sondern nur in einem eingeschränkten Bereich Informationen einblenden können. Im Gegensatz zum menschlichen Blickfeld (180 Grad), können auf einer AR Brille lediglich 30-40 Grad genutzt werden (Breit 2019). Zudem können diese unter Umständen eine Störung für den Fahrenden darstellen. Vorteilhaft kann sich hingegen auswirken, dass die Brille nicht nur im Fahrzeug zum Einsatz kommen kann, sondern dass dem Nutzenden auch außerhalb des Fahrzeuges AR-angereicherte Informationen eingeblendet werden können (Lenke 2019).

Aktuell werden hauptsächlich zwei Arten von Displays in Fahrzeugen verwendet: im Auto integrierte oder installierte videobasierte Displays und Head-Up Displays (HUDs), also windschutzscheibenbasierte Anzeigen.

Verschiedene Automobilhersteller bauen Video-Displays in die Fahrzeugkonsole ein, die mit Hilfe der Front- und/oder der Heckkamera Videos produzieren und diese mit Hinweisen zur Navigation und zum Fahrverhalten (Geschwindigkeit, Straßenschilder etc.) überlagern.

Auch Apps auf Mobile Devices, wie beispielsweise „AR GPS Drive Navigation“, „iOnRoad“ oder „Sygic“ versprechen Funktionalitäten ähnlich den AR-Anwendungen von eingebauten Displays. Das auf der Konsole oder Windschutzscheibe montierte Smartphone zeigt mittels Kamera das Livebild. Zusätzlich werden Navigationshinweise oÄ eingeblendet. Bei diesen (idR sehr kleinen) Displays müssen die Fahr-enden allerdings den Blick vom Straßengeschehen abwenden, um die mit Zusatzinformationen angereicherte Straßensicht zu erhalten.

Erwartet wird daher, dass durch sogenannte HUD die Sicherheit erhöht werden kann, denn LenkerInnen müssen dank diesem HUD den Blick nicht mehr vom Straßengeschehen abwenden, um Zusatzinformationen zum Straßenverlauf oder zu Gefahrenquellen zu erhalten (Hannen 2019).

Bei HUD werden die Informationen direkt auf die Windschutzscheibe des Autos projiziert. HUD werden in vielfältigen Funktionen eingesetzt: zur Navigation, zum Halten der Spur, zur Anzeige von Objekten, die durch Nebel verdeckt sind, oder etwa zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung.

Diese Displays wurden ursprünglich zu militärischen Zwecken im Bereich der Aeronautik konzipiert und konstruiert, um für die PilotInnen durch Projektion auf die Frontscheibe Zusatzinformationen einzublenden (Mehler-Bicher & Steiger 2014, 46).

Als Vorteile von HUDs werden gesehen, dass UserInnen keine Aktionen setzen müssen, um Informationen zu generieren, und dass sie nicht mehr genötigt sind, ihre Blicke von der Fahrbahn abzuwenden. Ein Blindflug wird vermieden (Mehler-Bicher & Steiger 2014, 47). Und auch für die Fokussierung wird weniger Zeit benötigt (Tönnis 2010, 140). Nachteilig kann sich hingegen etwa die Überforderung und Ablenkung auswirken, wenn zu viele Informationen angeboten werden (Mehler-Bicher & Steiger 2014, 47). Außerdem ist

das HUD idR auf eine kleine Fläche der Frontscheibe beschränkt und nur für die Fahrerin/den Fahrer sichtbar. Auch muss ein bestimmter Winkel eingehalten werden, damit der Fahrer/die Fahrerin die Informationen betrachten kann (Lenke 2019).

Neben eingebauten Versionen werden auch HUDs verkauft, die nachträglich im Auto angebracht werden können. Diese zeigen – verbunden via OBD2 (On-Board-Diagnose-Buchse) oder GPS - bislang zumeist die aktuell gefahrene Geschwindigkeit oä Daten an. Diese HUDs zum nachträglichen Montieren in das Fahrzeug können bereits zu sehr günstigen Preisen erworben werden. Allerdings sind diese dann oftmals nur auf wenige, rudimentäre Features beschränkt, auch hinsichtlich der Sichtbarkeit besteht noch Optimierungspotenzial, wie hier demonstriert:



Abbildung 4-8: Einbau-HUD (Foto: Alexander Niederländer)

Damit allerdings nicht bloß die Informationen von den Fahrzeuginstrumenten (wie zum Beispiel die Geschwindigkeit, Drehzahl oder Warnleuchten) ausgelesen und vom HUD auf die Windschutzscheibe projiziert werden, sondern es zu einer tatsächlichen Verschmelzung des realen Sehbereichs der Fahrgäste und der virtuellen Elemente kommt, werden größere Displayflächen benötigt (Blume et al. 2014, 139). Nur so ist es möglich, „*die reale Ansicht der Straße vor dem Fahrzeug kontakt-analog (also für den Fahrer optisch passgenau) mit virtuell erzeugten Hinweisen transparent zu überlagern*“ (Blume et al. 2014, 140) und dadurch Augmented Reality Features anzubieten. Für ein solches vollwertiges AR-HUD wird ein virtuelles Bild benötigt, welches siebeneinhalb bis fünfzehn Meter vor der/dem Fahrenden fokussiert ist (Thomas & Kirchbeck 2019). Neue Entwicklungen im Bereich holographischer Laser-Projektionen ermöglichen in Zukunft, dass eine größere Fläche als bei den derzeitigen HUDs zur Anzeige verwendet werden kann (Rinspeed 2017).

Basierend auf (vernetzten) Sensordaten in Echtzeit werden bei Augmented Reality Anwendungen - im Zusammenhang mit HUDs – relevante Informationen wie Navigationshinweise oder Warnhinweise von den Assistenzsystemen ins Blickfeld der Fahrenden projiziert und gleichzeitig werden dabei Objekte aus der Wirklichkeit markiert, wobei auch eine Interaktion mit diesen stattfindet (Firth 2019).

Um beispielsweise den konkreten Fahrweg am HUD auf eine Weise einzublenden, dass es für die Lenkende erscheint, als würde die Straße, die sie benützen muss, eingefärbt sein, erfordert es eine Vielzahl an Sensoren und deren Datenfusion. Überdies muss die Szene erst gerendert und angezeigt werden.

Die folgende Grafik erläutert die Architektur einer AR-HUD Software mit dem Input durch Sensoren (Kamera, GPS, Gyroskop (zur Messung der Lageveränderung), Accelerometer (Beschleunigung), Kompass, Radar...), gefolgt von der Datenfusion, dem 3D-Rendering und der Datenausgabe via HUD (Spiesswinkel 2018, 17):

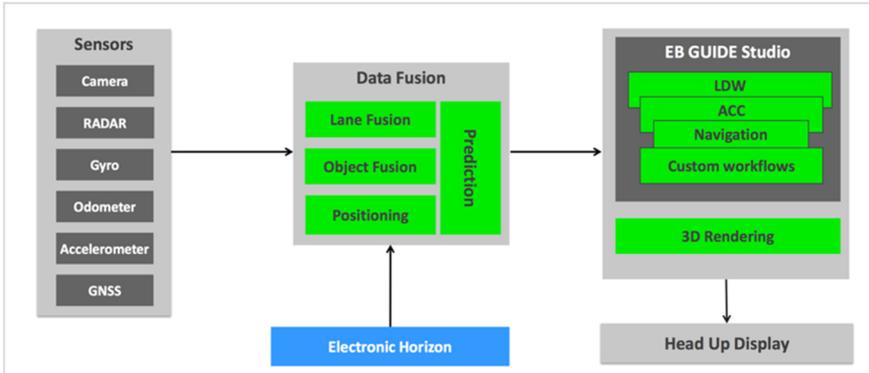


Abbildung 4-9: Architektur einer AR-HUD Anwendung (Spiesswinkel 2018)

3.2 Anwendungsbeispiele

3.2.1 Mercedes-Benz

Der Automobilhersteller Mercedes Benz hat bereits eine videobasierte AR-Anwendung in seinen neuen PKWs implementiert. So werden grafische Navigationshinweise sowie Verkehrsinformationen – eingebettet in die Fahrzeugkonsole - als erweiterte Realität angezeigt. Dazu wird das Videobild durch eine Frontkamera aufgenommen und als Live-Bild am Display eingeblendet. Diese Aufnahme wird durch zusätzliche Informationen wie Straßennamen, Hausnummern oder die Anzeige der Ampelphasen angereichert (Mercedes Benz o.D.).

Die folgende Abbildung zeigt eine solche Fahrzeugkonsole, bei der das Livebild Straßennamen und Richtungspfeile eingeblendet werden:



Abbildung 4-10: Display Mercedes Benz (Mercedes Benz, o. D., 1)

Mercedes Benz setzt, wie oben bereits dargestellt, Augmented Reality aber nicht nur als Zusatzservice und Verkaufsargument im fertigen Produkt für KundInnen ein, sondern bereits in der Fertigung, Montage und der Inbetriebnahme. So erfolgt schon bei der Produktion des Fahrzeuges eine optische Überlagerung des realen Ist-Zustandes eines Fahrzeuges mit dem virtuellen Soll-Zustand, um Abweichungen aufzuzeigen.

3.2.2 Volkswagen

Der Autohersteller Volkswagen sieht Augmented Reality als zukünftigen zentralen Faktor für den Automotive-Bereich und möchte dies mit Hilfe von holographischer Displaytechnik umsetzen, da die Wiedergabemöglichkeiten heutiger HUDs auf einen begrenzten Raum beschränkt sind (Klein 2019). Der neue Volkswagen ID.3 blendet die generierten Informationen nicht wie andere Hersteller am Display des Dashboards des Autos ein, sondern zeigt die Daten (Geschwindigkeit,

Navigationshinweise, Tempolimits...) direkt auf der Frontscheibe an (Volkswagen o.D.), wie folgende Abbildung zeigt.



Abbildung 4-11: HUD Volkswagen (Volkswagen o.D.)

3.2.3 BMW

Auch in verschiedenen PKW-Modellen des Automobilherstellers BMW kommt ein Head-Up Display zum Einsatz. Laut BMW können dabei unter anderem folgende Daten angezeigt werden: Geschwindigkeit, Tempolimits, Motordrehzahl und Navigationsinformationen. Mittels eingebautem Projektor wird durch einen lichtdurchlässigen TFT-Bildschirm via extra geformtem Spiegel ein Bild auf die Frontscheibe übertragen (BMW 2018).

4 Zukunftsperspektiven

Augmented Reality Technologien werden mit dem Fortschreiten der Technik sowie dem Forcieren der (teil)autonomen Fahrzeuge immer größere Relevanz entlang der gesamten Wertschöpfungskette bzw. der Customer Journey erfahren. Infotainmentangebote (und selbst Yoga

oder Meditationsübungen) sollen im Auto durchgeführt werden können, wenn das Lenkrad nicht mehr nötig ist, sodass sich kein Fahrgast mehr um das Lenken des Fahrzeugs kümmern muss (Lenke 2019). Außerdem soll das Auto der Zukunft als digitaler Marktplatz dienen, in dem Retailer vor Ort ihre Angebote beim Vorbeifahren an den Fensterscheiben platzieren können und interessierten Passagieren Sehenswürdigkeiten oder Parkplätze angezeigt werden sollen (Mayr 2018).

Der OEM BMW stellte auf der CES 2020 sein Design für zukünftige PKWs vor. Das Fahrzeug kann mittels Sensoren und AI auf die Sprache, Gesten und Blicke der InsassInnen reagieren und das HUD abdunkeln sowie die Scheiben undurchsichtig machen (Floemer 2020), wie die folgende Abbildung veranschaulicht:



Abbildung 4-12: Zukunft BMW (Floemer 2020)

Auch Porsche hat eine Zukunftsvision in Bezug auf PKWs entwickelt; gemeinsam mit dem HUD-Entwickler Wayray möchte der Fahrzeughersteller ein holographisches Display anbieten, das virtuelle Objekte nahtlos auf die gesamte Windschutzscheibenfläche projizieren kann

(Otto 2018) und so zum Beispiel mittels Augmented Reality freie Parkflächen markiert werden können, wie die folgende Darstellung zeigt:



Abbildung 4-13: Porsche HUD (Porsche AG 2019b, 20)

Gearbeitet wird auch an Lichtfeld-Displays (wie im folgenden ersichtlich), bei denen eine dreidimensionale Darstellung der Objekte erfolgt, die von allen Fahrgästen gesehen werden kann, auch ohne dass sie eine 3D Brille verwenden müssen (Continental 2019) (nachfolgende Abbildung).

Das Auto der Zukunft soll zum Erlebnisraum mutieren und dadurch ein ultimatives, ganzheitliches Nutzungserlebnis bieten sowie als neues Device dienen, da beispielsweise durch smarte Windschutzscheiben mehr Interaktionsmöglichkeiten realisiert werden können (Flügge & Roth 2018, 49). Im Concept Auto Oasis etwa ist das Autoinnere wie ein modernes Wohnzimmer gestaltet, mit einem bequemen Sessel, einem Sideboard und Windschutzscheiben, die als Ausgabekanal für Augmented Reality Funktionen verwendet werden (Rinspeed 2017).

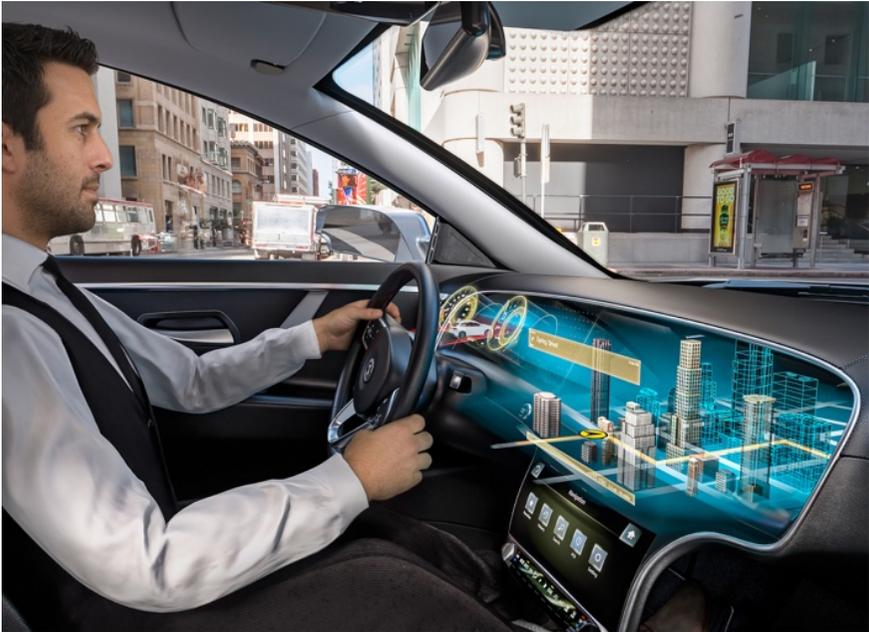


Abbildung 4-14: Zukünftiges Lichtfeld-Display (Continental 2019, 3)

Mithilfe von technisch ausgereifteren, vernetzten Sensoren werden immer bessere, d. h. differenziertere, personalisiertere und individualisiertere Ergebnisse bzw. Interpretationen geliefert, zudem finden sich auch immer mehr realisierbare Anwendungsfälle für Augmented Reality in Fahrzeugen, als es bis jetzt der Fall war.

AR in PKWs kann in Zukunft beispielsweise mittels neuartiger Sensorfusions- sowie Eye-Tracking Funktionen das Display so adaptieren, dass es sich dem Blickwinkel der Fahrgäste anpasst oder die Aufmerksamkeit der Fahrerin/des Fahrers dorthin lenkt, wo sie gerade benötigt wird (Lenke 2019), zum Beispiel auf FußgängerInnen, welche plötzlich die Straße betreten.

Enorme Ausmaße und Auswirkungen wird Augmented Reality dann erreichen, wenn es Technologien (IoT/Wearables, Künstliche Intelligenz - KI) vereint und mit Hilfe von Smart Glass eine völlig neue User

Experience schafft (Papagiannis 2017, 11). Intelligenter Content liefert mittels KI in Bezug auf Fahrzeuge Kontext-Informationen, die individualisiert und genau auf die jeweilige Situation abgestimmt sind. D. h. das System berücksichtigt das Ziel, die Interessen, den Aufenthaltsort, die Befindlichkeiten und Bedürfnisse der InsassInnen des Autos. Dadurch entsteht eine personalisierte und einzigartige User Experience (Flügge 2018, 67).

Es ist davon auszugehen, dass durch Augmented Reality in Fahrzeugen neue Geschäftsmodelle realisiert werden können. Besonders profitieren werden Content Provider sowie die Werbebranche. Speziell im Bereich Kommunikation und datengetriebener Geschäftsfelder (siehe dazu Kapitel Katzlinger/Niederländer – *Connected Cars – Profiteure, Risiken und Geschäftsfelder*) werden sich die Auswirkungen immer mehr bemerkbar machen und neue Player auf dem Markt erscheinen (sofern sie nicht ohnedies schon dort tätig sind). Content -, Software - und Hardware Provider erzeugen Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette (Mehler-Bicher & Steiger 2014, 133), etwa durch Datenaggregation, um Informationen zur Verfügung zu stellen, Plattformen/Channels, neue AR-Apps oder neue hochsensible Sensoren oder High Tech Gläser bereitzustellen.

Bei einem Online-Anbieter von neuartiger AR Software, die mittels Vernetzung und Datenaggregation potentielle Gefahrenquellen wie FußgängerInnen erkennt und am AR-HUD einblendet, könnte sich das Nutzenversprechen zum Beispiel durch die Anzeige und Integration von virtuellen Echtzeit-Gefahren-Warnhinweisen am AR-HUD ergeben. Dabei wird es auch zu (neuen) Partnerschaften und Kooperationen etwa mit Herstellern von AR-Komponenten, Channel Providern oder Data-Providern kommen.

Möglichweise werden in Zukunft nicht mehr Hersteller darüber entscheiden, was in den vernetzten PKWs angezeigt wird, sondern Fahrgäste können über eine Plattform/einen Channel auswählen,

welchen Anbieter von Navigationssoftware, Infotainment oÄ sie präferieren oder welche Unterhaltung/Spiele die Kinder an den seitlichen Scheiben mittels Smart Glass sehen und spielen können. Je nach gewähltem Modell (Erlaubnis zur Datenweitergabe, Freemium Modell, Paywall etc.) könnte dort dann auch personalisierte bzw. ortsbasierte Werbung eingeblendet oder könnten Zusatzfeatures verkauft werden.

Die Erzielung von Erträgen kann demzufolge zum Beispiel durch kostenpflichtige Abonnements/Pay per Use Gebühren geschehen (Mehler-Bicher & Steiger 2017, 134) – etwa für Informationen, die auf den Front- und Seitenscheiben eingeblendet werden, wie zu Sehenswürdigkeiten, an denen man vorbeifährt, oder für Werbeblendungen, die personalisiert und kontextbezogen erfolgen.

Spiele/Infotainmentangebote und vieles mehr könnten also via eigener App oder über eine AR Content Plattform - auch AR Browser genannt wie etwa das österreichische Produkt Wikitude (<https://www.wikitude.com>) - vertrieben werden, die auch von OEMs für die Bereitstellung der Dienste Einnahmen lukrieren könnten. Autohersteller müssen möglicherweise auch bei Installation/Verwendung der AR Hard- und Software von Drittanbietern Lizenzgebühren zahlen (Mehler-Bicher & Steiger 2017, 135; Schart & Tschanz 2018, 141).

Zu den Bausteinen einer AR-Anwendung zählt neben den Informationen (Relevanz und Kontextbezug) und einem intuitiven User Interface für intensive User Experience auch der Content mit Flow-Erlebnis, sodass Nutzende möglichst lange verweilen und die Anwendung möglichst oft wieder benützen (Schart & Tschanz 2018, 130).

Vorstellbar wäre eine Reiseführer-App zu kreieren, die Kindern nicht einfach nur die jeweiligen Namen von berühmten Gebäuden oder Statuen auf der Scheibe einblendet, sondern der die UserInnen mit auf

eine Reise nimmt. Visuelle Reize können mit akustischen Komponenten gekoppelt werden. Zum Beispiel könnte ein Rom-Reiseführer ein virtuelles Kind einblenden, welches so gekleidet ist, wie es zu Zeiten des Römischen Reiches üblich war. Dieser Avatar könnte mit dem kleinen Fahrgast sprechen und das Kind einladen, ihn auf seiner Reise durch das alte Rom zu begleiten. Dabei werden einmal römische Kinder vor dem Kolosseum eingeblendet, die sich darüber unterhalten, was sich im Inneren abspielt, ein anderes Mal sieht man Händler an den Triumphbögen ihre Waren feilbieten, während Interessantes zur Stadt erläutert wird oder wahlweise Geräusche der jeweiligen Szenerien zu hören sind. Bei Fragen kann sich das Kind ebenfalls an seinen virtuellen Reiseführer wenden und dieser antwortet, wie schon von anderen Sprachassistentinnen gewöhnt. Voraussetzung dafür ist unter anderem, dass das System mit Ampelanlagen - sofern noch vorhanden - vernetzt ist und es daher ganz aktuelle Informationen darüber erhält, wie lange das Auto stillstehen wird. Denkbar wäre, dass das System berechnet, wieviel Zeit zur Verfügung steht und die Szenen entsprechend adaptiert, oder dass es die Möglichkeit gibt, anzuhalten, auszusteigen und die Sehenswürdigkeiten interoperabel auf einem anderen System (Wearables/mobiles Gerät) zu Fuß zu erkunden.

Eine andere Möglichkeit wäre eine interaktive PartnerInnensuche via AR-Anwendung. Fahrgäste, die sich bei einem entsprechenden Dienst registriert haben, sehen (bei Start des Programmes, auf Wunsch...) bei PassantInnen/anderen Verkehrsteilnehmenden, die ihrem Profil entsprechen und die ebenfalls bei der App registriert sind sowie der Veröffentlichung zugestimmt haben, auf der Windschutzscheibe Informationen zu dieser Person. Die UserInnen können jeweils auswählen, welche Informationen sie bevorzugt sehen möchten, etwa körperliche Merkmale wie Größe oder Alter, Persönlichkeitsmerkmale (wie die „Big Five“ z. B. als Netzdiagramm über dem Kopf der Person), Vorlieben (Nichtraucher, Besitzerin eines Hundes...), Hobbies etc. und

wählen dann etwa mit einem „Wisch“ auf der Scheibe aus, ob sie die Person gerne kennenlernen bzw. kontaktieren möchten oder ob die Person fortan nicht mehr in ihrem „Pool“ auftauchen soll. Dieses System könnte - wie auch die oben erwähnte Reiseführerapp - auch plattform-übergreifend angeboten werden und auch AR-Brillen oder Mobile Devices umfassen.

Diese und unzählige andere Szenarien sind denkbar, die die Tourismusbranche, die Werbeindustrie, den stationären Handel, die Unterhaltungsindustrie, Bildungseinrichtungen, kulturelle Einrichtungen, aber auch staatliche Institutionen betreffen, die dadurch kontextbezogenen, personalisierten Content bereitstellen könnten.

Es ist in diesem Moment noch nicht abzusehen, welche neuartigen Services, neue User Experience und neue Geschäftsmodelle geschaffen werden können. Fest steht allerdings, dass bei der Vernetzung und der Verwendung all dieser Software, Sensoren (Kamera, Mikrophon, Positionsdaten...) etc. eine Unmenge an Daten entsteht. Diese – zum Teil persönlichen Daten – wecken auch Begehrlichkeiten bei den Regierungen (hier insbesondere bei der Exekutive), Herstellern, Händlern, Anbietern von Plattformen und Services und naturgemäß auch bei Kriminellen (Niederländer & Niederländer 2017, 416). Hacker beispielsweise könnten durch widerrechtlichen Zugriff die Informationsanzeigen manipulieren oder die zum Teil sensiblen personenbezogenen Daten erlangen und verkaufen - Daten, welche darüber hinaus mit Hilfe von künstlicher Intelligenz immer effektiver bzw. effizienter interpretiert, ausgewertet und genützt werden können. Überdies stellt sich die Frage, wem die Daten, die beim Einsatz von Augmented Reality anfallen, „gehören“: Denjenigen, die das Fahrzeug lenken, den Fahrgästen (zum Beispiel im autonomen Fahrzeug), dem Hersteller des Fahrzeuges oder des Systems, den SoftwareentwicklerInnen, dem Anbieter der Services, den Netzbetreibern?

Literaturverzeichnis

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environment*, 6(4), 355-385.
- Blanco, S. (2018). Tesla Patent Application Mentions Augmented Reality Safety Glasses, 7. Dezember, 2018. <https://www.forbes.com/sites/sebastianblanco/2018/12/07/tesla-patent-augmented-reality-safety-glasses/#1992528c1bfd> [18.12.2020].
- Blume, J., Kern, A. & Richter, P. (2014). Head-up-Display – Die nächste Generation mit Augmented-Reality-Technik. In: Siebenpfeiffer, W. (Hrsg.). *Vernetztes Automobil, ATZ/MTZ-Fachbuch*. DOI: 10.1007/978-3-658-04019-2_20, 137-143. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- BMW (2018). How to use BMW M Head-up Display. *M SKILLS*, 4. 23. April, 2018. <https://www.bmw-m.com/de/topics/magazine-article-pool/how-to-use-bmw-m-head-up-display.html> [18.12.2020].
- Breit, L. (2019). Könnten Datenbrillen das Smartphone ersetzen? *Der Standard*, 9. Februar, 2019. <https://www.derstandard.at/story/2000097685508/koennten-datenbrillen-das-smartphone-ersetzen> [18.12.2020].
- Broll, W. (2013). Augmentierte Realität. In: Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR) - Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (241-294). Berlin: Springer view eg.
- Chavan, S. R. (2016). Augmented Reality vs. Virtual Reality: Differences and Similarities. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 5(6), 1947-1952.
- Continental (2019). Neues 3D-Display von Continental und Leia bringt die dritte Dimension ins Fahrzeug. Pressemitteilung, 11. Juni, 2019. <https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/2019-06-11-3d-instrument-cluster-174806> [18.12.2020].
- Cook, T. (2017). Fourth-quarter earnings call. Nach: Marr, B. (2018). 16 Fascinating Augmented Reality Quotes Everyone Should Read., 5. September, 2018. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/05/16-fascinating-augmented-reality-quotes-everyone-should-read/#2f643acb5107> [18.12.2020].
- Daimler AG (2015a). Industrie 4.0 – Digitalisierung bei Mercedes-Benz: Die nächste Stufe der industriellen Revolution, 19. Oktober, 2015. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Industrie-40--Digitalisierung-bei-Mercedes-Benz-Die-naechste-Stufe-der-industriellen-Revolution.xhtml?oid=9272047> [18.12.2020].

- Daimler AG - Global Communications Mercedes-Benz Cars (2015b). <https://media.daimler.com/marsMediaSite/scr/cache/7561845v1tv3/D223578.jpg> [18.12.2020].
- Davies, A. (2019). This Lidar Is So Cheap It Could Make Self-Driving a Reality. *Wired*, 7. November, 2019. <https://www.wired.com/story/lidar-cheap-make-self-driving-reality/> [18.12.2020].
- Der Standard (2020). Keine Science-Fiction: Start-up zeigt smarte Kontaktlinsen mit integriertem Display, 17. Jänner, 2020. <https://www.derstandard.at/story/2000113409742/keine-science-fiction-startup-zeigt-smarte-kontaktlinsen-mit-integriertem-display> [18.12.2020].
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (2016). Virtual Reality und Augmented Reality (VR/AR) - Auf dem Weg von der Nische zum Massenmarkt. *Informatik Spektrum*, 39, 30-37. DOI: 10.1007/s00287-014-0838-9.
- Ellis, C. (2019). Toyota showrooms use augmented reality to let customers 'see' inside cars, 22. Februar, 2019. <https://www.techradar.com/news/toyota-showrooms-use-augmented-reality-to-let-customers-see-inside-cars> [18.12.2020].
- Firth, M. (2019). Introduction to automotive augmented reality head-up displays using TI DLP technology. <http://www.ti.com/lit/wp/dlpy009/dlpy009.pdf?ts=1590247470782> [18.12.2020].
- Floemer, A. (2020). iNext: BMW will euch per Blick, Sprache und Gesten mit dem Auto interagieren lassen, 10. Jänner, 2020. <https://t3n.de/news/inext-bmw-euch-blick-sprache-1239522/> [18.12.2020].
- Flügge, B. & Roth, H. (2018). Erlebnisraum Auto. In Flügge, B. (Hrsg), *Smart Mobility in der Praxis: Das Auto – unverzichtbar für den intermodalen Verkehr?* (53-55). Wiesbaden: Springer.
- Geiger, T. (2018). So sollen Autos ohne Rückspiegel besser fahren, 9. Jänner, 2018. <https://www.fr.de/ratgeber/auto/sollen-autos-ohne-rueckspiegel-besser-fahren-11003803.html> [18.12.2020].
- Hannen P. (2019). Head-up-Displays. Straße und Verkehr im Blick, 1. März, 2019. <https://www.sifa-sibe.de/ergonomie/strasse-und-verkehr-im-blick/> [18.12.2020].
- Kim, S. J. & Dey, A. K. (2016). Augmenting human senses to improve the user experience in cars: applying augmented reality and haptics approaches to reduce cognitive distances. *Multimedia Tools and Applications*, 75, 9587–9607. DOI: 10.1007/s11042-015-2712-4.

- Klein, C. (2019). Augmented Reality: Volkswagen kauft sich bei SeeReal ein, 30. August, 2019. <https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/fahrzeugtechnik/augmented-reality-volkswagen-kauft-sich-bei-seereal-ein-260.html> [18.12.2020].
- Lenke, N. (2019). Augmented Reality im Auto - Wie AR den Straßenverkehr bereichert. *Computerwoche*, 29. Oktober, 2019. <https://www.computerwoche.de/a/wie-ar-den-strassenverkehr-bereichert,3547913> [18.12.2020].
- Market Study Research (2019). At 98.1% CAGR, Trends of Automotive Augmented Reality and Virtual Reality Market Reviewed with Industry forecast to reach 506600 million US\$ by the end of 2025.
- Mayr, S. (2019). Intelligente Windschutzscheibe. *Süddeutsche Zeitung*, 18. September, 2019. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/navigation-intelligente-windschutzscheibe-1.4135427> [18.12.2020].
- Mehler-Bicher, A. & Steiger, L. (2014). *Augmented Reality Theorie und Praxis*. 2. Auflage München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Mercedes Benz (o.D.). MBUX Augmented Reality für Navigation. <https://www.mercedes-benz.de/passengercars/mercedes-benz-cars/models/ecq/comfort.pi.html/mercedes-benz-cars/models/ecq/comfort/comfort-gallery/augmented-video> [18.12.2020].
- Niederländer, U. & Niederländer, R. (2017). Augmented Reality (AR). In: Höller, J., Katzlinger, E. & Stabauer, M. (Hrsg.), *Von der Datenverarbeitung zum Digital Business. Ein Rück- und Ausblick auf 25 Jahre Web, 30 Jahre Datenverarbeitung und 50 Jahre JKU* (401–421). Berlin: GITO mbH Verlag.
- Otto, Ch. (2018). Porsche investiert in HuD-Spezialisten Wayray, 19. September, 2018. <https://www.automobil-industrie.vogel.de/porsche-investiert-in-hud-spezialisten-wayray-a-757289/> [18.12.2020].
- ORF (2016). Riesige „Pokemon Go“-Party ohne Genehmigung, 2. August, 2016. <https://wien.orf.at/v2/news/stories/2788981/> [18.12.2020].
- Papagiannis, H. (2017). *Augmented Human - A new wave of reality*. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Peddie, J. (2017). *Augmented Reality – Where We Will All Live*. Wiesbaden: Springer International Publishing.
- Plavšić, M., Bubb, H., Duschl, M. Tönnis & M., Klinker, G. (2009). Ergonomic Design and Evaluation of Augmented Reality Based Cautionary Warnings for Driving Assistance in Urban Environments. *Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics (International Ergonomics Association, IEA)*, 9-14.

- Porsche AG (2019a). New app makes three-dimensional vehicle configuration possible. Porsche presents first Visualizer App with Augmented Reality. Press release, 22. Mai, 2019. <https://newsroom.porsche.com/en/2019/digital/porsche-augmented-reality-visualizer-app-car-configuration-17619.html> [18.12.2020].
- Porsche AG (2019b), Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2018 der Porsche AG. <https://newsroom.porsche.com/de/unternehmen/porsche-geschaefts-und-nachhaltigkeitsbericht-2019/download-center-berichte.html> [18.12.2020].
- PWC (2016). Digital Trend Outlook 2016. Augmented Reality: Welche Branchen können in Zukunft profitieren? <https://www.pwc.de/de/technologie-medien-und-telekommunikation/assets/tmt-studie-augmented-reality.pdf> [18.12.2020].
- Research and Markets (2017). Augmented Reality Automotive Market by Function. September 2017. <https://www.researchandmarkets.com/reports/4397187/augmented-reality-automotive-market-by-function> [18.12.2020].
- Rao, Q., Grünler, C., Hammori, M. & Chakrabort, S. (2014). Design methods for augmented reality in-vehicle infotainment systems. *Proceedings of the 51st ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, 1-6. IEEE. DOI: 10.1145/2593069.2602973.
- Riegler, A., Wintersberger, P., Riener, A. & Holzmann, C. (2019). Augmented Reality Windshield Displays and Their Potential to Enhance User Experience in Automated Driving, *i-com*, 18(2), 127–149. DOI: 10.1515/icom-2018-0033.
- Rinspeed (2017). Europa-Premiere: Rinspeed zeigt pfiffigen urbanen Flitzer „Oasis“ auf dem Auto Salon in Genf 2017. https://www.rinspeed.com/upload/conceptfiles/oasis_haupt_pi_gva.pdf [18.12.2020].
- Santana-Fernández, J., Gómez-Gil, J. & del-Pozo-San-Cirilo, L. (2010). Design and implementation of a GPS guidance system for agricultural tractors using augmented reality technology. *Sensors*, 10(11), 10435-10447.
- Schart, D. & Tschanz, N. (2018). Augmented und Mixed Reality. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft.
- Scoble, R. & Israel, S. (2017). The Forth Transformation – How Augmented Reality and Artificial Intelligence Change Everything. Patrick Brewster Press.
- Spießwinkel, D. (2018) Converging the virtual world with the real world – augmented reality for the automotive head-up display. Electrobite. <https://www.automotiveworld.com/webinars/augmenting-real-world-ar-automotive-hud/> [8.8.2019].

- Statista (2018). Das Potential von AR schlummert noch, 4. September, 2018. <https://de.statista.com/infografik/15313/geschaetzter-weltweiter-absatz-von-augmented-und-virtual-reality-geraeten/> [18.12.2020].
- Thomas, J. & Kirchbeck, B. (2019). AR HUD – Entwicklung eines hochauflösenden, retinal begrenzten Displays, 17. Juni, 2019. <https://www.next-mobility.news/ar-hud-entwicklung-eines-hochaufloesenden-retinal-begrenzten-displays-a-838508/> [18.12.2020].
- Tönnis, M. (2010). Augmented Reality – Einblicke in die Erweiterte Realität. Informatik im Fokus, Berlin: Springer.
- Volkswagen (o.D.). Die Straße vor Augen. Alles andere auch. Head-up-Display. <https://www.volkswagen.at/tiguan/head-up-display> [18.12.2020].
- Wang, S., Charissis, V. & Harrison, D. (2017). Augmented reality prototype HUD for passenger infotainment in a vehicular environment. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2(3), 634-641. DOI: 10.25046/aj020381.