

# Wie kann der Einsatz von Augmented Reality in der Industrie zu neuen Geschäftsmodellen führen?

Simon Kuhn

Technische Hochschule Ingolstadt

16. Juni 2023

**Zusammenfassung**—Diese Arbeit untersucht die wachsende Rolle von Augmented Reality (AR) im Industriesektor und konzentriert sich auf ihr Potenzial zur Optimierung von Betriebsabläufen, Steigerung der Produktivität und Förderung innovativer Geschäftsmodelle. Dabei wird die technische Grundlage von AR-Systemen eingehend untersucht, einschließlich Sensoren und Tracking-Technologien, Datenverarbeitung und -darstellung sowie Display-Optionen. Der Artikel diskutiert auch die gängige Verwendung von optischen Tracking-Methoden und Inertial Measurement Units (IMUs) zur Bestimmung der Position und Ausrichtung von AR-Geräten. Die Bedeutung der Datenverarbeitung und -darstellung für die nahtlose Integration von virtuellen Inhalten in die reale Welt wird hervorgehoben, zusammen mit einem Überblick über verschiedene Display-Optionen wie video-basierte oder optische Displays. Der Artikel schließt mit einer Diskussion über die aktuellen Anwendungen von AR in der Industrie, einschließlich Mitarbeiterschulungen, Wartung und Produktentwicklung.

**Index Terms**—Augmented Reality, AR, Industrie, Potentiale von AR, Geschäftsmodelle

## I. EINFÜHRUNG

Dank des technologischen Fortschritts im Bereich der Augmented Reality wurden enorme Fortschritte erzielt. AR ermöglicht es, digitale Inhalte in die physische Welt zu projizieren und somit die Realität mit virtuellen Informationen und Objekten zu erweitern. Diese Technologie eröffnet weitreichende Möglichkeiten zur Optimierung von Prozessen, Steigerung der Produktivität und Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle in der Industrie.

Der Einsatz von AR in der Industrie ist bereits weit verbreitet und vielfältig. Er findet Anwendung bei der Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sowie bei der Qualitätskontrolle. Dabei kommen verschiedene AR-Technologien und Plattformen zum Einsatz, wie beispielsweise Head-mounted Displays (HMDs), Smart Glasses oder markerbasierte AR-Systeme. Diese Technologien bieten den Benutzern ein immersives AR-Erlebnis und ermöglichen eine direkte Interaktion mit den virtuellen Inhalten in der realen Umgebung.

## II. TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER AUGMENTED REALITY

Die Grundlage eines funktionsfähigen Augmented Reality-Systems bildet ein vielfältiges Zusammenspiel verschiedener technischer Systeme und Verfahren. Diese können grob in folgende Bereiche unterteilt werden, die zusammenarbeiten, um eine nahtlose und immersive AR-Erfahrung zu ermöglichen.

### A. Sensoren und Erfassungstechnologien

Um virtuelle Inhalte nahtlos in die reale Welt zu integrieren, ist eine präzise Bestimmung der Position des AR-Systems im Raum erforderlich. Dazu werden verschiedene Sensoren und Erfassungstechnologien eingesetzt, die die Umgebung analysieren und die Position sowie Ausrichtung des AR-Geräts ermitteln. Häufig werden optische Tracking-Verfahren wie Infrarot-Sensoren, 3D-Kameras und herkömmliche Kameras im sichtbaren Lichtspektrum aufgrund ihrer geringen Kosten und hohen Verfügbarkeit verwendet. Diese Sensoren erfassen visuelle Informationen aus der Umgebung und dienen zur präzisen Bestimmung der Position und Ausrichtung des AR-Geräts anhand von Markern oder speziellen Merkmalen. Besonders beliebt sind in den letzten Jahren 3D-Kamerasysteme, die auf structured Light oder Time of Flight basieren. Durch fortschrittliche Bildverarbeitungsalgorithmen können visuelle Elemente genau erkannt und verfolgt werden, um virtuelle Objekte in Echtzeit in die reale Welt zu integrieren. Für den Außenbereich wird häufig auch GPS (Global Positioning System) verwendet, wobei die Genauigkeit je nach Anwendungsbereich moderat sein kann und Herausforderungen mit sich bringen kann.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil im Bereich der AR sind Inertiale Messeinheiten (IMUs). Diese Sensoren messen Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit und magnetische Felder. Durch die Integration von IMUs in AR-Geräte können Bewegungen und Rotationen des Geräts erfasst und verfolgt werden, um die relative Position im Raum zu bestimmen. IMUs sind unempfindlich gegenüber äußeren Störeinflüssen und erfordern keine direkte Sichtlinie zu anderen Sensoren. Allerdings besteht das Problem, dass sich die gemessene Position und Ausrichtung im Laufe der Zeit verschieben und von der tatsächlichen Position abweichen können. Daher werden IMUs häufig in Kombination mit anderen Sensoren wie 3D-Kameras verwendet, um präzisere Ergebnisse zu erzielen. Eine erfolgreiche Tracking-Methode basiert grundlegend auf der Kombination verschiedener Tracking-Verfahren und deren Vorteilen, was als Sensorfusion bekannt ist. [1]

### B. Sensorfusion

Sensorfusion im Bereich der erweiterten Realität bezieht sich auf die kombinierte Verwendung mehrerer Sensoren, um genaue und zuverlässige Informationen über die Position und Ausrichtung eines AR-Geräts in der realen Welt zu erhalten. Ein häufig verwendeter Ansatz für die Sensorfusion

ist das erweiterte Kalman-Filter (EKF), das auf dem Kalman-Filter basiert und speziell für nichtlineare Systeme entwickelt wurde.

Der EKF verwendet mathematische Modelle, um die Bewegung und das Verhalten der Sensoren zu beschreiben. Durch die Kombination der Messungen aus verschiedenen Sensoren werden die Vorteile jedes Sensors genutzt, um eine robuste und genaue Schätzung der Position und Ausrichtung zu erhalten. Dabei werden die Unsicherheiten und Fehler der einzelnen Sensoren berücksichtigt und korrigiert.

Die Funktionsweise des EKF beruht auf einer Vorhersage- und einer Aktualisierungsphase. In der Vorhersagephase werden die aktuellen Schätzungen der Position und Ausrichtung basierend auf den vorherigen Messungen und dem mathematischen Modell der Bewegung des AR-Geräts prognostiziert. In der Aktualisierungsphase werden die aktuellen Messungen der Sensoren verwendet, um die Vorhersagen zu korrigieren und eine genauere Schätzung zu erhalten.

Ein wichtiger Aspekt des EKF ist die Berücksichtigung der Unsicherheit der Sensormessungen und des mathematischen Modells. Durch die Anpassung der Gewichtung der einzelnen Messungen und die Schätzung der Unsicherheit wird eine robuste Fusion der Sensordaten erreicht.

Die Sensorfusion mithilfe des EKF ermöglicht es, genaue und zuverlässige Informationen über die Position und Ausrichtung eines AR-Geräts in Echtzeit zu erhalten. Dies ist entscheidend für eine nahtlose Integration von virtuellen Inhalten in die reale Welt und ermöglicht eine immersive AR-Erfahrung für die Benutzer. [2], [3]

Die mathematischen Gleichungen des EKF sind wie folgt definiert:

- 1) Vorhersage des Zustands:

$$\hat{x}_{k+1} = g(x_k, u)$$

wobei  $g$  die Zustandsübergangsfunktion,  $x_k$  der geschätzte Zustand zum Zeitpunkt  $k$  und  $u$  die Eingabe zum Zeitpunkt  $k$  ist.

- 2) Vorhersage der Fehlerkovarianz:

$$P_{k+1} = J_A P_k A_A^T + Q$$

wobei  $J_A$  die Jacobi-Matrix der Zustandsübergangsfunktion,  $P_k$  die Kovarianzmatrix des Schätzfehlers und  $Q$  die Kovarianzmatrix des Prozessrauschens ist.

- 3) Berechnung der Kalman Verstärkung:

$$K_k = P_k J_H^T (J_H P_k J_H^T + R)^{-1}$$

wobei  $K_k$  die Kalman-Verstärkung,  $J_H$  die Jacobi-Matrix der Messfunktion,  $R$  die Kovarianzmatrix des Messrauschens und  $z_k$  die Messung zum Zeitpunkt  $k$  ist.

- 4) Aktualisierung der Schätzung durch Messung:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k + K_z(z_k - h(\hat{x}_k))$$

wobei  $J_H$  die Jacobi-Matrix der Messfunktion,  $R$  die Kovarianzmatrix des Messrauschens und  $z_k$  die Messung zum Zeitpunkt  $k$  ist.

- 5) Korrektur der Fehlerkovarianz:

$$P_k = (I - K_k J_H) P_k$$

wobei  $I$  die Einheitsmatrix ist.

### C. Datenverarbeitung und -darstellung

Die Datenverarbeitung und Darstellung spielen eine entscheidende Rolle im Bereich der AR. Um eine nahtlose Integration von virtuellen Inhalten in die reale Welt zu ermöglichen, müssen die erfassten Daten zunächst verarbeitet und interpretiert werden. Anschließend erfolgt die Darstellung der AR-Inhalte in einer für den Benutzer verständlichen Form. Dabei ist eine Kalibrierung der Tracking-Systeme, wie beispielsweise der Kamera, erforderlich, um genaue Positionierungsinformationen zu erhalten.

Die Darstellung der AR-Inhalte erfolgt in Echtzeit, um eine immersive und interaktive Erfahrung zu gewährleisten. Hierbei spielen Grafiktechnologien wie Computergrafik, Rendering-Algorithmen und Schattenberechnung eine wichtige Rolle. Die virtuellen Objekte müssen realistisch und überzeugend in die reale Umgebung integriert werden. Dies erfordert die Berücksichtigung von Aspekten wie Beleuchtung, Schatten und Perspektive, um eine konsistente und immersive AR-Erfahrung zu schaffen.

Es gibt verschiedene Arten, wie die Darstellung der AR-Inhalte erfolgen kann. Bei der Video-gestützten Variante wird die Kamera des AR-Geräts verwendet, um eine Echtzeit-Videoaufnahme der Umgebung zu erfassen und auf dem Display anzuzeigen. Die AR-Inhalte werden mithilfe von Bildverarbeitungstechniken in die realen Aufnahmen integriert. Der schematische Aufbau eines solchen Verfahrens ist in Abbildung 1 dargestellt.

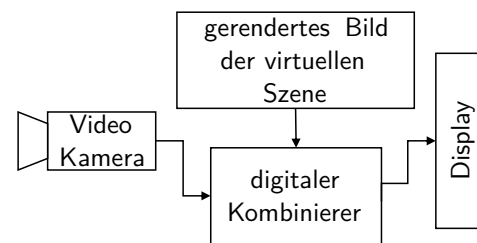


Abb. 1: Aufbau von Video basierten AR-Displays [1]

Ein weiteres Verfahren, das in Abbildung 2 dargestellt ist, basiert auf optischen, durchsichtigen AR-Displays, die auf halbdurchlässigen Spiegeln basieren. Bei dieser Variante kann der Benutzer die reale Welt durch den halbdurchlässigen Spiegel sehen und gleichzeitig die reflektierte Anzeige der AR-Inhalte wahrnehmen. Die Besonderheit dieser Technologie liegt in der Anordnung des halbdurchlässigen

Spiegels unter einem Winkel von 45 Grad. Dadurch wird das einfallende Licht sowohl reflektiert als auch teilweise durchgelassen. Ein bekanntes Anwendungsbeispiel für diese Technologie sind Head-up-Displays in Autos, bei denen relevante Informationen wie Geschwindigkeit oder Navigationshinweise direkt auf die Windschutzscheibe projiziert werden. Diese Art der Darstellung ermöglicht es dem Benutzer, die AR-Inhalte zu sehen, ohne den Blick von der Straße abwenden zu müssen. Auch erste Versuche von AR-Brillen, wie den Google Glass basierten auf dieser Technologie.

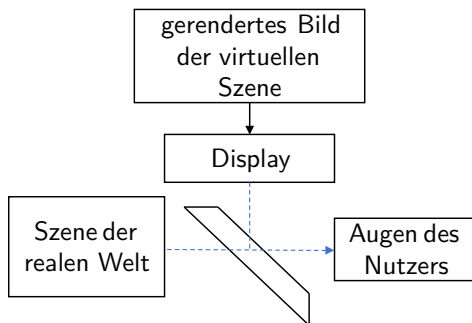


Abb. 2: Aufbau von optischen, durchsichtigen AR-Displays [1]

Eine weitere Variante nutzt einen Projektor, um Texturen oder Bilder auf bestehende Objekte zu projizieren und somit die realen Objekte zu erweitern. Durch diese Methode werden zusätzliche visuelle Informationen auf die Oberfläche der Objekte übertragen, um beispielsweise Anleitungen oder virtuelle Beschriftungen darzustellen.

Diese verschiedenen Technologien der AR-Darstellung können auf unterschiedliche Arten für den Benutzer zugänglich gemacht werden. Eine häufig verwendete Form sind sogenannte Head-Mounted-Displays, wie AR-Brillen. Diese ermöglichen es dem Benutzer, die AR-Inhalte direkt vor seinen Augen wahrzunehmen und sie nahtlos in die reale Welt einzubetten. Durch das Tragen der AR-Brille hat der Benutzer die Freiheit, sich in der Umgebung zu bewegen und die AR-Erfahrung ohne Einschränkungen zu erleben. [1]

#### D. Benutzerschnittstellen und Interaktion

Die Benutzerschnittstellen und Interaktion spielen eine zentrale Rolle im Bereich der Augmented Reality und tragen maßgeblich zur intuitiven Bedienbarkeit, Benutzerfreundlichkeit und Immersion von AR-Anwendungen bei.

Head-Mounted Display (HMD) ermöglichen es dem Benutzer, die virtuellen Inhalte direkt vor seinen Augen zu sehen. Das HMD kann mit Sensoren ausgestattet sein, um die Umgebung, sowie Bewegungen des Nutzers zu erkennen. Dies ermöglicht eine Reihe von Interaktionsmöglichkeiten mit der AR-Anwendung.

- 2D User Interfaces: Bei dieser Form der Interaktion, werden physische Knöpfe und Tasten verwendet, um

mit den virtuellen Inhalten zu interagieren. Dies umfasst beispielsweise das Auswählen von Objekten, das Ausführen von Aktionen oder das Navigieren in Menüs. Auch Touch-Eingaben sind möglich.

- Für eine erweiterte Interaktionsmöglichkeit werden 3D-Benutzerschnittstellen verwendet, die Manipulationen an Objekten mit sechs Freiheitsgraden ermöglichen. Dies umfasst das Bewegen, Drehen und Skalieren von Objekten. Die Eingabegeräte selbst können unterschiedliche Formen annehmen, wie beispielsweise 3D-Mäuse oder Stäbe.
- Gestensteuerung: Bei dieser fortschrittlichen Form der Interaktion werden Gesten, Handbewegungen und auch Kopfbewegungen verwendet, um mit den virtuellen Inhalten zu interagieren. Dies umfasst das Zeigen auf Objekte, das Ziehen und Drehen von Objekten sowie das Ausführen von Gesten wie Pinch-to-Zoom. Darüber hinaus können Kopfbewegungen zur Steuerung von Menüs, zum Navigieren durch virtuelle Umgebungen oder zum Anpassen von Blickwinkeln genutzt werden. Durch die Einbindung von Kopfbewegungen in die Gestensteuerung wird eine natürlichere und immersivere Interaktion mit den AR-Inhalten ermöglicht. So kann der Benutzer beispielsweise durch Drehen des Kopfes seine Perspektive in der erweiterten Realität ändern oder durch Kopfbewegungen Menüoptionen auswählen. Diese erweiterte Form der Gestensteuerung trägt dazu bei, die Interaktion mit AR-Inhalten intuitiver und realitätsnäher zu gestalten. Auch Eye-Tracking ist hierbei möglich, um Objekte durch das Ansehen auszuwählen.
- Sprachbefehle: Auch Sprachbefehle können genutzt werden, um mit Objekten im Raum zu interagieren. Benutzer können bestimmte Sprachbefehle verwenden, um Aktionen auszuführen, Objekte zu steuern oder Informationen abzurufen. Diese Art der Interaktion kann besonders nützlich sein, wenn die Hände des Benutzers beschäftigt sind.

Die Benutzerschnittstellen und Interaktionsmethoden in der AR werden kontinuierlich weiterentwickelt, um die Benutzererfahrung zu verbessern und neue Möglichkeiten der Interaktion zu erschließen. Durch die Integration von fortgeschrittenen Technologien wie maschinellem Lernen und Künstlicher Intelligenz ist es möglich, natürlichere und kontextbezogene Interaktionen zu ermöglichen. Die Gestaltung der Benutzerschnittstellen und Interaktionsmethoden spielt eine entscheidende Rolle, um AR-Anwendungen zugänglich, benutzerfreundlich und ansprechend zu gestalten und den Benutzern ein immersives und interaktives Erlebnis zu bieten. [1]

### III. BESTEHENDE EINSATZGEBIETE VON AUGMENTED REALITY IN DER INDUSTRIE

AR hat sich in den letzten Jahren zu einer vielversprechenden Technologie in verschiedenen Branchen entwickelt, insbesondere in der Industrie. Unternehmen setzen AR erfolgreich ein, um die Effizienz zu steigern, Fehler zu reduzieren und

die Sicherheit am Arbeitsplatz zu verbessern. Dabei findet AR besonders in den nachfolgenden Bereichen Anwendung.

#### *A. Wartung und Instandhaltung*

Die Integration von AR in den Bereich der Wartung und Instandhaltung hat das Potenzial, die Effizienz und Genauigkeit dieser Prozesse signifikant zu verbessern [4]. Durch die Nutzung von AR-Brillen oder anderen AR-Geräten können Techniker während ihrer Arbeit visuelle Informationen und Anweisungen direkt in ihr Sichtfeld eingeblendet bekommen. Dies ermöglicht eine schnellere und präzisere Fehlerdiagnose, da relevante Informationen, wie beispielsweise Schaltpläne, technische Datenblätter oder historische Daten, in Echtzeit angezeigt werden können. Darüber hinaus können AR-gestützte Wartungsanleitungen und -simulationen den Technikern helfen, komplexe Reparaturen oder Wartungsarbeiten durchzuführen, indem sie visuelle Hilfestellungen und Schritt-für-Schritt-Anleitungen bereitstellen. [5] Dies reduziert das Risiko von Fehlern und verkürzt die Ausfallzeiten von Maschinen oder Anlagen. Durch die Integration von AR in den Wartungsprozess können Arbeiter effizienter arbeiten und die kognitive Arbeitslast reduziert werden [6].

#### *B. Qualitätskontrolle und Inspektion*

Die Anwendung von AR in der Qualitätskontrolle und Inspektion bietet vielfältige Vorteile, um Prüfprozesse effizienter und präziser zu gestalten. AR ermöglicht es Inspektoren, eine optimale Version des fertigen Produktes als Vergleich einzublenden. Dadurch können Inspektoren Abweichungen oder Mängel leicht erkennen und bewerten. Dies trägt zur Reduzierung menschlicher Fehler und zur Verbesserung der Genauigkeit bei der Inspektion bei. Darüber hinaus kann AR dazu beitragen, den Prozess der Qualitätskontrolle zu beschleunigen. Hierfür werden potenzielle fehlerhafte Bereiche durch Bildverarbeitung oder Deep Learning erkannt und für den Nutzer markiert [7]. Forschung auf dem Gebiet der AR in der Qualitätskontrolle und Inspektion hat gezeigt, dass die Nutzung dieser Technologie zu einer höheren Inspektionsgenauigkeit, einer schnelleren Fehlererkennung und einer verbesserten Effizienz führen kann. Die Integration von AR in diesen Bereich bietet somit großes Potenzial, die Qualitätssicherung in verschiedenen Industriezweigen zu optimieren und die Inspektionsprozesse zu verbessern.[8]

### IV. BESTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN UND FORSCHUNGSANSÄTZE

Trotz der enormen Fortschritte im Bereich der Augmented Reality in den letzten Jahren, bestehen weiterhin einige Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. In diesem Zusammenhang gibt es viele Forschungsansätze im Bereich der Augmented Reality.

#### *A. Tracking*

Eine präzise und zuverlässige Tracking-Methode stellt eine essenzielle Komponente für AR dar. Obwohl in den letzten

Jahren erhebliche Fortschritte in diesem Bereich erzielt wurden, sind die Verfahren noch nicht vollständig ausgereift. Die derzeitigen technologischen Möglichkeiten erlauben eine genaue Bestimmung der Position des AR-Systems ohne Verwendung von Markern durch Bildverarbeitungstechniken und Deep Learning. Dies erfolgt beispielsweise durch den Abgleich von hinterlegten Objektmodellen mit der realen Umgebung.[9] Allerdings sind in Produktionsumgebungen oft nicht ausreichend markante Stellen vorhanden, die ein zuverlässiges Tracking ermöglichen [10]. Darüber hinaus werden häufig nur wenige Punkte in der Umgebung zur Lokalisierung genutzt, was zu einer teilweise unpräzisen Erfassung der Umgebung führen kann [11].

#### *B. Herausforderungen im Bereich der AR-Darstellung*

Im industriellen Sektor kommen verschiedene AR-Darstellungstechniken, am häufigsten allerdings Head Mounted Displays (HMDs) zum Einsatz, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist. Bei diesen gibt es nach wie vor einige Herausforderungen, die angegangen werden müssen. Oftmals ist das Sichtfeld, das durch das AR-System bereitgestellt wird, noch zu klein, um ein vollständig immersives Gefühl zu erzeugen. Zudem kann der Rechenaufwand je nach Auflösung und Sichtbereich zu Verzögerungen führen, wodurch Einblendungen in die reale Welt nicht in Echtzeit erfolgen können. Auch zu langsame Bildwiederholraten können das Gefühl der Immersion beeinträchtigen. Darüber hinaus ist die Darstellung von Schatten und Lichteffekten sehr rechenintensiv und kann häufig nicht in Echtzeit erfolgen [12]. Um die genannten Probleme anzugehen, werden kontinuierlich Forschungen betrieben, um effizientere Hardware- und Softwarelösungen zu entwickeln. Insbesondere im Bereich der Akkutechnik sind weitere Fortschritte erforderlich, um das Gewicht von AR-Brillen zu reduzieren und die Batterielaufzeit zu verbessern, um deren praktischen Einsatz zu optimieren [13].

Semi-Transparente-Displays haben zusätzliche Nachteile, wie beispielsweise eine beschränkte Sichtfeldunterstützung und keine vollständige Verdeckung der realen Welt. Zudem können die AR-Einblendungen aufgrund des starken Umgebungslichts teilweise schwer erkennbar sein [14]. Um diese Mängel zu beheben, wurden verschiedene Designs für durchsichtige Displays entwickelt. Es wurde beispielsweise untersucht, wie elektronische Maskierungselemente zu durchsichtigen Displays hinzugefügt werden können, um die Problematik einer besseren Überblendung zu lösen [15].

Eine weitere vielversprechende Forschungsrichtung im Bereich der Displays liegt in der Entwicklung von Head-Mounted Projection Displays (HMPD). Frühe Projektor-Systeme waren sperrig und nicht tragbar, jedoch konnten durch Fortschritte in der Pico-Projektortechnologie diese Einschränkungen überwunden werden. Es wird auch daran geforscht, wie die Interaktion mit projizierten AR-Inhalten verbessert werden kann, beispielsweise durch Gestensteuerung oder den Einsatz physischer Objekte als Benutzerschnittstelle [16].

Ein weiterer Ansatz sind kontaktlinzenbasierte Displays. Das Ziel besteht darin, ein Head-Mounted Display zu entwickeln, das für andere Personen um den Benutzer herum nicht wahrnehmbar ist. Durch den Einsatz von MEMS-Technologie und drahtloser Energie- und Datenübertragung könnten aktive Pixel in eine Kontaktlinse integriert werden. Es wurden bereits Prototypen entwickelt, jedoch gibt es noch Herausforderungen wie die Integration von Optiken, sowie die kontinuierliche Stromversorgung und Datenübertragung, die bewältigt werden müssen [11].

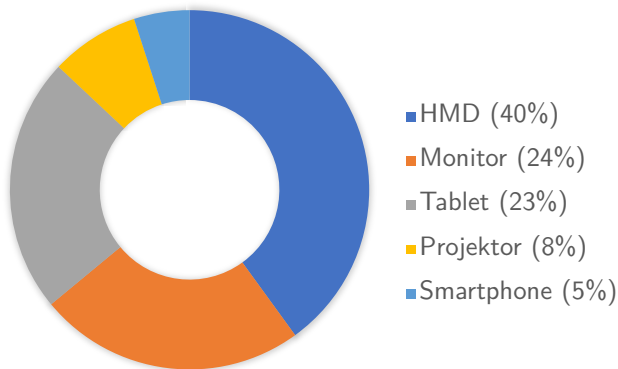


Abb. 3: Prozentuale Verteilung der AR-Darstellungstechniken in der Industrie [17]

### C. Datenschutz

Bei tragbaren AR-Systemen bestehen häufig Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes. Da AR zunehmend in industrieller Fertigung, Wartung und Schulung eingesetzt wird, können Informationen über Maschinen, Produktionsprozesse und geschützte Betriebsgeheimnisse visualisiert werden. Datenschutzprobleme können auftreten, wenn AR-Anwendungen Zugriff auf sensible Unternehmensdaten erhalten oder unbefugt Informationen über Produktionsabläufe und -muster sammeln. Unternehmen müssen sicherstellen, dass die Daten, die in AR-Anwendungen verwendet werden, angemessen geschützt und vor unbefugtem Zugriff gesichert sind. Darüber hinaus können AR-Brillen oder -Geräte in industriellen Umgebungen auch die Privatsphäre der Mitarbeiter beeinträchtigen, insbesondere wenn sie kontinuierlich Video- oder Audioaufnahmen machen. Es ist wichtig, klare Richtlinien und Vereinbarungen zum Schutz der Privatsphäre der Mitarbeiter aufzustellen und sicherzustellen, dass AR-Technologien verantwortungsvoll eingesetzt werden, um sowohl den Datenschutz, als auch die Arbeitsplatzsicherheit zu gewährleisten.[18], [19]

## V. POTENZIAL VON AR FÜR NEUE GESCHÄFTSMODELLE

Neben den bestehenden Anwendungsfällen von AR in der Industrie ergeben sich durch den stetigen technologischen Fortschritt neue potentielle Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle. Der Tabelle 1 sind die häufigsten

Suchanfragen im Zusammenhang mit Augmented Reality zu entnehmen. Abbildung 4 veranschaulicht dabei die Anzahl an Primärstudien in den verschiedenen Bereichen von Ar. Dies kann einen guten Eindruck über aktuelle Trends in diesem Bereich geben. Im folgenden Kapitel werden einige der interessantesten Potenziale von AR in der Industrie dargestellt.

Platzierung	Suchanfrage
1	"Augmented Reality" AND "Manufacturing"
2	"Augmented Reality" AND "Production"
3	"Augmented Reality" AND "Assembly"
4	"Augmented Reality" AND "Shop floor"
5	"Augmented Reality" AND "Factory floor"

Tabelle I: Suchbegriffe im Bezug auf AR in der Industrie [18]

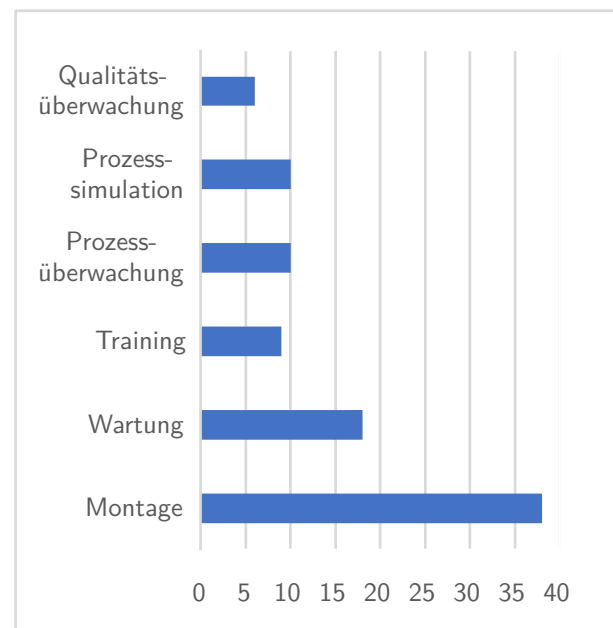


Abb. 4: Anzahl der Primärstudien pro potenziellem Einsatzbereich von Augmented Reality in der Industrie [17]

### A. Produktdesign und -entwicklung

AR bietet ein großes Potenzial für den Anwendungsbereich des Produktdesigns. Durch die Integration von AR-Technologien in den Designprozess können Designer und Ingenieure hochwertige Vorschauen und interaktive Simulationen ihrer Produkte erstellen. Die Nutzung einer cloud-basierten Anwendung ermöglicht Echtzeit-Kollaboration und Meetings zwischen Designern weltweit, unabhängig von ihrem Standort. Dies fördert die Zusammenarbeit, verbessert die Kommunikation und ermöglicht präzisere Entscheidungen während des Designprozesses. Mit AR können virtuelle Prototypen in der realen Welt platziert werden, um das Aussehen, die Funktionalität und die Benutzererfahrung zu bewerten. Dies hilft dabei, Designkonflikte und -probleme frühzeitig

zu erkennen und zu lösen. Darüber hinaus ermöglicht AR eine immersive Darstellung von Produkten, sodass Kunden und Stakeholder sie vor dem eigentlichen Bau oder der Produktion in einem realistischen Kontext erleben können. Dies verbessert nicht nur das Verständnis des Produkts, sondern ermöglicht auch wertvolles Feedback und iteratives Design. Durch die Nutzung von AR im Produktdesign können Unternehmen die Effizienz steigern, die Fehlerquote verringern und letztendlich bessere Produkte entwickeln, die den Bedürfnissen der Kunden entsprechen.[20]

### *B. Fernwartung und Montage*

Die Nutzung von Augmented Reality zur Unterstützung von Wartungsarbeiten an industriellen Geräten hat sich als vielversprechender Anwendungsbereich erwiesen. Durch die Integration von AR in die Fernwartung könnten sich sogar noch effektivere Möglichkeiten eröffnen. Bereits erste funktionierende Ansätze zeigen, dass AR eine bedeutende Rolle bei der Durchführung von Fernwartungsarbeiten spielen kann.[21]

Ein weiterer Schritt in dieser Entwicklung wäre der verstärkte Einsatz von AR in der Produktmontage. Im Vergleich zu gedruckten Handbüchern bietet AR klare Vorteile, da sie die Aufmerksamkeit auf das zu bearbeitende Objekt lenkt und Fehler erkennt und reduziert. Frühere Arbeiten auf diesem Gebiet waren experimentell und konzentrierten sich auf spezifische Objekte. Dabei wurden häufig Tracking-Techniken auf Basis von Referenzmarkierungen verwendet. Durch Fortschritte in Bereichen wie Deep Learning kann AR jedoch zunehmend komplexe Montageprozesse unterstützen. Dennoch ist es teilweise schwierig, die konkreten Vorteile von AR in diesem Bereich nachzuweisen, Studien in diesem Bereich kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen [22]. Dies kann auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, wie z.B. die Komplexität der Montageprozesse, die Qualität der eingesetzten AR-Anwendungen und die Einarbeitung der Mitarbeiter in die Nutzung der Technologie. Trotzdem wird die kontinuierliche technologische Weiterentwicklung AR in Zukunft noch leistungsfähiger machen und den Unternehmen noch mehr Möglichkeiten bieten, komplexe Montageprozesse zu unterstützen und zu optimieren. Es ist zu erwarten, dass AR in der Industrie einen immer größeren Stellenwert einnehmen wird und zu einer effektiven Unterstützung bei der Montage von Produkten wird.[23]

### *C. Marketing*

Die Potenziale von Augmented Reality im Bereich des Marketings sind vielfältig und vielversprechend. AR ermöglicht es Unternehmen, interaktive und immersivere Markenerlebnisse für ihre Zielgruppe zu schaffen. Durch die Einbindung digitaler Inhalte in die reale Welt können Produkte und Dienstleistungen auf innovative und ansprechende Weise präsentiert werden. AR bietet die Möglichkeit, Kunden in ihren individuellen Entscheidungskontexten anzusprechen und personalisierte, relevante Informationen bereitzustellen. Darüber

hinaus eröffnet AR neue Wege der Kundeninteraktion, indem es spielerische Elemente integriert. Durch die Schaffung von emotionalen Bindungen und positiven Markenerlebnissen kann AR das Kundenengagement und die Markenloyalität erhöhen. Unternehmen haben auch die Möglichkeit, AR als Instrument für datengesteuertes Marketing einzusetzen, indem sie Nutzungsdaten und Interaktionsmuster erfassen und analysieren, um gezielte Marketingmaßnahmen abzuleiten. Die kontinuierlichen Fortschritte in der AR-Technologie und die steigende Verbreitung von AR-fähigen Endgeräten eröffnen spannende Perspektiven für innovative Marketingstrategien und -kampagnen, die das Kundenerlebnis revolutionieren können.[24], [25]

### *D. Schulung und Training*

Augmented Reality wird immer wieder im Zusammenhang mit Schulungsprozessen in der Industrie erwähnt. Besonders interessant ist dabei der Einsatz von AR-basierten Assistenzsystemen während des Schulungsprozesses. Theoretisch könnten dadurch der Umgang mit potenziell gefährlichen Situationen in einer sicheren Umgebung trainiert werden. Auch das Erlernen von Montageaufgaben ist mit AR-Unterstützung möglich. Dabei können Anleitungen in Papierform durch AR ersetzt und Fehler beim Aufbau durch den Monteur erkannt und mitgeteilt werden. Allerdings gibt es in diesem Bereich keine klaren Studien, die den besseren Lernerfolg durch AR belegen. Am besten schneidet weiterhin die persönliche Schulung ab. Das AR-Assistenzsystem verhindert effektiv ein fehlerhaftes Erlernen von Inhalten, erreicht jedoch nicht die Geschwindigkeit der persönlichen Schulung. Im Vergleich zu einer individuellen Schulung mit einem gedruckten Handbuch konnte keine höhere Effizienz der AR-Schulung nachgewiesen werden. Bezüglich der langfristigen Wissensnachhaltigkeit zeigt sich, dass es keine Unterschiede im Erinnerungsvermögen der Teilnehmer an den Montageprozess gab, unabhängig von der Schulungsmethode. Die Ergebnisse legen nahe, dass AR-Assistenzsysteme als hilfreiche Werkzeuge für die Schulung von Arbeitern in Montageaufgaben eingesetzt werden können, insbesondere um fehlerhaftes Lernen zu vermeiden. Es ist jedoch zu beachten, dass weitere Vorteile wie eine höhere Schulungseffizienz in dieser Studie nicht belegt werden konnten. Dennoch ist zu erwarten, dass die Effizienz der Schulungen durch den technischen Fortschritt im Bereich AR weiter zunehmen wird und AR-gestützte Schulungen Unternehmen einen großen Vorteil bieten können.

## **VI. FAZIT**

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie die Anwendung von Augmented Reality in der Industrie zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle beitragen kann. Es werden verschiedene Anwendungsfälle von AR in der Industrie diskutiert, wie beispielsweise Wartung und Instandhaltung, Qualitätskontrolle und Inspektion, Produktdesign und -entwicklung, Montage und Marketing.

In Bezug auf die Wartung und Instandhaltung kann AR die Effizienz und Genauigkeit dieser Prozesse signifikant verbes-

sern. Techniker können visuelle Informationen und Anweisungen direkt in ihr Sichtfeld eingeblendet bekommen, was eine schnellere und präzisere Fehlerdiagnose ermöglicht.

AR bietet auch ein großes Potenzial für den Anwendungsbereich des Produktdesigns. Durch die Integration von AR-Technologien in den Designprozess können Designer und Ingenieure hochwertige Vorschauen und interaktive Simulationen ihrer Produkte erstellen.

Die Nutzung von AR zur Unterstützung von Wartungsarbeiten an industriellen Geräten hat sich als vielversprechender Anwendungsbereich erwiesen. Durch die Integration von AR in die Fernwartung könnten sich sogar noch effektivere Möglichkeiten eröffnen.

Im Bereich des Marketings sind die Potenziale von AR vielfältig und vielversprechend. AR ermöglicht es Unternehmen, interaktive und immersivere Markenerlebnisse für ihre Zielgruppe zu schaffen.

Trotz der enormen Fortschritte im Bereich der Augmented Reality in den letzten Jahren, bestehen weiterhin einige Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Dazu gehören präzise und zuverlässige Tracking-Methoden, Herausforderungen im Bereich der AR-Darstellung und Datenschutzbedenken.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass AR eine vielversprechende Technologie ist, die das Potenzial hat, die Industrie zu revolutionieren und neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Es wird erwartet, dass AR in der Industrie einen immer größeren Stellenwert einnehmen wird und zu einer effektiven Unterstützung bei der Montage von Produkten wird.

#### LITERATUR

- [1] Mark Billinghurst, Adrian Clark, Gun Lee u.a. "A survey of augmented reality". In: *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction* 8.2-3 (2015), S. 73–272.
- [2] Gerhard Schall u.a. "Global pose estimation using multi-sensor fusion for outdoor Augmented Reality". In: *2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 2009, S. 153–162. DOI: 10.1109/ISMAR.2009.5336489.
- [3] Dan Simon. *Optimal state estimation: Kalman, H infinity, and nonlinear approaches*. John Wiley & Sons, 2006.
- [4] Changchun Liu u.a. "Probing an intelligent predictive maintenance approach with deep learning and augmented reality for machine tools in IoT-enabled manufacturing". In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 77 (2022), S. 102357.
- [5] Juri Platonov u.a. "A mobile markerless AR system for maintenance and repair". In: *2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 2006, S. 105–108. DOI: 10.1109/ISMAR.2006.297800.
- [6] Steven Henderson und Steven Feiner. "Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair". In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 17.10 (2011), S. 1355–1368. DOI: 10.1109/TVCG.2010.245.
- [7] Shufei Li, Pai Zheng und Lianyu Zheng. "An AR-Assisted Deep Learning-Based Approach for Automatic Inspection of Aviation Connectors". In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17.3 (2021), S. 1721–1731. DOI: 10.1109/TII.2020.3000870.
- [8] Amelessodji Kokougan Etonam u.a. "Augmented reality application in manufacturing encompassing quality control and maintenance". In: *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 9.1 (2019), S. 197–204.
- [9] Omer Akgul, H. Ibrahim Penekli und Yakup Genc. "Applying Deep Learning in Augmented Reality Tracking". In: *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS)*. 2016, S. 47–54. DOI: 10.1109/SITIS.2016.17.
- [10] Jeevan S Devagiri u.a. "Augmented Reality and Artificial Intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges". In: *Expert Systems with Applications* (2022), S. 118002.
- [11] Jie Chen u.a. "Design of foveated contact lens display for augmented reality". In: *Optics express* 27.26 (2019), S. 38204–38219.
- [12] Yiqin Zhao und Tian Guo. "Pointar: Efficient lighting estimation for mobile augmented reality". In: *Computer Vision—ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, 2020, Proceedings, Part XXIII* 16. Springer. 2020, S. 678–693.
- [13] Fabio Arena u.a. "An overview of augmented reality". In: *Computers* 11.2 (2022), S. 28.
- [14] Yuta Itoh u.a. "Towards indistinguishable augmented reality: A survey on optical see-through head-mounted displays". In: *ACM Computing Surveys (CSUR)* 54.6 (2021), S. 1–36.
- [15] Yuta Itoh u.a. "Light Attenuation Display: Subtractive See-Through Near-Eye Display via Spatial Color Filtering". In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 25.5 (2019), S. 1951–1960. DOI: 10.1109/TVCG.2019.2899229.
- [16] Jeremy Hartmann, Yen-Ting Yeh und Daniel Vogel. "AAR: Augmenting a wearable augmented reality display with an actuated head-mounted projector". In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. 2020, S. 445–458.
- [17] Luís Fernando de Souza Cardoso, Flávia Cristina Martins Queiroz Mariano und Ezequiel Roberto Zorzal. "A survey of industrial augmented reality". In: *Computers & Industrial Engineering* 139 (2020), S. 106159.
- [18] Francesco De Pace, Federico Manuri und Andrea Sanna. "Augmented reality in industry 4.0". In: *Am. J. Comput. Sci. Inf. Technol* 6.1 (2018), S. 17.
- [19] Kevin Mühlen u.a. "A Review and Implementation Framework of Industrial Augmented Reality". In: *2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. 2021, S. 01–04. DOI: 10.1109/ETFA45728.2021.9613426.

- [20] Dimitris Mourtzis u. a. "An augmented reality collaborative product design cloud-based platform in the context of learning factory". In: *Procedia Manufacturing* 45 (2020), S. 546–551.
- [21] Riccardo Masoni u. a. "Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality". In: *Procedia manufacturing* 11 (2017), S. 1296–1302.
- [22] Arthur Tang u. a. "Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly". In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 2003, S. 73–80.
- [23] Yongzhi Su u. a. "Deep Multi-state Object Pose Estimation for Augmented Reality Assembly". In: *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. 2019, S. 222–227. DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00-42.
- [24] Mathew Chylinski u. a. "Augmented reality marketing: A technology-enabled approach to situated customer experience". In: *Australasian Marketing Journal* 28.4 (2020), S. 374–384.
- [25] Philipp A Rauschnabel, Reto Felix und Chris Hinsch. "Augmented reality marketing: How mobile AR-apps can improve brands through inspiration". In: *Journal of Retailing and Consumer Services* 49 (2019), S. 43–53.