

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

Simon Kuhn

**Zusammenfassung**—Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## I. EINFÜHRUNG

In den letzten Jahren hat Augmented Reality (AR) sowohl allgemein, als auch in der Industrie zunehmend an Bedeutung gewonnen. 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 beim Training und der Schulung von Mitarbeitern, bei der Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sowie bei der Produktentwicklung und Optimierung von Produktionsprozessen. Dabei kommen verschiedene AR-Technologien und Plattformen zum Einsatz, wie beispielsweise Head-mounted Displays (HMDs), Smart Glasses oder markerbasierte AR-Systeme.

## II. TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER AUGMENTED REALITY

Die Grundlage eines funktionsfähigen Augmented Reality-Systems bilden verschiedene technische Systeme und Verfahren. Diese lassen sich in folgende drei Bereiche unterteilen.

### 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. Optische Tracking-Verfahren wie Infrarot-Sensoren, 3D-Kameras und herkömmliche Kameras im sichtbaren Lichtspektrum werden aufgrund ihrer geringen Kosten und hohen Verfügbarkeit häufig verwendet. Sie erfassen

visuelle Informationen aus der Umgebung und dienen zur Erkennung von Markern oder speziellen Merkmalen, um die Position und Ausrichtung des AR-Geräts präzise zu bestimmen. Insbesondere 3D-Kamerasysteme, die auf structured Light oder Time of Flight basieren, sind in den letzten Jahren immer beliebter geworden. Mithilfe fortschrittlicher Bildverarbeitungsalgorithmen erfolgt eine genaue Erkennung und Verfolgung visueller Elemente, um virtuelle Objekte in Echtzeit in die reale Welt zu integrieren.

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. Es besteht jedoch das Problem, dass sich die gemessene Position und Ausrichtung im Laufe der Zeit verschiebt und von der tatsächlichen Position abweicht. Daher werden IMUs häufig in Kombination mit anderen Sensoren wie 3D-Kameras verwendet, um präzisere Ergebnisse zu erzielen.

### B. Datenverarbeitung und -darstellung

Die Datenverarbeitung und Darstellung spielen eine entscheidende Rolle im Bereich der Augmented Reality (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 Shading 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.

Die Darstellung der AR-Inhalte kann auf verschiedene Arten erfolgen. Bei der video-gestützten Variante wird die Kamera des AR-Geräts verwendet, um eine Echtzeit-Videoaufnahme der Umgebung zu erfassen und auf dem Display darzustellen. Die AR-Inhalte werden dabei durch Bild-

verarbeitungstechniken in die realen Aufnahmen integriert. Bei der optischen Variante wird ein transparentes Display verwendet, um die virtuellen Inhalte direkt in das Sichtfeld des Benutzers zu projizieren.

Eine andere Variante sind optische, durchsichtige AR-Displays, die auf halbdurchlässigen Spiegeln basieren. Der Benutzer kann dabei die reale Welt durch den halbdurchlässigen Spiegel sehen und gleichzeitig die reflektierte Anzeige der AR-Inhalte wahrnehmen. Ein bekanntes Anwendungsbeispiel für diese Technologie sind Head-up-Displays in Autos.

Eine weitere Variante nutzt einen Projektor, um Texturen oder Bilder auf bestehende Objekte zu projizieren und so die realen Objekte zu erweitern.

Diese verschiedenen Technologien der AR-Darstellung können in verschiedenen Formen für den Benutzer zugänglich gemacht werden. Häufig geschieht dies in Form von sogenannten Head-Mounted-Displays, wie beispielsweise AR-Brillen. Diese ermöglichen es dem Benutzer, die AR-Inhalte direkt vor seinen Augen wahrzunehmen und in die reale Welt einzubetten.

### *C. Benutzerschnittstellen und Interaktion*

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

Eine der gängigsten Formen der Benutzerschnittstelle in AR-Anwendungen ist das Head-Mounted Display (HMD), das dem Benutzer ermöglicht, 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.

## *III. AR IN DER INDUSTRIE: STAND DER TECHNIK*

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 [1]. 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. [2] 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 cognitive Arbeitslast reduziert werden [3].

## 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 potentiell fehlerhafte Bereiche durch Bildverarbeitung oder Deep-Learning erkannt und für den Nutzer markiert [4].

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.[5]

## IV. FORSCHUNGSBEREICHE

Die Forschung im Bereich der Augmented Reality (AR) umfasst eine Vielzahl von Disziplinen und Forschungsbereichen, die darauf abzielen, die Technologie, Anwendungen und Interaktionsmöglichkeiten von AR weiterzuentwickeln.

### A. Tracking

Tracking ist ein wichtiger Bereich der AR-Forschung, da es eine der zentralen Technologien für die Umsetzung von AR-Erfahrungen ist. Es wurden verschiedene Tracking-Systeme entwickelt, angefangen von einfachen Marker-basierten Systemen bis hin zu natürlichen Merkmalen und hybriden Sensormethoden. Dennoch sind weitere Fortschritte erforderlich, um das Ziel einer umfassenden "Anywhere Augmentation" zu erreichen, bei der Nutzer eine überzeugende AR-Erfahrung in jeder Umgebung haben können.

Für die zuverlässige Outdoor-Augmented-Reality sind Tracking-Methoden erforderlich, die eine genaue Standortbestimmung über große Flächen ermöglichen. GPS kann zur Positionsbestimmung verwendet werden, liefert jedoch in mobilen Geräten der Verbraucher nur eine durchschnittliche Genauigkeit von 5-10 Metern. Eine alternative Methode besteht darin, computergestützte Bildverarbeitungstechniken in Verbindung mit GPS und inertialen Sensoren zu verwenden, um die Kameraposition relativ zu bekannten visuellen Merkmalen abzuschätzen. Diese Methode ist jedoch schwierig auf großflächiges Tracking anwendbar.

Ein vielversprechender Ansatz für weitreichendes Tracking in unvorbereiteter Außenumgebung ist die Kombination von Panoramabildern zur Erstellung eines Punktwolkenmodells. Dieses Modell kann für die positionsbasierte Lokalisierung über einen Remote-Server und für die Echtzeitverfolgung auf einem mobilen Gerät verwendet werden. Die Genauigkeit der Verfolgung beträgt weniger als 25 cm Fehler bei der

Positionsbestimmung und unter 0,5 Grad Fehler bei der Rotation.

Für das präzise Indoor-Tracking werden verschiedene Methoden untersucht, wie Ultraschall, Kameras mit Laser-Trackern, Marker-basiertes Tracking und hybride Systeme mit Computer Vision, inertialen Sensoren und Ultra-Wideband-Tracking. Ein vielversprechender Forschungsansatz ist die Verwendung von Handheld-Tiefensensoren wie dem Google Tango-Projekt. Dies ermöglicht präzise Innenraumpositionierung und bietet eine ideale Plattform für Indoor-AR.

Eine Herausforderung besteht darin, nahtlos zwischen Outdoor- und Indoor-Tracking-Umgebungen zu wechseln. Bisher wurden Lösungen entwickelt, die GPS mit Marker-basiertem Tracking kombinieren oder drahtlose Netzwerke mit GPS verbinden. Weitere Forschung ist erforderlich, um das Ziel eines kontinuierlichen und ubiquitären Trackingsystems zu erreichen, das nahtlos zwischen verschiedenen Umgebungen funktioniert.

### B. Interaktion

In Abschnitt 7 wird ein Überblick über verschiedene Interaktionsmethoden für Augmented Reality gegeben. Frühe AR-Schnittstellen verwendeten Techniken, die von Desktop-Schnittstellen oder Virtual Reality inspiriert waren. Im Laufe der Zeit wurden jedoch innovativere Methoden wie Tangible AR oder natürliche Gesteninteraktion eingesetzt. Es besteht immer noch erheblicher Forschungsbedarf in neuen Interaktionsmethoden, insbesondere in den Bereichen intelligente Systeme, hybride Benutzerschnittstellen und kollaborative Systeme. In diesem Abschnitt werden einige Möglichkeiten in jedem dieser Bereiche kurz vorgestellt.

Bisherige Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass AR eine sehr natürliche Art der Interaktion mit virtuellen Inhalten ist, aber in vielen Fällen waren die Schnittstellen selbst nicht sehr intelligent und reagierten nicht unterschiedlich auf Benutzereingaben. Das Feld der Intelligent User Interfaces (IUI) hat sich in den letzten zwanzig Jahren entwickelt, in dem untersucht wird, wie künstliche Intelligenz mit Methoden der Mensch-Computer-Interaktion kombiniert werden kann, um reaktionsschnellere Schnittstellen zu erzeugen. Es gibt jedoch nur wenig Forschung zu IUI-Methoden in AR. Einige Forscher haben begonnen, den Einsatz von virtuellen Charakteren zu erkunden, die begrenzte Intelligenz zeigen. Zum Beispiel wurde das Welbo-Interface entwickelt, bei dem ein Charakter in der realen Welt zu sehen war und auf einfache Sprachbefehle reagierte. Ein anderes Beispiel ist Mr Virtuoso, eine AR-Schnittstelle, die einen virtuellen Charakter zur Vermittlung von Kunstwissen einsetzte.

Ein vielversprechender Forschungsbereich ist die intelligente Trainingssysteme (ITS). Frühere Forschungen haben gezeigt, dass sowohl AR als auch ITS-Anwendungen das Training erheblich verbessern können. Beispielsweise ermöglicht AR-Technologie das Überlagern virtueller Hinweise auf die Ausrüstung von Arbeitern und hilft bei räumlichen Aufgaben. ITS-Anwendungen ermöglichen es den Menschen, eine auf ihren individuellen Lernstil zugeschnittene Lernerfahrung zu

haben, indem sie intelligente, reaktionsschnelle Rückmeldungen bieten. Es wurde gezeigt, dass ITS die Lernerfolge um mindestens eine Note verbessern, das Lernen erheblich beschleunigen und beeindruckende Ergebnisse bei der Wissensübertragung erzielen können. Es gibt jedoch nur wenig Forschung, die untersucht, wie beide Technologien kombiniert werden können.

Ein weiterer vielversprechender Forschungsbereich ist die Entwicklung hybrider AR-Schnittstellen und -Interaktionen. Anfangs waren AR-Systeme eigenständige Anwendungen, bei denen der Benutzer sich ausschließlich auf die AR-Schnittstelle und die Interaktion mit den virtuellen Inhalten konzentrierte. Mit der Zeit wurden jedoch hybride Schnittstellen entwickelt, die AR mit anderen Interaktionsmethoden kombinieren. Es gibt interessante Möglichkeiten für Forschung in den Bereichen AR und Ubiquitous Computing, AR und VR sowie AR und herkömmliche Desktop-Schnittstellen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, AR mit intelligenten Benutzerschnittstellen, VR-Schnittstellen und Ubiquitous Computing-Schnittstellen zu kombinieren. Dies könnte dazu führen, dass VR und AR nahtlos ineinander übergehen und mit Ubiquitous Computing-Technologien verschmelzen. Diese hybriden Schnittstellen könnten den Benutzern ständigen Zugriff auf Informationen ermöglichen und verschiedene Schnittstellendarstellungen verwenden.

Insgesamt sind die aktuellen AR-Trainingssysteme nicht intelligent, und aktuelle ITS verwenden keine AR-Schnittstelle für ihre Benutzerschnittstelle. Es besteht die Notwendigkeit, intelligente AR-Trainingssysteme zu entwickeln, die Benutzern Feedback zur Qualität ihrer Aufgaben geben. Die Kombination von AR mit UI-Methoden und anderen Schnittstellentechnologien eröffnet interessante Möglichkeiten für weiterführende Forschung.

### *C. Displays*

Im Bereich der AR-Displaytechnologie hat es seit Ivan Sutherlands erstem System erhebliche Fortschritte gegeben, aber aktuelle Displays sind immer noch weit von Sutherlands Vision des Ultimate Display entfernt. Es gibt wichtige Forschungsmöglichkeiten in der Gestaltung von Head-Mounted Displays, Projektionstechnologie, Kontaktlinsen-Displays und anderen Bereichen.

Traditionelle optische Durchsicht-Displays haben jedoch einige Nachteile, wie zum Beispiel eine beschränkte Sichtfeldunterstützung und keine echte Verdeckung der realen Welt. Die ideale Anzeige wäre eine, die ein großes Sichtfeld unterstützt, Verdeckung der realen Welt ermöglicht und Bilder auf verschiedenen Fokusebenen liefert, und das alles in einem kleinen und unauffälligen Formfaktor. Forscher haben in jedem dieser Bereiche Fortschritte gemacht, aber es gibt noch viel Arbeit zu tun.

Es wurden verschiedene Designs für optische Durchsicht-Displays entwickelt, um diese Mängel zu beheben. Zum Beispiel haben Kiyokawa et al. untersucht, wie elektronische Maskierungselemente zu optischen Durchsicht-Displays hinzugefügt werden können, um die Verdeckungsproblematik zu

lösen. Andere Forscher haben sich mit der Erweiterung des Sichtfeldes und der Variation der Fokusebene befasst. Es gab auch Versuche, all diese Probleme in einem Design zu lösen.

Eine weitere interessante Forschungsmöglichkeit im Bereich Displays liegt in der Entwicklung von Head-Mounted Projection Displays (HMPD). Frühe Projektor-Systeme waren sperrig und nicht tragbar, aber Fortschritte in der Pico-Projektortechnologie haben diese Einschränkungen überwunden. Es gibt auch Forschung darüber, wie die Interaktion mit projizierten AR-Inhalten verbessert werden kann, zum Beispiel durch Gestensteuerung oder den Einsatz physischer Objekte als Benutzerschnittstelle.

Ein vielversprechender Ansatz sind kontaktlinsenbasierte Displays. Das Ziel ist es, 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, aber es gibt noch Herausforderungen wie die Integration von Optiken, ausreichende Sauerstoffversorgung der Hornhaut und kontinuierliche Stromversorgung und Datenübertragung, die gelöst werden müssen.

### *D. Soziale Akzeptanz*

Soziale Akzeptanz ist ein wichtiger Faktor, der die Verbreitung von Augmented Reality (AR) beeinflusst, insbesondere bei tragbaren oder mobilen Systemen. Obwohl AR-Systeme in Bezug auf Größe und Gewicht immer kleiner geworden sind, gibt es immer noch erheblichen Widerstand in der Gesellschaft gegenüber Geräten wie Google Glass. Eine Umfrage in den USA ergab beispielsweise, dass nur 12 Prozent der Befragten bereit wären, „Augmented-Reality-Brillen“ von einer Marke, der sie vertrauen, zu tragen. Die Gründe für diese Zurückhaltung können Datenschutzbedenken, die Angst, lächerlich auszusehen, oder die Sorge, zum Ziel von Dieben zu werden, sein.

Diese Bedenken beschränken sich nicht nur auf tragbare AR-Systeme. Wenn eine Person beispielsweise mit einem mobilen Telefon oder Tablet durch eine Stadt geht und eine AR-Browser-Anwendung verwendet, um sich zurechtzufinden oder AR-Inhalte anzuzeigen, muss sie das Telefon auf Augenhöhe vor sich halten, während sie geht. Diese unnatürliche Haltung kann sich albern anfühlen und andere Menschen denken lassen, dass sie gefilmt werden.

Obwohl einige Forscher die soziale Akzeptanz als wichtigen Aspekt von AR hervorgehoben haben, gab es zunächst wenig Forschung zu diesem Thema. In jüngerer Zeit wurden jedoch einige Arbeiten durchgeführt. Zum Beispiel wurden positive Ergebnisse erzielt, als AR-Technologie als Instrument für klinische Schulungen in einem Krankenhaus eingesetzt wurde. Auch in einer universitären Umgebung zeigten Studien, dass die Mehrheit der Studenten AR für das Lehren und Lernen als nützlich erachtete.

Es gibt jedoch nur wenige Untersuchungen zur sozialen Akzeptanz von AR in öffentlichen oder sozialen Situationen. Es

besteht ein Bedarf an weiterer Forschung auf diesem Gebiet, insbesondere im Hinblick auf die Erfahrung von Benutzern mit mobilen AR-Diensten und den damit verbundenen sozialen und emotionalen Aspekten. Bisherige Studien zeigen, dass soziale Akzeptanzprobleme bei Personen, die ständig eine AR-Brille tragen, wahrscheinlich höher sind als bei kurzzeitiger Nutzung von mobilen oder tragbaren AR-Systemen.

Es ist zu erwarten, dass sich die soziale Akzeptanz verbessert, wenn AR-Technologie unauffälliger wird und Displays sowie Eingabegeräte in Kleidung integriert werden. Die Erforschung der sozialen Akzeptanz in tragbaren oder mobilen AR-Erlebnissen, insbesondere in öffentlichen Umgebungen, ist ein wichtiger Bereich für zukünftige Arbeit in der AR-Gemeinschaft.

## V. POTENZIAL VON AR FÜR NEUE GESCHÄFTSMODELLE

Die Einführung von Augmented Reality (AR) in der Industrie eröffnet viele Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle. Die Vorteile von AR für die Industrie sind vielfältig und können in folgende Kategorien unterteilt werden: Kosteneffizienz, Effektivität von Arbeitsprozessen und die Entwicklung von neuen Produkten und Services.

### A. Kosteneffizienz durch AR

Die Implementierung von AR-Systemen kann erhebliche Kosteneinsparungen für Unternehmen ermöglichen. Ein wichtiger Faktor hierbei ist die Reduktion von Fehlern und Verzögerungen in der Produktion. Durch die Nutzung von AR-Systemen können Mitarbeiter ihre Arbeit schneller und effektiver erledigen. Dadurch sinken die Produktionskosten und die Unternehmen können wettbewerbsfähiger werden. Ein weiterer Vorteil von AR ist die Möglichkeit, Schulungskosten zu senken. Durch die Nutzung von AR können Mitarbeiter in virtuellen Umgebungen trainiert werden, was den Bedarf an teuren physischen Schulungen reduziert. Die Schulungen können individuell angepasst werden und den Mitarbeitern ermöglichen, ihre Fähigkeiten zu verbessern, ohne dass dies einen Einfluss auf die Produktion hat.

Zudem können AR-Systeme die Wartungskosten senken, da die Techniker durch die visuellen Anleitungen schneller und effektiver arbeiten können. In einigen Fällen kann sogar auf den Einsatz von teuren Spezialisten verzichtet werden, da die Techniker durch die AR-Systeme in der Lage sind, auch komplexe Reparaturen durchzuführen.

### B. Effektivität von Arbeitsprozessen durch AR

AR kann auch die Effektivität von Arbeitsprozessen verbessern. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von AR bei Wartungsarbeiten. Durch die Nutzung von AR-Brillen können Techniker visuelle Anleitungen in Echtzeit erhalten, die es ihnen ermöglichen, komplexe Reparaturen schneller und effektiver durchzuführen. Dadurch kann die Ausfallzeit von Maschinen reduziert werden.

Ein weiteres Beispiel ist die Verwendung von AR bei der Montage von Bauteilen. Durch die Nutzung von AR können

Mitarbeiter visuelle Anleitungen erhalten, die es ihnen ermöglichen, die Bauteile schneller und genauer zu montieren. Dadurch können Fehler vermieden werden und die Qualität der produzierten Produkte kann gesteigert werden.

### C. AR als Grundlage für neue Produkte und Services

AR-Systeme können auch als Grundlage für neue Produkte und Services dienen. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von AR in der Produktdesign-Phase. Durch die Nutzung von AR-Systemen können Designer und Ingenieure virtuelle Prototypen von Produkten erstellen und diese in einer realistischen Umgebung testen. Dadurch können Fehler vermieden und die Zeit bis zur Markteinführung verkürzt werden.

Ein weiteres Beispiel sind AR-basierte Services. Hierbei können Unternehmen AR-Brillen oder mobile Geräte an Kunden vermieten, die ihnen dabei helfen, ihre Produkte zu warten oder zu reparieren. Dieser Service kann für Kunden besonders attraktiv sein, da er ihnen Zeit und Geld sparen kann.

### D. Personalisierte Produkthanpassung

AR kann auch Unternehmen dabei unterstützen, personalisierte Produkthanpassungen anzubieten, was zu neuen Geschäftsmodellen führen kann. Durch die Integration von AR in den Produktkonfigurationsprozess können Kunden ihre eigenen Produkte individuell anpassen und in Echtzeit sehen, wie das Endprodukt aussehen wird. Dies ermöglicht Unternehmen, maßgeschneiderte Produkte anzubieten und Kundenbedürfnisse besser zu erfüllen.

### E. Datenanalyse und Predictive Maintenance

AR kann Unternehmen auch bei der Datenanalyse und Predictive Maintenance unterstützen. Durch die Integration von AR in IoT-fähige Geräte und Maschinen können Unternehmen in Echtzeit Daten von Sensoren erfassen und analysieren, um frühzeitig Anzeichen von Verschleiß oder Ausfällen zu erkennen. Dies ermöglicht Unternehmen, Wartungsarbeiten proaktiv zu planen und zu optimieren, um Ausfallzeiten zu minimieren und die Produktivität zu steigern.

## VI. HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DEN EINSATZ VON AR IN DER INDUSTRIE

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Industrie bietet zahlreiche Vorteile, aber es gibt auch eine Reihe von Herausforderungen, die bei der Implementierung und Nutzung von AR-Technologien berücksichtigt werden müssen. In diesem Kapitel werden einige der wichtigsten Herausforderungen identifiziert und mögliche Lösungsansätze präsentiert.

Eine der zentralen Herausforderungen besteht in der Integration von AR in bestehende Arbeitsprozesse und Systeme. Industrielle Umgebungen sind oft komplex und erfordern eine nahtlose Integration von AR in bestehende Maschinen, Ausrüstungen und Informationssysteme. Eine Lösung besteht darin, standardisierte Schnittstellen und Protokolle zu entwickeln, die eine reibungslose Kommunikation zwischen AR-Systemen und vorhandenen Infrastrukturen ermöglichen.

Die enge Zusammenarbeit zwischen AR-Entwicklern, IT-Spezialisten und den verschiedenen Fachbereichen in einem Unternehmen ist entscheidend, um eine erfolgreiche Integration zu gewährleisten.

Eine weitere Herausforderung betrifft die Interaktion mit AR-Systemen in industriellen Umgebungen. Industriearbeiter müssen häufig komplexe Aufgaben ausführen und benötigen klare und intuitive AR-Benutzerschnittstellen, um die Funktionalitäten effizient nutzen zu können. Hier können Lösungsansätze wie gestenbasierte Steuerung, Sprachbefehle oder tragbare Eingabegeräte die Interaktion erleichtern. Darüber hinaus sollten AR-Systeme über eine hohe Benutzerfreundlichkeit verfügen und an die spezifischen Anforderungen und Fähigkeiten der Mitarbeiter angepasst sein.

Ein weiterer Aspekt sind die Datenschutz- und Sicherheitsbedenken im Zusammenhang mit AR in der Industrie. AR-Systeme können sensible Unternehmensdaten und Informationen anzeigen, die vor unbefugtem Zugriff geschützt werden müssen. Hier sind Lösungsansätze wie Verschlüsselung, Zugriffskontrollen und regelmäßige Sicherheitsaudits erforderlich, um die Vertraulichkeit und Integrität der Daten zu gewährleisten. Eine umfassende Risikoanalyse und ein robustes Sicherheitskonzept sind unerlässlich, um potenzielle Sicherheitslücken zu identifizieren und zu beheben.

Des Weiteren stellt die Zuverlässigkeit und Wartung von AR-Hardware und -Software eine Herausforderung dar. Industrielle Umgebungen sind oft durch raue Bedingungen gekennzeichnet, die zu Verschleiß und Beschädigung der AR-Geräte führen können. Eine mögliche Lösung besteht darin, robuste AR-Hardware zu entwickeln, die den Anforderungen industrieller Umgebungen gerecht wird. Zusätzlich sind regelmäßige Wartung und eine effektive Fehlerbehebung wichtig, um Ausfallzeiten zu minimieren und eine kontinuierliche Nutzung der AR-Systeme sicherzustellen.

## VII. ZUKUNFTSAUSBLICK

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Industrie hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und birgt ein großes Potenzial für zukünftige Anwendungen. In diesem Kapitel werden einige der vielversprechenden Potenziale von AR in der Industrie sowie ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen präsentiert.

AR bietet die Möglichkeit, komplexe Informationen in Echtzeit in das Sichtfeld der Mitarbeiter zu integrieren und ihnen so bei der Ausführung ihrer Aufgaben zu unterstützen. Dies ermöglicht eine verbesserte Effizienz und Produktivität in verschiedenen industriellen Bereichen. Beispielsweise können AR-Brillen technische Anleitungen und Wartungsanweisungen anzeigen, während Techniker Reparaturen durchführen. Dadurch wird die Fehlerquote reduziert und die Ausführungszeiten verkürzt.

Ein weiteres Potenzial liegt in der Schulung und Ausbildung von Mitarbeitern. AR kann genutzt werden, um realitätsnahe Simulationen und Schulungen bereitzustellen, bei denen Mitarbeiter interaktiv mit virtuellen Objekten und Szenarien interagieren können. Dies ermöglicht eine praxisnahe und

kosteneffiziente Ausbildung, insbesondere in Bereichen, in denen der Zugang zu echten Arbeitsumgebungen begrenzt ist oder hohe Sicherheitsrisiken bestehen.

Darüber hinaus eröffnet AR neue Möglichkeiten in der Qualitätssicherung und Inspektion. Durch den Einsatz von AR-Technologien können Inspektoren und Qualitätskontrolleure relevante Informationen direkt auf dem zu überprüfenden Objekt angezeigt bekommen. Dies erleichtert die Identifizierung von Mängeln und ermöglicht eine schnellere und präzisere Qualitätskontrolle.

Ein weiterer vielversprechender Bereich ist die Optimierung von Arbeitsabläufen und Prozessen. AR kann dazu beitragen, die Kommunikation und Koordination zwischen Mitarbeitern zu verbessern, indem beispielsweise virtuelle Anmerkungen oder Markierungen in Echtzeit auf die Arbeitsumgebung projiziert werden. Dadurch können Teams effizienter zusammenarbeiten und Engpässe oder Fehler in den Arbeitsabläufen schneller identifizieren.

Zukünftige Entwicklungen in der AR-Technologie werden voraussichtlich zu einer weiteren Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit in der Industrie führen. Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellem Lernen ermöglicht beispielsweise die automatische Erkennung und Analyse von Objekten oder die Personalisierung von AR-Erlebnissen basierend auf den individuellen Bedürfnissen der Nutzer.

Es ist zu erwarten, dass AR in der Industrie eine zunehmend wichtige Rolle spielen wird, da Unternehmen verstärkt nach innovativen Lösungen suchen, um ihre Effizienz zu steigern, Kosten zu senken und die Mitarbeiterleistung zu verbessern. Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung sowie die enge Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft können die Potenziale von AR in der Industrie weiter erschlossen und innovative Anwendungsszenarien entwickelt werden.

## VIII. FAZIT

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Industrie bietet immense Potenziale für die Optimierung von Arbeitsabläufen, Schulungen, Qualitätskontrolle und vielem mehr. AR ermöglicht es Mitarbeitern, relevante Informationen in Echtzeit einzusehen und interaktiv mit virtuellen Inhalten zu interagieren, was zu einer Steigerung der Effizienz, Produktivität und Fehlerminimierung führt. Durch die Integration von AR in bestehende Arbeitsprozesse können Unternehmen ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken und neue Geschäftsmöglichkeiten erschließen.

Allerdings gibt es auch Herausforderungen zu bewältigen, wie die nahtlose Integration von AR in bestehende Systeme, die Sicherheit sensibler Unternehmensdaten und die Wartung von AR-Hardware und -Software. Durch eine sorgfältige Planung, Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Stakeholdern und den Einsatz geeigneter Lösungsansätze können diese Herausforderungen erfolgreich bewältigt werden.

Ein Zukunftsausblick zeigt, dass AR in der Industrie noch weiteres Potenzial hat. Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellem Lernen eröffnet neue Möglich-

---

keiten für automatische Erkennung, Analyse und Personalisierung von AR-Erlebnissen. Mit kontinuierlicher Forschung und Entwicklung sowie enger Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft können die Potenziale von AR weiter erschlossen und innovative Anwendungsszenarien entwickelt werden.

Insgesamt lässt sich sagen, dass AR in der Industrie eine vielversprechende Technologie ist, die einen positiven Einfluss auf die Arbeitswelt haben kann. Unternehmen sollten AR als strategischen Ansatz betrachten, um ihre Prozesse zu verbessern, die Mitarbeiterleistung zu steigern und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Die erfolgreiche Integration von AR erfordert jedoch eine sorgfältige Planung, enge Zusammenarbeit und kontinuierliche Anpassung an die spezifischen Anforderungen der Industrie. Durch die richtige Herangehensweise können Unternehmen die Vorteile von AR nutzen und einen Mehrwert für ihr Geschäft schaffen.

#### LITERATUR

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Amelessodji Kokougan Etonam u. a. "Augmented reality (ar) application in manufacturing encompassing quality control and maintenance". In: *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 9.1 (2019), S. 197–204.