



# 1 Einführung

„Das Auto ist fertig entwickelt. Was kann noch kommen?“ Dieses Zitat aus den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts, das Carl Benz dem Erfinder des Automobils zugesprochen wird, hat sich nach mehr als 125 Jahren automobiler Entwicklungsgeschichte als so nicht haltbar erwiesen. Die zunehmende Menge an Modellen der einzelnen Hersteller, stetige Innovationen in den Bereichen Infotainment und Fahrerassistenz sowie eine andauernde Weiterentwicklung der vorhandenen Komfort- und Sicherheitssysteme stellen die Entwicklungsabteilungen der Automobilkonzerne heute weltweit vor herausfordernde Aufgaben. Der technologische Wandel, die Verkürzung von Produktlebenszyklen und die Globalisierung sind Motoren für die Integration neuer Technologien in den Entwicklungsprozess. Diese Technologien und neuen Inhalte zeichnen sich häufig neben ihrem funktionalen Mehrwert durch Kostenvorteile, aber auch eine steigende Komplexität aus. Zusätzlich soll die Qualität des Fahrzeugs als wichtiger Bestandteil der Kundenzufriedenheit auf einem hohen Level gehalten oder ebenfalls gesteigert werden. Es ist daraus leicht abzuleiten, dass zur Auslegung und Evaluierung der neuen aber auch der nach wie vor vorhandenen Entwicklungsinhalte effiziente Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden müssen. Die vorliegende Arbeit soll Anhaltspunkte für den Einsatz einer derartigen effizienten Methodik aus dem Bereich der virtuellen Realität geben, hier angewandt auf das Feld der Innenraumauslegung eines Fahrzeugs unter ergonomischen Gesichtspunkten.

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Ausgangslage für das Forschungsvorhaben stellt sich folgendermaßen dar. Für neue Fahrzeugkonzepte werden bereits in sehr frühen Stadien des Entwicklungsprozesses ergonomische Untersuchungen in einem virtuellen Fahrerplatzmodell durchgeführt. Später im Prozess überwiegen als Untersuchungsmedien Ergonomiemodelle im Maßstab 1:1 und Realfahrzeuge.

Aktueller Stand der Technik ist, dass Systeme, die dem Anwender ein virtuelles Umfeld simulieren, von der Forschung in den produktiven Einsatz wechseln. Es ist nun zu bewerten, inwieweit diese neuen Technologien effektiv und effizient eingesetzt werden können. Hierzu sind die Potentiale und Chancen, die durch den Einsatz einer VR-Simulation bestehen, den eventuellen Nachteilen gegenüberzustellen, um aus einer optimalen Kombination mit bewährten Vorgehensmodellen und bekannter Methodik den Entwicklungsprozess zielorientiert weiterzuentwickeln.

Es ist zu evaluieren, welche ergonomischen Aspekte in einem virtuellen Fahrerplatzmodell bewertet werden können. Hierbei sind die Untersuchungsinhalte für eine ergonomische Konzeptentwicklung dem durch die VR-Technologie erweiterten Repertoire an



## 1 Einführung

Untersuchungsmedien zuzuordnen und aufbauend auf entsprechende wissenschaftliche Studien eine Methodik aufzustellen, die die neuen Möglichkeiten für den Anwender optimal in den Entwicklungsprozess einbindet. Wesentliche Fragestellungen des Forschungsvorhabens beinhalten die Bewertbarkeit von Sicht- und Auffindbarkeit, bzw. Anordnung, Erreichbarkeit und Bedienbarkeit von Elementen im Fahrzeuginnenraum. Die erweiterten Untersuchungsmöglichkeiten sollen in ein angepasstes Vorgehensmodell integriert werden. Neben einem Zeitgewinn steht hierbei auch die Kostenreduktion bei gleichzeitig zuverlässigen und qualitativ hochwertigen Ergebnissen im Vordergrund.

In VR-Systemen können theoretisch neben dem zentralen visuellen Ausgabekanal akustische, kinästhetische, haptische sowie olfaktorische Ausgabesysteme eingesetzt werden. Im visuellen Bereich sind die technologischen Entwicklungen im Vergleich zu den übrigen am weitesten fortgeschritten und besitzen in Forschung und praktischer Anwendung die größte Bedeutung. Es stellt sich nun die Frage, wie eine passende Simulationsmethodik aufgebaut sein muss, um im Zieleinsatzszenario der konzeptionellen Ergonomieauslegung eines Fahrzeuginnenraums einen messbaren Mehrwert zu erzielen. Insbesondere die starke Ausrichtung vergleichbarer Systeme auf den visuellen Ausgabekanal muss hierbei untersucht werden. Im Wesentlichen behandelt die vorliegende Arbeit daher die Anpassung, Evaluierung und Weiterentwicklung eines aktuellen Technologietrends und soll dabei die Frage beantworten, wie sich Technologien der virtuellen Realität einsetzen lassen, um die angesprochenen ergonomischen Fragestellungen effektiv und effizient bearbeiten zu können.

Ziel ist es aufzuzeigen, wie der Mensch mit seiner Wahrnehmung und seinen Reaktionen bzw. Handlungsweisen mittels Methoden der virtuellen Realität in eine rechnergestützte Simulation eines Fahrzeuginnenraums eingebunden werden kann und welchen Mehrwert eine derartige Simulation gegenüber konventionellen Auslegungsmethoden bietet.

### 1.2 Vorgehensweise und Methodik

Die Wahrnehmungsmechanismen in der virtuellen Umgebung selbst sind zentraler Bestandteil einer virtuellen Simulation. Um die Frage beantworten zu können, ob ein neu entwickeltes Werkzeug ein geeignetes Untersuchungsmedium für ergonomische Fragestellungen ist, muss dieser Aspekt detailliert untersucht werden. Virtual-Reality-Umgebungen stellen sich in diesem Zusammenhang sowohl als Forschungsmethode als auch Forschungsgegenstand dar.

In Untersuchungen von Hofmann (2002) wurde festgestellt, dass die Raumwahrnehmung bzw. Tiefenwahrnehmung und die Qualität der haptischen Rückmeldung wesentlichen Einfluss auf die Beurteilungs- und Entscheidungsfähigkeit in einer virtuellen Umgebung haben können und somit eine wichtige Voraussetzung für die Beurteilung der in der virtuellen Realität ermittelten Ergebnisse darstellen. Der Vorgang der Tiefenwahrnehmung in einer VR-Simulation entspricht aufgrund technischer Gegebenheiten nicht der Tiefenwahrnehmung in der Realität. Armbrüster (2008) beschäftigt sich aus diesem Grund mit der Distanzwahrnehmung in virtuellen Umgebungen. Sie zeigt eine

uneinheitliche Ergebnislage verschiedener wissenschaftlicher Studien auf. Viele Studien belegen Distanzunterschätzungen in der virtuellen Umgebung im extrapersonalen Raum. Nur wenige Studien bearbeiten den für die ergonomische Bewertung des Fahrzeuginnenraums wichtigen peripersonalen Raum. Hier zeigen sich auch Distanzüberschätzungen in der virtuellen Realität, allerdings ist die Übertragung der Ergebnisse nur sehr begrenzt möglich. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Unterschiede in der verwendeten Visualisierungstechnologie, im Versuchsaufbau und in den untersuchten virtuellen Welten neben anderen individuellen Faktoren eine wesentliche Rolle spielen. Entsprechende systematische Wahrnehmungsverschiebungen müssen somit als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen auch für das in der vorliegenden Arbeit verwendete VR-System ermittelt und im Folgenden berücksichtigt werden.

Um Aspekte wie die Sicht- und Auffindbarkeit, bzw. Erreichbarkeit und Bedienbarkeit von Elementen im Fahrzeuginnenraum mit ausreichender Entscheidungssicherheit beurteilen zu können, stellt aufgrund der technischen Entwicklung der visuelle Ausgabe-Kanal das am häufigsten eingesetzte Medium in der Simulationstechnik dar. Eine einseitige Konzentration auf den visuellen Wahrnehmungskanal widerspricht aber letztlich der Multimodalität als einem Hauptelement virtueller Realität. Ein Ansatz der vorliegenden Forschungsarbeit besteht deshalb darin den haptischen bzw. taktilen Wahrnehmungskanal hier aufgabenspezifisch mit einzubeziehen. Es werden daher bereits bekannte Aufbauten zur Bewertung ergonomischer Fragestellungen zu einem neuen Werkzeug vereint. Auf der einen Seite gibt es physische Modelle im Maßstab 1:1, die zum Teil auch variabel an neue Fahrzeugkonzepte angepasst werden können (vgl. z.B. den Ansatz von Braun, 1999), die allerdings einen Fahrzeuginnenraum systembedingt nur sehr abstrakt darstellen können. Auf der anderen Seite steht der Trend der VR-Technologie mit einer starken Fokussierung auf den visuellen Sinneskanal. Im Ansatz, der in der vorliegenden Arbeit untersucht wird, sind diese beiden Ideen vereint zu einem neuen Werkzeug, dem sog. virtuellen Fahrerplatzmodell. Hauptunterschied zu konventionellen virtuellen Sitzkisten ist die ausgeprägte haptische Rückmeldung über einen flexiblen variablen Fahrzeuginterieur Aufbau.

In einem vorangehenden Forschungsvorhaben wurden grundsätzliche Untersuchungen zur Beurteilungs- und Entscheidungssicherheit in einer ähnlich aufgebauten virtuellen Umgebungen durchgeführt (Voß, 2008). In der Versuchsreihe wurden hierbei Wahrnehmungsschwellen bei Divergenz zwischen haptischer und visueller Wahrnehmung ermittelt. Anschließend wurde in einer kleinen Expertenstudie die subjektive Bewertung ergonomischer Fragestellungen in virtueller und in realer Umgebung miteinander verglichen. Hierzu wurden Sicht- und Greifuntersuchungen durchgeführt. Die dabei ermittelten Ergebnisse können als Grundlage für die vorliegende Arbeit angesehen werden. Das geplante Forschungsvorhaben soll die ermittelten Ergebnisse systematisch ausweiten, wissenschaftlich absichern und in eine ganzheitliche Bewertung der Untersuchung ergonomischer Fragestellungen aus der Konzipierungsphase eines Fahrzeuginnenraums in einer VR-Simulation überführen.

Als Untersuchungsmethodik soll hierzu ein möglichst objektiver Ansatz gewählt werden. Gude (2004) konnte in seinen Untersuchungen zeigen, dass die virtuelle Realität zur Validierung ergonomischer Faktoren auf dem Gebiet des Gesundheitsschutzes am



## 1 Einführung

Arbeitsplatz als effektives Untersuchungsmedium eingesetzt werden kann. Inhaltlich ist diese Studie vom Untersuchungsfokus Fahrzeuginnenraum deutlich entfernt, des Weiteren gibt es Unterschiede in der Visualisierungstechnologie sowie in der Versuchsumgebung. Dennoch kann die Studie als Hinweis auf die Eignung einer virtuellen Umgebung zur Validierung ergonomischer Faktoren angesehen werden. Derselbe Autor zeigt weiterhin, dass Probandenstudien auf Basis der Signalentdeckungstheorie gut geeignet sind um die Eignung eines Untersuchungsmediums für bestimmte Untersuchungsinhalte nachzuweisen. In der vorliegenden Arbeit soll dieser Ansatz aufgegriffen werden und an die spezifischen Gegebenheiten der Ergonomie in einem Fahrzeuginterieur und des zu untersuchenden Werkzeugs, des virtuellen Fahrerplatzmodells, angepasst werden.

Als weiterer wichtiger Aspekt der vorliegenden Arbeit soll der Mehrwert des aufgebauten virtuellen Fahrerplatzmodells gegenüber konventionellen Auslegungsmethoden aus dem CAD-Bereich untersucht werden. Dazu wird das virtuelle Fahrerplatzmodell zur sogenannten Perzentilsimulation weiterentwickelt. Im Gegensatz zu einem arbeitswissenschaftlichen digitalen Menschmodell, dessen Hauptzweck in der Simulation einer bestimmten Population besteht, dient das in der Perzentilsimulation verwendete digitale Menschmodell vor allem dem Erleben des virtuell simulierten Fahrzeuginterieurs aus der Ego-Perspektive eines beliebigen Körperperzentils. Es wird die grundlegende Theorie zur Perzentilsimulation aufgebaut, im virtuellen Fahrerplatzmodell umgesetzt und in einer Probandenstudie evaluiert.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Nach einem einleitenden Kapitel wird im Theorieteil der Arbeit ein Überblick zu Technologien aus dem Bereich der virtuellen Realität gegeben. Dazu werden grundsätzliche Begrifflichkeiten geklärt und der Einsatz derartiger Technologien in der Fahrzeugentwicklung beschrieben. Anschließend wird das Einsatzgebiet des virtuellen Fahrerplatzmodells näher detailliert, die Konzeptentwicklung eines Fahrzeuginterieurs unter ergonomischen Gesichtspunkten. Dazu werden bereits verfügbare und eingesetzte Technologien beschrieben als auch das Potential für Weiterentwicklungen aufgezeigt. Der Theorieteil der vorliegenden Arbeit wird mit einem Kapitel zur Beschreibung des Gesamtsystems virtuelles Fahrerplatzmodell abgerundet. Um die Ausprägung und den Aufbau dieses Systems verstehen zu können, erfolgt dazu zunächst ein kurzer Exkurs zum menschlichen Wahrnehmungsapparat und multisensorischen Reizen. Hauptzweck eines VR-Systems ist unter anderem die Simulation dieser Reize, daher wird darauf aufbauend der grundlegende Aufbau und die wesentlichen Komponenten von VR-Systemen beschrieben. Aus dem charakterisierten Einsatzgebiet und den verfügbaren Technologien lässt sich abschließend der Systemaufbau des virtuellen Fahrerplatzmodells als intelligente Schnittmenge aus Anforderungen und technologischen Lösungsansätzen ableiten.

Der zweite Abschnitt der vorliegenden Arbeit beschreibt die Evaluierung des virtuellen Fahrerplatzmodells als Beurteilungswerkzeug für ergonomische Fragestellungen in frühen Entwicklungsphasen. Als Bausteine zur Validierung werden dabei vier Evaluierungsstudien beschrieben, die direkte Rückschlüsse auf Effizienz und Effektivität des entwickelten



Werkzeugs zulassen. Die Untersuchungen zur Größenwahrnehmung, zur Beurteilung ergonomischer Bewertungskriterien und zur Sitzposition im virtuellen Fahrerplatzmodell zeigen dabei dessen Potenzial als unterstützendes Werkzeug zur Beantwortung ergonomischer Fragestellungen bei der Auslegung eines Fahrzeuginterieurs. Sie werden ergänzt durch eine Untersuchung von Bewegungen zur Entnahme eines Bechers aus einem Becherhalter in virtuellen und realen Umgebungen und einer hierfür entwickelten Systematik zur Erkennung und Auswertung virtueller Kollisionen.

Der darauf folgende Abschnitt der Arbeit widmet sich der Perzentilsimulation im virtuellen Fahrerplatzmodell. Diese Weiterentwicklungsstufe stellt einen Mehrwert durch die virtuelle Simulationstechnik dar, der mit bisheriger konventioneller arbeitswissenschaftlicher Simulationsmethodik nicht realisierbar war. Das Kapitel beschreibt die zugrundeliegenden theoretischen Zusammenhänge, leitet daraus die konkrete Umsetzung im virtuellen Fahrerplatzmodell ab und beschreibt die Ergebnisse aus der durchgeführten Evaluierungsstudie zu diesem Thema. Im abschließenden Kapitel werden die Inhalte der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben, die im Zusammenhang mit dem entworfenen Gesamtkonzept und den bearbeiteten Problemfeldern stehen.



## 2 Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Kapitel werden die grundlegenden Zusammenhänge dargestellt, auf denen die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studien basieren. Nach einer Hinführung zum Thema Virtuelle Realität werden Anforderungen an ein virtuelles Fahrerplatzmodell anhand des vorgesehenen Einsatzgebietes des VR-Systems, die ergonomische Auslegung eines Fahrzeuginterieurs, abgeleitet und schließlich Konzeption und Aufbau eines virtuellen Fahrerplatzmodells beschrieben.

### 2.1 Virtuelle Realität in der Fahrzeugentwicklung

Systeme, die dem Begriff Virtuelle Realität zugeordnet werden, sind heute bei der Entwicklung von Fahrzeugen Stand der Technik. Zum besseren Verständnis und zur Einordnung der vorliegenden Arbeit wird deshalb im Folgenden ein Überblick zur Nutzung virtueller Realität in der Entwicklung und Konzipierung von Fahrzeugen gegeben.

#### 2.1.1 Grundlagen: Virtual Reality , Augmented Reality und Mixed Reality

Der Begriff *Virtuelle Realität* wird in der Fachliteratur häufig in seiner englischen Entsprechung verwendet: *Virtual Reality*, abgekürzt *VR*. Diese Kombination zweier Wörter mit eigentlich gegensätzlicher Bedeutung ist nicht unumstritten, kann aber im Allgemeinen mit einer „vom Computer simulierten Wirklichkeit“ (Duden, 2009) gleich gesetzt werden. Der Brockhaus (Brockhaus, 1997) verwendet hierfür folgende Definition: „eine mittels Computer simulierte Wirklichkeit oder künstliche Welt, in der Personen mittels technischer Geräte sowie umfangreicher Software versetzt und interaktiv eingebunden werden.“. Schrader (2003), Stäbler (2007) und weitere Autoren stellen fest, dass sich hierzu in der Literatur unterschiedlichste Begrifflichkeiten wie Virtual Environment, Virtual Presence, Artificial Reality oder Cyberspace finden lassen. An dieser Stelle soll nicht weiter auf diese Begriffsvielfalt eingegangen werden, deren Definition „das äußerste Maß an wissenschaftlicher Präzision fehlt“ (Schrader, 2003). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Virtual Reality* oder seine deutsche Entsprechung *Virtuelle Realität* verwendet und entsprechend der Nutzung dieses Begriffes in der Literatur und im Sprachgebrauch als Oberbegriff für die Gesamtheit der virtuellen Technologien verstanden. Diese Technologien erlauben es dem Nutzer in der Regel virtuelle Objekte sowohl zu betrachten als auch zu manipulieren, gehen aber über die Möglichkeiten eines normalen Bildschirm-

## 2 Theoretischer Hintergrund

arbeitsplatzes mit dreidimensionaler Grafikdarstellung aus dem CAX-Bereich <sup>1</sup> hinaus, beispielsweise durch die Darstellung auf stereoskopischen Displays oder Projektionsumgebungen.

In den letzten Jahrzehnten sind auf dem Bereich der dreidimensionalen Computergrafik enorme Leistungssteigerungen zu verzeichnen. In vielen Branchen werden die dabei entwickelten Methoden dreidimensionaler CAD, CAE und CAM Programme erfolgreich eingesetzt. Auch aus dem Bereich der Computerspieleindustrie wird viel zur Weiterentwicklung und Verbreitung der computerbasierten dreidimensionalen Darstellung beigetragen. Allerdings unterscheidet sich die Interaktion mit diesen 3D-Systemen kaum von der Benutzung herkömmlicher 2D-Computersysteme mit Hilfsmitteln wie Computermaus, Tastatur und gewöhnlichem 2D-Monitor. Die modellierten Objekte befinden sich dabei in ihrer eigenen künstlichen Welt, abgeschottet von der realen Welt des Nutzers.

Ein Leitgedanke der *Virtuellen Realität* besteht darin diese beiden Welten zu vereinen, d.h. der Nutzer wird in die rechnerbasierte dreidimensionale Welt integriert. Natürlich ist die umgekehrte Art und Weise der Integration ebenso denkbar, vom Computer simulierte Objekte werden in die Welt des Nutzers eingebunden. Diese Integration beschränkt sich dabei nicht wie häufig angenommen nur auf visuelle Informationen, sondern sollte möglichst alle Sinneskanäle des Menschen abdecken. Einer der bekanntesten Vordenker auf dem Gebiet stellt diesen Zusammenhang sehr anschaulich in folgendem Zitat dar:

*„The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could be the Wonderland into which Alice walked“ (Sutherland, 1965)*

Das Zitat macht deutlich: Je mehr Sinneskanäle von einem VR-System angesprochen werden können, desto umfassender fühlt sich der Nutzer in die virtuelle Welt eingebunden, d.h. desto größer ist der Grad der Immersion<sup>2</sup> (Hofmann, 2002). Der Anwender soll den Eindruck bekommen, sich physisch in der virtuellen Umgebung zu befinden und sich seiner realen Umgebung während der Simulation möglichst nicht bewusst sein. Dem idealen Verständnis nach spricht also die virtuelle Umgebung mehrere sensorische Kanäle des Anwenders an und lässt so ein konsistentes Abbild der Realität entstehen, mit dem in Echtzeit interagiert werden kann. Abbildung 2.1 zeigt schematisch den zu Grunde liegenden Zusammenhang zwischen den verschiedenen Sinneskanälen des Nutzers, der Umwelt und dem VR-System. Aktuelle VR-Systeme setzen vor allem auf die Darstellung visueller und akustischer Informationen. Die realitätsnahe Umsetzung einer haptischen<sup>3</sup> Rückmeldung gestaltet sich aus technischer Sicht deutlich schwieriger, sie

---

<sup>1</sup>Unter CAX versteht man die begriffliche Zusammenfassung verschiedener rechnergestützter Technologien: die am meisten verbreiteten sind wohl Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Manufacturing (CAM) oder Computer Aided Testing (CAT)

<sup>2</sup>Immersion (lat. immersio = Eintauchen) beschreibt das Eintauchen bzw. den Grad des Eintauchens eines Nutzers in eine virtuelle Umgebung. (Bartle, 2003)

<sup>3</sup>Als haptische Wahrnehmung (griech. haptikós = zum Berühren geeignet) bezeichnet man das aktive

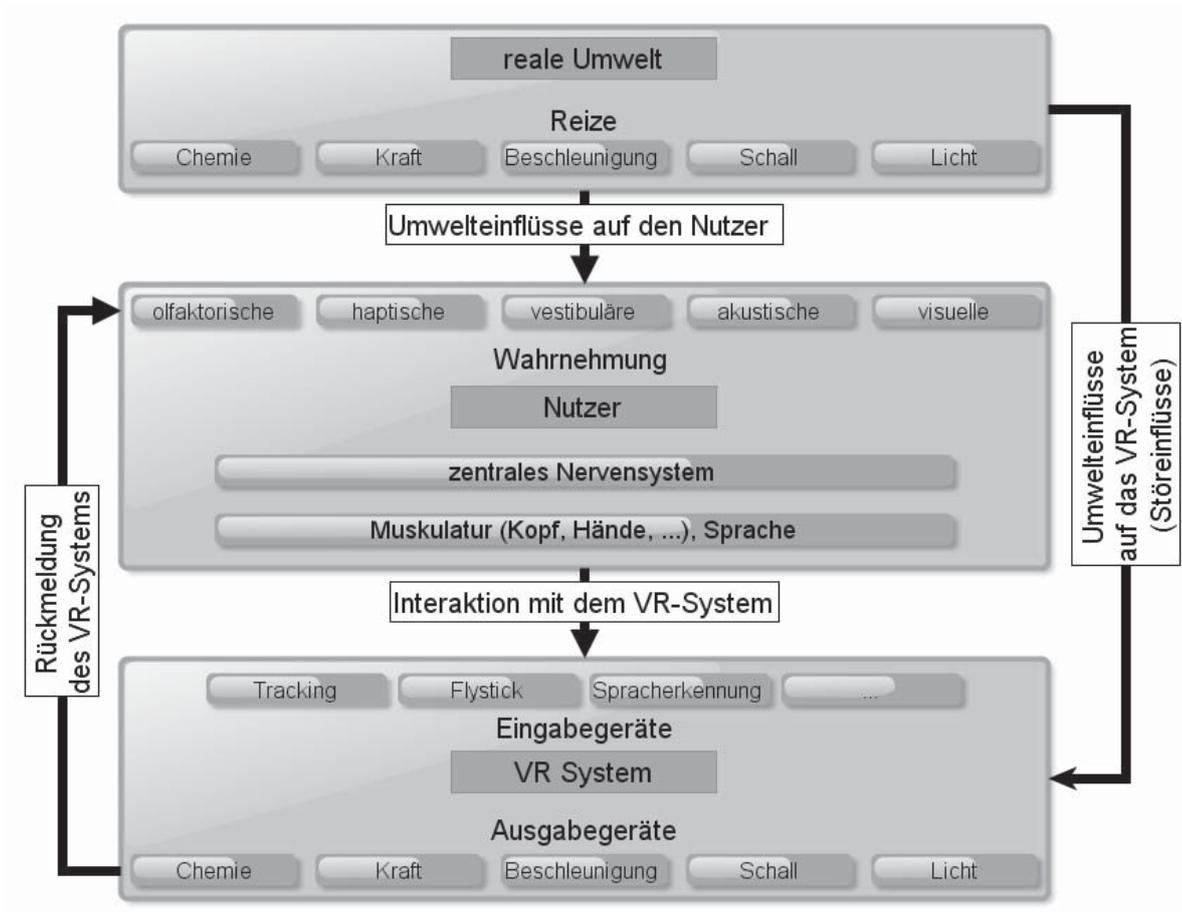


Abb. 2.1: Wirkgefüge zwischen Nutzer, Umwelt und VR-System (angelehnt an Schmidtke, 1993)

ist in diversen Ein- bzw. Ausgabegeräten verschiedener VR-Systeme umgesetzt. In diversen Simulatoren aus der Fahrzeugtechnik und Flugzeugtechnikbranche wird gezielt die vestibuläre<sup>4</sup> Wahrnehmung des Menschen angesprochen. Olfaktorische<sup>5</sup> Reize spielen in aktuellen Systemen eine untergeordnete Rolle (Engstler, 2005).

Ziel ist es beim Nutzer den Eindruck zu erwecken sich tatsächlich in der computer-generierten Umgebung zu befinden. Dieser Zusammenhang kann nach Brill (2009) als mentaler Prozess verstanden werden, nicht die vollkommen realistische Darstellung ist das Ziel, sondern dass der Anwender die Darstellung als real akzeptiert. Dies wird erreicht durch hinreichende sensorische Informationen und die Möglichkeit diese Informationen kontrollieren und modifizieren zu können.

Erfühlen oder Ertasten eines Objektes durch Integration aller Hautsinne. Bestandteil der haptischen Wahrnehmung sind u.a. die taktile Wahrnehmung (Bestandteil der Oberflächensensibilität) und die Tiefensensibilität

<sup>4</sup>Vestibuläre Wahrnehmung bezeichnet den Gleichgewichtssinn, d.h. die Wahrnehmung von Lageänderungen und Rotationen des eigenen Körpers

<sup>5</sup>Olfaktorische Wahrnehmung ermöglicht die Wahrnehmung von Reizen durch den Geruchssinn

Allerdings ist nicht für alle Anwendungen, in denen die Realität simuliert wird, ein Höchstmaß an Immersion notwendig. Eine dahingehende Kategorisierung wird von Milgram u. a. (1995) hinsichtlich der Unterscheidung von *Augmented Reality* (AR, dt. erweiterte Realität) und *Mixed Reality* getroffen. Beide Begriffe werden häufig im Zusammenhang mit dem Begriff der *Virtuellen Realität* verwendet. Abbildung 2.2 zeigt diese Kategorisierung. Je weiter ein System hierbei in Richtung „vollständig real“ eingeordnet werden kann, desto mehr kann vom Anwender seine reale Umgebung wahrgenommen werden und desto weniger spielt die Immersion hierbei eine Rolle. Die virtuelle Realität ist aus diesem Grund in Abbildung 2.2 auf der gegenüberliegenden Seite angeordnet und stellt somit wie bereits dargelegt diesbezüglich die höchsten Ansprüche an den Immersionsgrad. Systeme, die der Kategorie *Augmented Reality* zuzuordnen sind, zeichnen sich durch eine Erweiterung der realen Umgebung um virtuelle Informationen aus. Head-Up-Displays (HUD) und Head-Mounted Displays (HMD) sind hierzu oft genannte Beispiele. Diese u.a. in modernen Fahrzeugen eingesetzte Technik erlaubt es, Informationen wie Navigationshinweise oder Geschwindigkeitsangaben direkt ins Sichtfeld des Fahrers einzublenden. *Augmented Virtuality* stellt eine Mischform aus AR und VR dar.

Im allgemeinen Sprachgebrauch verwischen die Grenzen zwischen den dargestellten Kategorien und häufig werden Anwendungen dem Begriff VR zugeordnet, der eben dargelegten Definition widersprechend. Als Vorwegnahme soll deshalb an dieser Stelle die vorliegende Arbeit in das eben beschriebene Schema eingeordnet werden. Das virtuelle Fahrerplatzmodell ist als Gesamtsystem der Kategorie *Augmented Virtuality* zuzuordnen. Zwar ist die Visualisierungskomponente hierbei ein reines VR-System, aber zur Darstellung des haptischen Feedbacks wird die „reale“ Komponente variables Fahrerplatzmodell eingesetzt. Rein virtuelle Methoden bieten im aktuellen Stand der Technik nicht die Möglichkeit die komplexe Umgebung eines Fahrzeuginnenraums in allen Einzelheiten haptisch darzustellen. Aktuell sind keine Ansätze bekannt, die diese grundlegende Problematik mittelfristig lösen könnten.

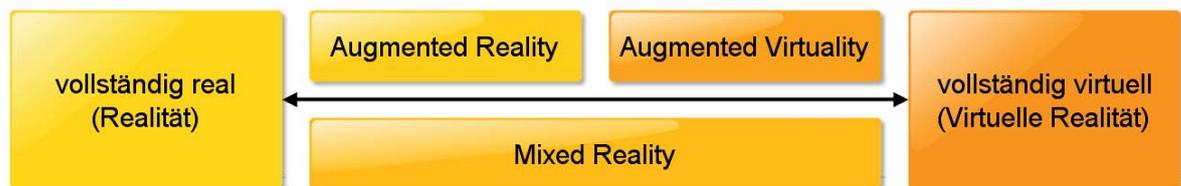


Abb. 2.2: Schematische Darstellung unterschiedlicher Abstufungen zwischen Realität und virtueller Realität (angelehnt an Milgram u. a., 1995)

### 2.1.2 Virtuelle Realität in den frühen Phasen der Fahrzeugentwicklung

VR-Systeme werden heute bereits in den frühen Phasen der Fahrzeugentwicklung eingesetzt. Es wurde erkannt, dass mit derartigen Hilfsmitteln die Qualität und Kosten

des finalen Produkts maßgeblich beeinflusst werden können. Dabei unterstützen VR-Systeme in der frühzeitigen und systematischen Beurteilung von Entwicklungsständen sowohl in den technischen Abteilungen selbst als auch bei der Kommunikation mit nicht technischen Bereichen, wie beispielsweise Management oder Marketing (Haines u. a., 2002).

Projektions- und Interaktionstechnologien aus dem Bereich der VR-Systeme werden beispielsweise für die realitätsnahe Besprechung und Beurteilung früher Designentwürfe herangezogen. Auch der partielle Ersatz physikalischer Modelle durch Visualisierung mittels VR-Systemen im Bereich der sogenannten Datenkontrollmodelle ist heutzutage fester Bestandteil des Entwicklungsprozesses in der Automobilbranche. Auch hierbei werden hohe Anforderungen an eine realitätsgetreue Visualisierung gesetzt, auf die Echtzeitfähigkeit der Modelle und die korrekte Berechnung und Darstellung von Lichteffekten wird hierbei großer Wert gelegt. Ein weiteres Einsatzgebiet für Methoden der virtuellen Realität besteht in der Visualisierung komplexer und rechenintensiver Simulationsergebnisse beispielsweise aus dem Bereich der Crashesimulation. Hier bietet die virtuelle Realität den Vorteil, Prozesse, die in Realität sehr schnell ablaufen, beliebig oft zu wiederholen, nachvollziehbar zu verlangsamen oder aus beliebigen Positionen zu erleben. Auch Methoden aus dem Bereich der Einbaumontagesimulation können frühzeitig mittels virtueller Realität durchgeführt werden. Somit kann lange vor dem Aufbau physischer Prototypen überprüft werden, ob und wie sich bestimmte Komponenten am Fahrzeug verbauen lassen. Auch zur Erprobung der Kundenakzeptanz im Rahmen einer Produktklinik wird teilweise auf Anwendungen aus dem Bereich virtuelle Realität zurückgegriffen. Die Nutzung virtueller Welten zur Kundenintegration in die Entwicklung neuer Fahrzeuge wird beispielsweise bei Daecke (2009) ausführlich dargestellt.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt allerdings auf der Anwendung von Technologien aus dem Bereich virtuelle Realität in einem anderen Bereich: der ergonomischen Auslegung des Fahrzeuginnenraums in den frühen Phasen der Konzipierung eines Fahrzeugs. Nach Gude (2008) setzt der Einsatz virtueller Realität in der ergonomischen Auslegung eines Fahrzeuginterieurs Funktionalitäten voraus, die über eine reine Visualisierung hinaus gehen. Als wichtigstes Element identifiziert er dabei eine angemessene Repräsentation der Nutzer beispielsweise mittels eines digitalen Menschmodells zur Beurteilung ergonomischer Beurteilungskriterien wie die Prüfung von Freiräumen, Körperhaltungen, Sichtbedingungen, Greif- und Erreichbarkeitsräumen. Insbesondere die Beurteilung aus der Situation des Nutzers ist hier Gegenstand der Simulation. Verschiedene Aspekte einer Neuentwicklung können in der virtuellen Realität subjektiv erfahrbar gemacht werden. So kann beispielsweise die Handhabung oder Positionierung neuartiger Stellteile visualisiert und auch mittels haptischer Rückmeldung realitätsnah erlebbar gemacht werden (Gude, 2008).

Der Mehrwert derartiger Simulationen gegenüber konventionellen Methoden aus dem CAX-Bereich liegt vor allem darin begründet, dass die betrachteten Zusammenhänge realitätsnah erlebbar werden. Die Simulation komplexer Systeme am Rechner ist gekennzeichnet von hoher Flexibilität und Effizienz. Häufig werden Vorgänge simuliert, deren Eigenschaften und Verhalten mittels ausreichend genauer mathematischer Modelle beschrieben werden können. Dieser Aspekt stellt eine Herausforderung für den Einsatz in



## 2 Theoretischer Hintergrund

der Ergonomie und Arbeitswissenschaft dar, da der Mensch mit seiner subjektiven Wahrnehmung und daraus resultierenden Handlungsweisen nur bedingt in mathematischen Modellen parametrisch darstellbar ist. Um die genannten Vorteile dennoch im Rahmen einer Simulation nutzen zu können, besteht ein Lösungsansatz darin den Menschen mit Methoden der virtuellen Realität im Sinne einer „operator-in-the-loop“-Anordnung in die Simulation einzubinden (Hagenmeyer u. a., 2003). Damit stellen Anwendungen aus dem Bereich der virtuellen Realität auf diesem Gebiet eine optimale Ergänzung zum Einsatz konventioneller CAX-Methoden dar.