

# Sen(se)sation

VR Produktvision mit multisensorischem Einfluss  
auf die menschliche Wahrnehmung

Verfasser: Tobias Tabel

Bachelorarbeit Produktdesign WS21/22

FH Aachen FB Gestaltung 04

Betreut durch: Prof. Manfred Wagner

# Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung	6	2.3.1	Gaming	15
1.1	Motivation	6	2.3.2	Architektur	15
1.2	Themenstellung	8	2.3.4	Produktentwicklung	16
1.3	Zielsetzung	9	2.3.3	Gesundheitsbereich	16
1.4	Strukturierung	9	2.4	Historie von VR	17
1.5	Konzeptansatz & Ideen	10	2.5	Wahrnehmung & Sinne	20
1.6	Herausforderungen	11	2.6	Chemical Haptics	22
1.7	Moodbilder	12	2.6.1	Vorteile	23
2	Einstieg in „Virtual Reality“	14	2.6.2	Nachteile	23
2.1	Was ist eigentlich VR?	14	2.7	Feelreal	24
2.2	Wie funktioniert VR?	14	2.7.1	Vorteile	24
2.3	Einsatzgebiete VR	15	2.7.2	Nachteile	24
			2.8	Ambiotherm	26

# Inhaltsverzeichnis

---

2.8.1 Vorteile	27	6 Sehen	42
2.8.2 Nachteile	27	6.1 Wahrnehmung und Funktionsweise	42
3 Sinneswahrnehmung	28	6.2 Visuelle Wahrnehmung von virtuellen Umgebungen	43
3.1 Übersicht	28	6.3 Konzeptionelle Anwendung	47
3.2 Immersion	29	7 Riechen und Schmecken	48
4 Tasten	30	7.1 Wahrnehmung und Funktionsweise	48
4.1 Wahrnehmung und Funktionsweise	30	7.2 Olfaktorische und gustatorische Wahrnehmung in VR	49
4.2 Haptische Interaktion mit der virtuellen Realität	31	7.3 Konzeptionelle Anwendung	53
4.3 Konzeptionelle Anwendung	35	8 Endkonzept	54
5 Hören	36	9 Fazit	74
5.1 Wahrnehmung und Funktionsweise	36	10 Verzeichnisse	76
5.2 Auditive Wahrnehmung in virtuellen Umgebungen	37		
5.3 Konzeptionelle Anwendung	41		

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Virtual Reality Brillen haben sich die letzten Jahre stetig weiterentwickelt und offenbaren langsam einen Einblick in die zukünftigen Vorteile und Möglichkeiten von Virtual Reality, abseits von Gaming. In diesem Kontext, wird sich in dieser Bachelorarbeit mit der Recherche, Konzeption und Umsetzung von VR Systemen beschäftigt und wie diese zum jetzigen Stand der Technik das VR Erlebnis intensivieren.

Mit Blick darauf, was heutzutage technologisch machbar ist, soll in dieser Arbeit erarbeitet werden, wie bestehende Technologien noch optimiert werden können und welche Möglichkeiten sich in Zukunft noch bieten.



## 1.2 Themenstellung

In dieser Arbeit steht das Thema Virtual Reality im Hauptfokus. Dieser stetig wachsende Bereich der Technik hat bereits in vielen verschiedenen Einsatzgebieten Einzug gefunden. Verschiedenste Fortschritte im Bezug auf Bildauflösung, Größe der benötigten Technik und Erweiterung der VR-Erfahrung durch neue Hardware, eröffnen viele neue Chancen für diese teils futuristische Thematik. Neben dem Fokus auf Virtual Reality spielen auch die Sinne des Menschen eine wichtige Rolle in diesem Projekt. VR-Hardware spricht zwar mittlerweile immer mehr Sinne an, klassisch werden aber vor allem die Sinne Sehen und Hören stimuliert. Um die Erfahrung in einer virtuellen Umgebung, denen in der Realität möglichst nah angleichen zu können, sollten alle Sinne angesprochen werden. Die Kombination aller Sinne eröffnet zudem auch neue Einsatzmöglichkeiten für die Hardware. Beispielsweise in der Psychotherapie und der Behandlung von Angststörungen kann der Einsatz von Virtual Reality noch weiter ausge-

baut werden. Aktuelle Versuche möglichst viele Sinne in ein VR-Erlebnis mit einzubeziehen, sind in ihrer Nutzbarkeit und dem Komfort jedoch noch ausbaufähig.

Das Endergebnis dieses Projekts soll eine futuristische Virtual Reality Hardware sein. Ausgerichtet an dem voraussichtlichen Stand der Technik in fünf Jahren und den zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Mitteln, wird dieses Produkt alle fünf Sinne ansprechen und auf individuelle Weise stimulieren können. Das Endprodukt wird eine Headwear Hardware, wie beispielsweise eine VR-Brille mit weiteren Elementen und Funktionen.

## 1.3 Zielsetzung

Ziel dieses Projekts ist es, dem Nutzer am Ende eine vollkommen realistische Simulation einer virtuellen Realität zu bieten. Das soll unter Berücksichtigung der technischen Mittel die in Zukunft zur Verfügung stehen ein stimmiges Gesamtkonzept ergeben und sich von den derzeit noch sehr frontlastigen und oft unkomfortablen Designentwürfen abgrenzen. Komfort und Nutzbarkeit sind hierbei besonders elementare Begriffe. Alle fünf Sinne des Menschen sollen durch die VR-Hardware stimuliert werden.

Das Produkt ist nicht durch einen, im vorhinein festgelegten, Einsatzbereich eingeschränkt und kann dadurch in diversen Anwendungsgebieten zum Einsatz kommen. Durch den hohen Grad an Realismus, bietet sich das Produkt beispielsweise in therapeutischen Bereichen an.

## 1.4 Strukturierung

Zuerst werden grundlegend das Thema „Virtual Reality“ erläutert und eine Basis an notwendigen Informationen aufgezeigt.

Nach dem Vorrecherche Teil, welcher einen kleinen Einblick in das Thema Virtual Reality und Sinneswahrnehmung gegeben hat, werden im folgenden zunächst der Begriff der Immersion näher erläutert und anschließend die Sinne in allen Einzelheiten, ihre Funktionen und die technischen Möglichkeiten ihrer Beeinflussung dargelegt.

Anschließend wird auf Basis der erläuterten unterschiedlichen Herangehensweisen an dieses Thema ein Konzept entwickelt und die technischen Abläufe sowie in Zukunft mögliche technische Komponenten und Bauteile aufgezeigt.

Abschließend ermöglicht ein Fazit dieser Arbeit einen Einblick in entstandene Probleme, Herausforderungen und Zukunftsentwicklung.

## 1.5 Konzeptansatz & Ideen

Das Gestaltungskonzept und der Aufbau sollen sich von bisherigen VR-Brillen unterscheiden und es wird eine ähnliche Designsprache wie das neue VR-Konzept von Panasonic angestrebt. Betrachtet man nur die technischen Komponenten, ist diese VR-Brille deutlich leistungsstärker und dazu auch noch kabellos benutzbar. Zusätzlich zu diesem enormen technischen Fortschritts, stellt diese Brille alle vorherigen Brillen in den Punkten Innovation und Designaussage in den Schatten. Die große Leistungssteigerung und ebenfalls deutlich komprimierte und dynamischere Aussenform lassen ganz neue Denkweisen in der zukünftigen Aussengestaltung zu. Das äussere Erscheinungsbild von VR-Brillen der Zukunft könnte sich endlich weg von frontlastigen, kastenförmigen VR-Designs bewegen. Auf dieser Basis soll in der Abschlussarbeit ein Konzept entstehen, welches eine klare Richtung aufzeigt und von der Designsprache, wie in den Moodbildern zu erkennen, eine hochwertige, saubere und ergono-

misch optimal ausgearbeitete Form aufweist. Zu dem neuartigen Designansatz kommt die Integration der multisensoralen Stimulation durch die in das Produkt eingebauten technischen Vorrichtungen. Es sollen alle Sinne angesprochen werden um dem Anwender ein nahezu völlig realistisches computergeneriertes Erlebnis zu liefern.

Am Ende soll die VR-Brille als Prototyp ausgearbeitet sein. Da der Tastsinn ebenfalls mit angesprochen werden soll, wird es dazu ein an die Technik und Designsprache angepasstes Konzept für ein Controller/ Handschuh- System geben. Dieses soll am Ende digital ausgearbeitet sein, jedoch nicht als physisches Modell gebaut werden.

## 1.6 Herausforderungen

Die verschiedenen Stufen der Ausarbeitung des Produkts und der Bachelorarbeit selbst, zeichnen sich durch unterschiedliche Herausforderungen aus. Die größte Herausforderung in der gesamten Umsetzung wird voraussichtlich der Bau und die Konzipierung des Produkts selbst darstellen. In wieweit eine technische Umsetzung möglich ist, ist jetzt zu Beginn noch nicht abzusehen, aber wohl am herausforderndsten, sollte es dazu kommen. Da es sich bei dem Produkt um eine Zukunftsvision handelt, ist es zudem wichtig und gleichzeitig schwierig, den technischen Stand in der Zukunft so präzise vorausszusagen, dass die Umsetzung und Darstellung des Produkts dem Stand angemessen sind.

Das verwendete Material soll in der finalen Gestaltung des Produkts so fein und hochwertig wie möglich ausgearbeitet sein. Auch hier könnte es zu Herausforderungen kommen.

Der stetige Prozess des Rapid Prototyping nimmt sehr viel Zeit in Anspruch und muss daher zeitlich genau eingeplant werden um keine Verzögerungen im Zeitmanagement zu verursachen.

# Designorientierung



Abb.2: Material Mood 1



Abb.3: Material Mood 2



Abb.4: Material Mood 3



Abb.5: Panasonic VR-Brille



Abb.6: Material Mood 4



Abb.7: Material Mood 5



Abb.8: Material Mood 6

## 1.7 Moodbilder

## 2 Einstieg in „Virtual Reality“

### 2.1 Was ist eigentlich VR?

VR steht für Virtual Reality. Mithilfe von speziellen Bildschirmen in Form von VR-Brillen, können die Nutzer sich in einer computergenerierten interaktiven Umgebung aufhalten. Die Bewegungen des Nutzers werden durch die Technik in der virtuellen Umgebung simuliert und durch zwei Linsen werden Bilder aus unterschiedlichen Perspektiven gezeigt und erzeugen einen räumlichen Eindruck. Durch spezielle Eingabegeräte, meist in Form von Controllern, hat der Nutzer die Möglichkeit mit der computerbasierten Umgebung zu interagieren und sich in dieser fortzubewegen. In letzter Zeit kommen ebenfalls viele neue AR-Produkte auf den Markt. AR bedeutet Augmented Reality und auf Deutsch erweiterte Realität. Wie der Name schon sagt, wird bei Augmented Reality Brillen die Realität des Nutzers erweitert. Die Realität wird ganz normal, durch eine gläserne Brille wahrgenommen, jedoch durch Informationen oder auch 3D Darstellungen im Raum ergänzt bzw. optimiert.<sup>1</sup>

### 2.2 Wie funktioniert VR?

Der Prozess, vom Aufsetzen der VR-Brille bis hin zur flüssigen Wiedergabe auf dem, durch die Linsen sichtbaren Bildschirm, kann in einige Zwischenschritte aufgeteilt werden. Zuerst kommunizieren die Sensoren der Brille mit der Umgebung und wandeln die gesammelten analogen Daten über die Bewegung anschließend in digitale Signale um. Diese Signale werden an die Rechenquelle gesendet und dort, von dafür vorgesehenen Verarbeitungsprogrammen, ausgewertet. Dieser ganze Prozess passiert in einem Liverendringverfahren und die Reaktionszeit des Gerätes sollte je nach Hardware nicht mehr als wenige Millisekunden dauern. Vom Rechner aus werden die umgewandelten Daten anschließend auf den eingebauten Bildschirm projiziert und erzeugen die simulative Darstellung der virtuellen Welt. Je nach VR-Gerät und Preis unterscheiden sich die Geräte hinsichtlich der Rechenleistung und Sensortechnik, sowie der Bildschirmauflösung. Der technische Ablauf bleibt jedoch immer gleich.<sup>2</sup>

### 2.3 Einsatzgebiete VR

#### 2.3.1 Gaming

Der Gaming Bereich ist zurzeit noch der Haupteinsatzbereich von Virtual Reality. Da mittlerweile jeder Game Publisher VR-Spiele anbietet, haben einige Personen auch schon Virtual Reality Brillen im Wohnzimmer, um das virtuelle Erlebnis entspannt von zuhause aus genießen zu können. Die Firmen HTC und Sony sind zurzeit die Vorreiter in diesem Bereich. Die meisten Spiele die mit VR Unterstützung angeboten werden, sind jedoch Hybrid-Titel um einen breiteren Markt anzusprechen. Es gibt viele interessante technische Ansätze um dem Anwender ein intensiveres Erlebnis zu ermöglichen. Beispielsweise über ergonomische und intuitiv steuerbare Controller, aber auch schon Handschuhe oder Ganzkörperanzüge, welche elektrische Impulse an den Körper senden und so dem User haptisches Feedback liefern.<sup>1</sup>

#### 2.3.2 Architektur

In der Architektur werden vor dem endgültigen Bau mithilfe von CAD Programmen Modelle am Computer angefertigt. Diese Modelle können durch den Einsatz von Virtual Reality für die Auftraggeber schon vor Baubeginn simuliert und begehbar gemacht werden. Es können Parameter berücksichtigt werden, die normalerweise nur sehr schwer vorzuberechnen sind. Licht, Raumakustik und Materialien können live begutachtet werden und teilweise sogar direkt während des Rundgangs angepasst werden. Die Möglichkeiten die durch VR in diesem Bereich entstehen sind sehr vielseitig und haben das Potential im Bauwesen viel zu verändern.<sup>1</sup>

### 2.3.4 Produktentwicklung

Natürlich wird VR auch im Bereich der Produktentwicklung eingesetzt. Die Konzeption und Visualisierung von Produkten kann komplett im virtuellen Raum stattfinden. Programme wie „Gravitysketch“ ermöglichen es Designern, im Raum dreidimensional zu zeichnen und Aussenstehende an dem eigenen Arbeitsprozess teilhaben zu lassen. Durch bestimmte Eingabegeräte wie Stifte oder Handschuhe lassen sich im virtuellen Raum Objekte platzieren und erstellen. Dieser Bereich bietet noch viele offene Möglichkeiten, denn mit der stetigen Verbesserung von VR- Systemen und dem Offenbaren der damit verbundenen Möglichkeiten, werden auch große Unternehmen wie „Meta“ und „Apple“ darauf aufmerksam und investieren viel Geld in die Produktentwicklung. <sup>1</sup>

### 2.3.3 Gesundheitsbereich

Auch in der Medizintechnik und therapeutischen Einrichtungen ist Virtual Reality kein Fremdwort mehr. Es gibt vielseitige Anwendungsmöglichkeiten in diesem Bereich und genauso viele Studien die belegen, dass die Arbeit damit Wirkung zeigt. Studenten und auszubildene Ärzte können so Operationen durchführen beziehungsweise live dabei zusehen und erste Erfahrungen sammeln, ohne direkt ein Menschenleben aufs Spiel zu setzen. In virtueller Umgebung kann mithilfe einer VR Brille und eines haptischen Systems, mit welchem der virtuelle Patient auch in Realität spürbar ist und auch wie durch virtuelles Gewebe geschnitten wird. An dieser Technik arbeitet die Firma „FundamentalVR“ seit dem Jahr 2012. Die deutsche Krankenhausesellschaft „Sana Kliniken“ hat sich dieser Technologie schon angenommen und nutzt diese, um angehende Ärzte auszubilden. <sup>1</sup>

## 2.4 Historie von VR

### 1962

Der erste nennenswerte Erfolg, im Virtual Reality Bereich konnte 1962 von Morton Heilig erzieht werden. Heilig baute in diesem Jahr den ersten Prototypen des „Sensorama“. Das Sensorama verfügte über eine Rüttelmechanik in Kombination mit der Darstellung von stereoskopischen Bildern. Es war zusätzlich mit einem Geruch- und Windsystem ausgestattet. Die Maschine war die erste VR Erfahrung auf dem Markt, jedoch konnte kein kommerzieller Erfolg generiert werden. <sup>3</sup>

### 1968

Im Jahr 1968 brachte Evan Edward Sutherland in Kooperation mit Bob Sproul, das erste HMD (Head Mounted Display) auf den Markt. Er nannte es „The sword of damocles“ und es hatte ein so hohes Gewicht, dass es an der Raumdecke befestigt werden musste. Das erste was auf diesem HMD dargestellt werden konnte, war ein 5x5 Centimeter großer Würfel als Drahtgitterstruktur. <sup>3</sup>

### 1985

Nach den ersten Durchbrüchen und interessanten Ansätzen in den 60er Jahren, blieben neuartige Entwürfe für eine längere Zeit aus. 1985 entwickelte die NASA ein System, welches Virtual Environment Display System (VIVED) genannt wurde. Dieses System sollte beim Einsatz und zur Steuerung von Robotern möglichst realistisch zu bedienen sein. Da sich zu diesem Zeitpunkt die Entwicklung eines autonomen Roboters als zu schwierig herausstellte, wurde der „VR“ nachgegangen. <sup>3</sup>

### 1987

Im Jahre 1987 wird erstmalig das Wort „Virtual Reality“ im „Oxford English Dictionary“, beschrieben. Die Beschreibung lautete: »The computer-generated simulation of a three-dimensional image or environment that can be interacted with in a seemingly real or physical way by a person using special electronic equipment, such as a helmet with a screen inside or gloves fitted with sensors.« <sup>3</sup>

# Einstieg in „Virtual Reality“

## 1994

In diesem Jahr wurden in Las Vegas auf der CES (Consumer Electronics Show) das „Forte VFX1“ vorgestellt. Dabei handelte es sich um ein HMD mit Headtracking Funktion, Kopfhörern und eingebautem Mikrofon. Ein Controller war auch mit enthalten. Mit diesem konnte man sich über zwei Achsen mit den Sticks, im virtuellen Raum bewegen. Der Neupreis betrug 1.800 DM und die niedrige Auflösung von 320x320 Pixeln sorgte wahrscheinlich auch dafür, dass die Firma Forte schon einige Jahre später bankrott ging.<sup>3</sup>

## 2008

Das omnidirektionale Laufband, welches in Zürich entwickelt wurde, stellt den nächsten großen Fortschritt dar. In Kombination mit einem HMD können Probanden das antike Pompeji erkunden. Das Laufband passt sich genau der Laufrichtung des Nutzers an und ist daher im Vergleich zu einem klassischen Laufband sehr viel flexibler und bietet ein rundum realistischeres Erlebnis.<sup>3</sup>

## 2012

Den ersten großen kommerziellen Durchbruch erzielten John Carmack und Palmer Luckey. Nachdem Carmack die erste erschwingliche HMD auf Profi Niveau baute und Luckey die Firma Oculus gegründet hatte, schloss Carmack sich Luckey an. Gemeinsam wuchs Oculus unheimlich und brachte die erste VR-Brille für den PC auf den Markt, die von jedermann gekauft werden konnte.<sup>3</sup>

## 2015

Oculus bekommt Konkurrenz. HTC und Valve entwickeln eine eigene VR-Brille, die „HTC ReVive“. Zusätzliche Funktionen wie einen VR Controller und die „Lighthouse“ Technologie, welche den Standpunkt des Nutzers im Raum messen kann, versprechen einen großen Erfolg. Doch hohe Preise und lange Wartezeiten enttäuschen die Kunden.

2016 werden auf der E3 neue VR Spiele vorgestellt und Sony präsentiert ihr eigenes VR-Produkt, die „Playstation VR“. Der Preis schlägt den der Oculus VR-Brille um Längen und die PS VR wird ein voller Erfolg.<sup>3</sup>

## 2021

In den letzten Jahren wurde die Technik immer weiter ausgebaut und es gibt mittlerweile weltweit mehr als 171 Millionen VR-Nutzer. Die Nachfrage für VR-Geräte soll laut Prognosen in den Jahren von 2018 bis 2022 um den 16-fachen Wert steigen.<sup>4</sup> Die VR Erfahrung wird zudem immer mehr erweitert. Hinzu kommen beispielsweise der HaptX Glove<sup>5</sup> und der Kat Walk<sup>6</sup>. Diese Produkte ermöglichen eine zunehmend intensivere VR-Erfahrung.<sup>3</sup>



Abb.9: HaptX Gloves DK2

## 2.5 Wahrnehmung & Sinne

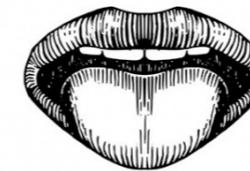
Alle Informationen die der Mensch über seine Sinne wahrnimmt, werden in ein Erlebnis umgewandelt und im Gehirn abgespeichert. Diese Erlebnisse werden als neuronale Netze bezeichnet und bestehen aus vielen, miteinander verbundenen Nervenzellen. Auch wenn es nicht bewusst wahrgenommen wird, nutzt der Körper alle Sinne und speichert diese in solchen neuronalen Netzwerken ab. In den Bergen bestünde so ein Netzwerk aus der frischen Höhenluft, klingenden Kuhglocken, dem Geruch des Waldes und dem haptischen Erlebnis wenn man eine Blume pflückt. Durch diese selbst erlebten Ereignisse, werden die Sinne miteinander verknüpft. So denkt man direkt an schwirrende Hitze und sandige Luft, wenn man ein Bild von einer Wüste sieht. Musiolik behauptet: „Sehen ist auch riechen, schmecken, tasten, hören.“<sup>7</sup> In der folgenden Tabelle ist dargestellt, wie viele Informationen wir einzeln durch die unterschiedlichen Sinne aufnehmen.<sup>7</sup>

Optisch	83,0 Prozent	Augen
Akustisch	11,0 Prozent	Ohren
Olfaktorisch	3,5 Prozent	Nase
Haptisch	1,5 Prozent	Haut
Gustatorisch	1,0 Prozent	Zunge

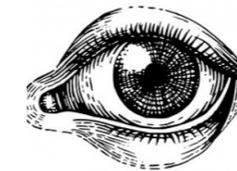
(Herbst und Musiolik 2015)

Wie in der Tabelle gut zu erkennen ist, nimmt der Mensch die meisten Eindrücke über optische Reize wahr. Jedoch reagiert, laut Musiolik das Gehirn um ein Vielfaches stärker wenn alle Sinne zugleich stimuliert werden, als die einzelnen Reize allein. Im Kontext der digitalen Kommunikation würde sich die Wirkung auf das 10fache verstärken. Von Experten wird dieser Effekt „Multisensory Enhancement“ genannt.<sup>7</sup>

»Indem wir etwas riechen, ziehen wir diesen Eindruck oder dieses ausstrahlende Objekt so tief in uns ein in unser Zentrum, assimilieren es sozusagen durch den vitalen Prozess des Atmens so eng mit uns, wie es durch keinen anderen Sinn einem Objekt gegenüber möglich ist – es sei denn, dass wir es essen.«<sup>8</sup>



TASTE



SIGHT



HEARING



SMELL



TOUCH

Abb.10: Five Senses

# Konkurrenzprodukte



Abb.11: Chemical Haptics Darstellung

## 2.6 Chemical Haptics

„Reale Empfindungen erweitern das virtuelle Sehen mit der VR-Brille um zusätzliche Sinne. So wird die Virtual Reality realistischer. VR-Forschende aus Chicago wollen diesen Effekt mit chemischen Substanzen erreichen.“<sup>7</sup>

Das Konzept „Chemical Haptics“ ist ein interessanter und vielversprechender Produktansatz. Bei dem Produkt handelt es sich um ein normales head mounted display, welches mit Mikropumpen verbunden ist. Diese Mikropumpen tragen, geringe Mengen an Substanzen auf die Haut auf und erzeugen so spezifische Empfindungen bei dem Nutzer. Die folgenden fünf Substanzen könnten solche Empfindungen auslösen und sind in der aufgetragenen Dosierung ungefährlich. Kribbeln (Sanshool), Betäubung (Lidocain), Stechen (Zimtaldehyd), Erwärmung (Capsaicin) und Kühlung (Menthol).

Die Forschenden der University of Chicago führten eine Teststudie durch, welche positives Feedback erzielen konnte und eine deutlich verbesserte Immersion bei den Probanden erzeugte.<sup>9</sup>

### 2.6.1 Vorteile

Ein Vorteil des Produkts ist, dass die chemischen Substanzen bei fast allen Menschen den gleichen Effekt haben. Ebenfalls die gute Verstaubarkeit und Kompaktheit der Technik ist ein Vorteil, da so kein zusätzliches Gewicht auf den Kopf wirkt bzw. ihn nach vorne zieht.<sup>9</sup>

### 2.6.2 Nachteile

Die Wirkung der Substanzen braucht relativ lange um Empfindungen beim Nutzer auszulösen, bis zu 30 Sekunden. Um einen direkten Haptik-Effekt bei Kontakt auszulösen ist diese Methode zu langsam. Es lassen sich jedoch vorgesteuerte Abläufe gut damit umsetzen, beispielweise Meditationsübungen bei denen der Fokus auf einen bestimmten Körperbereich gelenkt werden soll.<sup>9</sup>

# Konkurrenzprodukte

Der Feelreal Aufsatz ist ein eigenständiges Produkt, welches kommerziell erwerblich ist. Es handelt sich dabei um einen universell, auf die meisten VR-Brillen anwendbaren Aufsatz, welcher mit technischen Mitteln verschiedene Eindrücke bei dem User auslösen kann. Durch Magneten kann das Produkt an der Unterseite der VR-Brillen befestigt werden. So kann der VR-Aufsatz Gerüche erzeugen, Wärme und Kälte simulieren und Wasserdampf austreten lassen.

Feelreal bietet derzeit über 255 Geruchsaromen an und es lassen sich 9 verschiedene Aromen gleichzeitig in das Gerät einsetzen. Die Aromakapseln sollen etwa drei Monate halten, bevor der zu erzeugende Effekt nicht mehr gewährleistet werden kann.

Feelreal kann zu einem Preis von 186 Euro online erworben und geliefert werden.<sup>10 11</sup>

## 2.7.1 Vorteile

Die universelle Nutzbarkeit des Produkts ist ein großer Vorteil. Auch da viele potentielle Kunden wahrscheinlich schon eine VR-Brille besitzen und keine komplett neue erwerben möchten, nur um den möglichen Nutzen des Produkts auszuprobieren.<sup>10 11</sup>

## 2.7.2 Nachteile

Die Auswahl an einzelnen gleichzeitig nutzbaren Gerüchen ist derzeit noch auf 9 Gerüche gleichzeitig beschränkt. Ein Nachteil könnte sein, dass durch die direkte Positionierung vor Nase und Mund das Atmen eingeschränkt wird. Das ließe sich jedoch nur mit einer Studie oder einen Selbsttest klar sagen.<sup>11</sup>



Abb.12: Visualisierung Feelreal

## 3.2 Feelreal



Abb.13: Ambiotherm Darstellung

### 2.8 Ambiotherm

Bei der Ambiotherm VR-Brille handelt es sich um einen Produktentwurf der „National University of Singapore“. Das Konzept besteht aus einem beweglichen Ventilatoren-Addon welches sich auf der Samsung Gear VR anbringen lässt. Über eine Art Halsmanschette werden dem Körper über zwei Module thermische Reize zugefügt. So kann das Temperaturempfinden des Nutzers durch vorprogrammierte Szenarien gesteuert werden.

Es wird auf simple Technik gesetzt und auch auf den Einsatz von geruch- und geschmackerzeugenden Aromen vollständig verzichtet. Jedoch könnte dies sich später bei der Vermarktung positiv auf den Preis auswirken.

<sup>12</sup>

#### 2.8.1 Vorteile

Zwar ist das Produkt noch nicht erhältlich, es handelt sich aber auch um eine Erweiterung der VR-Brille, sodass kein neues VR-Gerät angeschafft werden muss. Die Beweglichkeit der Ventilatoren ermöglicht es, einen größeren Radius abzudecken und das Gefühl von Seitenwind realistischer zu simulieren. <sup>12</sup>

#### 2.8.2 Nachteile

Das Produkt ist bis jetzt nur auf eine bestimmte VR-Brille konfiguriert und nur auf diese anwendbar. Die Ambiotherm VR-Brille ist vom gestalterischen Aufbau sehr funktionell gestaltet und lässt, auf das Design bezogen, noch viel Raum nach oben. <sup>12</sup>

## 3 Sinneswahrnehmung

### 3.1 Übersicht

In diesem Kapitel geht es um die Erläuterung des Begriffs der Immersion. Dieser taucht in dieser Arbeit immer wieder auf und ist wichtiger Bestandteil des erarbeiteten Konzepts.

In den folgenden Kapiteln wird sich mit den menschlichen Sinnen und den Möglichkeiten ihrer Beeinflussung sowie ihrer gezielten Stimulation befasst. Die derzeit aktuellen technologischen Möglichkeiten werden aufgezeigt und jeweils Vor- und Nachteile analysiert. Bestehende Techniken werden teils adaptiert oder verbessert, um die realistische technische Umsetzbarkeit aufzuzeigen.

### 3.2 Immersion

Der Begriff der Immersion kann auf verschiedene Arten beschrieben werden. Laut Manfred Faßler kann eine Immersion als Eintritt in eine künstlich erzeugte Wirklichkeit, welche aber durch das Eintreten selbst zu der eigenen Wirklichkeit wird, beschrieben werden. Christian Kosfeld beschreibt 2003 die Immersion als psychologischen Zustand in welchem eine Person, die sie umgebende Welt annimmt und Interaktionen mit ihr vollführt. Diese und viele weitere Versuche den Begriff der Immersion klar und deutlich zu definieren, machen deutlich, dass sich die Immersion aus verschiedenen Sichtweisen betrachten lässt. Zum einen kann das Phänomen der Immersion auf mentale Weise betrachtet werden, zum anderen aber auch auf der physischen Ebene. Die mentale Immersion bietet viele Möglichkeiten der Wissenserweiterung und so könnte für beispielsweise Lehrinrichtungen diese Art von Immersion sehr sinnvoll sein, um dem Lehrenden ein Gefühl des „Eintauchens“ in den Lehrinhalt zu ermöglichen.

Jedoch könnte der physikalische Fokus der Immersion bei erlebnisbasierenden Lerninhalten ebenfalls seinen Nutzen finden, um das hohe Maß an sinnlicher Wahrnehmung dem zu Lehrenden übermitteln zu können.<sup>13</sup> Sobald der Nutzer die Möglichkeit hat mit seiner virtuellen Umgebung zu interagieren und sich durch ein „virtual reality-headmounted device“ in dieser umzusehen, entsteht der Effekt der immersiven virtuellen Umgebung „immersive virtual Environment.“ Die Gestaltung der virtuellen Umgebung und auch die Bedienelemente mit denen man mit seiner Umgebung interagiert und reagiert beeinflussen maßgeblich den Immersionsgrad. Je ausgereifter und intuitiver die Gestaltung, desto höher der Immersionseffekt.<sup>14</sup> Um dem Nutzer ein größtmögliches Gefühl des Realismus zu ermöglichen, muss die Schnittstelle zwischen Interaktion und Wahrnehmung für den Nutzenden so intuitiv und immersiv wie möglich gestaltet werden. Mit der Realisierung befasst sich diese Arbeit.

## 4 Tasten

### 4.1 Wahrnehmung und Funktionsweise

Der Tastsinn ermöglicht das Spüren und das in direkten physischen Kontakt treten mit der Umwelt. Die Haut ist mit verschiedensten Sinneszellen ausgestattet, welche bei Berührungen Informationen aufnehmen und an das zentrale Nervensystem weiterleiten. Die Sensoren in der Haut, die für das Empfinden von Hitze und Kälte zuständig sind, senden beispielsweise bei zu heißen oder kalten Temperaturen klare Signale, die sich dann wiederum in Form von Schmerzen äussern. Allein das Erfühlen und Ertasten liefert unzählige Informationen über die Beschaffenheit eines Objektes, auch wenn diese nicht von anderen Sinnen erfasst werden. In wenigen Sekunden können Eigenschaften wie Härte, Größe und Oberflächenstruktur erfasst werden, mit dem Einsatz dieses einzelnen Sinnes.

Je nach Hautregion unterscheiden sich die Dichten der dort angesiedelten Rezeptoren. Die Handinnenflächen, das Mundinnere und die Geschlechtsorgane sind mit besonders

vielen Sensoren ausgestattet. In den Fingerkuppen befinden sich über 300 mechanische Rezeptoren, mehrere Temperaturrezeptoren und einige hundert Schmerzfasern, die zusammen die komplette Fläche der Haut in diesem Bereich ausmachen. Die gesammelten Informationen werden über Axonbündel an das Gehirn geschickt und dort im Thalamus nach Körperregion sortiert.<sup>15 17</sup>

### 4.2 Haptische Interaktion mit der virtuellen Realität

Die Möglichkeit auf haptischem Wege mit seiner Umwelt zu interagieren ist für den Menschen ein alltägliches Bedürfnis. Aus diesem Grund sorgt die Möglichkeit der Interaktion mit der simulierten virtuellen Welt für eine deutliche Steigerung des Immersionsgrades beim Nutzenden. Das Bedienen und Benutzen von virtuellen Objekten funktioniert derzeit in den meisten Fällen über externe Eingabegeräte in Form von Gamepads oder verschiedensten angepassten Controllern. Diese Controller erlauben dem Nutzer zwar das Weitergeben von Informationen an das virtuelle System, liefern jedoch kein direktes Feedback zurück. Dadurch, dass Objekte nicht direkt berührt werden und Informationen über die Beschaffenheit vermitteln können, ist der Realismusgrad immens verringert. In den letzten Jahren hat die Entwicklung von sogenannten „VR-Handschuhen“ jedoch große Fortschritte gemacht und schafft viele Möglichkeiten in direkten Kontakt mit den virtuellen Welten zu treten.<sup>16</sup>



Abb.14: Plexus Glove

Abbildung 14 zeigt den VR-Handschuh der Marke „Plexus“. Dieser ist mit vielen unterschiedlichen Features ausgestattet, welche es dem Nutzenden ermöglichen bei Berührungen haptisches Feedback signalisiert zu bekommen. Ein Vibrationsmotor an den Fingerspitzen des Handschuhs simuliert dem

# Tasten

Wahrnehmungsbewusstsein einen physischen Widerstand. Die Elektronik des Handschuhs wird durch flexibles Silikon vor Außenwirkungen geschützt. Die Funktionen des Handschuhs berufen sich jedoch nur auf ein ausgereiftes Trackingssystem und haptisches Feedback an den Fingerspitzen.<sup>17</sup>



Abb.15: Teslasuit VR Glove

Abbildung 15 zeigt den Handschuh des Ganzkörper VR Systems des Teslasuits. Dabei handelt es sich um einen Anzug, der durch unzählige Sensoren und Vibrationsmodule, sogar Regentropfen oder Schläge realistisch abbilden kann.<sup>18</sup> Der Handschuh ist mit einer exoskeletalen Konstruktionsweise ausgestattet, welche es dem Nutzer des Device erlaubt, haptische Signale an den Fingerkuppen zu empfangen, jedoch auch einen mechanischen Widerstand bei Greifbewegungen der Hand zu spüren. Die Konstruktion verbindet die Finger mit Strängen im Inneren, welche bei Interaktion mit virtuellen Objekten „Force Feedback“ an den Anwender senden. Das Tracking der einzelnen Finger funktioniert durch Sensoren an allen Fingergelenken, welche über das Steuerungsmodul des Handschuhs übertragen werden.<sup>19</sup>

Bei dem nächsten Gerät handelt es sich um den „dextrES- Handschuh“(Abb.17). Dieser arbeitet mit einer simplen und sehr effektiven Methode, alle aufgezeigten Feedbacksignale zu vereinen, während er gleichzeitig

durch eine komprimierte Größe punktet. Er ermöglicht eine nahezu komplett realistische Simulation des physischen Interagierens in VR und ist aufgrund der Bauweise mit seinen 8 Gramm ein absolutes Leichtgewicht. Es wird kaum Strom benötigt, da er Handbewegungen passiv bremst. Elektrostatische Bremsen blockieren die Bewegung der Gelenke genau im richtigen Moment und liefern so den nötigen Widerstand.<sup>20 21</sup>



Abb.17: dextrES VR Glove

Der Marktführer hinsichtlich der haptischen Sensor- und Feedbacktechnik ist das Unternehmen HaptX. Die Produkte werden jedoch nur in der Raumfahrt und Robotiksteuerung eingesetzt, was es unmöglich macht einen näheren Einblick in die verbaute Technik zu bekommen. Die Handschuhe sind jedoch hinsichtlich der Bauweise genau das Gegenteil zum zuletzt beschriebenen Modell und sehr massiv und schwer.<sup>22</sup>



Abb.16: HaptX Gloves



## Konzept

### 4.3 Konzeptionelle Anwendung

Es wurden die verschiedenen Systeme, welche dem Anwender die direkte Interaktion mit virtuellen Objekten ermöglichen aufgezeigt. Aufgrund der enormen Vorteile gegenüber anderen Modellen und der hohen Wahrscheinlichkeit einer zukunftsweisenden Entwicklung, wurde sich für die Konstruktion in diesem Projekt auf ein ähnliches System wie das der "dextrES Gloves" fokussiert.

Die **Sen(se)sation** Virtual Reality Gloves sind mit elektrostatischen Bremsen ausgestattet, reagieren durch Force Feedback auf direkte Bewegungen der Hand und sorgen durch gezielten Einsatz der Vibrationsmechanik an sensorisch wichtigen Stellen, für immersive haptische Interaktionsmöglichkeiten im virtuellen Raum.

# 5 Hören

## 5.1 Wahrnehmung und Funktionsweise

Der Hörsinn ermöglicht es Informationen in einer Umwelt wahrzunehmen, zu lokalisieren und anschließend direkt an das Gehirn zu liefern. Durch das Hören werden Informationen in Form von Druckschwankungen und Veränderungen gesammelt. Die unzähligen Schallquellen in der direkten Umwelt können entweder gleichzeitig oder getrennt voneinander wahrgenommen werden. Erreicht eine Schallwelle das Ohr, werden die Luftpartikel im Ohr aufgewirbelt und die daraus resultierende Schallwelle prallt nach etwa zwei Zentimetern auf das Trommelfell. Das Trommelfell nimmt die Energie auf und leitet sie durch die Mittelohrknochen weiter an das Innenohr. Dort angekommen wird das Schallsignal durch die Cochlea analysiert und in Impulse umgewandelt. Diese werden anschließend an das Gehirn gesendet.

Die Bewertung der Informationen im Gehirn hinsichtlich beispielsweise der Entfernung der Schallquelle erfolgt zuerst durch die Lautstärke des Signals. Eine höhere Lautstärke lässt eine nah entfernte Quelle vermuten. Je leiser das Geräusch ist, desto weiter weg wird auch die Quelle vermutet. Durch den Weg den der Schall zurücklegen muss bis er im Ohr ankommt, werden höhere Frequenzstärken herausgefiltert was dafür sorgt, dass weiter entfernte Geräusche dumpfer klingen und näher heller.<sup>23</sup>

Schallwellen können nur in einem gewissen Frequenzbereich vom Ohr aufgenommen werden. Dieser Bereich reicht von 16 -20.000 Hz, nimmt aber mit dem Alter stetig ab, bis auf etwa 10.000 Hz hörbarer Schallfrequenz.

<sup>17</sup>

## 5.2 Auditive Wahrnehmung in virtuellen Umgebungen

Um ein möglichst realistisches VR Erlebnis erzeugen zu können, muss die Wahrnehmung von akustischen Reizen ebenfalls berücksichtigt werden. Es gibt heutzutage verschiedenste Möglichkeiten akustische Reize aufzunehmen und die Ausgabegeräte mit dem VR System zu verbinden, sollte das Ausgabegerät nicht bereits im Displaydevice integriert sein.

Es gibt verschiedene Arten von Kopfhörern und alle haben je nach Anwendungsgebiet ihre Vor- und Nachteile. Die wohl geläufigsten Modelle sind circumaurale (Ohren umschließende) und intraaurale (In Ear) Kopfhörer.<sup>24</sup> Die Firma „Valve“ setzt für die optimale Wahrnehmung von Sound in VR, extraaurale Kopfhörer ein (siehe Abbildung 18). Diese Kopfhörer sollen eine bessere 3D Lokalisierung von Audiosignalen in der virtuellen Umgebung liefern. Durch den speziellen Aufbau werden akustische Signale nicht direkt in den Gehörgang geleitet, sondern zuerst zielge-

richtet in bestimmte Richtungen des Raums. Die Nachteile dieser Methode sind aber beispielsweise der höhere Stromverbrauch und die nicht vorhandene Schallisolation durch Noise-Cancelling oder den direkten Verschluss des Gehörgangs durch das Tragen von In-Ear Kopfhörern.<sup>25</sup>

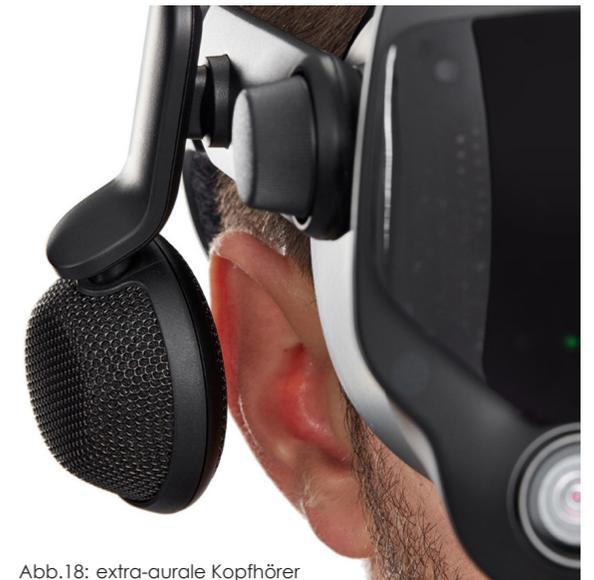


Abb.18: extra-aurale Kopfhörer

# Hören

Durch die direkte Einführung in den Gehörgang, fällt der Energieverbrauch von In-Ear Kopfhörern im Vergleich zu Over- und On-Ear Modellen deutlich geringer aus, da die Membranen des Ausgabegerätes weniger in Schwingung versetzt werden müssen um eine durchschnittliche Lautstärke zu erreichen. Die Form von In-Ear Kopfhörern kann variieren zwischen sogenannten Ear-Buds,

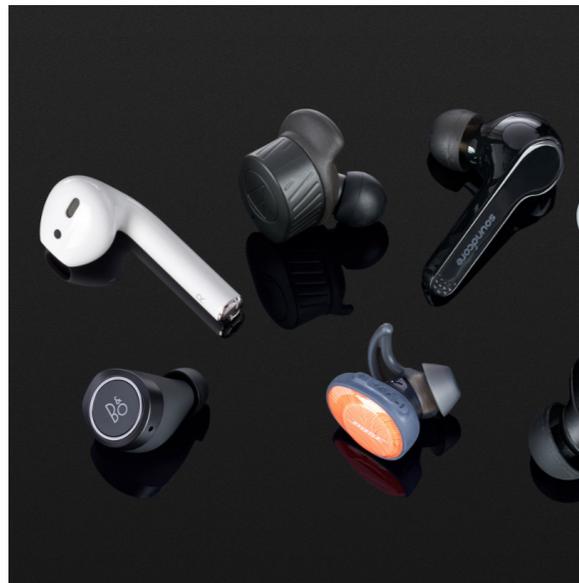


Abb.19: In-Ear Kopfhörer

welche nur in die Ohröffnung „eingehangen“ werden und Kopfhörern, die durch unterschiedlich große Silikonaufsätze fixiert, die direkt in den Gehörgang eingesetzt werden. Der Vorteil bei der letzteren Variante ist der sehr gute Halt und die durch das Verschließen des Gehörgangs entstehende Isolation anderer äußerer Schalleinwirkung auf das Hörsystem. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Übertragung von sehr tiefen Tönen. Die sehr kompakte Größe und kabellose Funktionsweise erlaubt das flexible Mitführen in Alltagssituationen.<sup>26</sup>

On-Ear Kopfhörer sind das Zwischenmodell zwischen In-Ear und Over-Ear Kopfhörern, denn sie werden auf die Ohren gesetzt. Das Empfinden des Tragekomforts ist vom Modell und der persönlichen Vorliebe abhängig. Die Kopfhörer liefern durch die größere Bauweise die Möglichkeit auch größere Membranen zu verbauen und sorgen damit für ein breiteres Klangspektrum. Abbildung 19 visualisiert die Größe und die Trageweise von In-Ear Kopfhörern.<sup>27 28</sup>

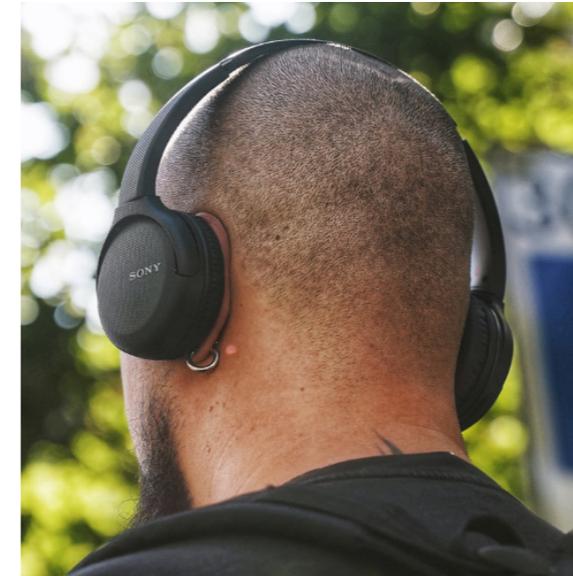


Abb.20: On-Ear Kopfhörer

Over-Ear Kopfhörer sind die größten der hier beschriebenen Modelle, liefern aber dadurch auch den besten Langzeittragekomfort und die natürlichste Klangqualität. Natürlich sind Over-Ear Kopfhörer durch ihre Größe nur bedingt für den Transport und das mitnehmen unterwegs geeignet. Ein weiterer Vorteil ist die gute aktive und auch passive „Noise Cancelling“ Funktion. Für die Nutzung

von VR Applikationen ist prinzipiell der Einsatz von nahezu allen Kopfhörern möglich.<sup>27 28</sup> Jedoch trägt die Klangwahrnehmung auch maßgeblich zu dem Immersionsgefühl bei, welches der Nutzer in seiner virtuellen Umwelt so realistisch wie möglich erleben sollte. Die Wahl der Kopfhörer ist vollkommen abhängig von dem Nutzen und Einsatzzweck.<sup>15</sup>

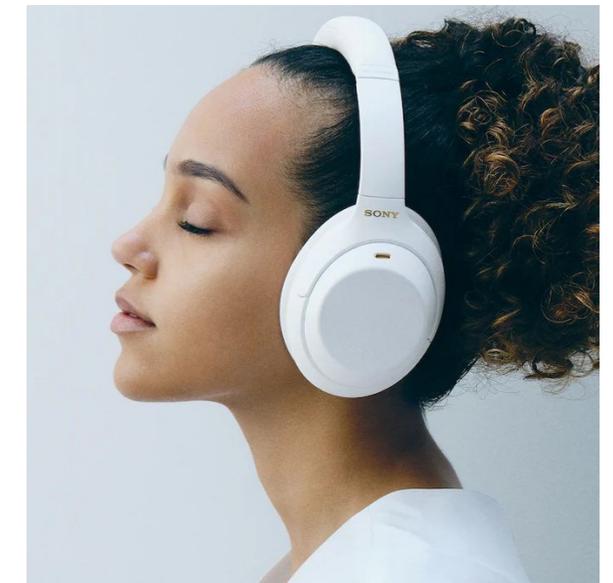


Abb.21: Over-Ear Kopfhörer



## Konzept

### 5.3 Konzeptionelle Anwendung

Da sich das **Sen(se)sation** VR-Konzept mit der Stimulation aller Sinne beschäftigt, ist die akustischen Wahrnehmung im Gesamten ebenso wichtig wie alle anderen anzusprechenden Sinne.

Aufgrund der überwiegenden Vorteile wird das Produktkonzept durch auf das Design abgestimmte, kabellose In-Ear Kopfhörer ergänzt und vervollständigt. Die Transportabilität ist ein wichtiger Bestandteil des Konzepts und viele weitere Faktoren, wie zum Beispiel die Isolierung der realen Umwelt, sprechen für den Einsatz von In-Ear Kopfhörern. Da es sich um eine zukunftsorientierte Konzipierung handelt, ist ebenfalls davon auszugehen, dass sich die Klangqualität von In-Ear Kopfhörern in den nächsten Jahren noch deutlich verbessern wird.

## 6 Sehen

### 6.1 Wahrnehmung und Funktionsweise

Die Augen und unterstützende Kopf- und Körperbewegungen ermöglichen es dem Menschen seine Umwelt visuell wahrzunehmen. Der Sehsinn erfordert den Einsatz von mehreren konvergenten Körperbewegungen um perfekt zu funktionieren. Es muss sich einem bestimmten Ausschnitt der Umwelt zugewendet werden, um diesen optimal wahrnehmen zu können. In Kombination mit dem Drehen des Kopfes, kann der Mensch bei fixierter Körperhaltung über 270 Grad seiner Umwelt sukzessiv wahrnehmen. Als Blickfeld wird der Bereich bezeichnet, der bei fixierter Kopfposition noch sichtbar ist. Bei diesem Ausschnitt sind noch über 180 Grad der Umwelt sichtbar. Die Sehschärfe bezeichnet die Fähigkeit zwei nebeneinander liegende Bildpunkte mit dem Auge noch als einzelne Punkte wahrnehmen zu können. Für die Sehschärfe sind verschiedene Rezeptoren, unter anderem lichtempfindliche Zellen auf der Netzhaut

verantwortlich. Zum einen sind das die Zäpfchen. Diese sind dafür zuständig, im Auge eine Differenzierung der Lichtquellen nach ihrer Lichtstärke vorzunehmen und damit der Wahrnehmung das Unterscheiden von verschiedenen Farben ermöglichen. Zum anderen sind auf der Netzhaut die Stäbchen vorhanden, welche für die visuelle Aufnahme der Umwelt bei Dämmerungsverhältnissen zuständig sind. Sie sorgen für die Einstellung der Helligkeit und können keine Farbunterschiede wahrnehmen. Im visuellen System wird räumliche Tiefe auf zwei Arten erzeugt. Binokular wird die Wahrnehmung der Tiefe durch die Nutzung von Querdissipation, der Konvergenz und Akkomodation, also der natürlichen Fähigkeit des Auges die Brechkraft der Augenlinse anzupassen, erzeugt. Monokular wird Tiefe durch das Anwenden von Gestaltgesetzen erzeugt, beispielsweise Verdeckung und Perspektive.<sup>29</sup>

### 6.2 Visuelle Wahrnehmung von virtuellen Umgebungen

Der Sehsinn beziehungsweise die visuelle Wahrnehmung ist im Einzelnen betrachtet der mit Abstand wichtigste Sinn für das Erzeugen einer immersiven VR Interaktion.<sup>7</sup>

Die Möglichkeit der Manipulation des menschlichen Sehmechanismus erlaubt es die zweidimensionale Bildschirmdarstellung einer virtuellen Umgebung in 3D darzustellen. Der Effekt der Triangulierung und das gezielte manipulieren des stereoskopischen (Darstellung der Tiefenschärfe) Sehens erlauben uns die bekannte Darstellungsform auf VR-Brillen. HMD's (Head Mounted Displays) ermöglichen es den Nutzern abgeschottet von der realen Aussenwelt die virtuelle Welt auf diesem optischem Ausgabegerät zu erleben.<sup>15</sup>

Eine andere nie wirklich erfolgreich als VR-Produkt ausgearbeitete Methode der Darstellung von virtuellen Welten ist die virtuelle Netzhautanzeige. Abbildung 22 verdeutlicht den groben technischen Ablauf der Projekti-

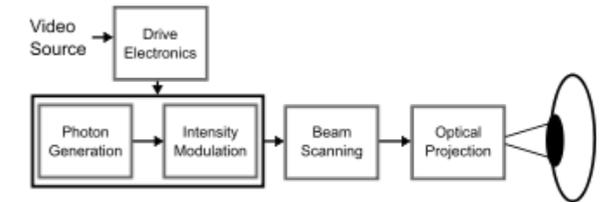


Abb.22: Virtuelle Netzhautanzeige

on eines Rasterbildes direkt auf die Netzhaut. Diese Methode wurde hauptsächlich im VR Bereich getestet und angewendet, jedoch waren die Nachteile von VNA Systemen immer ähnlich denen der HMD Devices. Die Größe und fortgeschrittene Auflösungsqualität von heutigen Displays macht das Weiterforschen in diesem Bereich für einen kommerziellen Nutzen unnötig. Die Problematik liegt in der konstanten Projektion, beziehungsweise der ununterbrochenen Fokussierung der Netzhaut, da bei Unterbrechungen ein sofortiger Wechsel aus dem virtuellen Umfeld zurück in die Realität passiert.<sup>30</sup>

# Sehen



Abb.23: Panasonic VR Glasses

Die von Panasonic auf der CES 2020 vorgestellte VR-Brille, die 2021 erscheinen sollte, im etwas anderen Design revolutioniert einige Aspekte von HMD's. Das Design und die ergonomische Bauform ergeben zusammen seit einiger Zeit den ersten neuartigen Konzeptansatz bezogen auf VR-Brillen. Die Brille hat zwar bezogen auf Auflösung, Aussehen und Bedienung klare Vorteile gegenüber herkömmlichen Modellen. Das Display leistet eine Auflösung von 2560 x 2560 Bildpunkten pro Auge und ist mit einem Micro-OLED Display ausgestattet. Die Bildwiederholrate

beträgt 120 Hz und einige weitere Features unterstützen das Konzept. Der eigentlich einzige große Nachteil der Panasonic VR Brille (Abb.23) ist das anzeigbare Sichtfeld. Dieses beträgt nur etwa 70 Grad. Da das natürliche Sichtfeld des Menschen 180 Grad beträgt ist dies vergleichsweise wenig. Für eine immersive und realistische Darstellung sollten mindestens 100 Grad Sichtfeld Ausschnitt vorhanden sein.<sup>31 32</sup>



Abb.24: Primax 5k Plus

Das genaue Gegenteil bezüglich des Sichtfeldes ist die „Primax 5k Plus“ Brille (siehe Abbildung 24). Die Auflösung der Brille ist ungefähr gleich, jedoch liefert diese dem Nutzer ein Sichtfeld von 200 Grad. Die Aktualisierungsrate liegt bei 90 Hz und die restlichen technischen Daten sind aufgrund des sehr hohen Standards der Panasonic Brille vergleichbar oder schlechter.<sup>31 33</sup>

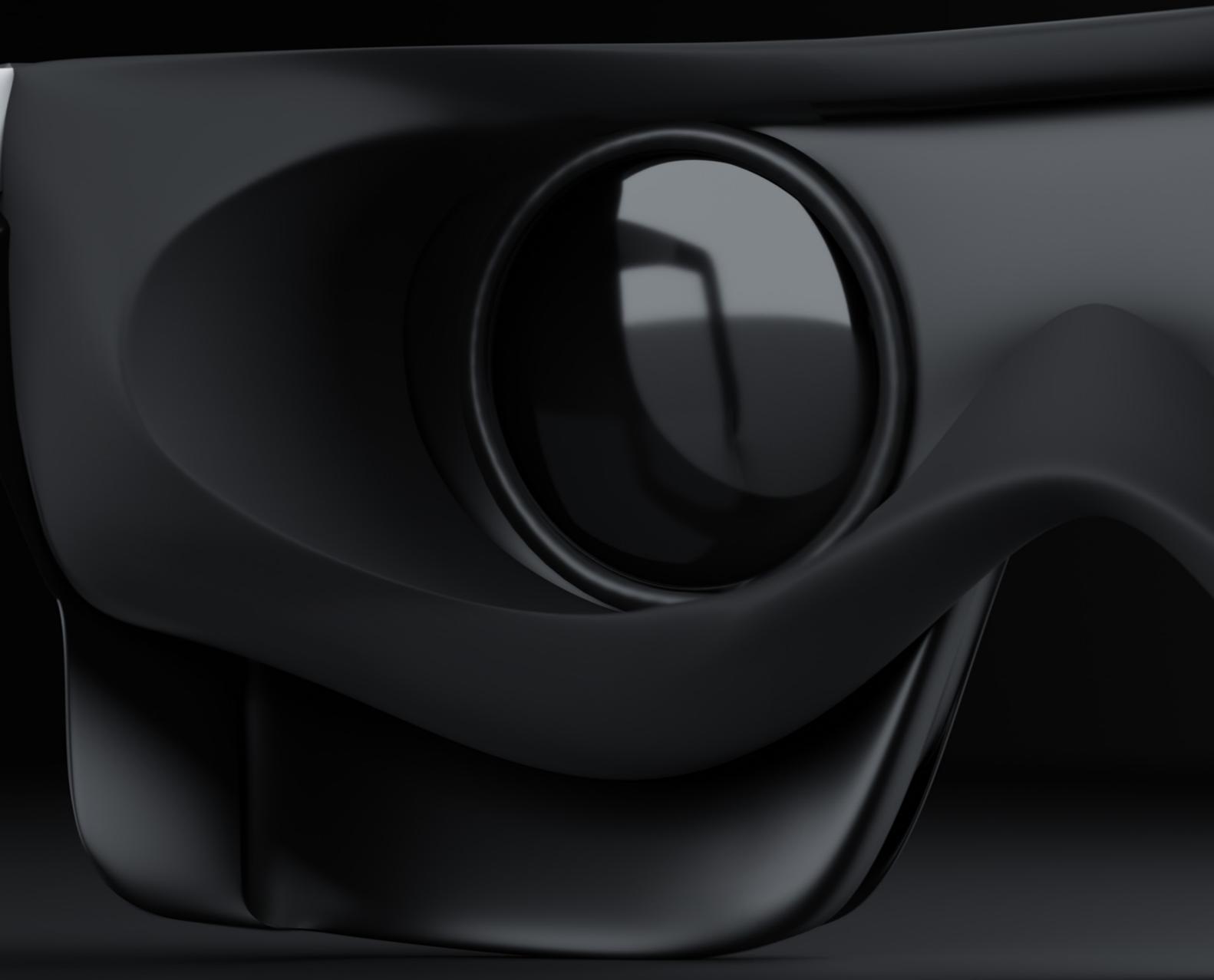
Für die klare Visualisierung der virtuellen Welt und der möglichst immersiven und realistischen Wahrnehmung des VR Raums ist eine klare Auflösung ohne „Gitternetz Effekt“<sup>34</sup> unerlässlich. Ebenso wichtig ist aber auch das Sichtfeld und die Bildwiederholrate. Wenn diese Faktoren gegeben sind, ist die optimale Manipulation der visuellen Wahrnehmung möglich und der Realismusgrad wird durch die Einflussnahme auf weitere Sinne noch weiter erhöht.<sup>32</sup>

Der „Chief Scientist“ von Oculus sagt für die Zukunft der nächsten Jahre eine neue Optik- und Displaymethode voraus und spricht



Abb.25: Oculus future

in seinem Vortrag von einer Verkleinerung der VR Brillen mit Bezug auf die Tiefe. Durch neuartige optikbezogene Lösungen, sind interessante Designansätze möglich, wie beispielsweise auf Abbildung 25 zu sehen. Durch diese alternative Bildschirmethodik sind ebenfalls breitere Sichtfelderinstallationen möglich.<sup>35</sup>



## Konzept

### 6.3 Konzeptionelle Anwendung

Das Head Mounted Display ist essentiell für ein realistisches Empfinden und so bietet die **Sen(se)sation** VR Brille Nutzern eine perfekte Komposition aus Technik und hochwertigen Materialien, dem ergonomischen Aufbau und aus innovativer Bedienung.

Technisch ausgereifte, in die Wandung der Brille eingelassene Luftschlitze, sorgen für eine gute Durchlüftung unter der Brille, sowie eine schnelle Überlieferung der geruchserzeugenden Substanzen. Ein Silikonkissen passt sich perfekt an alle Gesichtsformen und Größen an und dient gleichzeitig als Isolierung der Augen von den Dämpfen und Luftströmen in der Nasenregion. Sensoren sorgen für aktives Tracking des Umfelds und anschließende Übertragung der gesammelten Daten direkt an das Virtual Reality System.

## 7 Riechen und Schmecken

### 7.1 Wahrnehmung und Funktionsweise

Der Geruchs- und Geschmackssinn sind eng miteinander verknüpft und werden meist zusammen ausgelöst, weshalb sie im Rahmen dieses Projekts oft zusammen behandelt werden. Sie werden zusammen als die chemischen Sinne bezeichnet, da die Aktivierung bei beiden durch chemische Substanzen erfolgt.<sup>36</sup>

Der Geruchssinn sorgt für einen „Vorgeschmack“ bevor die Speisen in den Mund eingeführt werden und reizt so auch noch aus einiger Entfernung unseren Geschmackssinn nur durch die Aufnahme von Gerüchen. Der Riechsinn arbeitet auch während der Nahrungsaufnahme mit. Das zeigen Studien, bei denen Menschen mit geschlossenen Augen und geschlossener Nase die Geschmäcker vieler Speisen nicht von einander unterscheiden konnten. Bei dem Vorgang des Schmeckens sorgen Geschmacksknospen, welche auf der Zunge und dem Mundinnenraum verteilt sind, für die Analyse der Speise.

Der Geschmackssinn wird erst durch eine chemische Reaktion auf der Zunge aktiviert, wenn sich durch den Kontakt mit Speichel feste Stoffe der Nahrung lösen.<sup>11</sup>

Im Gegensatz zu den anderen Sinnesorganen ist die Qualitätunterscheidung beim schmecken äußerst begrenzt. Der Mensch nimmt nur die Geschmäcker: süß, sauer, salzig und bitter sowie der „Umami“ Geschmacksrichtung wahr, welche sich auf herzhaftere Speisen konzentriert.<sup>17</sup>

### 7.2 Olfaktorische und gustatorische Wahrnehmung in VR

Die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung ist trotz vieler neuer Konzepte zum Thema Erlebniserweiterung im Bereich VR konzeptionell noch wenig vertreten. Jedoch gibt es Konzepte die sich mit der Stimulation und Wahrnehmungsbeeinflussung dieser Sinne beschäftigen und interessante Konzeptansätze für VR-Anwendungen liefern können. Beispielsweise das Konzept der „Air Up“ Trinkflasche.<sup>37</sup> Diese arbeitet mit Geruchsmodulen die auf der darauf abgestimmten Flasche angebracht werden und so den Produktnutzer während des Trinkvorgangs einem bestimmten Geruch aussetzen (siehe Abbildung 26). Die Flasche wird mit ganz normalem Leitungswasser befüllt, vermittelt dem Gehirn jedoch durch den Geruch, dass sich in der Flasche das riechbare Getränk befindet. So wird ganz ohne Zucker oder Zusatzstoffe ein physisch schmeckbarer Geschmack erzeugt. Auf einem ähnlichen Konzeptansatz beruht das, in der Marktanalyse beschriebene „Feelreal“ VR-Konzept.<sup>11</sup>



Abb.26: Air-Up

Das Feelreal VR-Add on (Abb.27) ist mit vielen, zurzeit auf dem Markt befindlichen VR-Brillen kompatibel und funktioniert mit einigen softwareabgestimmten Videospieletiteln. Das Gerät ist mit einigen technischen Features ausgestattet die dafür sorgen, dass Hitze und Kälte simuliert werden, sowie leichte

# Riechen und Schmecken



Abb.27: Feelreal VR Add-On

Windstöße. Es lässt sich jedoch behaupten, dass die Hauptfunktion des Produkts die Simulation der Geschmacks- und Geruchswahrnehmung ist. Bei dem Produkt handelt es sich um eines der sehr wenigen universellen, käuflich erwerbbaaren Geruchsmodulen, neben erweiternden Geruchsmasken für die VR Erotikfilmszene.

Der Geruch wird erzeugt durch, vor der Nutzung eingeführter, Geruchskartuschen. Diese chemischen Substanzen werden bei gewollter Geruchserzeugung erhitzt und die Substanz verändert ihre Form in eine verdampfende Geruchswolke. Diese wird anschließend durch die integrierten Ventilatoren in die Nasenregion befördert.

Das Gerät kann sich per Wifi- und Bluetooth-Verbindung mit dem Virtual Reality System verbinden. Der Akku soll laut Hersteller 4 Stunden halten. Betrachtet man die technischen Komponenten des Produktes, besteht dieses aus einer, auf einer Platine platzierten Steuereinheit, mehreren Lüftern, Heizmodulen, Mikro-Chemikalienpumpen sowie Schläuchen und Austrittsventilen.<sup>15</sup>

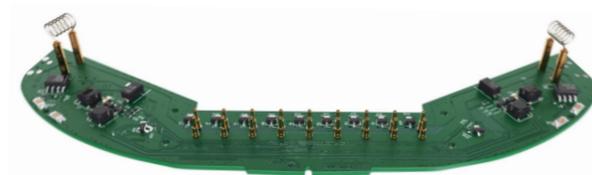


Abb.28: Feelreal Steuerplatine



Abb.29: OVR Scents Technology

Bei dem OVR Scents Technology VR-Add On handelt es sich um ein ähnliches Konzept, welches sich jedoch nur auf das Erzeugen von Gerüchen fokussiert und dadurch deutlich kleiner als das Feelreal Device ist. Es werden über 200 verschiedene Gerüche angeboten. Die Duftstoffe sind wasserbasiert und bestehen aus einer Kombination von natürlichen und synthetischen Zutaten.<sup>38 39</sup>

Als letztes wahrnehmungserweiterndes Produkt ist auf Abbildung 30 die „OhRoma“ VR Maske zu sehen. Das Funktionsprinzip bleibt gleich, es werden geruchserzeugende Substanzen durch Verdampfen olfaktorisch aufnehmbar gemacht. Bei diesem Produkt handelt es sich um eine immersionserweiternde Maske für Erotikfilme, ausstattbar mit insgesamt gleichzeitig 6 Geruchskartuschen.<sup>40</sup>



Abb.30: OhRoma VR Mask



## Konzept

### 7.3 Konzeptionelle Anwendung

Die Immersionserweiterung durch das Wahrnehmen von Gerüchen beziehungsweise von Geschmäckern hebt das erarbeitete Konzept von dem Großteil der bestehenden VR-Konzepte ab.

Durch den Einsatz von technisch sehr ausgereiften Mikro-Pumpen und Austrittsventilen können genau im richtigen Moment hochkonzentrierte Duftstoffe in der Nasengegend ausgestoßen werden und so dem Nutzer ein immersiveres Empfinden der virtuellen Umgebung ermöglichen. Vor der Nutzung werden Gerüche festgelegt und in Kartuschenform in dem abtrennbaren Unterteil des HMD platziert. Die perfekte Abstimmung zwischen der Software und der Gerätehardware sorgt für den eigenständigen Ausstoß der Substanzen im geeigneten Augenblick.

## 8 Endkonzept

Das Sen(se)sation VR Produktkonzept ermöglicht seinem Nutzer die nahezu vollkommen realistische Darstellung von virtuell generierten Welten. Durch die Fokussierung des Produkts auf die Manipulation und Stimulation der fünf Hauptsinne des Menschen wird ein so hoher Grad der Immersion erzeugt, dass die Wahrnehmung von Realität und Virtualität schon teilweise verschwimmen könnte. Das Konzept ist in genauer Betrachtung des heutigen und der Analyse des zukünftigen Technikstands konzipiert worden und stellt eine Produktvision dar, wie sie in spätestens 5 Jahren problemlos umsetzbar sein wird. Um nicht den Eindruck einer unfundierten Zukunftsvision zu erzeugen, wurde sich bei der Konstruktion der integrierten Features auf momentan erhältliche Vergleichsprodukte bezogen.

Das Sen(se)sation VR System revolutioniert die aktuellen Gestaltungsansätze derzeitiger VR Brillen. Durch einen optimierten Produktaufbau unter Berücksichtigung der zukünftig erscheinenden Möglichkeiten. Eine Verbesserung der Auflösungsqualität und Bildwiederholrate und gleichzeitiger Verkleinerung der allgemeinen Displaygröße erlauben den Sen(se)sation Glasses eine kreative und ergonomische HMD-Lösung. Das Konzept löst designtechnische Probleme derzeitiger Brillen, wie zum Beispiel die sehr frontlastige Gestaltung. Das optimierte Design macht komplexe Kopfbefestigungssysteme und lästige Schweißbildung hinfällig. Durch die klappbaren und einstellbaren Bügel der VR-Brille lässt sich diese problemlos an jede beliebige Kopfform anpassen. Ein austauschbares Silikonkissen fängt das Gesicht auf und sorgt für die komplette Isolierung visueller Einflüsse durch die reale Umgebung.

Das kabellose Design in Kombination mit den klappbaren Bügeln und dem flexiblen Kopfhörer System, bestehend aus im Paket enthaltenen In-Ear Kopfhörern, erlauben dem Nutzer das flexible Mitführen der Brille und Kopfhörern in dem ebenfalls enthaltenen Ladecase. Ein „Quick Charging“ System ermöglicht dem Nutzer die begrenzte Akkukapazität nach einigen Stunden

schnell wieder aufzufüllen. Diese Vorteile und die intuitive Gestaltung und Bedienbarkeit machen das Sen(se)sation VR System zu einem attraktiven Produkt für eine breite Zielgruppe. Die simple Bedienung der Brille schließt niemanden aus und auch Menschen ohne vorherige VR Erfahrung sollen sich komplett „abgeholt“ und berücksichtigt fühlen. Die komplette Manipulation der Sinne wird unterstützt durch das integrierte geruchs- und geschmackserzeugende System im Unterteil der VR Brille. Der obere Teil der Brille ist mit einer Steuereinheit, Linsen, einem Display und der nötigen Sensortechnik ausgestattet. Im unteren Teil der Brille befinden sich Steuereinheit, Mikropumpen und Ventile, Ventilatoren und Platz für die mit, vorher ausgewählten Duftstoffen gefüllten, Kartuschen. Bei virtuellem Kontakt mit Gerüchen wird automatisch der dafür vorgesehene Duftstoff in der Nasenregion freigesetzt und erlaubt dem Nutzer die olfaktorische Aufnahme. Dies sorgt für eine immense Steigerung des Realismusgrades und Immersionsgefühls. Zum Einführen der Geruchskartuschen lässt sich der magnetisch mit dem Oberteil verbundene untere Teil der Brille einfach abnehmen und mit bis zu 10 vorher ausgewählten, unterschiedlichen Duftstoffen ausstatten.

Um die Wahrnehmung des Nutzers so immersiv wie möglich zu gestalten, gehören zum Sen(se)sation VR System auch Eingabegeräte für die Hände, um mit der virtuellen Umgebung und Objekten zu interagieren. Durch „force feedback“ Handschuhe wird dem Anwender die direkte Interaktion mit der virtuellen Welt ermöglicht. Vibrationsmotoren an den Fingerkuppen simulieren ein physisches Feedback bei Kontakt mit virtuellen Objekten und elektrostatische Bremsen, durch das gezielte Blockieren der Gelenke, einen mechanischen Greifwiderstand. Der geringe Stromverbrauch und das integrierte Fingertracking in Kombination mit der Leichtbauweise ermöglichen das problemlose Mitführen der Handschuhe. Das Sen(se)sation Produktkonzept besteht aus einem kabellosen HMD, kabellosen Kopfhörern, sowie Handschuhen und einem „Quick Charging“ Case zum verstauen und transportieren.

Perspektivische Darstellung





Rendering Bügel ausgeklappt

Rendering klappbare Bügel





Einführen der Duftkartuschen

VR Glove System





Quickcharge Ladecase und  
Gesamtkonzept

Kabellose In-Ear Kopfhörer







## 9 Fazit

Die Arbeit an diesem Projekt ermöglichte viele neue Einblicke in interessante Themenbereiche und aktuelle Entwicklungfortschritte, unter anderem in die Funktionsweise und das Zusammenspiel der menschlichen Sinne und ihren Einfluss auf die Wahrnehmung. So sorgt zum Beispiel die multisensorische Wahrnehmung für eine Steigerung der Sinneseindrücke im Kontext der vollkommenen Simulation. Die multisensorische Wahrnehmung wird erzeugt durch die gleichzeitige Stimulation aller Sinne und erlaubt im Umfeld der digitalen Kommunikation eine Wirkungssteigerung um das 10fache. Aufgrund dieser wissenschaftlichen Erkenntnisse war Ziel dieser Arbeit die multisensorische Wahrnehmungserweiterung in der virtuellen Realität.

Herausforderung dieses Projekts war die Auseinandersetzung mit Problemen hinsichtlich technischer Umsetzbarkeit und dem präzisen Abwägen von zukünftigen Entwicklungsschritten. Problematisch war außerdem das Konstruieren des technischen Aufbaus, da aufgrund der nicht kommerziellen Nutzung der meisten Produkte, technische Aufbauten sowie Hardware bezogene Details nicht öffentlich einsehbar waren. Viele Unternehmen produzieren hauptsächlich für den Vertrieb an die Luft- und Raumfahrttechnik und Robotik. Aufgrund dieser Problematik und da es sich bei Produktentwicklung um eine Konzept-Vision handelt, wurde der Schwerpunkt dieser Arbeit angepasst und sich auf die visuelle Ausarbeitung und nicht auf die momentane Realisierbarkeit fokussiert.

Abschließend ist zu sagen, dass trotz der genannten Herausforderungen ein Produktsystem entwickelt wurde, welches dem Nutzer ermöglicht so immersiv wie möglich in die virtuelle Realität einzutauchen. Abseits dieses Vorteils bietet das erarbeitete System, Nutzern eine ergonomisch und gestaltungstechnisch ausgereifte Produktgestaltung. Diese ermöglicht die intuitive Bedienbarkeit und hohe Transportabilität.



# 10 Verzeichnisse

---

## Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Virtual Reality

<https://wallpaperaccess.com/virtual-reality>

Abb.2: Material Mood 1

<https://www.propeller.se/work/>

Abb.3: Material Mood 2

<https://lemanooosh.com/tagged/handle/>

Abb.4: Material Mood 3

<https://lemanooosh.com/tagged/aluminum/>

Abb.5: Panasonic VR-Brille

<https://www.wearable.com/vr/panasonic-vr-glasses-review>

Abb.6: Material Mood 4

<https://www.huge-design.com>

Abb.7: Material Mood 5

<https://www.huge-design.com>

Abb.8: Material Mood 6

<https://macadamdesign.tumblr.com/post/181205200072design.tumblr.com/post/181205200072>

Abb.9: HaptX Gloves DK2

<https://haptx.com>

Abb.10: Five Senses

<https://medlexi.de/Sinnesorgane>

Abb.11: Chemical Haptics Darstellung

<https://feelreal.com>

Abb.12: Visualisierung Feelreal

<https://feelreal.com>

Abb.13: Ambitherm Darstellung

<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3025453.3025723>

Abb.14: Plexus Glove

<http://plexus.im>

Abb.15: Teslasuit VR Glove

<https://mixed.de/teslasuit-stellt-neuen-vr-handschuh-mit-haptik-gelenken-vor/>

Abb.16: HaptX Gloves

<https://www.techspot.com/news/76752-haptx-gloves-development-kit-bring-haptics-force-feedback.html>

## Abbildungsverzeichnis

Abb.17: dextrES VR Glove

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/elektronik/vr-handschuh-dextr-es-reality-nahe-beruehrungen-leicht-gemacht/>

Abb.18: extra-aurale Kopfhörer

<https://www.valvesoftware.com/de/index/deep-dive/ear-speakers>

Abb.19: In-Ear Kopfhörer

<https://www.kopfhoerer.de/bestenliste/die-besten-true-wireless-in-ears/>

Abb.20: On-Ear Kopfhörer

<https://oldtimemusic.com/in-ear-vs-on-ear-vs-over-ear-headphones/>

Abb.21: Over-Ear Kopfhörer

<https://www.notebookcheck.com/Sony-WH-1000XM4-Over-Ear-Kopfhoerer-in-limitierter-Silent-White-Edition-533294.0.html>

Abb.22: Virtuelle Netzhautanzeige

<https://www.notebookcheck.com/Sony-WH-1000XM4-Over-Ear-Kopfhoerer-in-limitierter-Silent-White-Edition-533294.0.html>

Abb.23: Panasonic VR Glasses

<https://mixed.de/vr-brille-panasonic-release-zeitraum/>

Abb.24: Primax 5k Plus

<https://unboundvr.de/pimax-5k-plus-vr-headset>

Abb.25: Oculus future

<https://www.roadtovr.com/oculus-chief-scientist-michael-abrash-future-ar-vr-technology-oculus-connect-5/>

Abb.26: Air-Up

<https://www.gadget-rausch.de/air-up-test-trinkflasche-geschmack-durch-riechen/>

Abb.27: Feelreal VR Add-On

<https://feelreal.com>

Abb.28: Feelreal Steuerplatine

<https://feelreal.com>

Abb.29: OVR Scents Technology

<https://www.digitalengineering247.com/article/stop-and-smell-the-roses-in-vr/>

Abb.30: OhRoma VR Mask

<https://www.camsoda.com/products/ohroma/>

## Quellenverzeichnis

- 1 <https://diconnex.com/blog/2020/05/25/die-einsatzbereiche-von-virtual-reality/>
- 2 Prof. Sabine Burg de Sousa Ferreira, 2018: <https://opus.hs-offenburg.de/frontdoor/deliver/index/docId/2820/file/Virtual-Reality+-+Ein+einfuehrender+Ueberb+lick.pdf>
- 3 Yannic Hertel, Februar 2017: <https://www.vrnerds.de/die-geschichte-der-virtuellen-realitaet/>
- 4 Christo Petrov. 2021: <https://techjury.net/blog/virtual-reality-statistics/>
- 5 <https://haptx.com>
- 6 <https://www.kat-vr.com>
- 7 Thomas Heinrich Musiolik. 2020. Multisensorische Erlebnisse in digitalen Medien. In: Neuromarketing in der Praxis: Emotionen auf der Spur - implizite Kauftreiber erkennen und als Verkaufstreiber nutzen. Hrsg: Benny Biesenmeister, Werner Klaus Selmer. Springer: Wiesbaden.
- 8 Simmel, Georg (1968): »Exkurs über die Soziologie der Sinne«, in: ders.: Sozio-logie. Untersuchungen über die Formen der Vergesellschaftung (1908), 5. Aufl., Berlin: de Gruyter, S. 483-493.
- 9 Jasmine Lu, Ziwei Liu, Jas Brooks, Pedro Lopes, Oktober 2021: <http://lab.plopes.org/published/2021-UIST-ChemicalHaptics.pdf>
- 10 Michael Lautenschlager, 2019: <https://www.gadget-rausch.de/feelreal-vr-maske-simuliert-gerueche-wetter/>
- 11 <https://feelreal.com>
- 12 Robert Grycze, Februar 2017: <https://www.vodafone.de/featured/gadgets-wearables/vierte-dimension-in-der-virtual-reality-ambiotherm-laesst-dich-sonne-und-wind-spuren/#/>
- 13 Bredl, K. & Herz, D. (2010). Immersion in virtuellen Wissenswelten. In: Th. Hug & R. Maier (Hrsg.), Medien - Wissen - Bildung: Explorationen visualisierter und kollaborativer Wissensräume. Innsbruck: innsbruck university press (IUP)
- 14 <https://www.inztitut.de/blog/glossar/immersion/>
- 15 Bachelorarbeit, Andrej Braining, Immersionserweiterung durch akustisches, visuelles und haptisches Feedback
- 16 Annalena Streichert. Proxemische intelligente Benutzerschnittstellen. In 6th Seminar on Ubiquitous Interaction (UBIACTION 2021).
- 17 <https://www.mobilegeeks.de/news/plexus-erschwinglicher-vr-handschuh-mit-mehreren-tracking-systemen/>
- 18 <https://mixed.de/teslasuit-stellt-neuen-vr-handschuh-mit-haptik-gelenken-vor/>

## Quellenverzeichnis

- 19 <https://medialist.info/2020/01/08/teslasuits-neuer-vr-handschuh-laesst-uns-physische-objekte-in-virtual-reality-fuehlen/>
- 20 Felix Nölte, Ein Exoskelett für haptisches Feedback im virtuellen Raum, Abschlussarbeit, 10. Juli 2019
- 21 <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/elektronik/>
- 22 <https://www.techspot.com/news/76752-haptx-gloves-development-kit-bring-haptics-force-feedback.html>
- 23 Stephan Frings, Frank Müller, (2019) Biologie der Sinne, Vom Molekül zur Wahrnehmung
- 24 <https://www.researchgate.net/profile/Jelena-Kitanovic-2/>
- 25 <https://www.valvesoftware.com/de/index/deep-dive/ear-speakers>
- 26 <https://www.kopfhoerer.de/ratgeber/was-sind-vor-und-nachteile-von-in-ear-und-over-ear-kopfhoerern/>
- 27 <https://oldtimemusic.com/in-ear-vs-on-ear-vs-over-ear-headphones/>
- 28 <https://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/In-Ear-On-Ear-Over-Ear-Welcher-Kopfhoerer-ist-der-richtige,kopfhoerer206.html>
- 29 Markus Dederich(Hg.), Wolfgang Jantzen(Hg.), Renate Walthes(Hg.), Sinne, Körper und Bewegung (2011), W. Kohlhammer Verlag
- 30 <https://www.vr-guides.de/vr-brille-funktionsweise/>
- 31 <https://mixed.de/ces-2021-panasonic-zeigt-extra-schlanke-vr-brille/>
- 32 <https://www.vr-guides.de/vr-brille-funktionsweise/>
- 33 <https://unboundvr.de/pimax-5k-plus-vr-headset>
- 34 <https://www.cyberport.de/techniklexikon/inhaltsverzeichnis/m/moire-effekt.html>
- 35 <https://www.roadtovr.com/oculus-chief-scientist-michael-abrash-future-ar-vr-technology-oculus-connect-5/>
- 36 [https://www.amboss.com/de/wissen/Olfaktorisches\\_und\\_gustatorisches\\_System/](https://www.amboss.com/de/wissen/Olfaktorisches_und_gustatorisches_System/)
- 37 <https://www.gadget-rausch.de/air-up-test-trinkflasche-geschmack-durch-riechen/>
- 38 <https://virtual-x.com/virtual-reality-fuer-die-nase/>
- 39 <https://www.digitalengineering247.com/article/stop-and-smell-the-roses-in-vr/>
- 40 <https://www.krone.at/549653>