

Karlsruher Institut für Technologie
Fakultät Maschinenbau
Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

**Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem
Kundenfeedback für variantenreiche virtuelle Produkte in
immersiver Umgebung**

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Jurica Katičić

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.2012

Hauptreferentin: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova

Korreferentin: PD Dr. phil. Dipl.-Geophys., M.A. Miriam Ommeln

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine neuartige Methodik zur kundenzentrierten Lösungsauswahl für zukünftige Produkte in der Konzeptphase anhand deren virtuellen Darstellung beschrieben. Sie integriert die Technologie der Virtuellen Realität und die Emotionsforschung in die parallel verlaufenden und miteinander interagierenden Prozesse der Produktentwicklung und der Marktforschung, um die Gewinnung von relevantem emotionalem Kundenfeedback im Rahmen von interaktiven Produkterlebnissen zu ermöglichen. Die Methodik besteht aus sechs Schritten mit mehreren Teilschritten, denen konkrete Zuständigkeiten der einzelnen Prozessbeteiligten zugeordnet werden. Im Hinblick auf konkrete Lösungen befürwortet diese Arbeit zum gegenwärtigen Zeitpunkt und in naher Zukunft den Einsatz der multimodalen Darstellung in begehbaren immersiven Umgebungen, der Interaktion mit Gesten und der Messung peripherphysiologischer Größen zur Emotionserfassung. Die Validierung der Methodik erfolgt in zwei Schritte durch praxisnahe Studien unter Laborbedingungen.

Der Aufbau der Arbeit nach Kapiteln kann dem Kapitel 1.3 entnommen werden.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei der Hauptreferentin, Prof. Jivka Ovtcharova, und bei der Korreferentin, Dr. habil. Miriam Ommeln, für die sehr gute Betreuung während der Entstehung dieser Doktorarbeit bedanken. Ein besonderer Dank gilt auch meinen Eltern Sofka und Nikola Katičić sowie meiner Freundin Evelyn Protzer, für ihre wertvolle begleitende Unterstützung während der Ausfertigung der Arbeit.

Beratend für technische Fragen standen mir Prof. Iliya Boyadjiev, Dr. Stoyan Maleshkov und Angel Bachvarov von der Technischen Universität Sofia immer sehr gerne zur Verfügung. Für Fragen aus der Psychologie durfte ich mich an Prof. Harald Traue, Dr. Steffen Walter und David Hrabal von der Universität Ulm gerne wenden.

Bei Frau Esther Legant bedanke ich mich für die Zusicherung der modernen Infrastruktur zur Durchführung der Versuche. Für die faire und angenehme Zusammenarbeit bin ich Wolfgang Schotte und Dr. Jürgen Schöchlin sowie zahlreichen Studierenden (Polina Stoyanova, Victor Häfner, Björn Ullmann, Georgi Georgiev, Tetyana Zavgorodnya, Georgi Filchev, Iliyan Palauzov, Krassimir Krastev, Ana Risteska und den teilnehmenden Studierenden am Virtual Reality Praktikum im Wintersemester 2011/2012) sehr verbunden. Die Durchführung der Studien war durch die freundliche Unterstützung der Gesellschaft zur wissenschaftlichen Förderung CAD-CAM e.V. und der Karlsruher Universitätsgesellschaft e.V. möglich.

Abschließend möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die hier nicht namentlich erwähnt sind und einen Beitrag für diese Arbeit geleistet haben, insbesondere bei den über 120 Versuchspersonen.

Diese Arbeit widme ich der im Jahre 2011 verstorbenen Frau Dosta Dimovska, die mich durch ihre ausgeprägte moralische Qualitäten und den Willen zur Hilfe nachhaltig beeindruckt hat.

Jurica Katičić

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 8
 - 1.1. Motivation 8
 - 1.2. Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit 10
 - 1.3. Lösungsansatz und Aufbau der Arbeit 11
2. Theoretische Grundlagen 13
 - 2.1. Virtuelle Realität und immersive Umgebungen 13
 - 2.1.1. Begriffsklärung 13
 - 2.1.1.1. Definition des Begriffes Virtuelle Realität 13
 - 2.1.1.2. Eigenschaften der Virtuellen Realität 14
 - 2.1.1.3. Technologietreiber 16
 - 2.1.1.4. Angesprochene Sinne 17
 - 2.1.2. Technologie 18
 - 2.1.2.1. Hardware 18
 - 2.1.2.2. Software 21
 - 2.1.3. SWOT-Analyse der Virtuellen Realität 23
 - 2.2. Design eines technischen Produktes 25
 - 2.2.1. Der Produktbegriff 25
 - 2.2.2. Der Produktentwicklungsprozess. Das virtuelle Produkt 27
 - 2.2.3. Die Designphase 29
 - 2.2.4. Kundeneinbindung in die Designphase 31
 - 2.2.5. Gestaltung variantenreicher Produkte 34
 - 2.3. Grundlagen der Emotionsmodellierung 36
 - 2.3.1. Begriffsklärung 36
 - 2.3.1.1. Emotionen 37
 - 2.3.1.2. Stimmungen 38
 - 2.3.1.3. Persönlichkeit 38
 - 2.3.2. Beschreibung und Bewertung bestehender Emotionsmodelle 39
 - 2.3.2.1. Diskrete Emotionsmodelle 39
 - 2.3.2.2. Kognitive Emotionsmodelle 40
 - 2.3.2.3. Dimensionale Emotionsmodelle 42
 - 2.3.2.4. Hybride Emotionsmodelle 44
 - 2.4. Das subjektive Kundenempfinden über Produkte 44
 - 2.4.1. Wahrnehmung und Entscheidungsfindung 44
 - 2.4.2. Der Qualitätsbegriff 47
 - 2.4.3. Kundenzufriedenheit 49
 - 2.4.4. Kano-Modell und Kano-Methode der Kundenzufriedenheit 52
 - 2.4.4.1. Kano-Modell: Dreifaktorielle Erklärung der Kundenzufriedenheit 52
 - 2.4.4.2. Kano-Methode: Klassifizierung der Kundenzufriedenheitsfaktoren 55
 - 2.4.5. Kundenfeedbackmanagement 57
3. Stand der Technik und Forschung 59

- 3.1. Methoden zur Gewinnung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung 59
 - 3.1.1. Übersicht 59
 - 3.1.2. Befragungsmethoden 60
 - 3.1.2.1. Geschlossene Fragen 60
 - 3.1.2.2. Offene Fragen 64
 - 3.1.2.3. Auswahl standardisierter Befragungsmethoden 65
 - 3.1.2.4. Abgrenzung zu Präferenzuntersuchungen auf rationaler Basis 66
 - 3.1.3. Biologische Messversuche 67
 - 3.1.3.1. Verhaltensausrücke 68
 - 3.1.3.2. Biophysiological Signale 69
 - 3.1.4. Beobachtungen 72
 - 3.1.5. Weitere Methoden 74
- 3.2. Methoden zur Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung 74
 - 3.2.1. Übersicht angewendeter Methoden 74
 - 3.2.2. Genauigkeit der Emotionsklassifizierung 76
- 3.3. Methodiken zur Gewinnung und Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung 77
 - 3.3.1. Kansei Engineering 78
 - 3.3.2. Citarasa Engineering 79
 - 3.3.3. SEQUAM 81
 - 3.3.4. Methodik von Hauge-Nilsen und Flyte 82
- 3.4. Auswahl der wichtigsten Studien der Emotionsforschung in der Produktentwicklung 82
- 3.5. Anwendungen der Virtuellen Realität in der Produktentwicklung 86
 - 3.5.1. Übersicht 86
 - 3.5.2. Anwendungen im Rahmen von Konfigurationsprozessen 88
- 3.6. Interaktionsparadigmen in virtuellen Umgebungen 90
 - 3.6.1. Einführung 90
 - 3.6.2. Interaktionsarten und Interaktionsparadigmen 91
 - 3.6.3. Auswahl der wichtigsten Studien 93
- 3.7. Virtuelle Realität als technologische Umgebung zur Gewinnung von emotionalem Feedback 95
 - 3.7.1. Bestehende Lösungen 95
 - 3.7.1.1. Lösungen für Desktop VR 96
 - 3.7.1.2. Lösungen für Immersive VR 97
 - 3.7.2. Potenziale 99
- 4. Methodik zur Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback in immersiver Umgebung 101
 - 4.1. Anforderungen 101
 - 4.2. Annahmen 102

- 4.3. Informationsmodell 105
 - 4.3.1. Kunde 105
 - 4.3.2. Unternehmen 106
 - 4.3.3. Versuchsumgebung 107
 - 4.3.4. Zeit 108
 - 4.3.5. Produkt 108
 - 4.3.6. Emotion 108
 - 4.3.7. Interaktion 108
- 4.4. Beschreibung der Methodik 109
 - 4.4.1. Übersicht 109
 - 4.4.2. Schritt 1: Definition des Variantenraumes 112
 - 4.4.2.1. Bereitstellung von Feedback aus Vorgängerprodukten 112
 - 4.4.2.2. Entwicklung von Produktvarianten 114
 - 4.4.2.3. Bereitstellung virtueller Modelle 117
 - 4.4.2.4. Gestaltung des Produktkonfigurators in Virtueller Realität 118
 - 4.4.3. Schritt 2: Auswahl der Versuchspersonen 119
 - 4.4.3.1. Identifikation von Lead Users 119
 - 4.4.3.2. Profilierung der Testgruppe 121
 - 4.4.3.3. Zusage für Versuchsteilnahme 122
 - 4.4.4. Schritt 3: Konzipierung der Versuchsumgebung 122
 - 4.4.4.1. Auswahl der Interaktionsmodalitäten und –Geräte 122
 - 4.4.4.2. Auswahl der Emotionsmessverfahren und –Geräte 124
 - 4.4.4.3. Integration 125
 - 4.4.5. Schritt 4: Versuchsdurchführung 127
 - 4.4.5.1. Versuchsdesign 127
 - 4.4.5.2. Versuchsbetreuung 129
 - 4.4.5.3. Teilnahme am Versuch 130
 - 4.4.6. Schritt 5: Auswertung der Messergebnisse 131
 - 4.4.6.1. Aufbereitung der Versuchsrohdaten 131
 - 4.4.6.2. Operative Auswertung 134
 - 4.4.7. Schritt 6: Rückführung der Ergebnisse ins Produktmodel 136
 - 4.4.7.1. Verwaltung der ausgewerteten Daten 136
 - 4.4.7.2. Reduktion der Produktvarianten 138
 - 4.4.8. Ethische Fragen 138
 - 4.4.9. Rechtliche Fragen 139
 - 4.4.10. Organisatorische Fragen 140
- 5. Validierung 141
 - 5.1. Anwendungsfall 1: Studie NICE 141
 - 5.1.1. Allgemeine Beschreibung 141
 - 5.1.2. Produktentwicklungsprozess, Produktmodelle und angewendete Software 142
 - 5.1.3. Testgruppe 146
 - 5.1.4. Versuchsumgebungen und Versuchsdesign 148

5.1.5.	Ergebnisse	152
5.2.	Anwendungsfall 2: Studie EMO VR	161
5.2.1.	Allgemeine Beschreibung	161
5.2.2.	Produktentwicklungsprozess, Produktmodelle und angewendete Software	162
5.2.3.	Testgruppe	164
5.2.4.	Versuchsumgebung	166
5.2.5.	Versuchsdesign	168
5.2.6.	Aufzeichnung und Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie	174
5.2.7.	Ergebnisse	177
5.3.	Nutzen und Aufwand der Methodik	184
6.	Diskussion und Schlussfolgerungen	186
7.	Ausblick	190
8.	Anhang	192
8.1.	Anhang A	192
8.2.	Anhang B	197
8.3.	Anhang C	198
8.4.	Anhang D	199
8.5.	Anhang E	204
8.6.	Anhang F	208
8.7.	Anhang G	212
8.8.	Anhang H	227
8.9.	Anhang I	235
8.10.	Anhang J	236
8.11.	Anhang K	237
8.12.	Anhang L	238
8.13.	Anhang M	241
9.	Abbildungsverzeichnis	242
10.	Tabellenverzeichnis	245
11.	Abkürzungsverzeichnis	246
12.	Literaturverzeichnis	250
13.	Lebenslauf	271

1. Einleitung

1.1. Motivation

Die moderne Produktentwicklung in marktwirtschaftlichen Verhältnissen stellt sich einer Reihe von wachsenden Herausforderungen. Die Ingenieurprodukte werden immer komplexer – sie stellen ein funktionsfähiges Zusammenspiel unterschiedlichster Komponenten dar, die nach verschiedenen technologischen Wirkprinzipien den erwarteten Nutzen für den Endkunden bringen. Außerdem stellt der Wettbewerb auch immer neue Anforderungen nach kundengerechter Betreuung – es wird kaum mehr ein Produkt losgelöst von einem Dienstleistungsbündel angeboten. Diese allgemein akzeptierte Auffassung des Produktes als Nutzenbündel impliziert die Subjektivität der Kaufentscheidung der Kunden, denn Nutzen wird von Menschen nicht einheitlich empfunden, sondern wird nach Erfüllung ihrer individuellen bewussten oder unbewussten Erwartungen an das Produkt gemessen. Der beobachtete gesellschaftliche Megatrend der Individualisierung stellt den einzelnen Kunden in den Mittelpunkt und fördert demnach die Entwicklung vielfältiger Produkte unter der Nutzung von Vorreiter-Technologien. Als Basis für die Kreativität dient die grundlegende Fähigkeit von Menschen, bei fehlenden externen mentalen Aufforderungen sich in imaginären Situationen („Tagträumen“) zu begeben, welche Mason (Mas07, vgl. S. 393-395) als Gedankenwanderung (englisch „mind-wandering“) bezeichnet. Märkte werden somit zu Kreationen, Schöpfungsprozessen, digitalen und realen Räumen in denen Menschen ihre Vorstellungen von Produkten entwickeln, mit dem Ziel eine unverwechselbare eigene Welt zu schaffen (San08, vgl. S. 208).

Der Markterfolg eines Unternehmens wird maßgeblich von der Kundenzufriedenheit bestimmt (Hom06a, vgl. S. 64-68). Denn von den vielen auf den Markt kommenden Produkten erreichen nur einige sehr guten Umsatz und Marktanteil, während andere dagegen die Erwartungen nicht erfüllen, und zwar hauptsächlich nicht wegen der technischen Realisierung sondern wegen der fehlenden Kundenorientierung. Für den Markterfolg eines zukünftigen Produktes ist es daher ratsam, das Produkt schon in sehr frühen Phasen, wenn sein Konzept und Entwurf nur virtuell bestehen, aus Kundenperspektive zu bewerten.

Der als Frontloading bekannte Prozess sieht einen verstärkten Einsatz von Ressourcen genau in den frühen Produktentwicklungsphasen vor, um Wissen über das zukünftige Produkt frühzeitig zu erwerben, den zu diesem Zeitpunkt vorhandenen höheren Entscheidungsspielraum für die Entwicklung eines qualitativ hochwertigen kundengerechten Produktes zu nutzen und Änderungen und Fehlerbehebungen zu niedrigeren Kosten zu ermöglichen (**Abbildung 1**). Gerade in der Konzeptphase, wo richtungsweisende Entscheidungen getroffen werden, sind Defizite der Kundeneinbindung zu beobachten. Es werden häufig im Rahmen von Diskussionen unter unternehmensinternen Experten nur die technischen und wirtschaftlichen Aspekte einer Lösung berücksichtigt, ohne ihre Marktresonanz zu untersuchen. Der Kunde wird in der Regel nur früher, ganz am Anfang des Prozesses bei der Definition des Anforderungsprofils durch linguistisch-semantischen Input

einbezogen sowie später, wenn schon deutliche Arbeitsvorbereitungs- und Produktionskosten angefallen sind und Änderungen sich somit teurer auswirken.

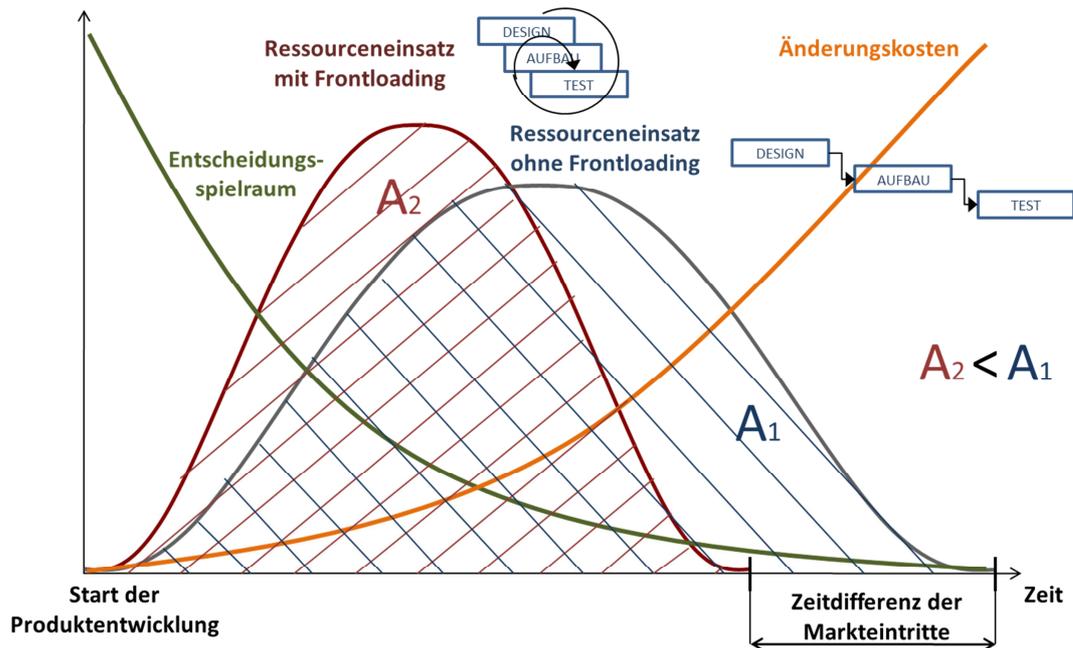


Abbildung 1: Grafische Darstellung der wesentlichen Merkmale des Frontloading-Prozesses

Die ersten Produktentwürfe stellen keine ausgereiften Produktdarstellungen dar; die Kunden können jedoch diesbezüglich das sehr wichtige und trotzdem zu diesem Zeitpunkt unterschätzte Feedback geben – ob dieses Produkt sie positiv ansprechen würde. Emotion wurde als einer der drei Erfolgsparameter des modernen Marketings erkannt (Kre08, vgl. S. 14-15), besonders im Bereich der Konsumgüter. Das zunehmend hedonistische Verhalten des Endverbrauchers ist der Grund für die wachsende Heterogenität der Nachfrage (Lit97, vgl. S. 242-244). Bei einer Vielfalt angebotener Alternativen fällt die intuitive Entscheidung deutlich leichter als die genau überlegte Entscheidung. Psychologische Messungen belegen (Mer08, vgl. S. 26), dass die Menschen für intuitive Entscheidungsfindung ca. zehnmal weniger Körperenergie verbrauchen als beim Nachdenken. Der Anteil der unbewussten Kaufentscheidungen beläuft sich auf über 70% (Sch08, vgl. S. 307-310). Somit werden Käufe im Konsumgütermarketing zunehmend von Spontaneität und kurzfristigen Kaufentscheidungen bestimmt (Lit97, vgl. S. 242-244).

Um Kundenemotionen über ein noch nicht existierendes Produkt möglichst präzise aufzunehmen, ist eine Darstellung notwendig, die die Realitätsvorstellungen dieser Kunden so stark wie möglich unterstützt. In dieser Arbeit werden immersive Umgebungen als mögliche Lösung für diese Problemstellung untersucht; der Nutzer interagiert dabei mit einer multimodalen Darstellung des virtuellen Produktes, bestehend aus stereoskopischer Visualisierung und dem Einsatz akustischer und haptischer Signale. Bei der Emotionserfassung wird möglichst auf verbale Aussagen des Kunden verzichtet, die unscharf

und oft sogar mehrdeutig sind. Stattdessen wird der Untersuchung psychophysiologischer Emotionssignale Vorrang gegeben.

1.2. Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Die klassischen Methoden der Kundenzufriedenheitsmessung weisen besonders bei der affektiven Bewertung von variantenreichen Produkten erhebliche Schwächen auf. Die Gewährleistung der Validität der Messung stellt eine besondere Herausforderung dar, denn die Vielzahl der zu vergleichenden Zielobjekte und der Einflussgrößen seitens Umgebung und Kunden erschweren wesentlich die Lokalisierung, Erfassung und Identifizierung der Auswirkung einzelner relevanten Messgrößen.

Bei den oft eingesetzten Befragungen ist diese Aufgabe nicht beherrschbar, weil der Zeitpunkt der Erfassung dem Zeitraum des Erlebens nachgelagert ist („offline“-Befragung). Wegen der Tatsache, dass Menschen nur über wenige Objekte gespeicherte Meinungen haben und solche Meinungen in der Regel erst nach einer Aufforderung bilden, beruhen Kundeneinstellungen bei Befragungen auf vage Eindrücke und Erinnerungen (Beu06, vgl. S. 144). Diese Einstellungen werden kognitiv vermittelt und hängen von der Menge und der Qualität der benutzten Informationen während der Entscheidungsfindung ab (Wil00, vgl. S. 10-11). Somit sind sie nicht intuitiv, sondern das Ergebnis nicht-spontaner Anstrengungen, Produkte außerhalb deren Nutzungskontexte zu bewerten. Darüber hinaus ist die verbale Formulierung des affektiven Kundenfeedbacks unscharf und mehrdeutig, denn das Verständnis von Konzepten und Wörtern hängt von den individuellen Kundenerfahrungen ab. Berridge (Ber99, vgl. S. 525-557) hat auch festgestellt, dass Menschen unter bestimmten Umständen den Wunsch nach Besitz attraktiv empfundener Objekte bewusst oder unbewusst verbal bestreiten können.

Der Hauptvorteil der Beobachtungen, bei denen die Kunden mit virtuellen Produktdarstellungen interagieren, ist die Versetzung des Menschen in den tatsächlichen Nutzungskontext. Klassische stationäre Versuchseinrichtungen, wie eine Desktop-Umgebung, beschränken jedoch die natürlichen erlernten Bewegungen des Menschen für den entsprechenden Nutzungskontext. Eine realitätsnahe Nachbildung von Nutzungssituationen ist daher nur in begehbaren virtuellen Umgebungen möglich. Zur Gewährleistung einer ungestörten Dynamik beim Erleben des virtuellen Produktes sollen Emotionen möglichst zuverlässig „online“ erfasst werden, wofür sich biologische Signale eignen.

Die Einsätze der Technologie der Virtuellen Realität für Kundeneinbindung in den frühen Produktentwicklungsphasen sind derzeit nur fragmentarisch. Bei der Betrachtung isolierter spezifischer Fragestellungen werden in den Aufgabenstellungen viele einschränkende Vorfixierungen als gegeben angenommen, die die Ergebnisse wesentlich beeinflussen können. Immersive Umgebungen sollen so realisiert werden, dass sie die Realitätsvorstellungen von potentiellen Kunden so gut wie möglich unterstützen. Der Maß für diese Annäherung an der Realität ist der Immersionsgrad, der als „Tiefe der

psychophysischen Einbindung“ in eine virtuelle Umgebung (Hen97, vgl. S. 14) nur grob definiert ist. Es existiert keine konsolidierte vollständige Auflistung von Faktoren, die den Immersionsgrad als Größe beeinflussen. Die stillschweigende Annahme, dass höhere Leistungsparameter für die technologischen Lösungen den Immersionsgrad erhöhen, ist eine stark vereinfachte einseitige Betrachtung, welche die individuellen Kenntnisse, Erfahrungen und Dispositionen des Menschen als Nutzer nicht berücksichtigt. Oft werden Lösungen befürwortet und weiterentwickelt, ohne ihre generelle und gruppenspezifische Eignung für die gestellte Aufgabe zu prüfen.

Der parallele Einsatz der Technologien der Virtuellen Realität und der mobilen psychophysiologischen Emotionsmessung bringt mehrere Herausforderungen in Form von operativen technischen Fragen sowie Kompatibilitätsproblemen mit sich, welche in dieser Arbeit detailliert diskutiert werden.

Ziel dieser Arbeit ist laut der vorhergehenden Argumentation die Entwicklung und Validierung einer durchgängigen Methodik zum Einsatz der Virtuellen Realität für affektive Bewertung variantenreicher technischen Produkte seitens potentieller Kunden anhand deren interaktiven virtuellen Repräsentation, basierend auf kontinuierlicher psychophysiologischer Emotionserfassung in Echtzeit.

1.3. Lösungsansatz und Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit wird als Lösungsansatz eine durchgängige Methodik aus folgenden sechs Schritten vorgeschlagen:

I Auswahl der zu bewertenden Produktvarianten: Festlegung des Variationsraumes für das Erleben der in der Produktentwicklung entworfenen Varianten des virtuellen Produktes

II Auswahl der Versuchspersonen: Bildung einer repräsentativen Stichprobe nach Anzahl und Zusammensetzung, welche die Zielgruppe der Endkunden gut abbildet

III Konzipierung der Versuchsumgebung: Definition der Randbedingungen der Untersuchung sowie Auswahl der einzusetzenden Verfahren und der zueinander kompatiblen, verfügbaren und möglichst intuitiven technologischen Lösungen für Ein- und Ausgabegeräte der Virtuellen Realität einerseits und für psychophysiologische Messgeräte andererseits

IV Versuchsdurchführung: Synchronisierte Aufnahme des zeitlichen Verlaufs der Interaktionsprozesse zwischen Nutzer und virtueller Umgebung sowie der physiologischen Signale, welche einen Rückschluss auf den emotionalen Zustand erlauben, bei einem definierten Versuchsdesign

V Auswertung der Versuchsergebnisse: Identifizierung von individuellen und gruppenspezifischen Mustern für emotionale Antworten auf bestimmte Kombinationen der variablen Produktmerkmale und anschließender relativer Vergleich der Produktvarianten

VI Rückführung der Ergebnisse ins Produktmodell: Gewährleistung einer produktlebenszyklusübergreifenden Verfügbarkeit des gewonnenen Kundenfeedbacks

Diese Schritte stellen keine voneinander strikt getrennten Bausteine einer sequentiellen Methodik dar, sondern sind je nach Anwendungsfall iterativ wiederholbar. Besonders starke Iterationen sind zwischen den beiden ersten Schritten zu erwarten, denn die Definitionen der Zielkunden und der Zielprodukte ist ein kontinuierlicher Analyse- und Anpassungsprozess.

Die erfolgreiche Durchführung dieser stark interdisziplinär geprägten Methodik setzt die Beteiligung vieler Akteure voraus: Produktentwickler im Maschinenbau, Designer, Marketingfachleute, Experten für die Technologie der Virtuellen Realität, Psychologen und Endkunden.

Die vorliegende Arbeit erweist den folgenden Aufbau:

Im **Kapitel 2** sind die theoretischen Grundlagen für die nachfolgenden Kapitel prägnant zusammengefasst. Hierbei werden die Virtuelle Realität, das Design eines technischen Produktes, die Emotionsmodellierung und das subjektive Empfinden über Produkte behandelt.

Das nachfolgende **Kapitel 3** stellt einen ausführlichen Überblick über den Stand der Technik und Forschung für die hier entwickelte Methodik dar. Es werden aktuelle Ansätze zur Erfassung und Auswertung des emotionalen Kundenfeedbacks vorgestellt und kritisch gewürdigt. Besondere Aufmerksamkeit wird auf bestehende Anwendungen und Umgebungskonzepte der Virtuellen Realität für die Kundeneinbindung in die Produktentwicklung (insbesondere während der Konzeptphase) geschenkt.

Kapitel 4 fängt mit der Beschreibung der Anforderungen, der Annahmen und des zugrunde liegenden Informationsmodells für die entwickelte Methodik an. Anschließend werden die einzelnen Schritte ausführlich beschrieben.

Die Validierung der Methodik anhand zwei Studien erfolgt im **Kapitel 5**. In diesem Kapitel werden auch der Aufwand und der Nutzen der Methodik abgeschätzt.

Die Ergebnisse der Arbeit werden im **Kapitel 6** zusammengefasst. Wichtige Erkenntnisse und Implikationen werden ausführlich diskutiert.

Zum Schluss folgt im **Kapitel 7** der Ausblick über mögliche zukünftige Forschungsthemen und –Richtungen basierend auf dieser Arbeit.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Virtuelle Realität und immersive Umgebungen

2.1.1. Begriffsklärung

2.1.1.1. Definition des Begriffes Virtuelle Realität

Der Begriff Virtuelle Realität (englisch „Virtual Reality“) ist ein Oxymoron, das von Jaron Lanier im Jahr 1989 geprägt wurde und seitdem für unterschiedliche Formen digital generierter künstlicher Welten verwendet wird (Ben02, vgl. S. 2-4). Im Gegensatz zur benachbarten Disziplin der Künstlichen Intelligenz steht bei Virtueller Realität (abgekürzt mit VR) der Mensch im Mittelpunkt. Die wichtigste Herausforderung der VR ist die realistische Wahrnehmung der Umgebung seitens der Benutzer. Schon im 1989 haben Ellis und Grunwald (Ell89, vgl. S. 220-227) dafür plädiert, dass VR vor allem als mentaler Prozess zu verstehen ist, dessen Ziel nicht die vollkommen realistische Darstellung, sondern die Akzeptanz der Darstellung als realistisch seitens der Nutzer sein soll. Wegen der widersprüchlichen Konstruktion des Ausdruckes „Virtuelle Realität“ werden häufig in wissenschaftlichen Kreisen Synonyme wie Virtuelle Umgebung und Cyberspace (nicht zu verwechseln mit dem Internet) bevorzugt. Die ursprüngliche Bezeichnung von Lanier findet jedoch, wohl auch wegen der aus der Gegensätzlichkeit hervorgehenden Einprägsamkeit, die breiteste Anwendung.

Hier werden zwei der bekanntesten Definitionen des Begriffes Virtuelle Realität eingeführt.

Sherman und Craig definieren die Virtuelle Realität als „... *a medium composed of interactive computer simulations that sense the participant's position and actions and replace or augment the feedback to one or more senses, giving the feeling of being mentally immersed or present in the simulation*“ (She03, S. 5-6). Die entsprechende deutsche Übersetzung lautet „Virtuelle Realität ist ein Medium, das aus interaktiven Rechensimulationen besteht, welche die Lage und Handlungen des teilnehmenden Nutzers verfolgen und das Feedback zu einem oder mehreren menschlichen Sinnen ersetzen oder erweitern, so dass der Teilnehmer das Gefühl hat, mental immersiv bzw. präsent in der Simulation zu sein.“ Diese Definition betont die Ausrichtung der Informationsausgabe an den menschlichen Wahrnehmungspotenzialen und ist somit menschenzentriert.

Eine kompaktere Definition schlagen Burdea und Coiffet vor, die Virtuelle Realität als „... *a high-end user-computer-interface that involves real-time simulation and interactions through multiple sensorial channels*“ (Bur03, S. 1-3) zusammenfassen. Die entsprechende deutsche Übersetzung ist „Virtuelle Realität ist eine höchstentwickelte verfügbare Nutzer-Rechner-Schnittstelle, die Simulation in Echtzeit und Interaktion mittels mehrerer Sinneskanäle einbindet“. Diese Definition ist technokratischer Natur und formuliert den Anspruch der VR auf technologische Führerschaft.

Die unterschiedlichen Stufen der Virtuellen Realität sind dem Realität-Virtualität-Kontinuum (**Abbildung 2**) zu entnehmen (Mil94, vgl. S. 283). Demnach unterscheidet man neben den beiden Gegenpolen der Realität und der vollständigen Virtualität („reinen“ Virtuellen Realität) noch folgende Zwischenstufen:

- Mixed Reality (MR): Umgebung aus reellen und virtuellen Elementen
- Augmented Reality (AR): Umgebung aus vorwiegend reellen Elementen mit einzelnen eingeblendeten virtuellen Elementen (oft in Textform)
- Augmented Virtuality (AV): Umgebung aus vorwiegend virtuellen Elementen mit einzelnen eingebetteten reellen Elementen

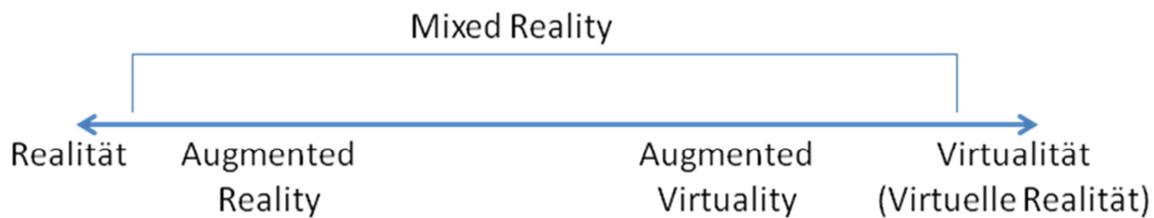


Abbildung 2: Das Realität-Virtualität-Kontinuum

2.1.1.2. Eigenschaften der Virtuellen Realität

Burdea und Coiffet (Bur03, vgl. S. 1-3) formulieren drei Haupteigenschaften der VR, die auch als „the 3 I’s of VR“ bekannt sind: Immersion, Interaktion und Imagination (**Abbildung 3**). Als **Immersion** wird die Einbindung des Nutzers in die virtuelle Szene bezeichnet; ihr Maß ist der Immersionsgrad. Ein hoher Immersionsgrad bedeutet, dass für den Nutzer die Grenzen zwischen der reellen und der virtuellen Welt zum größten Teil oder im Idealfall vollständig verschwinden. Unter **Interaktion** versteht man den bidirektionalen Informationsaustausch zwischen dem Nutzer und der virtuellen Welt (Simulation); ihr Maß ist die Interaktivität. Als Interaktivität bezeichnet man das Ausmaß der potentiellen Fähigkeiten eines Mediums, dem Nutzer Einfluss auf den Inhalt und/oder die Form der vermittelten Kommunikation zu ermöglichen (Mar04, vgl. S. 118-131). Als **Imagination** wird die Vorstellung bezeichnet, die während der interaktiven immersiven Erforschung der dargestellten virtuellen Szene im Kopf des Nutzers entsteht.

Eine eng verwandte Eigenschaft mit der Interaktion ist die **Nichtlinearität der Ereignisse** in VR. Im Gegensatz zum 3D-Kino und Fernsehbeiträgen, bei denen eine festgelegte Geschichte mit festem Anfang, Verlauf und Ende erzählt wird, kann der Nutzer in der Virtuellen Realität mit bestimmten Aktionen in gewissem Umfang (abhängig vom Linearitätsgrad) die zukünftigen Ereignisse mitbestimmen. Der Immersionsgrad steht in positiver Korrelation mit der **Multikanal-Ausgabefähigkeit**, die im Kapitel 2.1.1.4 ausführlicher behandelt wird, sowie mit der **Mehrdimensionalität der Darstellung**, wobei insbesondere die dreidimensionale stereoskopische Visualisierung als notwendige Bedingung für die Erfüllung der Definition für VR durch die Stand der Technik etabliert wurde. Aus den im Kapitel 2.1.1.1 eingeführten

Definitionen für VR gehen implizit die Eigenschaften der **Echtzeitfähigkeit** (verzögerungsfreie Anpassung der virtuellen Szene) und **Adäquanz** (entsprechende Anpassung der virtuellen Szene an einen bestimmten Nutzer) hervor.

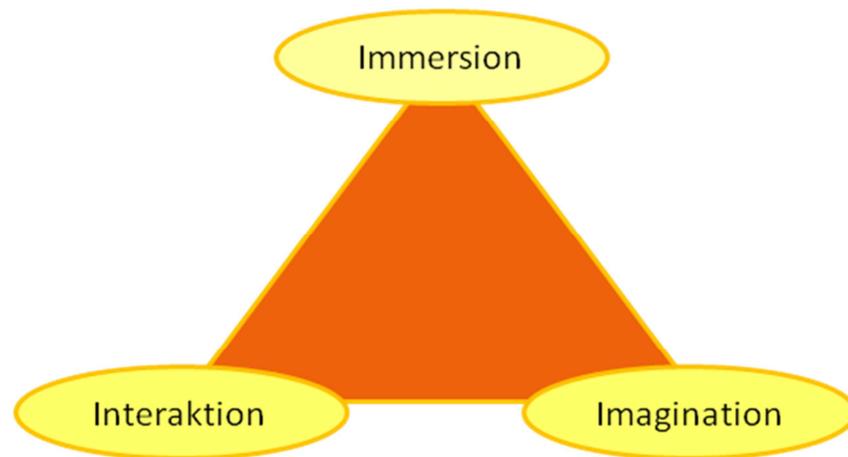


Abbildung 3: Die „3 I's“ der Virtuellen Realität

Sherman und Judkins definieren fünf formale Eigenschaften der VR Technologie (Omm06, vgl. S. 329-332), die als „5 I's of VR“ bezeichnet werden können. Neben der bereits erklärten Eigenschaften der Immersion und Interaktion, enthält ihre Liste auch die Eigenschaften:

- **Intensität** (wegen der aktiven geistigen Beteiligung des Nutzers)
- **Intuition** (wegen der Begünstigung natürlicher Aktionen seitens des Nutzers)
- **Illustration** wegen der vorwiegend bildlichen Codierung der Information)

Eine andere wichtige Eigenschaft von VR ist die **Skalierbarkeit der technologischen Lösung**. Diese Eigenschaft ermöglicht die Nutzung der gleichen Ressource „entsprechend der benötigten Leistung in verschiedenen Qualitätsklassen“, die jeweils unterschiedliche Preise aufweisen (Pil06, vgl. S. 26). Die Qualitätsklassen sind bei VR eng mit dem Immersionsgrad verbunden und können wie folgt mit den entsprechenden Paradigmen nach Craig, Sherman und Will (Cra09, vgl. S. 7-10) verknüpft werden:

- Stationäres Paradigma: ortsgebundene Darstellung, wobei die virtuelle Welt im Bezug zur Position des Nutzers gerendert wird
 - Projektion VR (Immersive VR): hoher Immersionsgrad und hohe Preise
 - Desktop VR: niedriger Immersionsgrad und niedrige Preise
- Kopfbasiertes Paradigma: kopfgebundene Darstellung, wobei sich die virtuelle Welt mit dem Kopf des Beobachters bewegt; weist einen mittleren Immersionsgrad und niedrige bis mittlere Preise auf
- Handbasiertes Paradigma: auf der Hand befestigte Geräte, die sich zusammen mit der Hand bewegen; weist einen niedrigen Immersionsgrad und niedrige Preise auf

Es können folgende weitere Eigenschaften der VR formuliert werden (Bac09c, vgl. S. 89):

- **Skalierbarkeit der Darstellung:** Anwendbarkeit der Technologie für Visualisierung von Modellen mit unterschiedlichsten reellen Abmessungsbereichen in passendem Maßstab (Vergrößerungen von mikroskopischen Objekten und Verkleinerungen von riesigen Objekten)
- **Flexibilität:** Gewährleistung des gewünschten Kontrollgrades über die Umgebung durch die Definition modifizierbarer und beliebig wiederholbarer Randbedingungen und Gesetzmäßigkeiten
- **Intelligenz:** Integration von Semantik

2.1.1.3. Technologietreiber

Die Fachexperten sind sich gegenwärtig größtenteils einig, dass der Durchbruch der VR Technologie erst folgt. Die Virtuellen Welten bewegten sich im Jahr 2010 aus dem Tiefpunkt (Tal der Enttäuschungen) des Hype-Zyklus (**Abbildung 4**) der Technologien auf den Pfad der Erleuchtung und werden in den nächsten Jahren das Plateau der Produktivität erreichen (Fen10).

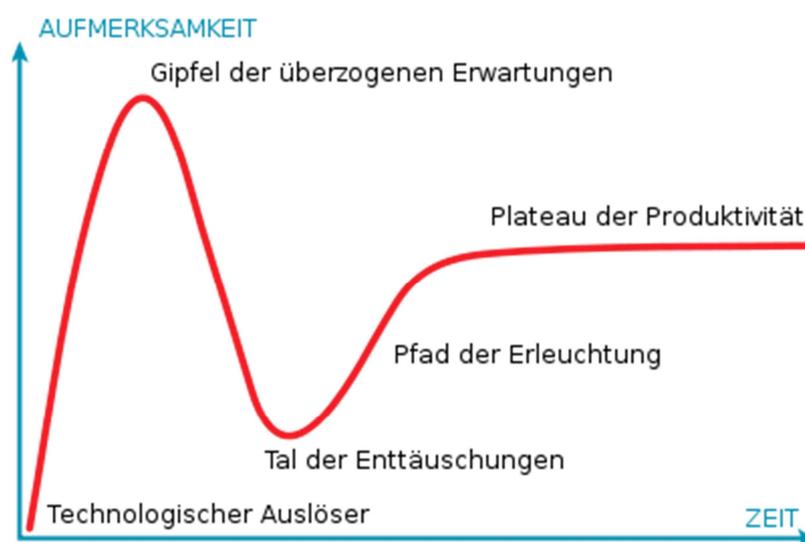


Abbildung 4: Der Hype-Zyklus nach Gartner

Neben den allgemeinen Technologietreibern für die Informationstechnologie, nämlich die schnellere, kostengünstigere, raum- und zeitüberbrückende Datenübertragung und Informationsverarbeitung (Pil06, vgl. S. 26-27), konnten folgende spezifische Technologietreiber für VR Anwendungen identifiziert werden (Amd07, vgl. S. 47):

- Steigende Menge und Komplexität an Daten, insbesondere an 3D-Daten
- Erhöhtes Bewusstsein der Computernutzer für VR Schnittstellen
- Verfügbarkeit schneller und technisch ausgereifter echtzeitfähiger 3D-Grafik-Hardwarelösungen
- Weite Verbreitung von mobilen Endgeräten (wie Smartphones und Personal Digital Assistants)

- Verfügbarkeit von Hochgeschwindigkeits-Netzwerktechnologien an jedem Ort
- Einführung des digitalen interaktiven HD Fernsehens

2.1.1.4. **Angesprochene Sinne**

Die Virtuelle Realität spricht vor allem den visuellen (Sehen), den akustischen (Hören) und den haptischen (Tasten) menschlichen Sinn an, seltener kommen der olfaktorische (Riechen) und der gustatorische (Schmecken) Sinn dazu. Im weiteren Sinne werden auch (Fas07, vgl. S. 56) die vestibuläre Wahrnehmung (Gleichgewichtssinn, das vom emotionalen Zustand abhängt) und die Propriozeption (Sinn über den relativen Zustand von eigenen Körperteilen) angesprochen.

Die Hauptaufgabe des **visuellen** Ausgabekanals in VR ist die Simulation eines realitätsnahen Tiefeneindrucks. Zur Realisierung dieser Vorgabe werden mehrere Techniken angewendet (Bri09, vgl. S. 13-19):

- Zentralperspektive (Abbildung parallel liegender Linien und Kanten auf stützende Linien; aufgrund der Erfahrung mit Distanzwahrnehmung und der perspektivischen Sicht erkennt der Mensch sie als parallel)
- Bezug auf vertraute Objektgrößen (im menschlichen Gehirn sind die üblichen Größen bestimmter Objekte gespeichert; kleinere Abbilder dieser Objekte werden aufgrund der Erfahrung als weit entfernte Objekte statt als kleine Exemplare interpretiert)
- Interposition (Fehlen verdeckter Teilstücke von Objekten; das menschliche Gehirn ist fähig, solche Teilstücke von bekannten Formen zu ergänzen und sie als weiter entfernte Objekte als die im Vordergrund stehenden Objekte zu identifizieren)
- Atmosphärische Tiefe (Verminderung der Sichtbarkeit und Verlust der Farbsättigung bei entfernten Objekten)
- Stereoskopisches Sehen und unterschiedliche Parallaxe-Arten (der Mensch sieht die Welt binokular, d.h. die beiden Augen bekommen je ein Bild und das Gehirn bildet daraus ein stereoskopisches Bild; diese zwei Bilder sind um einen Winkel zueinander versetzt, der von der individuellen Interpupillaren Distanz abhängt und Parallaxe genannt wird; die Parallaxe wird in der Computergrafik durch zwei virtuelle Kameras nachgebildet, wobei der Abstand zur Bildebene der wichtigste Maß für ihre Realisierung ist)

Der **akustische** Sinn spielt bei Menschen eine sehr wichtige Rolle zur Lokalisierung von Objekten und Ereignissen. Im Gegensatz zur durch das Sichtfeld beschränkten visuellen Wahrnehmung, nimmt der Mensch mit normalem Gehör zu jeder Zeit alle Geräusche im umgebenden Raum binaural. Als wichtigste Bezugsgröße zur Abschätzung der Distanz fungiert die Lautstärke; die Abschätzung erfolgt indem aktuell wahrgenommene Töne mit Erfahrungswerten verglichen werden. (Bri09, vgl. S. 25-29)

Die vom menschlichen Ohr wahrgenommenen Geräusche sind einerseits abhängig von dem persönlichen Hörvermögen und den Filtereigenschaften der Ohrregion und des

menschlichen Körpers, und andererseits von den akustischen Reflexionseigenschaften der Objekte, die sich in der Umgebung des Hörers befinden. Zur Modellierung der Filtereigenschaften des Außenohrs und der restlichen am Hörprozess beteiligten Körperteile wurde in NASA eine komplexe Annäherungsfunktion eingeführt, die „head related transfer function“ (HRTF) genannt wurde. Mit dieser Funktion können die spektralen Charakteristika der Geräusche aus unterschiedlichen Lokationen beschrieben werden. (Isr96, vgl. S. 5-10)

Aktuelle Forschungsthemen im Bereich der akustischen Ausgabe für VR Anwendungen sind die akustische Ortung und die Geräuschabbildung auf den sogenannten virtuellen auditiven Raum (englisch „Virtual Auditory Space“) (Zot07, vgl. S. 553-564) sowie die Erfassung und Individualisierung der HRTF (Dro08, vgl. S. 1-7).

Die **haptische** Ausgabe in VR spricht die menschliche Haut als flächendeckendes Sinnesorgan zur Erkennung von Kontakten und zur Kraftaufnahme an. Somit spielt der haptische Sinn eine Hauptrolle bei der Simulation mechanischer Wechselwirkungen zwischen dem Nutzer und der Umgebung, wie Schwerkraft, Reibung, Oberflächenbeschaffenheit usw. Aktuelle Forschungsthemen in diesem Bereich sind: echtzeitfähige Kollisionserkennung, Fühlbarkeit von Texturen und Entwicklung von haptischen Systemen mit sechs Freiheitsgraden (Zha09, vgl. S. 348-400). Oft wird auch die thermische Ausgabe als Teil der haptischen Ausgabe angesehen.

Zwei Hauptaufgaben für die **olfaktorische** Ausgabe in VR sind (Was04, vgl. S. 80-83):

- Geruchsbildung (Erzeugung gewünschter Gerüche durch Verdampfung oder Diffusion fester oder flüssiger Geruchsquellen)
- Geruchszufuhr (passende räumliche und zeitliche Geruchsverteilung, die von dem Nutzerverhalten und dem aktuellen Zustand des virtuellen olfaktorischen Raumes abhängt)

Aktuelle Forschungsthemen im Bereich der olfaktorischen Ausgabe für VR sind die Synthese beliebiger Gerüche aus einem begrenzten Satz aus primären Gerüchen sowie der akkurate Transport der gedufteten Luft zu der Nase des individuellen Nutzers (Nak06, vgl. S. 207-212).

2.1.2. Technologie

2.1.2.1. Hardware

Die im Kapitel 2.1.1.2 beschriebenen drei Paradigmen der VR unterscheiden sich technologisch und kostenmäßig am stärksten bei der visuellen Ausgabe. Hier werden die Displays bei diesen Paradigmen nach Sherman und Craig (She03, vgl. S. 140-163) näher erläutert:

- Beim stationären Paradigma steht das Display in einer festen Position im Raum. Beim Desktop VR fungiert als Display ein 3D-Bildschirm, während bei Projektion VR speziell beschichtete Projektionsflächen eingesetzt werden. Ein Projektionssystem wird im weiteren Sinne als CAVE (Abkürzung für „Cave Automatic Virtual Environment“)

bezeichnet, wenn es aus mindestens drei bis sechs Projektionsflächen besteht. Bei Drei-Wände-CAVEs werden meist zwei senkrecht zueinander stehenden Powerwalls um eine Bodenprojektion ergänzt. Ein wichtiges Merkmal von CAVEs ist die Begehbarkeit – man kann sich im Erlebnisraum vorwärts, rückwärts, seitwärts und eventuell in mehreren Stockwerken aufwärts und abwärts bewegen. Da dies wesentlich den Immersionsgrad verbessert, wird in dieser Arbeit für CAVEs der Begriff „**immersive Umgebungen**“ als Synonym benutzt.

- Die Displays des kopfbasierten Paradigmas werden Head Mounted Displays (HMDs) genannt. Ein HMD ist ein oft helmähnliches, auf dem Kopf getragenes visuelles Ausgabegerät, das die generierten Bilder entweder auf augennahe Bildschirme für jedes Auge oder direkt auf die Netzhaut projiziert. Sogenannte nicht-okklusive HMDs erlauben die gleichzeitige Projektion der rechnergenerierten virtuellen und der realen Welt.
- Beim handbasierten Paradigma (Palm VR) werden mobile Endgeräte oder Handschuhgeräte als Displays eingesetzt.

Tabelle 1 liefert eine Übersicht der am häufigsten angewendeten Eingabe-, Ausgabe- und Berechnungsgeräte für Virtuelle Realität, die sich größtenteils an Brill (Bri09, vgl. S. 21-42) orientiert.

Der Begriff **passive Stereoskopie** umfasst alle Technologien, bei denen die Halbbilder für die beiden menschlichen Augen mit Filtern nicht nur an der Quelle, sondern auch an der Senke zu den entsprechenden Augen getrennt werden. Bei der Farbpolarisation werden die beiden Halbbilder komplementär (rot-blau oder rot-grün) eingefärbt – das stereoskopische Bild ist nicht mehr farbtreu. Die Grundidee der Infitec-Polarisation beruht auf das additive Aufeinandersetzen der drei Grundfarben in den Augen – die Bilder für das linke und rechte Auge werden mit Grundfarben unterschiedlicher Wellenlängen (unterschiedlicher RGB-Werte für beide Augen) projiziert. Bei der linearen und zirkulären Polarisation sind die polarisierten Filterfolien vor den Projektionsobjektiven und in den passiven Stereo-Brillen für die beiden Augen um 90° zueinander versetzt. Während bei der linearen Polarisation die Schwingungsrichtung der elektromagnetischen Welle konstant ist, charakterisiert sich die zirkuläre Polarisation mit einer kontinuierlichen Änderung der Schwingungsrichtung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit innerhalb der senkrecht zum Wellenvektor stehenden Ebene. Die letzte Polarisationsart wird wegen ihrer Unempfindlichkeit gegen Änderung der räumlichen Nutzerorientierung bevorzugt. Zur Aufrechterhaltung des Polarisationsstatus des Lichtes wird eine metallisch beschichtete Leinwand benötigt.

Bei der **aktiven Stereoskopie** produziert der Bildschirm Bilder mit hoher Wiederholungsrate von 100 bis 160 Hz. Die zugehörigen Shutter-Brillen verschließen abwechselnd synchronisiert mit dem Bildschirm jeweils das Bild für ein Auge. Diese Technologie funktioniert befriedigend nur bei bestimmten Blickrichtungen und Distanzen zum Bildschirm.

Bei den **autostereoskopischen Monitoren** werden die beiden Halbbilder bereits am Bildschirm getrennt und ein Lichtmodulator sorgt für die Projektion des passenden Bildes auf

jedes Auge. Der Nutzer muss daher keine Brillen tragen, das Bild wird jedoch bei Bewegungen des Nutzers beeinträchtigt.

Tabelle 1: Übersicht der Eingabe-, Ausgabe- und Berechnungsgeräte für VR

Kategorie	Technologien und technologische Lösungen	
Visuelle Ausgabegeräte	Passive Stereoskopie	Mit Farbpolarisation
		Mit Infitec-Polarisation
		Mit linearer Polarisation
		Mit zirkulärer Polarisation
	Aktive Stereoskopie mit Shutter-Brillen	
	Autostereoskopische Displays	
Akustische Ausgabegeräte	Kopfhörer-Arrays	
	Lautsprecher-Arrays	Stereo-Systeme
		Surround-Systeme
Haptische Ein- und Ausgabegeräte	Touch Feedback	
	Force Feedback	
Tracking-Eingabegeräte	Kopfverfolgung	
	Handverfolgung	
	Ganzkörperverfolgung	
Navigations- und Manipulationseingabegeräte	3D-Maus	
	Datenhandschuh	
	Flystick	
	Geräte der Spielindustrie	
Akustische Eingabegeräte	Mikrophone	
Berechnungsgeräte	Prozessor-Cluster	
	Grafik-Cluster	

Während mit **Kopfhörer-Arrays** und **Stereo-Lautsprechern** die räumliche Lage der Schalquelle schwierig zu simulieren ist, erzeugen **Surround-Systeme** einen relativ realitätsnahen auditiven Raum. Solche Systeme bestehen aus mehreren Lautsprechern mit bestimmter räumlichen Anordnung und einem beliebig platzierbaren Subwoofer für die Reproduktion tiefer Frequenzen.

Nach der Art der Wirkung auf den Menschen werden die haptischen Ein- und Ausgabegeräte in **Touch Feedback** (Berührungsrückkopplung) und **Force Feedback** (Kraftrückkopplung) Geräte unterteilt. Es handelt sich hierbei um komplementäre, miteinander kombinierbare Technologien. Der wichtigste Parameter von haptischen Geräten ist die Anzahl der Freiheitsgrade (englisch „Degrees of Freedom“, DOF), welche als Anzahl der für die Interaktion erlaubten translatorischen und rotatorischen Richtungen definiert wird. Die in den Geräten eingebauten Servomotoren können in allen Freiheitsgraden Kräfte bzw. Momente ausüben, wodurch physikalische Parameter wie Reibung, Schwerkraft, Dämpfung und Oberflächenbeschaffenheit simulierbar sind.

Als **Tracking** wird die echtzeitfähige Verfolgung der Position und Orientierung bestimmter Körperteile des Nutzers in der virtuellen Umgebung bezeichnet, die zur Anpassung der Darstellung an die aktuellen Nutzerkoordinaten dient. Am häufigsten finden optische Tracking-Systeme Anwendung, bei denen die am Körper des Nutzers entsprechend asymmetrisch positionierten reflektierenden Markierungen mit hochauflösenden Kameras und pulsierenden Lichtquellen verfolgt werden. Je nach Bedarf können der Kopf (Headtracking zur Gewährleistung der perspektivischen Sicht), die Hände, die Füße usw. oder der ganze Körper des Nutzers mit Markierungen versehen werden. Die größte Herausforderung für die Techniken des markenlosen Tracking stellt die erfolgreiche robuste Überwindung mehrdeutiger Ergebnisse, die beispielsweise durch Integration mehrerer Bildsignale wie Kanten, Farben und volumetrische Rekonstruktion erfüllt werden kann (Keh06, vgl. S 190-209).

Zur **Navigation und Manipulation** werden in VR unterschiedliche Paradigmen und Geräte eingesetzt, die näher im Kapitel 3.6 erläutert werden. Einige davon sind angepasste Übertragungen von Desktoplösungen für 2D-Navigation und Manipulation auf räumliche Gegebenheiten (wie die 3D-Maus), andere wiederum bewährte Interaktionsgeräte von Spielkonsolen aus der Unterhaltungsindustrie (wie Wii™ Remote von Nintendo©).

Die eventuelle akustische Eingabe in VR erfolgt über Mikrophone und wird mittels **Spracherkennung** vom technischen System entschlüsselt.

Die Hauptrechner-Engine ist verantwortlich für die Berechnung des physikalischen Verhaltens der virtuellen Welt und für das Rendering des Zustands der virtuellen Welt in visuellen, auditiven oder haptischen Darstellungen. Eine wichtige Anforderung an die **Berechnungsgeräte** ist das hohe Maß an Synchronisation, denn der Mangel an Synchronisation führt zu negativen Ergebnissen, wie das diskontinuierliche Erscheinen der virtuellen Welt (Cra09, vgl. S. 7-10).

2.1.2.2. Software

Um der Definition der Virtuellen Realität gerecht zu werden, muss das Softwaresystem für VR folgende Anforderungen erfüllen, die in erster Linie eine hohe Performanz bezwecken (Bri09, vgl. S. 45-46):

- Reaktion auf Nutzeraktionen in Echtzeit
- Hohe Bildwiederholfrequenz und geringe Latenzzeiten
- Effiziente Nutzung der vorhandenen Hardware
- Unterstützung von PC-Clustern zur Gewährleistung paralleler Informationsbearbeitung
- Weitgehende Unabhängigkeit von konkreten Betriebssystemen, Bibliotheken für Computergrafik und Audiosystemen zur Gewährleistung eines flexiblen Einsatzes
- Robustheit und Zuverlässigkeit
- Schnelles und einfaches Einbinden von neuer Hardware

Zur Klassifizierung unterschiedlicher Softwarelösungen für VR wird das sogenannte Schichtenmodell angewendet (Gro04, vgl. S. 14), das vier Grundschichten beinhaltet: High-Level (manchmal differenzierter dargestellt), Low-Level, hardwarenahes Level (manchmal bei der Klassifizierung ausgelassen) und Hardware-Level. Eine Variante dieses Modells kann der **Tabelle 2** entnommen werden.

Tabelle 2: Schichtenmodell der Virtual Reality Softwarelösungen

Schicht	Aufgabe	Beispiele
Hardware-Level	Übernahme von rechenintensiven Aufgaben der Computergrafik seitens des Grafikprozessors (GPU)	NVIDIA® GeForce® ATI Radeon™
Low-Level (API / Framework)	Steuerung der in der Grafikhardware implementierten Funktionen über Software-Bibliotheken	OpenGL Direct3D CAVELib™
High-Level (API / Framework)	Unterstützung des Modellierens von 3D-Objekten, des Interagierens mit 3D-Objekten und des Szenenrendering	Java 3D™ VR Juggler Open Inventor®
High-Level (Anwendungen)	Unterstützung des Modellierens von 3D-Objekten, des Interagierens mit 3D-Objekten und des Szenenrendering über grafische Benutzeroberflächen und Drag & Drop Funktionalitäten sowie eventuelle einfache Skriptsprache	3DVIA Virtools Alice© COVISE 3ds Max

Eine funktionsfähige VR Softwarelösung besteht in der Regel aus der Kombination folgender Module:

- Modellierungswerkzeuge (zur Erzeugung von 3D-Modellen)

- Bildbearbeitungswerkzeuge (zur Erzeugung und Bearbeitung von 2D-Bildern, die beispielsweise als Texturen eingesetzt werden können)
- Rendering-Werkzeuge / Graphics Engines (zur Berechnung der Darstellung von 3D-Szenen, üblicherweise Szenengraph-APIs basierend auf OpenGL)
- Authoring-Werkzeuge (zur Programmierung und Steuerung von Aktionen)
- Simulationswerkzeuge / Physics Engines (zur Nachbildung des Verhaltens existierender oder künstlicher Objekte)
- Übersetzer (zur Konvertierung von Dateiformaten beim Datenaustausch)
- Module zur Kommunikation mit extern angeschlossener VR Hardware
- Sound-Bearbeitungsmodule

2.1.3. SWOT-Analyse der Virtuellen Realität

Die SWOT-Analyse ist eine Methode zur Ermittlung der strategischen Position eines Unternehmens oder einer Produktgruppe, die sowohl unternehmens- bzw. produktinterne als auch exogene Faktoren (Marktlage und -Entwicklung) berücksichtigt (Hen93, vgl. S. 165-213). Ihr Name ist ein Akronym aus den englischen Bezeichnungen für (Sch07a, vgl. S. 184):

- Stärken („Strengths“)
- Schwächen („Weaknesses“)
- Chancen („Opportunities“)
- Risiken („Threats“)

Die Stärken und Schwächen beziehen sich auf die aktuelle Position, während die Chancen und Risiken zur Abschätzung der Zukunftsperspektive dienen. Die Methode besteht aus zwei Schritten; nach der Identifikation der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken werden im zweiten Schritt darauf basierend Zukunftsstrategien erarbeitet. Diese Strategien beabsichtigen die Nutzung der Stärken und Marktchancen bei gleichzeitiger Bekämpfung von Schwächen und Begrenzung der negativen Auswirkungen der Risiken. (Hen93, vgl. S. 165-213)

In der vorliegenden Arbeit wird das Ergebnis des ersten Schrittes einer SWOT-Analyse für folgende zwei konkurrierende Gruppen von technologischen Produkten aus dem Marktsegment der Virtuellen Realität präsentiert:

- **Immersive Umgebungen** (CAVEs) nach der Definition von 2.1.2.1 als Sonderfall der Projektion VR
- **Erschwingliche („Affordable“) VR Lösungen** als Sammelbegriff für Desktop VR, VR auf mobilen Endgeräten und kopfbasierte VR, der aus den relativ niedrigen Anschaffungskosten dieser Technologien abgeleitet wurde (Kat10, vgl. S. 16)

Ziel der SWOT-Analyse ist der differenzierte Vergleich dieser beiden konkurrierenden Technologien und die anschließende Ermittlung der Anwendungspotenziale der immersiven Umgebungen, welche wegen ihrer Eigenschaften des hohen Immersionsgrades, der

Begehbarkeit sowie der realitätsnahen und oft maßstabstreuen Kontextabbildung im Fokus dieser Arbeit stehen. Auf dieser Weise werden die marktbedingten Rahmenbedingungen und Grenzen aus Sicht der VR Technologien für den Einsatz der hier entwickelten Methodik identifiziert.

Tabelle 3: SWOT-Analyse der immersiven Umgebungen und der „Affordable“ VR Lösungen

Immersive Umgebungen	„Affordable“ VR Lösungen
<p>Stärken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hoher bis sehr hoher Immersionsgrad • Begehbarkeit der virtuellen Szene • Realitätsnahe und oft maßstabstreue Kontextabbildung 	<p>Stärken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relativ günstige Preise • Nutzung vertrauter Technologien aus der Informations-, Kommunikations- und Spielindustrie • Ortsungebundenheit
<p>Schwächen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ortsgebundenheit • Hohe Anschaffungs- und Betriebskosten • Knowhow und Fachwissen für Bedienung 	<p>Schwächen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niedriger bis mittlerer Immersionsgrad • Keine Begehbarkeit der virtuellen Szene • Beschränkte Förderung der Imagination
<p>Chancen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steigendes Erlebnisbedürfnis der Konsumenten • Zunehmendes Bewusstsein der Nutzer über VR Technologien • Plattform für frühzeitigen Austausch zwischen Hersteller und Lead Users 	<p>Chancen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Breiter potenzieller Anwendungskreis • Nutzung der Spielindustrie als Vorreiter für kommerzielle Anwendungen • Verbindung mit E-Commerce
<p>Risiken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Finanzielle Risiken • Akzeptanzprobleme • Kurzfristige gesundheitliche Beschwerden 	<p>Risiken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nichterkennung des Mehrwertes • Langfristige gesundheitlichen Risiken • Kurzfristige gesundheitliche Beschwerden

Die Übersicht der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der beiden Gruppen technologischer Produkte kann der **Tabelle 3** entnommen werden.

Aus der SWOT-Analyse lässt sich schlussfolgernd feststellen, dass immersive Umgebungen einen klaren Vorteil für das Frontloading von (explizitem und implizitem) Kundenwissen bei der Lead-User-Methode (siehe Kapitel 3.1.2) aufweisen. Der wirtschaftliche Einsatz der immersiven Umgebungen beschränkt sich wegen der hohen Investitions- und Betriebskosten auf große und eventuell auf mittelständische Unternehmen, welche individualisierte Gebrauchsgüter (siehe Kapitel 2.2.1) mit hohem Begeisterungspotenzial (hohem potenziellen hedonistischen Nutzen laut Kapitel 2.4.2) für Privatkunden anbieten.

2.2. Design eines technischen Produktes

2.2.1. Der Produktbegriff

Die klassischen transformations- und wertschöpfungsorientierten Definitionen aus der Produktionswirtschaft betrachten das Produkt als wirtschaftlich relevantes Ergebnis (Output) eines wertschöpfenden Transformationsprozesses von Inputfaktoren (Rohstoffe, Arbeit, Energie usw.). In diesen Definitionen tritt der Kunde als Abnehmer des Produktes explizit nicht in Erscheinung. Marktgerechter scheint die angebotsorientierte Definition vom Produkt als „Bündel von Eigenschaften, welches auf die Schaffung von Kundennutzen abzielt“. (Hom09, vgl. S. 536)

Die Auffassung, dass das Produkt ein Nutzenbündel für den Kunden darstellt, stößt sowohl bei Theoretikern als auch bei Praktikern auf allgemeine Akzeptanz. Sie ist im Einklang mit der modernen Beobachtung, dass die klassische Trennung der Produkte in materielle Sachgüter und immaterielle Dienstleistungen immer unschärfer und gar sinnlos wird, denn gegenwärtige Produkte stellen in der Regel eine Hybridform dieser beiden Arten dar. Deutlich zeitgemäßer aus Marketingsicht scheint die Unterteilung der Produkte in Konsum- und Industriegüter.

Das Konsumgütermarketing umfasst die Marketingaktivitäten beim Verkauf von Sachgütern und Dienstleistungen an anonyme Endnutzer (Konsumenten) mit individuellen Anforderungen, Haltungen, Vorstellungen und Präferenzen. Nach Copeland (Cop24, vgl. S. 14) existieren drei Grundklassen von Konsumgütern:

- Verbrauchsgüter (homogen und austauschbar; werden oft und routinemäßig ohne hohe Aufwendungen bezogen),
- Einkaufsgüter („shopping goods“, bei welchen eine Auswahl aus einem Produktsortiment möglich ist; werden regelmäßig aber nicht zu oft bezogen, allerdings nach einem sorgfältigen Vergleichsprozess) und
- Spezialgüter (hochindividualisiert für bestimmte Kunden oder Kundengruppen; werden sehr selten bezogen und erfordern hohe Kaufaufwendungen).

Die Einkaufs- und Spezialgüter können unter dem Begriff der Gebrauchsgüter zusammengefasst werden.

Hingegen umfasst das Industriegütermarketing die Marketingaktivitäten beim Verkauf von Sachgütern und Dienstleistungen an öffentliche Institutionen oder Unternehmen. Die Kaufentscheidungen werden fast ausschließlich rational nach festen formalisierten Regeln im Rahmen von Buying Centers getroffen. Nach Backhaus (Bac99, vgl. S. 304-307) existieren vier Geschäftsarten von Industriegütern:

- Produktgeschäft (Vermarktung von einzelnen Produkten auf einem anonymen Markt ohne Kaufverbund und ohne wesentliche Beeinflussung weiterer Kaufentscheidungen),
- Systemgeschäft (Vermarktung von Systemlösungen, die sich aus einer individuellen zugelassenen Kombination systemimmanenter Komponenten ergeben),
- Zuliefergeschäft (Vermarktung von komplexen Produkten, die sich aus dem Zusammenspiel zahlreicher Komponenten ergeben, welche von unterschiedlichen Herstellern produziert werden) und
- Anlagegeschäft (Vermarktung von hochkomplexen, kapitalintensiven und einzigartigen Produkten mit langen Nutzungsdauern).

In dieser Arbeit werden weiterhin nur die Gebrauchsgüter betrachtet. Vereinfachend werden sie in der Regel lediglich als Produkte bezeichnet.

Das „New Humans Factor“ Paradigma (Jor05, vgl. S. 17) behandelt Produkte als lebendige Objekte, mit welchen Menschen emotionale Beziehungen haben. Auf dieser Weise werden Produkte Persönlichkeiten gleich gesetzt, die bestimmte Eigenschaften verkörpern. Die Identifizierung und begriffliche Festlegung dieser Eigenschaften stellt eine große Herausforderung dar, denn Fachexperte und Konsumenten weisen oft nicht das gleiche Verständnis von Worten auf.

Aus technischer Sicht ist ein Produkt das Ergebnis der Produktentwicklung (siehe Kapitel 2.2.2) und muss die Anforderungen der Produzierbarkeit und der Funktionsfähigkeit erfüllen (Pon08, vgl. S. 30). Hinsichtlich der Funktionserfüllung baut das Produkt auf den Begriff des technischen Systems auf, das als theoretisches Modell eines vom Menschen geschaffenen oder gedachten künstlichen Gegenstandes definiert wird und durch drei unterschiedliche Kategorien von Ein- und Ausgabegrößen (Energie, Materie und Information) mit seiner Umwelt in Wechselwirkung steht (Rop79, vgl. S. 75-83). Das technische System besitzt eine nach außen definierte Grenze und erfüllt eine Gesamtfunktion, bei der die Ein- und Ausgangsgrößen miteinander verknüpft werden. In den letzten Jahrzehnten nähert sich das Ingenieurverständnis des Produktbegriffes immer mehr der Marketingsichtweise – es wird anerkannt, dass für den Markterfolg des Produktes die Erfüllung der Anforderungen und Bedürfnisse der Kunden eine sehr wichtige Rolle spielt. Die Kundenanforderungen beinhalten neben Funktionsaspekten auch Fragen der Kosten, des Designs, der Ergonomie und der Nachhaltigkeit, die ihre Kaufbereitschaft beeinflussen (Pon08, vgl. S. 7). Auf dem

Markt kommen zunehmend mechatronische Ingenieurprodukte (Gau06, vgl. S. 1-5), bei denen das Zusammenspiel mechanischer, elektronischer, elektrischer und Software-Komponenten für die Realisierung komplexer und vielfältiger Funktionen und somit für ein zeitgemäßes Nutzenbündel sorgt.

2.2.2. Der Produktentwicklungsprozess. Das virtuelle Produkt

Aus informationstechnischer Sicht wird der Produktlebenszyklus als komplette Planung und Entwicklung von Produkten und ihren zugehörigen Betriebsmitteln, Ressourcen, Fertigungs- und Montageprozessen, deren Herstellung sowie Nutzung, Betrieb und Recycling definiert (Eig09, vgl. S. 9). Die Produktentwicklung umfasst die frühen, der Produktion vorgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus, von der Spezifikation über die Marktforschung, die Konzeptentwicklung, die Konstruktion und Validierung bis zur Fertigungsvorbereitung (**Abbildung 5**). Einige Autoren bevorzugen eine engere Definition von Produktentwicklung indem sie Produktdesign und Produktsimulation als eigenständige nachgelagerte Phasen vorschlagen; im Allgemeinen wird die Abgrenzung der einzelnen Phasen durch die steigende Dynamik immer unschärfer (Eig09, vgl. S. 9-10). Entlang der Gesamtheit der Produktentwicklungsphasen arbeiten die Beteiligten an einer rechnerunterstützten Simulation des zukünftigen Produktes, die als **virtuelles Produkt** bezeichnet wird (Spu97, vgl. S. 1-6).

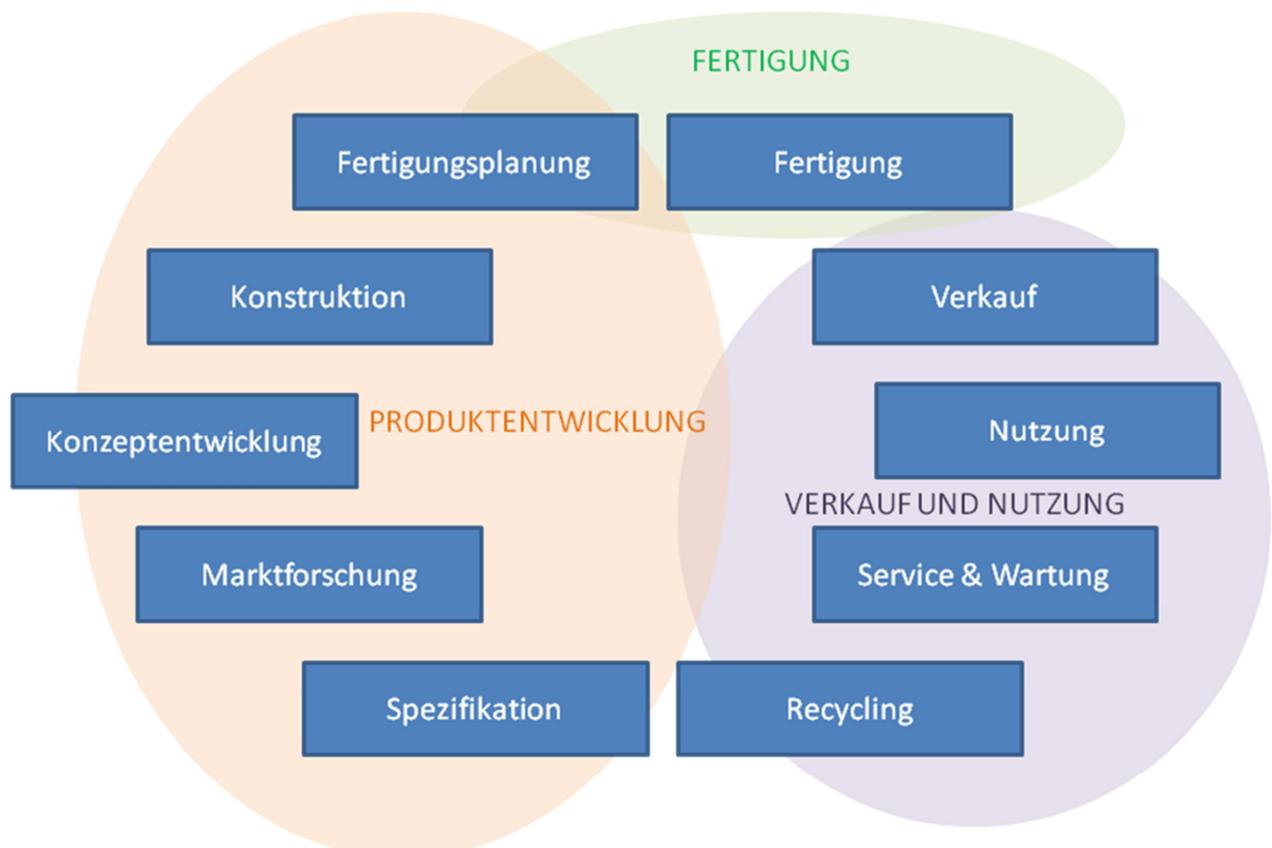


Abbildung 5: Der Produktlebenszyklus aus informationstechnischer Sicht

Der „neue Produktentwicklungszyklus“ geht von einer etwas anderen Phasenaufteilung aus – nach menschlicher Handlung statt nach informationstechnischem Fluss (Dah00, vgl. S. 99-109):

1. OBSERVE: Identifikation der messbaren Produktmerkmale und Durchführung einer Marktuntersuchung der Anforderungen und Kosten
2. IDEATE: Generierung einer Ideenvielfalt mittels Brainstorming und anderer Kreativitätstechniken, die zur Gewährleistung der erwünschten Quantität, kreatives Denken ohne Vorfixierungen fördern sollen
3. CREATE: Generierung vieler (n) Produktkonzepte für Kundenanforderungen durch Auswahl der besten Ideen im Rahmen von Expertenkreisen sowie anschließende parallele Bildung und Tests von n Prototypen
4. SELECT: Auswahl des Prototypen mit dem höchsten erwarteten Gewinn nach der Conjoint-Analyse (siehe Kapitel 3.1.2.4)
5. LAUNCH: Fertigung und Vertrieb der ausgewählten Produkte

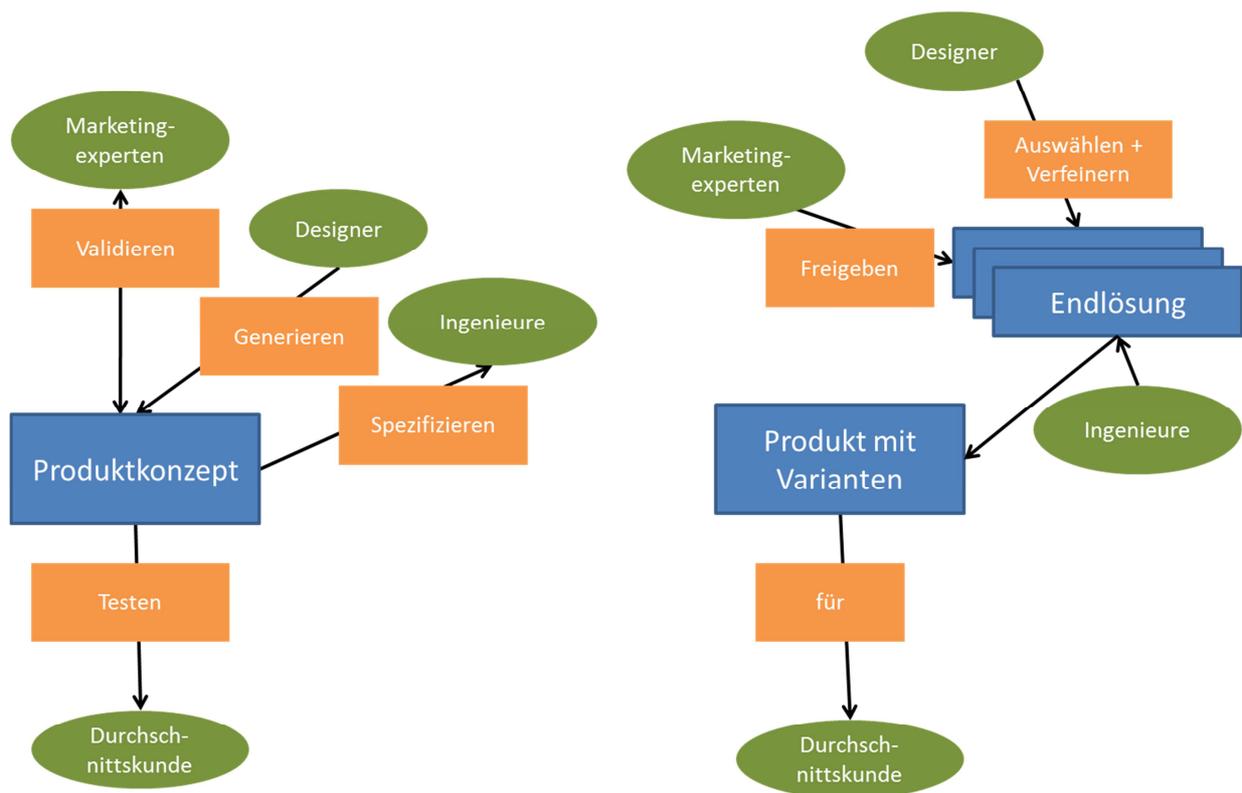


Abbildung 6: Aktivitäten der Marketingexperten, Designer und Ingenieure im Rahmen der Produktentwicklung

Nach VDI 2221 (VDI93) wird für die ersten Schritte der Produktentwicklung (Spezifikation, Marktforschung, Konzeptentwicklung, Konstruktion) eine detailliertere Methodik

vorgeschlagen – die Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Sie besteht aus folgenden acht Arbeitsschritten (VDI93):

1. Klären und Präzisieren der Aufgaben-/Problemstellung
2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen
3. Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
4. Gliedern in realisierbare Module
5. Gestalten der maßgebenden Module
6. Gestalten des gesamten Produktes
7. Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben
8. Weitere Realisierung

Aus diesen Beschreibungen der Produktentwicklung geht hervor, dass es sich bei diesem Produktlebenszyklusabschnitt um einen komplexen Prozess handelt, an dem viele Beteiligten mit unterschiedlichen Rollen teilhaben (Bor11, vgl. S. 63-84), wie der **Abbildung 6** zu entnehmen ist.

2.2.3. Die Designphase

Trotz der Vielfalt der unterschiedlichen Auffassungen von Design, sind sich die meisten Experten darüber einig, dass es sowohl die Form/Gestalt/Struktur als auch die Funktion des Produktes bestimmt. In der Designphase wird also das Produkt laut ermittelter Anforderungen in seiner allgemeinen Form und Funktion erdacht und spezifiziert (Ede08, vgl. S. 7). Dabei ist darauf zu achten, dass die Designanforderungen keine Allgemeingültigkeit, sondern eine Kontextabhängigkeit aufweisen. Das Designieren eines Produktes besteht also aus der Gestaltung einer kohärenten Beziehung zwischen Strukturen und Funktionen für eine bestimmte Kultur und einen bestimmten Anwendungskontext (Fas07, vgl. S. 52). Ziel der Designphase ist die Optimierung von Funktion, Leistung, Nutzen und Aussehen (visuelles Design, im erweiterten Sinne ästhetisches Design) des Produktes (Ede08, vgl. S. 12-13).

Die Bestimmung von Form und Funktion ist ein iterativer Austauschprozess vor allem zwischen zwei Gruppen von Experten mit unterschiedlichen Kompetenzen und Sichten auf Produkt und Prozess. Aus diesem Grund erweist sich eine Unterscheidung zwischen (funktionsorientiertem, technischem) Ingenieurdesign und (formorientiertem) ästhetischem Design als zweckmäßig. Das kreative Ingenieurdesign beruht auf die funktionalen Produktanforderungen, aus denen die entsprechenden Funktionen und Mechanismen und schließlich die Struktur des Produktes hergeleitet werden (Hat06, vgl. S. 40-41). Die Entscheidungen während des Ingenieurdesignprozesses können stets objektiv begründet werden. Der Begriff des ästhetischen Designs hat seinen Ursprung in dem altgriechischen Wort „aisthetika“, das „das was durch die Sinne wahrnehmbar ist“ bedeutet (Mac05, vgl. S. 109). Die inklusive Definition der Ästhetik beschränkt sich nicht nur auf die visuelle Form, Farbe und Textur („visuelles Design“), sondern bezieht das Verstehen und Voraussagen der Effekte der Informationen von allen Sinnen auf menschliche Wahrnehmungen und Kognition ein (Mac05, vgl. S. 109). Manchmal wird im engeren Sinne des Wortes Design mit

ästhetischem Design gleichgesetzt. Das ästhetische Design verfügt über einen wesentlich größeren Designraum als das technische Design (Bor11, vgl. S. 69). Es löst bei Kunden Emotionen aus und wird von ihnen subjektiv beurteilt. Ästhetisches Design gewinnt in der zunehmend hedonistischen, erlebnisorientierten Gesellschaft immer mehr an Bedeutung. Der auf (Kunden-)Vergnügen basierte Ansatz ist bereits Stand der Technik im Produktdesign (Bon05a, vgl. S. 234-248).

Die Schritte 5 und 6 nach VDI 2221 (siehe Abschnitt 2.2.2) beziehen sich auf die Formgebung des Produktes und liefern Vorentwürfe und Entwürfe als entsprechende Ergebnisse. Diese zwei Schritte bilden also die Designphase im engeren Sinne, die somit nach VDI 2221 ein Bestandteil der Produktentwicklung darstellt. Hingegen wird ästhetisches Design bei manchen Autoren nicht als Teil der technischen Entwicklung gesehen, sondern als Schlüsselglied bei der Vernetzung der Subprozesse der Produktentwicklung: Produktion, (technische) Entwicklung, Controlling, Einkauf und Vertrieb (Bra06, vgl. S. 85-86). Jedoch wird auch bei diesen Autoren die enge Verbindung zwischen ästhetischem Design und technischer Entwicklung anerkannt, die historisch aus der ursprünglichen organisatorischen Angliederung der Designer zur technischen Entwicklung stammt (Bra06, vgl. S. 85). In der Technikphilosophie wird ebenfalls der gemeinsame Ursprung von (gestalterischer) Kunst und (funktionaler) Technik erkannt (Omm09, vgl. S. 143-165).

Am MIT wurde durch den Begriff „Axiomatisches Design“ eine systematische Grundlage der Designaktivität geschaffen (Lee06, vgl. S. 449-485). Sie führt zwei Axiome ein, die der Produktdesignprozess erfüllen muss (Lee06, vgl. S. 449-485):

- Gewährleistung der Unabhängigkeit der funktionalen Anforderungen vom Design,
- Minimierung des Informationsgehaltes beim Design

Hieraus ist nochmals die geforderte Kohärenz zwischen Funktionen und Strukturen abzulesen. Erfolgreiches ästhetisches Design setzt Kenntnis der Produktfunktionen voraus, um diese nicht zu beeinträchtigen. Diese Feststellung impliziert zumindest am Anfang einen sequentiellen Verlauf der Designphase – die ästhetischen Aspekte von Design sollen berücksichtigt werden, sobald die technischen Anforderungen an Informationstransparenz und Effizienz erfüllt sind (Ili10, vgl. S. 10). Dazu ist ein reger Austausch zwischen Ingenieuren und Designern notwendig. Der Vorteil des virtuellen Designprozesses liegt genau in der „engen Vernetzung der Kommunikation zwischen den Gestaltern und den technisch orientierten Arbeitsdisziplinen“ (Bra06, S. 88).

Wichtige Ausgangsdaten für den Designer sind die Ziele (funktionalen Anforderungen) des Produktes und die Randbedingungen, die aus dem Anwendungskontext stammen. Während früher die Begrenzungen rein technischer und wirtschaftlicher Natur waren, verschiebt sich gegenwärtig der Schwerpunkt immer mehr in Richtung soziale, ökologische und ethische Begrenzungen. (Hat06, vgl. S. 1-11)

Die Designphase besteht nach Bordegoni (Bor11, vgl. S. 69) aus folgenden Hauptstufen:

- Konzept
- Modellierung
- Visuelle und Physikalische Evaluierung (Tests)
- Modifikationsstrategie

Die Qualität und Quantität der entwickelten Konzepte in der Konzeptstufe hängt wesentlich von der Kreativität der beteiligten Designer ab. Aus diesem Grund ist ein methodisches Vorgehen zur Kreativitätsförderung zielführend. Dieses Vorgehen soll aus folgenden zwei Schritten bestehen (Isa00, vgl. S. 30-31):

- Generierung zahlreicher Ideen (Divergieren, entspricht gut der Phase IDEATE vom „neuen Produktentwicklungsprozess“, siehe Abschnitt 2.2.2)
- Auswahl einiger Ideen zur Weiterentwicklung (Konvergieren, entspricht dem ersten Teil der Phase CREATE vom „neuen Produktentwicklungsprozess“, siehe Abschnitt 2.2.2)

Im ersten Schritt soll sich jeder Designer zuerst mit den Kundenanforderungen bekanntmachen. Viele Designer nutzen bereits im Dialog mit den Kunden Bildcollagen, denn laut Kansei Engineering (siehe Kapitel 3.3.1) sind Bilder bei der Überbringung von Gefühlen und Formgebungskonzepten effektiver als Worte (Lee05, vgl. S. 216-217). Anschließend generiert jeder Designer, losgelöst von allen Vorfixierungen, unterschiedliche Lösungsvorschläge zur Erfüllung der Kundenanforderungen und präsentiert diese der Arbeitsgruppe. Hierbei spielt die Plausibilität und die Machbarkeit der Vorschläge keine Rolle; die Gruppe soll sie bewertungsfrei zur Kenntnis nehmen. Die darauffolgende Ideenauswahl besteht in der Regel aus einem schrittweisen Herausfiltern der erfolgversprechendsten Ideen und Konzepte im Rahmen von intensiven Besprechungen des Designteams und deren Überführung in die nächste Konkretisierungsstufe (Bra06, vgl. S. 87). Leider wird genau in diesem entscheidenden Schritt der Kunde nicht einbezogen, sondern die Vorauswahl wird den unternehmensinternen Designexperten überlassen, aus Gründen des Verlasses auf Expertenerfahrung sowie der Geheimhaltung. Somit besteht die Gefahr, dass viele kundengerechte Ideen ausscheiden, ohne überhaupt den potentiellen Kunden präsentiert zu werden. Denn in der Regel schaffen es weniger als 10% der Ideen in ein Produktprojekt und die Umsetzung in Produkte erleben sogar nur weniger als 5% der Ideen (Sen09, vgl. S. 5-10). Diese nochmalige Reduktion der ausgewählten Konzepte erfolgt im Rahmen von Konzepttests. Hauptziele solcher Tests sind neben der Eliminierung aller als schwach empfundenen Konzepte auch die grobe Abschätzung der verkauften Menge und die zielgerechte Weiterentwicklung der Idee (Cra06, vgl. S. 178-202). Die anschließende Verfeinerung eines ersten guten Produktdesigns ist der zeitintensivste Teil der Produktentwicklung (Boy07, vgl. S. 17).

2.2.4. Kundeneinbindung in die Designphase

Im Zuge der steigenden Interaktivität und Reflexion des Ingenieurwesens soll auch die Designphase dynamisch gestaltet werden (Fuk11, vgl. S. 11). Zu diesem Zweck sind neue

Designparadigmen zu entwickeln, welche die Kunden in den Produktdesignprozess einbinden (Bor11, vgl. S. 72-78). Eine der Hauptherausforderungen im modernen (dynamischen) Designprozess ist die Verhandlung zwischen dem Designer und dem Kunden (Dav01, vgl. S. 21-32). Der Kunde versucht seine Vorstellungen und Wünsche zu formulieren und der Designer muss versuchen die Kundenaussagen zu nachvollziehen. Damit dies gelingt, muss sich der Designer von seinen eigenen Überzeugungen und Vorstellungen weitgehend abstrahieren. Die Kommunikation zwischen Designer und Kunde gestaltet sich oft schwierig, weil die Annahmen und die Terminologie der beiden Seiten unterschiedlich sind (Dav01, vgl. S. 21-32). Nutzer können Produktmerkmale auf einer Art und Weise wahrnehmen und interpretieren, welche die Designer nicht beabsichtigt haben (Kim11, vgl. S.180). Durch Kundeneinbindung in den Designprozess kann daher festgestellt werden, welche Designattribute die erwünschten emotionalen Qualitäten bei Kunden auslösen (Sur05, vgl. S. 161-162).

Ästhetik in Produktdesign ist oft lediglich auf das Aussehen beschränkt (Dun99, vgl. S. 43-68). Dies ist längst nicht mehr zeitgemäß, denn die heutigen intelligenten Produkte interagieren aufgrund deren Komplexität über zahlreiche, oft mehrfache Schnittstellen mit dem Nutzer. Daher wird das Konzept des schönen Aussehens auf schöne Interaktionen erweitert (Dun99, vgl. S. 43-68). Es muss in jedem Schritt des Designprozesses auf die benutzerfreundliche Bedienbarkeit des Produktes geachtet werden. Das auf **Abbildung 7** dargestellte Ping-Pong-Modell (Kah05, vgl. S. 289-290) stellt eine Verbindung zwischen den Stufen der Produktmaterialisation (links) und der Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit (rechts). Eine methodisch fundierte direkte Kundeneinbindung hat sich bisher lediglich bei der letzten Untersuchungsphase der Produktverifikation durchgesetzt.

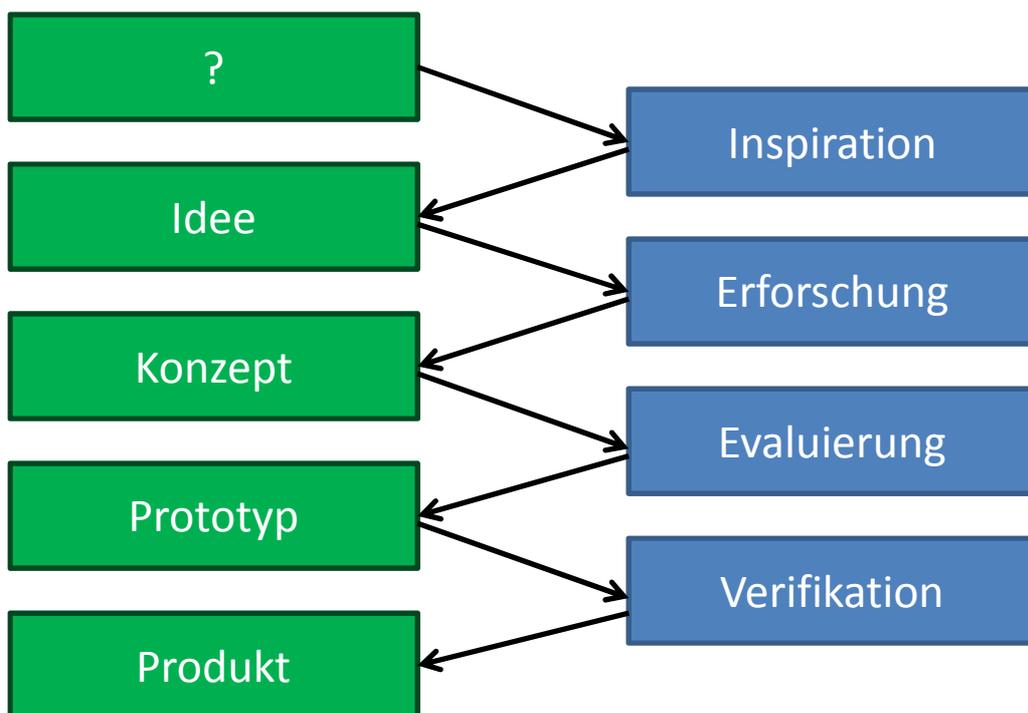


Abbildung 7: Das Ping-Pong-Modell

Die nutzerzentrierte Konzeptentwicklung stellt einen Erkundungsprozess in der frühen Produktentwicklung dar, mit dem Ziel der Schaffung neuer Produktinnovationen (Sal05, vgl. S. 727-740). Zur Gewährleistung eines hohen Erkenntnisgrades ist das Kundenerlebnis, das zu diesem Zeitpunkt nur anhand eines vorhandenen virtuellen Produktmodells möglich ist, die geeignetste Methode. Die individuelle emotionale Verarbeitung der Produktdarstellung berücksichtigt auch Rahmenaspekte und muss daher in einem ganzheitlichen Kontext der Marke ausgewertet werden. Das Kundenerlebnis stellt somit eine interne und subjektive Reaktion dar, die Kunden auf jeglichen direkten oder indirekten Kontakt mit einem Unternehmen zeigen (Mey07, vgl. S. 118). Die Auswertung liefert in der Regel zerstreute Kategorie-übergreifende Beispielergebnisse (genannt **Designperspektiven**), welche „potenzielle Widersprüche, klare Tendenzen und interessante Möglichkeiten“ des Produktdesigns aufzeigen (Man07, vgl. S. 113).

Der nutzerzentrierte Design stellt sich die Anpassung von Konzepten und deren technischen Umsetzung an das Verständnis des Nutzers als Aufgabe (Nor86, vgl. S. 61). Statt des üblichen korrigierenden Verhaltens von Nutzer im Rahmen von Produktverifikationen wird ein durchgängiges generierendes Vorgehen vorgeschlagen (Pon08, vgl. S. 127). Es wird zuerst eine Reihe unterschiedlicher möglicher Gestaltausprägungen erzeugt, aus denen im folgenden Schritt eine zielgerichtete Auswahl mit Kundenbeteiligung erfolgt. Für die notwendige dynamische Nachahmung der Anwendungssituation ist die Technologie der Virtuellen Realität ein vielversprechendes Werkzeug.

In dieser Arbeit wird die nutzerzentrierte Designkonzeptentwicklung hinsichtlich Form und Funktion als wichtiger Ansatz zum Frontloading von implizitem Kundenwissen über zukünftige Produkte im Rahmen von Erlebensszenarien in Virtueller Realität verfolgt. Demnach wird eine deutlich frühere Kundeneinbindung als nur die übliche Einbindung im Rahmen der Konzeptverifikation zur Entscheidungsunterstützung im Designprozess befürwortet. Dieser Ansatz stößt bei manchen Autoren auch auf Kritik, vor allem wegen seinem Aufwand (Bra06, vgl. S. 90). Die Kritiker betrachten die Methoden der Kundeneinbeziehung in den Entscheidungsprozess „nur als flankierende Maßnahmen“, die den Entscheidungsprozess „bestenfalls befruchten, aber nicht ersetzen“ (Bra06, S.90). Genau diese kritische Formulierung steckt in sich aber die Rechtfertigung des Ansatzes, denn sie lässt explizit die Möglichkeit offen, dass frühzeitige Kundeneinbindung doch Vorteile bei Designentscheidungen bringt. Solche Vorteile würden sich laut dem Frontloading-Ansatz (siehe Kapitel 1.1) wirtschaftlich wesentlich auswirken. Deshalb liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf die Entwicklung und Verifikation einer Methodik, welche die Erzielung konkreter Vorteile für den Produktentwicklungsprozess aus den allgemein anerkannten Potenzialen der frühzeitigen Kundeneinbindung in die Designphase fördert.

2.2.5. Gestaltung variantenreicher Produkte

Im Ingenieurwesen werden Varianten als technische Systeme mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Komponenten definiert, die Ähnlichkeiten bezüglich Geometrie, Werkstoff oder Technologie aufweisen (Ren07, vgl. S. 11). Die Varianten unterscheiden sich voneinander in den Ausprägungen mindestens eines Merkmals (Fir03, vgl. S. 1-8), teilen jedoch den größten Teil (die „Basis“) der Merkmale und können somit durch eine übergeordnete Bezeichnung als ein einziges technisches System zusammengefasst werden. Variation wird als eine mit einer Messskala erfassbare individuelle Differenz definiert, während die individuelle Differenz von Messskalen untereinander als Diversifikation bezeichnet wird (Yan11, vgl. S. 291-292). Die Variantengestaltung in der Produktentwicklung unterscheidet sich demnach von der Produktdiversifikation durch die gewährleistete Beibehaltung der Vergleichbarkeit der Varianten.

Produktvariationen sind bei einer Produktfamilie wegen der unterschiedlichen Lebenserfahrungen und kulturellen Hintergründe der Kunden innerhalb des Zielkreises notwendig (Bor11, vgl. S. 64). Die Variationsmerkmale eines Produktes stellen „relevante veränderbare Produkteigenschaften“ dar (Pon08, S. 133). Die Pluralität an Erwartungen und Vorstellungen kann im Idealfall durch vollständige unbegrenzte Individualisierbarkeit aller Variationsmerkmale („kontinuierliche Variationsräume“) erfüllt werden. Da in der Praxis für jedes Produkt immer ein Satz aus technischen, wirtschaftlichen und sonstigen Randbedingungen existiert, ist bei der Variation der meisten Merkmale nur eine diskrete Anzahl von Ausprägungen erlaubt („diskrete Variationsräume“). Die unterschiedlichen Kundenanforderungen können trotzdem durch ein entsprechend differenziertes Angebot zum größten Teil berücksichtigt werden.

Zur Erstellung eines diskreten Variantenraumes werden nach Ponn (Pon08, vgl. S. 231, 240) im Ingenieurwesen folgende Gestaltungsprinzipien angewendet:

- **Modularisierung:** Zerlegung eines Systems in leicht austauschbare Teile (Pon08, vgl. S. 240)
- **Plattformerstellung:** Zusammenfassung von Komponenten, Schnittstellen und Funktionen, die über eine ganze Produktfamilie vereinheitlicht werden können und somit als Standardbaustein zeitlich stabil sind (Sch01, vgl. S. 133)
- **Entwicklung von Baukastensystemen:** Kombinatorische Zusammensetzung einer möglichst großen Zahl an Produktvarianten aus einer möglichst geringen Zahl an Bausteinen mit unterschiedlicher Funktion und Gestalt (Bie71, vgl. S. 8-18)
- **Baureihenentwicklung:** Variantenbildung durch Skalierung und Größenstufung bei ansonsten gleicher Funktion, gleicher konstruktiver Ausführung und gleichen Schnittstellen (Ehr07, vgl. S. 612-617)

Die Entwicklung und Projektierung von kundenindividuellen Produkten kann als zweistufiger Prozess beschrieben werden, der aus folgenden Stufen besteht (Bac06, vgl. S. 14-15):

- Zusammenstellung eines optimalen Baukastens und Definition einer grundlegenden Produktarchitektur und eines Eigenschaftsraumes

- Kundenspezifische Konfiguration: Erhebung der Kundenwünsche und Durchführung mehrerer Anpassungsschritte, innerhalb welcher manchmal auch neue Module konstruiert werden („freie Modularisierung“)

Während in der ersten Stufe ein diskreter Variantenraum definiert wird, umfasst die zweite Stufe die kundenindividuelle Auswahl aus dem Variantenraum sowie die eventuelle Modifizierung und Erweiterung dieses Variantenraumes. Auf dieser Weise entsteht ein iterativer Innovationsprozess. Alle gegenwärtigen Konfigurationssysteme bestehen aus drei Grundkomponenten mit folgenden Aufgaben (Wüp03, vgl. S. 49-52):

- **Konfigurator:** Verwaltung und Durchführung der Prozesse der Abstimmung zwischen Kunde und Unternehmen, der Leitung des Kunden zu der für ihn optimalen Variante sowie der Prüfung und Sicherung der Konsistenz dieser Variante
- **Visualisierungswerkzeug:** Präsentation der gültigen und arbeitsfähigen Konfiguration in einer für den Kunden passenden Form
- **Validierungswerkzeug:** Simulation und Validierung der Konfiguration sowie Erstellung und Übermittlung von Informationen an andere Unternehmensbereiche

Die Festlegung der Variantenvielfalt eines Produktes ist ein Optimierungsproblem zwischen der wünschenswerten, vom Kunden angeforderten externen Vielfalt und der (vor allem aus Gründen der Beherrschbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse) zu reduzierenden internen Vielfalt (Pon08, vgl. S. 28). Aus Sicht der Wirtschaftlichkeit sind folgende Merkmalseigenschaften gewünscht: klar abgrenzbare diskrete Ausprägungen, endliche Wertebereiche mit wenigen Ausprägungen und Bildung von Klassen (Pon08, vgl. S. 133). Zur gleichzeitigen guten Erfüllung der negativ korrelierenden Ziele der Individualisierbarkeit und wirtschaftlichen Herstellung von Produkten wurde in der Industrie das Prinzip von Mass Customization eingeführt. Die Bezeichnung „Mass Customization“ ist im Sinne der verfolgten Zielkombination ein Oxymoron aus den gegensätzlichen Begriffen „Mass Production“ (Massenfertigung) und „Customization“ (kundenspezifische Anpassung); als passende deutsche Bezeichnung wird „Kundenindividuelle Massenproduktion“ vorgeschlagen (Pil06, vgl. S. 154). Nach Westbrook und Williamson (Wes93, vgl. S. 38-45) kann Mass Customization als „das Anbieten eines Produktes, das nach präzisen Kundenspezifikationen „von oben nach unten“ gefertigt wurde, zu einem Preis, der nur geringfügig über den Preis von Massenprodukten liegt“ definiert werden. Das Endprodukt muss Alleinstellungsmerkmale aufweisen und gleichzeitig erschwinglich („affordable“) sein. Dieses Prinzip hat in der Industrie eine Art moderner Revolution ausgelöst, denn es hinterließ tiefgreifende und bleibende Prozessänderungen, die die Wirtschaftlichkeit spürbar verbessert haben. Die Implementierung von Mass Customization und neuen Produktionsformen trug zusammen mit Downsizing und Process Reengineering entscheidend zur Erhöhung der Arbeits- und Kapitalproduktivität bei (Cor01, vgl. S. 19).

Gegenwärtig entstehen in der Industrie Produktvarianten immer noch als theoretische Kombinationen von Merkmalausprägungen, was zu einer unnötigen Angebotsredundanz und folglich zu unnötigen Kosten führt. Eine Studie der Initiative „Network of Automotive

Excellence“ (NoAE) vom Jahr 2004 zeigte, dass 30 Prozent der Varianten ohne Kundenwunsch entstehen oder als solche vom Kunden nicht bewusst wahrgenommen bzw. nicht bestellt werden. Diese Varianten müssten dann gar nicht Teil des Produktprogramms werden, wodurch die Variantenvielfalt ohne Beeinträchtigung der Erfüllung der Kundenwünsche um knapp ein Drittel reduziert worden wäre. Eine solche sinnvolle Variantenreduktion würde sich auf das Unternehmen monetär positiv auswirken – 80 Prozent der teilnehmenden Unternehmen in der Studie sagten aus, dass eine große Variantenvielfalt zu sinkender Rentabilität führt. (Sto04, vgl. S. 1-25)

Zur Realisierung einer kundengerechten Variantenvielfalt müssen repräsentative Kundengruppen in die Bestimmung des Variantenraumes integriert werden. Darüber hinaus muss der Zeitpunkt der Bestimmung in frühere Entwicklungsphasen vorverlagert werden. Für die Beurteilung sind realitätsnahe und kontexttreue Darstellungen der in diesen Phasen einzig verfügbaren virtuellen Variantenmodelle vorteilhaft. Mehrere Autoren haben die Technologie der Virtuellen Realität als Werkzeug zur Erzielung bester Ergebnisse bei der Visualisierung und Simulation eines konfigurierten Produktes für potentielle Kunden identifiziert (Pil06, vgl. S. 259-260), (Bac06, vgl. S. 14-19). Ein organisatorisches Problem bei der Beurteilung von Varianten stellt die Tatsache dar, dass ein Mensch nur eine begrenzte Anzahl an Produktvarianten in einem Zeitintervall beurteilen kann, denn der Beurteilungsprozess läuft langsam (Ben99, vgl. S. 99-118). Aus diesem Grund ist die Entwicklung neuer Methoden notwendig, die dem Mensch eine dynamische Interaktion mit dem Variantenraum bei Onlineerfassung seines Feedbacks erlauben. Somit wird die Versuchszeit pro Person auf zwei Wegen reduziert – einmal durch die Konzentration der Testperson nur auf Varianten, die sie interessieren und zusätzlich durch das Entfallen einer von der Erlebnisphase entkoppelten Beurteilungsphase. Eine solche Methode ist beispielsweise das Interaktive Evolutionäre Design (englisch „Interactive Evolutionary Design“), bei dem die Techniken Creative Evolutionary Design (für automatische zufällige Generierung von Varianten) und Evolutionary Art (für Einbindung von Menschen als Beurteiler) kombiniert werden; die Nutzeranforderungen und –Wünsche an das Design eines generisch konfigurierbaren Produktes werden im Rahmen eines konvergierenden Variantenvergleichsprozesses erfasst (Tia08, vgl. S. 705-706).

2.3. Grundlagen der Emotionsmodellierung

2.3.1. Begriffsklärung

Die menschlichen affektiven Zustände werden nach multiplen Kriterien in mehrere Klassen unterteilt. Scherer (Sch00, vgl. S. 137-162) klassifiziert beispielsweise affektive Zustände in: Emotionen, Stimmungen, interpersonelle Einstellungen, Präferenzen und affektive Dispositionen. Als mögliche Kriterien zur Unterscheidung dieser Klassen benennt er: Intensität, Dauer, Synchronisation, Bezug zu Ereignissen, Auslösung kognitiver Beurteilung, Änderungsgeschwindigkeit und –Frequenz sowie Einfluss auf das Verhalten (Sch00, vgl. S. 137-162). Die meisten Emotionsforscher sind sich über die Klassen Emotion, Stimmung (Laune) und Persönlichkeit (Temperament, Charakterzug) einig.

2.3.1.1. Emotionen

Der Emotionsbegriff wird in der Psychologie meist über seine Alleinstellungsmerkmale in Abgrenzung zu anderen affektiven Zuständen definiert. Nach Meyer, Reisenzein und Schützwohl sind beispielsweise drei Aspekte zur vollständigen Definition von Emotionen maßgeblich (Mey01, vgl. S. 24-27):

- Emotionen stellen aktuelle psychische Zustände von Personen und zeitlich datierte, unwiederholbare Ereignisse dar.
- Emotionen zeichnen sich durch: Qualität (Färbung), Intensität (auf einer Skala von „schwach“ bis „stark“) und kurze Dauer (in der Regel im Sekunden- bis Minutenbereich) aus.
- Emotionen sind objektgerichtet (beziehen sich immer auf ein Objekt).

Andere Definitionen betonen die biologischen Auswirkungen der Emotionen und die Auslösung körperlicher Signale. Nach Mauss (Mau05, vgl. S. 175-190) ist Emotion ein Begriff zur Beschreibung bestimmter Kombinationen aus folgenden Kategorien: innere Physiologie oder Biologie, subjektives Empfinden oder Gefühl und äußerlich gezeigtes Verhalten. Eine empfundene Emotion ist somit mit charakteristischen physiologischen Erscheinungen und äußerlichen Verhaltensmustern verbunden. Dies deckt sich sehr gut mit der evolutionstheoretischen Betrachtung von Emotionen, nach welcher sie unter anderem eine kommunikative Funktion gegenüber den Artgenossen erfüllen, indem sie über gelernte Körpersignale Wünsche, Absichten und Gedanken nonverbal vermitteln (Eul00, vgl. S. 47). Evolutionsbedingte Emotionen werden auch als Basisemotionen bezeichnet (siehe Kapitel 2.3.2.1). Eine weitere evolutionsbedingte Funktion der Basisemotionen ist die Aufforderung der Menschen, auf entscheidende, lebenswichtige Ereignisse rasch zu reagieren (Ekm10, vgl. S. 26). Dies geschieht anfangs ohne bewusste Beurteilung – der Mensch merkt Emotionen erst nachdem sie aufgetreten sind. Am Anfang einer emotionalen Reaktion befindet sich die Person im sogenannten Refraktärzustand, in dem nur Informationen kognitiv verarbeitet werden, die das herrschende Gefühl nähren (Ekm10, vgl. S. 56). Während der Refraktärzustand für den vorgeschichtlichen Mensch besonders in Gefahrensituationen lebensrettend war, kann er unter Umständen in der modernen Zeit zu Kommunikationsschwierigkeiten und Konflikten führen.

Basisemotionen weisen also drei spezifische Funktionen auf (Ste04, vgl. S. 33-70):

- Allokation von Wahrnehmungs-, kognitiven und Körperressourcen zum Erreichen des Emotionszieles
- Kommunikation sowohl der Antworten zu emotionsauslösenden Stimuli als auch der Aktionstendenzen zu der sozialen Umgebung
- Verbesserung und Integration intraorganismischer Informationen von dem Gehirn, dem somatosensorischen Cortex und dem autonomen (vegetativen) Nervensystem

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Emotionen sowohl individuelle körperliche und psychische als auch soziale Funktionen erfüllen.

Im Ingenieurwesen ist aus pragmatischen Gründen eine parametrisch-deskriptive Sicht auf Emotionen notwendig. Sie werden als semantische Variablen beschrieben, welche von den psychophysiologischen Zuständen des Menschen und ihren Änderungen abhängig sind (Lin11, vgl. S. 264).

2.3.1.2. Stimmungen

Laut Ekman unterscheiden sich Stimmungen von Emotionen in folgenden Hauptaspekten (Ekm94, vgl. S. 56-58):

- Stimmungen dauern länger als Emotionen (Stunden- bis Tagebereich); es lässt sich sagen, dass Stimmungen im Gegensatz zu kurzfristigen Emotionen (siehe Kapitel 2.3.1.1) und langfristigen Persönlichkeitsmustern (siehe Kapitel 2.3.1.3) mittelfristige affektive Zustände darstellen.
- Stimmungen besitzen keine typischen Gesichtsausdrücke, durch welche sie erkennbar sind.
- Stimmungen können auch von rein biologischen Prozessen (z.B. Tagesrhythmus, Krankheit) verursacht werden.
- Stimmungen sind im Gegensatz zu Emotionen nicht objektbezogen und ihr Auslöser kann daher nicht eindeutig identifiziert werden.

Neben der längeren Dauer weisen Stimmungen in der Regel auch geringere Intensität als Emotionen auf. Sie verringern die Schwelle für Auslösung begünstigender Emotionen (Ekm94, vgl. S. 57), woraus die Wechselwirkung zwischen Stimmungen und Emotionen erkennbar ist. Somit können Stimmungen als kontextuale und temporale Neigung (Disposition) zu bestimmten affektiven Zuständen betrachtet werden (Laz94, vgl. S. 83-84). Beispielsweise neigt man in gereizter Stimmung leichter und häufiger zu Zornausbrüchen.

Zur Messung von Stimmungen werden in der Regel standardisierte Fragebögen angewendet.

2.3.1.3. Persönlichkeit

Die Persönlichkeit beschreibt quasi-statische (relativ stabile, sich sehr langsam verändernde) Emotions- und Verhaltensmuster eines Individuums (Bal00, vgl. S. 198). Diese Muster werden „Traits“ (Charakterzüge) genannt. Sie geben Auskunft über das typische individuelle Verhalten von Personen in ähnlichen Situationen (McC03, vgl. S. 20-36).

Fast alle Experten gehen von fünf Faktoren aus, die die Persönlichkeit eines Menschen bestimmen. Diese Big-Five-Faktoren sind nach Goldberg (Gol90, vgl. S. 1216-1229):

- Extraversion („surgency“)
- Freundlichkeit („agreeableness“)
- Gewissenhaftigkeit („conscientiousness“)

- Emotionale Stabilität („emotional stability“)
- Intellekt („intellect“)

Einige Autoren nutzen Neurotizismus als Synonym für emotionale Stabilität (McC03, vgl. S. 42). Statt Intellekt wird manchmal Kultur (Nor67, vgl. S. 1-98), Offenheit für neue Erfahrungen oder Offenheit (McC03, vgl. S. 35) als fünfter Faktor vorgeschlagen.

Zur Messung von Persönlichkeitsfaktoren werden standardisierte Inventare angewendet. Die berühmtesten und am weitesten verbreiteten Messinventare sind:

- NEO-PI-R von Costa und McCrae (Cos92)
- Five Factor Personality Inventory (FFPI) (Hen03, vgl. S. 347-373)

2.3.2. Beschreibung und Bewertung bestehender Emotionsmodelle

Die Vielfalt der bestehenden Emotionsmodelle kann in drei Theoriekategorien zusammengefasst werden (Kup09, vgl. S. 84):

- **Theorie der Existenz diskreter Emotionen**, bei welcher eine Anzahl von Basisemotionen postuliert wird und weitere Emotionen sich als Kombinationen aus diesen Basisemotionen ableiten
- **Kognitive Theorie der Prototyp-Familien**, bei welcher die kognitive Bewertung vorangehender Situationen und Ereignisse als Voraussetzung für die Auslösung von Emotionen postuliert wird und die Emotionen hierarchisch nach unterschiedlichen Kriterien gegliedert sind
- **Theorie der Dimensionen**, bei welcher die Existenz allumfassender orthogonaler Emotionsdimensionen postuliert wird und somit alle Emotionen als Punkte bzw. Punktreionen in einem mehrdimensionalen Koordinatensystem dargestellt werden können

Gegenwärtig existieren mehrere miteinander kombinierbare Methoden zur Emotionserkennung: anhand von neurobiologischen oder peripheren physiologischen Signalen, durch Beschreibung des subjektiven Empfindens, durch Verhaltensbeobachtung usw., die ausführlicher in Kapitel 3.1 behandelt werden.

2.3.2.1. Diskrete Emotionsmodelle

Der berühmte Emotionsforscher Paul Ekman hat das Vorhandensein von sieben Basisemotionen durch eine extensive empirische Studie belegt, in der er westliche Kulturen mit isoliert lebenden analphabetischen Völkern verglich. Als Kriterium zur Definition von Basisemotionen hat er den mimischen Emotionsausdruck festgelegt. Dieselbe Basisemotion kann demnach zwar die Folge unterschiedlicher kulturspezifischer Emotionsauslöser sein, jedoch manifestiert sie sich bei allen Menschen über universale mimische Ausdrücke (sogenannte „Ekman-Gesichter“). Die sieben Basisemotionen nach Ekman sind: Freude,

Angst, Ekel, Trauer, Zorn, Überraschung und Verachtung. Von denen weist nur die Freude immer positive Valenz auf, Überraschung kann sowohl positiv als auch negativ empfunden werden, während sich die restlichen fünf Basisemotionen immer unangenehm anfühlen. (Ekm10, vgl. S. 1-293)

Die Emotionsauslöser für die Basisemotionen werden von Frijda als Belange („demands“) bezeichnet; sie sind Reize der Umgebung, die uns in Zusammenhang mit für uns wichtigen Dingen bedeutsam scheinen (Fri86, vgl. S. 277). Somit stehen Emotionen in enger Verbindung mit unseren körperlichen (Hunger, Sex usw.) und psychischen (Wertesystem, Ziele usw.) Bedürfnissen. Die nicht-evolutionsbedingten Emotionsauslöser werden in bestimmten situativen und kulturellen Kontexten durch Wiederholung erlernt. Dabei entstehen zwischen bestimmten Zellgruppen unseres Gehirns neue Verknüpfungen, die in ein konditioniertes Netz oder Zellensemble (englisch „cell assembly“) resultieren (Heb49, vgl. S. 60).

Andere Autoren schlagen sich teilweise unterscheidende Sätze von diskreten Emotionen vor, die deutlich schwächer empirisch fundiert sind als die sieben Basisemotionen nach Ekman. Das Modell nach Plutchik (Plu60, vgl. S. 153-171) besteht beispielsweise aus acht diskreten Emotionen: Freude („happiness“), Trauer („grief“), Zorn („anger“), Ekel („disgust“), Überraschung („surprise“), Angst („fear“), Ahnung/Erwartung („anticipation“) und Resignation („resignation“). In der Taxonomie von Russell und Lanius kommt auch Vergnügen („pleasure“) als diskrete Emotion vor (Rus84, vgl. S. 205-220), die hinsichtlich des hedonistischen Erlebens von Produkten (siehe Kapitel 2.4.3) sehr wichtig ist.

Die diskreten Emotionsmodelle weisen eine Reihe von Nachteilen auf. Eine große Schwierigkeit stellt die einheitliche Definition von Kriterien zur Emotionsklassifizierung dar – durch ihre unterschiedliche Festlegung werden teilweise miteinander schwer vergleichbare Modelle entwickelt. Hiermit verbunden ist die schwierige Hierarchiebildung wegen unterschiedlicher Konkretisierungsniveaus und Interdependenzen zwischen Emotionen. Der benutzte Wortschatz ist oft unsauber, unpräzise, mehrdeutig und zu arm und häufig sind Übersetzungen zwischen Sprachen schwer oder gar unmöglich. Dadurch gestaltet sich die Aufgabe der Findung einer allumfassenden Genealogie von diskreten Emotionen als praktisch unbeherrschbar. (Ave94, vgl. S. 7-14)

2.3.2.2. Kognitive Emotionsmodelle

Die kognitiven Emotionsmodelle sind mit den diskreten Emotionsmodellen (siehe Kapitel 2.3.2.1) nah verwandt. Sie lassen sich auch als Untergruppe der diskreten Modelle betrachten, als deren Klassifizierungskriterium der kognitiv bewusst beurteilte Emotionsauslöser fungiert. Die kognitive Einschätzung relevanter Sachverhalte wird daher als notwendige Bedingung für eine Emotion angesehen (Fri93, vgl. S. 225-231). Da diese Festlegung aus der Psychologie im Kontext der Produktbeurteilung der umstrittenen Theorie der rationalen Entscheidungsfindung entspricht (siehe Kapitel 2.4.1), ist die Betrachtung der

kognitiven Emotionsmodelle als getrennte Gruppe im Rahmen dieser Arbeit berechtigt und sinnvoll.

Kognitive Emotionsmodelle sind deskriptive Modelle des emotionalen Verhaltens, welche von manchen Autoren als passend für die Simulation emotionsbasierter Interaktionen betrachtet werden (Kes08, vgl. S. 255-271). Das bekannteste Beispiel ist die Einschätzungstheorie (englisch „appraisal theory“), die besagt, dass die subjektive Bewertung einer Situation dafür bestimmend ist, ob eine Emotion entsteht und welche Qualität und Intensität sie hat (Laz97, vgl. S. 396). Emotionen werden laut dieser Theorie durch bewusste kognitive Bewertung vorangehender Situationen und Ereignisse ausgelöst und ihre Musterung hängt nach dem Komponentenansatz als Kombination unterschiedlicher Antwortkomponenten (subjektive Gefühle, Physiologie, Gestik, Mimik) vom Ergebnis des Beurteilungsprozesses ab (Weh10, vgl. S. 50). Im Bezug auf den Umgang mit technischen Produkten wurden folgende vier situative Faktoren der Emotionsentstehung ermittelt: Zuschreibung von Verantwortung, Aufgabenanforderung, Zielkongruenz und Anonymität (Fre09, vgl. S. 138).

In der klassischen kognitiven Emotionstheorie nach Ortony, Clore und Collins (Ort88, vgl. S. 19) sind drei Arten von valenzbehafteten Emotionsauslösern postuliert: Ereignis (erwünscht oder unerwünscht; analog zur Einschätzungstheorie), Akteur (lobenswert oder tadelnswert) und Objekt (attraktiv oder unattraktiv). Emotionen sind nach dieser Theorie valenzbehaftete Reaktionen zu einer der drei Perspektiven auf die Welt, die den drei Arten der Emotionsauslöser entsprechen (Ort88, vgl. S. 18). Die Theorie nach Ortony, Clore und Collins kann daher als eine Erweiterung der Einschätzungstheorie betrachtet werden.

Ernsthafte begründete Kritik der kognitiven Emotionstheorien kommt vor allem vom berühmten Emotionsforscher Zajonc. Er behauptet, dass die Präferenzbildung keine bewusste kognitive Verarbeitung benötigt (Zaj80, vgl. S. 151-175). Zajonc lieferte ein Beweis dafür, indem er zeigte, dass bedeutungslose Objekte, die dem Menschen mit einer Zeitdauer unterhalb der bewussten Wahrnehmungsschwelle (einige Millisekunden) projiziert werden, ihn doch emotional beeinflussen (Zaj94, vgl. S. 293-297). Diesen Objekten wurde nämlich bei einem späteren bewussten Vergleich mit anderen Objekten tendenziell den Vorrang gegeben.

Trotz der strukturierteren Vorgehensweise als bei den diskreten Emotionsmodellen, weisen die kognitiven Emotionsmodelle im direkten Vergleich ähnliche Nachteile auf: Vielfalt von Emotionsauslösern als Klassifizierungskriterien, schwere Hierarchiebildung und Abhängigkeit vom Wortschatz. Kognitive Emotionsmodelle sind leider nur auf linguistische emotionale Taxonomien, wie Basic English Emotion Vocabulary (BEEV), angewiesen (Kes08, vgl. S. 255-271).

2.3.2.3. Dimensionale Emotionsmodelle

Die dimensionalen oder kontinuierlichen Emotionsmodelle betrachten Emotionen als Kombinationen von zwei oder drei voneinander unabhängigen (orthogonalen) Emotionsdimensionen.

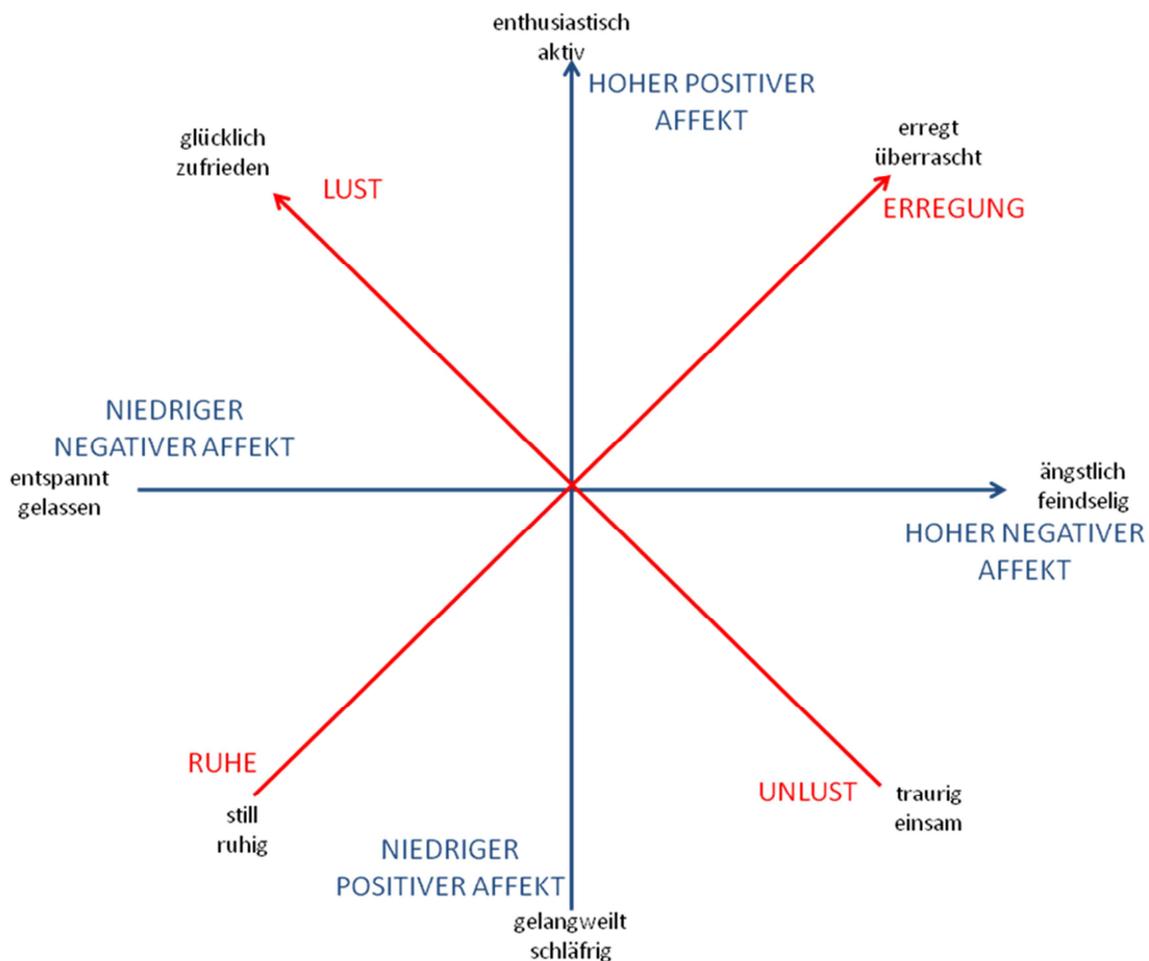


Abbildung 8: Das Circumplex Modell mit beispielhaften Platzierungen von diskreten Emotionen

Als Grundlage für spätere Weiterentwicklungen diente das als „Circumplex“ bekannte zweidimensionale Emotionsmodell, das im Jahre 1985 Watson und Tellegen vorschlugen (Wat85, vgl. S. 219-235). In diesem Modell werden auf der vertikalen Achse der positive Affekt (von „niedrig“ bis „hoch“) und auf der horizontalen Achse der negative Affekt (von „niedrig“ bis „hoch“) als getrennte Anteile einer Emotion aufgetragen (**Abbildung 8**). Diese ursprüngliche Variante wurde von Larsen und Diener (Lar92, vgl. S. 25-29), bzw. von Russell (Rus97, vgl. S. 205-220) modifiziert. Sie drehten das Circumplex Modell um 45° im Uhrzeigersinn und nahmen somit die bipolaren Dimensionen Vergnügen/Valenz als Ordinate und Erregung als Abszisse des neuen Koordinatensystems. Die beiden zueinander orthogonalen bipolaren Kontinuen Lust-Unlust („pleasantness (P)“-„unpleasantness (U)“) und Erregung-Ruhe („arousal (A)“-„relaxation (R)“) bilden somit ein zweidimensionales

(Valenz, Erregung)-Raum mit vier Quadranten. Ähnlichkeiten zum Modell von Russel weist das Wakuwaku-Modell auf, bei dem die vertikale Achse das Kontinuum angenehm-bedrückend („enjoyable - gloomy“) und die horizontale Achse das Kontinuum spannend-unspannend („exciting - non-exciting“) darstellt (Ohk11, vgl. S. 239).

Das in dieser Arbeit benutzte PAD-Modell (**Abbildung 9**) entstand als eine Erweiterung des Circumplex Modells nach Russel um die dritte bipolare Dimension Dominanz-Ergebenheit. Der Name dieses dreidimensionalen Emotionsraumes leitet sich aus den Anfangsbuchstaben der englischen Namen seiner drei Dimensionen: „pleasure (P)“, „arousal (A)“ und „dominance (D)“ ab. Die meisten Wissenschaftler sind sich einig über die Dimensionen Valenz (P) und Erregung (A), während für die Dominanz (D) alternative Vorschläge gemacht werden, wie z.B. Gewissheit („certainty“) (Bat05a, vgl. S. 489-492). Dominanz wird hingegen im Bezug auf Personen von einigen Autoren nicht als Emotionsdimension, sondern als langfristige affektive Dimension bei kontinuierlichen Persönlichkeitsmodellen vorgeschlagen. Beispielsweise besteht das zweidimensionale Persönlichkeitsmodell nach Ball und Breese (Bal00, vgl. S. 198) aus den Dimensionen Dominanz (relative Disposition eines Individuums zur Kontrolle über andere) und Freundlichkeit (Tendenz zu Wärme und Sympathie).

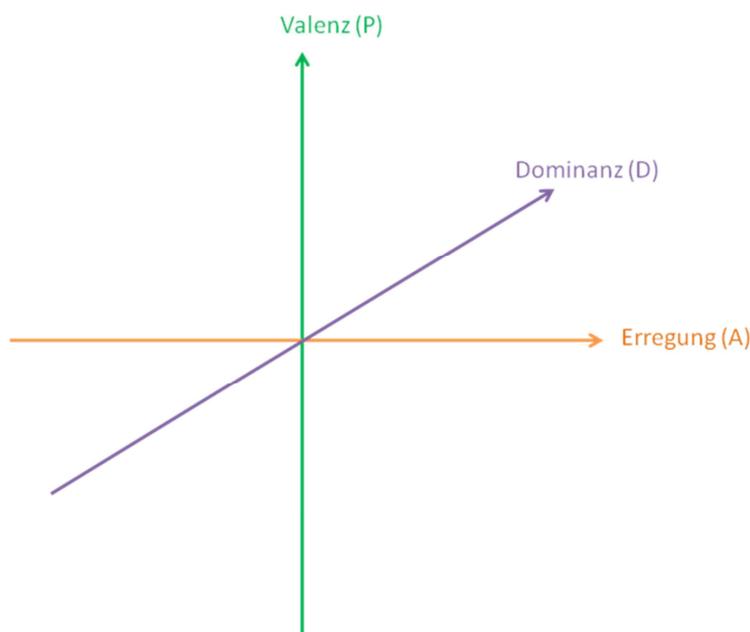


Abbildung 9: Das PAD-Modell

Die Vorteile der dimensional Modelle liegen in der Möglichkeit einer hierarchischen Emotionsklassifikation nach wenigen kontinuierlichen bipolaren Kriterien und in der Möglichkeit der Definition von Mischemotionen (Kup09, vgl. S. 84). Sie sind für Ingenieur Anwendungen wegen der Einfachheit im Vergleich zur Vielfalt der verbal beschreibbaren diskreten Emotionen pragmatischer und passender. Kontinuierliche Modelle werden auch von Ingenieuren selbst vorgeschlagen, wie beispielsweise die Farbplatte nach Li (Li10, vgl. S. 2).

2.3.2.4. Hybride Emotionsmodelle

Bei hybriden Emotionsmodellen werden diskrete und dimensionale Emotionskonzepte miteinander verknüpft, um die Vorteile beider Modellarten zu nutzen und deren Nachteile auszugleichen. Beispielsweise werden für positive und negative Valenz Emotionsklassifizierungen unternommen (Gmy00, vgl. S. 391-392).

Ein bekannter Vertreter der hybriden Emotionsmodelle ist das Genfer Emotionsrad (Sch05a, vgl. S. 695-729). Es postuliert einen zweidimensionalen Emotionsraum mit den beiden bipolaren Achsen Valenz und Kontrollierbarkeit/Dominanz und entsprechenden vier Quadranten, in denen insgesamt 16 Emotionen positioniert sind. Der Quadrant der Dominanz und positiven Valenz enthält die Belohnungsemotionen (z.B. Freude, Stolz, Zufriedenheit), der Quadrant der Nichtdominanz und positiven Valenz die Annäherungsemotionen (z.B. Interesse, Hoffnung, Überraschung), der Quadrant der Dominanz und negativen Valenz die antagonistischen Emotionen (z.B. Ärger, Ekel, Feindseligkeit) und der Quadrant der Nichtdominanz und negativen Valenz die Resignationsemotionen (z.B. Trauer, Angst, Langeweile).

2.4. Das subjektive Kundenempfinden über Produkte

2.4.1. Wahrnehmung und Entscheidungsfindung

Der Mensch erforscht die Umgebung durch die Rezeptoren in seinen Sinnen: Augen, Ohren, Haut, Nase und Zunge. Eine proportionale Darstellung der Empfindungsstärke aller menschlichen Sinne stellt das Human Homonculus dar (Mac05, vgl. S. 112-113). Aus diesem Modell lässt sich feststellen, dass die Haut über eine große Anzahl von Rezeptoren verfügt und dass insbesondere die taktile Erforschung der Umgebung durch die Hände starke Reize hervorruft. Das Human Homonculus liefert jedoch keine Aussage über den prozentuellen Anteil der Umgebungsinformationen, die ein Sinnesorgan überträgt, denn es berücksichtigt nicht die Ruhezeiten der einzelnen Rezeptoren. Zur Informationsdarstellung mittels technologischer Lösungen wird oft auch aus der menschlichen Eigenschaft Synästhesie Gebrauch gemacht. Darunter wird die (erlernte) Wahrnehmung der Signale für einen Sinn über einen anderen menschlichen Sinn verstanden (Käl05, vgl. S. 80). Ein vertrautes Beispiel dafür ist die Darstellung des Temperaturverlaufes mit einem Farbenspektrum von blau („kalt“) bis rot („heiß“).

Das menschliche Gehirn speichert nur diejenigen Eigenschaften eines Produktes ab, die für eine präzise Wiedererkennung notwendig sind – diese Eigenschaften werden konstituierende Merkmale (eines Prototyps) genannt (Sch10, vgl. S. 49-53). Wegen dieser Gehirnfunktion sind Menschen in der Lage unterschiedliche Ausführungen eines Produktes als Mitglieder derselben Klasse (Produkt oder Produktfamilie) zu identifizieren.

Hauptproblem der Theorie der Entscheidungsfindung ist die Erklärung der dazu benutzten und geeigneten Wege. Lange Zeit lieferten klassische kognitive (rationale) und affektive (emotionale) Theorien konkurrierende Ansätze.

Die klassischen **kognitiven Entscheidungsfindungstheorien**, wie beispielsweise das Idealpunkt-Modell (Pil06, vgl. S. 114), setzen bewusste rationale Kaufentscheidung voraus. Nach dem Idealpunkt-Modell besitzt jeder Käufer eine genaue Vorstellung der Produkteigenschaften, die sein individualisiertes Produkt kennzeichnen (Pil06, vgl. S. 114). Starke Emotionen werden in den kognitiven Theorien als unerwünschte Zustände betrachtet, denn sie beeinträchtigen das rationale Denken. Die Beurteilung der eingehenden Informationen seitens einer Person ist von ihrem momentanen individuellen Erwartungsniveau bestimmt (Gri10, vgl. S. 10).

Die **emotionalen Entscheidungsfindungstheorien** dagegen setzen unbewusste Prozesse voraus, die die Kaufentscheidung bestimmen. Besonders Kunden, welche mit einem Produkt unerfahren sind, verlassen sich oft hauptsächlich auf den ersten Eindruck und das Styling, mit der Erwartung, dass das Produkt ein lebendiges Objekt darstellt, das durch seine Gestalt ein emotionales Bild ausstrahlt (Hsi06, vgl. S. 553-564). Emotionsauslösend wirken also nicht nur die reinen Produkteigenschaften, sondern vielmehr die Produkte im weiteren Sinne – in deren Rolle als Agenten (Standarte) und Versprechungen für zukünftige Nutzung oder Eigentum (Des05, vgl. S. 58). Dies impliziert die individuelle Natur der Emotionen zu bestimmten Produkten. Sie werden letztendlich von persönlichen Interpretationen (englisch „construals“) der Produkteigenschaften ausgelöst und es existiert daher keine allgemeingültige eindeutige Beziehung zwischen dem Aussehen eines Produktes und den von ihm hervorgerufenen emotionalen Antworten (Des05, vgl. S. 64).

Einige Autoren schlagen eine **zeitabhängige Kombination aus kognitiver und emotionaler Entscheidungsfindung** als zutreffend vor. Affektive Komponenten sind demnach besonders am Anfang eines Bewertungsprozesses wichtig, während kognitive Komponenten mit zunehmender Erfahrung der Konsumenten zum Zielobjekt an Bedeutung gewinnen (Hom06b, vgl. S. 28). Die Opponent-Prozess Theorie erklärt das Nachlassen der Emotion als Gewöhnungseffekt, der wegen der häufigen Stimulation des zentralen Nervensystems durch einen bestimmten Reiz entsteht (Bow05a, vgl. S. 1044-1053).

Die dualistische Darstellung von Kognition und Emotion als Gegenpole entspricht nicht der Wirklichkeit, denn Emotion und Kognition sind keine strikt voneinander trennbaren Begriffe. Emotionen stellen mentale Zustände dar und somit ist Kognition eine Voraussetzung für ihre Existenz. Das wichtigste Alleinstellungsmerkmal von Emotionen gegenüber Kognition ist die (zumindest anfangs) unbewusste Informationsverarbeitung (siehe Kapitel 2.3.2.2). Dabei werden äußere Stimuli mit der individuellen virtuellen Struktur von Zielen, Werten und Einstellungen verglichen. (Clo94, vgl. S. 181-191)

Moderne Theorien betrachten Kaufentscheidungen als **zielgetrieben**. Ziele werden als erwünschte (Soll-)Zustände definiert, die seitens des Kunden bei Produkten nicht vollständig explizit (bewusst), sondern teilweise auch implizit (unbewusst) gesucht werden. Mit ihrer systematischen Verknüpfung tragen unbewusste emotionale und bewusste rationale Komponenten komplementär zur Urteilsbildung und Kaufentscheidung bei und sind somit

auch bei den zielgetriebenen Entscheidungsfindungstheorien keine Gegenspieler mehr.
(Mos09, vgl. S. 1-26)

Die **duale Theorie der Informationsverarbeitung** besagt im Einklang mit den zielgetriebenen Entscheidungsfindungstheorien auch, dass Menschen bei der Informationsverarbeitung sowohl rationale als auch (implizite) erfahrungsbasierte Denksysteme benutzen (Epp94, vgl. S. 709-724). Erfahrung wird dabei als dynamisches, komplexes und subjektives Phänomen verstanden, das die Reaktionen zu äußeren Anreizen beeinflusst (Mac98, vgl. S. 175-176). Ergebnisse neurobiologischer Untersuchungen heben die relative Wichtigkeit der erfahrungsbasierten Entscheidungsfindung gegenüber der rationalen Urteilsbildung hervor. Sie zeigen, dass die Lösungsauswahl sehr oft nach Übereinstimmung mit früheren positiven oder negativen Erfahrungen getroffen wird (Hat06, vgl. S. 4-5).

Ähnlich zur dualen Theorie der Informationsverarbeitung, gehen Norman, Ortony und Revelle (Nor04, vgl. S. 21-22) davon aus, dass der Mensch die durch seine Sinne wahrgenommenen Informationen auf **drei Ebenen** verarbeitet:

- Viszerale Ebene (biologisch bedingte, schnelle und affektive Verarbeitung)
- Verhaltensebene (routinemäßige Verarbeitung, die als Bindeglied zwischen der viszeralen und reflektierenden Ebenen dient; wird von der reflektierenden Ebene beeinflusst und beeinflusst selber die viszerale Ebene)
- Reflektierende Ebene (bewusste bewachende und korrigierende Verarbeitung)

Das emotionale Design wird laut Norman vorwiegend auf viszeraler Ebene verarbeitet (Nor04, vgl. S. 25).

Ein anderer üblicher Weg der Entscheidungsfindung ist durch **Hypothese und Beweisprozess** – eine Entscheidung wird als richtig angenommen und danach wird versucht diese Hypothese zu beweisen oder gegebenenfalls zu widerlegen (Hat06, vgl. S. 4). Es erweist sich also als durchaus üblich, dass der Mensch eher dazu neigt, intuitive Lösungen zu finden als diese nach umfassender logischer Beurteilung abzuleiten (siehe Kapitel 1.1).

Schlussfolgernd lässt sich zusammenfassen, dass Einstellungen und Entscheidungen dynamische Nutzermerkmale darstellen, die auf Änderungen der Umgebung und auf intrinsische Faktoren (Erinnerungen, Motive, Werte) adaptiv reagieren (Weh00, vgl. S. 50).

Konkret für das Marketing bedeuten die Erkenntnisse der Entscheidungsfindungstheorien, dass die Produktauswahl eines Konsumenten von vielen unterschiedlichen Gründen mit individuell variablem Anteil bestimmt wird. Dazu zählen unter Anderem: Marke, Produktattribute (Funktion, Form/Design, Werkstoff usw.), Nutzungsgrad, Emotionen (Bor11, vgl. S. 67-68). Das Design gewinnt beim Kaufentscheidungsprozess immer mehr an Bedeutung, denn die technologischen Merkmale zur Darstellung eines Markenprofils weisen immer weniger Tragfähigkeit auf (Bra06, vgl. S. 85). Durch das Design werden die Wahrnehmung der Marke und des Produktes geprägt (Bra06, vgl. S. 85). In die Evaluierung zur Vorbereitung der Kaufentscheidung fließen viele subjektive Faktoren herein: Gedächtnis,

Informationssuche und Glauben, Einstellungen und Absichten, soziale und individuelle Merkmale usw. (Hil06, vgl. S. 47-65). Die Designattribute werden also durch Filter bezüglich persönlicher, sozialer und kultureller Bedeutung interpretiert (Mac98, vgl. S. 182).

2.4.2. Der Qualitätsbegriff

Die klassischen Definitionen von Qualität betrachten sie als objektive Eigenschaft, die messbar und allgemeingültig vergleichbar ist. Qualität wird als Grad der Erfüllung von Spezifikationen (Muf95, vgl. S. 154-169) oder als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“ (ISO05) erfasst. Laut aktueller ISO-Definition ist daher Qualität eine innewohnende Eigenschaft eines Produktes und somit von der Sichtweise des einzelnen Kunden unabhängig.

Deming (Dem86, vgl. S. 168-173) und Juran (Jur88, vgl. S. 1-16) sehen im Gegensatz dazu Qualität als ein Konzept, das nur seitens der Nutzer praktisch nützlich definiert werden kann und daher subjektiv ist. In der Industrie wird oft der Begriff wahrgenommene Qualität (englisch „perceived quality“) als Synonym für subjektive Qualität benutzt; sie stellt die individuelle Wahrnehmung und Interpretation der objektiven Qualität seitens eines bestimmten Nutzers dar (Tin02, vgl. S. 548). Auch in der Philosophie wird oft der Qualität subjektive Natur bescheinigt, wie beispielsweise von Nietzsche, der sie als „perspektivische Wahrheit“ für einzelne Menschen bezeichnet (Omm06, vgl. S. 309).

Die meisten heutzutage im Ingenieurwesen angewendeten Qualitätskonzepte sind integrativ und beziehen sowohl die objektive als auch die subjektive Qualitätskomponente ein. Die Produktqualität besteht nach Garvin (Gar91, vgl. S. 43-51) aus den acht Dimensionen: Performanz/Leistung, Merkmale, Zuverlässigkeit, Standarderfüllung, Lebensdauer, Servicequalität, Ästhetik und wahrgenommener Qualität. Von diesen acht Qualitätsdimensionen sind die beiden letzten rein subjektiv; darüber hinaus weisen die Zuverlässigkeit und die Servicequalität ebenfalls subjektive Komponenten auf. Die wahrgenommene Qualität wird in der Betrachtung von Garvin eher in starkem Bezug mit Firmenimage und Marke als mit einem bestimmten Produkt verstanden, während die auf ein physikalisches Produkt bezogene Wahrnehmung eher der Ästhetik zugeordnet wird. Bruhn und Murmann (Bru98, vgl. S. 49-61) schlagen eine breitere Auffassung der wahrgenommenen Qualität als Konzept aus folgenden drei Komponenten vor: Gesamteindruck („overall“), kundenspezifische Anpassung („customization“) und Zuverlässigkeit („reliability“). Die Wichtigkeit der kundenspezifischen Anpassung hebt auch Juran (Jur88, vgl. S. 1-16) hervor, die für ihre Berücksichtigung bei der Evaluierung der wahrgenommenen Qualität eines Sachgutes oder einer Dienstleistung plädieren. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt des gegenwärtigen Angebotes variantenreicher und individualisierter Produkte auf dem Markt, stellt sich nur eine Qualitätsbeurteilung hinsichtlich des kundenindividuellen Wunschproduktes als relevant und nützlich heraus.

Nach Expertenansicht fehlt der Qualitätsforschung immer noch eine überzeugende Methode, welche die zuverlässige Zuordnung von sinnesbezogenen und emotionalen

(subjektiven) Werten zu den sie auslösenden physikalischen (objektiven) Qualitätsmerkmalen ermöglicht (Mac05, vgl. S. 118). Während die verbale Beschreibung subjektiver Werte schon fortgeschritten ist (z.B. im Rahmen von Kansei Engineering, siehe Kapitel 3.3.1), existieren für die Identifikation der vorwiegend emotional bewerteten Produkteigenschaften selbst lediglich erste Ansätze (z.B. im Rahmen von Citarasa Engineering, siehe Kapitel 3.3.2). Diese Produkteigenschaften werden als emotional oder hedonistisch bezeichnet. Sie beziehen sich auf die Erfüllung nichtinstrumentaler Bedürfnisse, besitzen affektive Qualität und führen zur Entstehung von Emotion (Has05a, vgl. S. 151-171). Der Hedonismus stellt einen Leitwert der postmateriellen Gesellschaft aus den 80er Jahren des zwanzigen Jahrhunderts dar, der in den komplexeren postmodernen Wert des Individualismus übergegangen ist (Bar03, vgl. S. 48-55). Die hedonistische Qualität befriedigt drei Bedürfnisse: den Drang von Menschen zur Verbesserung ihrer Kenntnisse und Fertigkeiten, das Bedürfnis zur Kommunikation von Werten an relevante Andere und das Bedürfnis nach Symbolwirkung (Vorfremde und Erinnerung an emotional positiv geladenen Erlebnissen durch die Wahrnehmung bestimmter Produkteigenschaften) (Has05b, vgl. S. 267). Das Interesse an hedonistischen Produkteigenschaften ist nicht nur auf das gleichnamige sozialabstiegsbedrohte Milieu beschränkt, dem schätzungsweise in Deutschland knapp 10% der Einwohner gehören (Ras05, vgl. S. 68-74); hedonistische Komponenten des Kaufverhaltens sind vielmehr bei fast allen postulierten Milieus (Privatkundensegmente) nach Raschke in Deutschland zu merken.

Während die Wissenschaftler früher eine klare bidimensionale Trennung zwischen objektiven (nützlichen) und subjektiven (hedonistischen) Produkten, wie beispielsweise durch die Skala von Batra und Ahtola (Bat91, vgl. S. 159-170) oder durch das Personal Involvement Inventory von Zaichkowsky (Zai87, vgl. S. 34) ermittelt, befürwortet haben, vermehren sich heutzutage immer mehr die Nachweise ihrer häufigen Ambiguität (Cro92, vgl. S. 239-249). Ein identischer Versuch in zwei unterschiedlichen Kulturkreisen hat eine positive Korrelation zwischen Schönheit (Ästhetik) und Funktionalität bestätigt (Kur95, vgl. S. 292-293), (Tra00, vgl. S. 127-145). Somit ist es richtiger, über **komplementäre nützliche und hedonistische Merkmale** oder Merkmalanteile innerhalb eines Produktes zu sprechen, als Produkte in (wenn auch vorwiegend) nützliche und hedonistische aufzuteilen.

Der emotionale und hedonistische Nutzen, der mit der Phase der Produktnutzung verbunden ist, wird als Vergnügen („pleasure“) bezeichnet (Jor96, vgl. S. 237-244). Es sind (in Reihenfolge steigenden Abstraktionsgrades) vier unterschiedliche Kategorien von Vergnügen bekannt: physiologisch, psychologisch, soziologisch und ideologisch (Tig92, vgl. S. 52-60). Ein Bestandteil des Vergnügens und gleichzeitig Voraussetzung dafür ist der Komfort (Coe05, vgl. S. 313-324) als angenehmer Zustand der physiologischen, psychologischen und physischen Harmonie zwischen Mensch und Umgebung (Sla85, vgl. S. 3-11). Aus diesem Grund ist für die Feststellung der emotionalen Qualität eines Produktes die realitätsnahe kontexttreue Simulation der Produktnutzung notwendig.

2.4.3. Kundenzufriedenheit

Die Kundenzufriedenheit ist ein ursprünglich wirtschaftlicher Parameter, der die Beziehung zwischen den Aktivitäten eines Unternehmens und den Verhaltensweisen seiner Kunden beschreibt. Die sogenannte „Wirkungskette der Kundenzufriedenheit“ (Hom06a, vgl. S. 64-65) zeigt, dass die Kundenzufriedenheit über positive funktionale Zusammenhänge die Kundenloyalität, den Markterfolg und den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens beeinflusst. Belegt sind positive Zusammenhänge zwischen der Kundenzufriedenheit und Größen des operativen Geschäftes, wie Return on Investment oder Return on Quality (Rus95, vgl. S. 58-70). Kundenzufriedenheit steigert den Unternehmenswert durch Vergrößerung des zukünftigen Cashflow-Wachstums und durch Verringerung seiner Volatilität (Gru05, vgl. S. 115-130).

In der Literatur werden zusammenfassend folgende zwei Wege zur Definition der Kundenzufriedenheit verfolgt (Yi91, vgl. S. 68-123), (Höl08, vgl. S. 12-13):

- Kundenzufriedenheit als Ergebnis: Endsituation oder Endzustand einer Konsumerfahrung
- Kundenzufriedenheit als Prozess: dynamischer Parameter, das von komplexen Wahrnehmungs-, Bewertungs- und psychologischen Prozessen als Antezedens-Faktoren beeinflusst wird

Im Hinblick auf die zeitliche Entwicklung wird zwischen folgenden zwei Ausprägungen der Kundenzufriedenheit unterschieden:

- Transaktionsspezifische Kundenzufriedenheit, die auf eine konkrete Erfahrung mit dem untersuchten Gegenstand beruht (Ols03, vgl. S. 185)
- Kumulative Kundenzufriedenheit, der kein bestimmtes Ereignis zugeordnet werden kann

Die vorherrschende **rein kognitive Definition der Kundenzufriedenheit** betrachtet diese als das Ergebnis eines kognitiven Vergleiches (Wes91, vgl. S. 84-91) laut dem rein rational gedeuteten Konfirmations-/Diskonfirmations-Paradigma (C/D-Paradigma). Nach diesem Paradigma kann der Vergleich der wahrgenommenen (Ist-) und der erwarteten (Soll-) Leistung zu folgenden Ergebnisse führen (Bid04, vgl. S. 45):

- Ist-Leistung < Soll-Leistung: Negative Konfirmation (Diskonfirmation), die zu Unzufriedenheit führt
- Ist-Leistung = Soll-Leistung: Konfirmation, die in indifferenter Zufriedenheit resultiert
- Ist-Leistung > Soll-Leistung: Positive Konfirmation, die Zufriedenheit auslöst

Nach Oliver (Oli97, vgl. S. 8) ist Zufriedenheit die Antwort des Kunden auf Bedürfniserfüllung. Sie stellt eine bewusste Beurteilung dar, ob ein Sachprodukt, eine Dienstleistung oder ihre Merkmale ein angenehmes Niveau an Befriedigung von Konsumwünschen erfüllen. Neben

Erfüllung werden Unter- und Übererfüllung als mögliche Befriedigungsniveaus postuliert – somit ist diese Definition sehr ähnlich mit dem C/D-Paradigma.

Das rein kognitive Verständnis der Kundenzufriedenheit erlaubt eine vollständig logische Begründung der Kausalität zwischen Wahrnehmungen und Einstellungen. Zunehmende empirische Nachweise haben jedoch die **Relevanz des affektiven Zustandes der Kunden**, parallel zur kognitiven Komponente, **für die Kundenzufriedenheit** bestätigt (Wir99, vgl. S. 55-66), (Spr05, vgl. S. 358). Es wird daher zwischen der emotionalen und der kognitiven Zufriedenheitskomponente unterschieden, welche in der Regel durch zwei getrennte Messskalen beurteilt werden (Hau90, vgl. S. 25-33). Selbst beim C/D-Paradigma scheint ein rein rationaler Ansatz nicht berechtigt. Die Ist- und Soll-Leistung, folglich auch die Konfirmation/Diskonfirmation und Kundenzufriedenheit beinhalten affektive Komponenten. Griese nutzt den Begriff „personenbedingte emotionale Dispositionen“ (peD) zur Charakterisierung der Bereitschaft, bestimmte emotionale Zustände, Funktionen und Reaktionen zu zeigen und bringt die dadurch ausgelösten Emotionen in direkter Verbindung mit allen vier Komponenten des C/D-Paradigmas (Gri02, vgl. S. 114). Besonders in der Erwartungskomponente kann ein breites Emotionspektrum vorhanden sein (Phi02, vgl. S. 242-252). Nach Woodruff und Gardial (Woo96, vgl. S. 93-94) besteht die emotionale Komponente der Zufriedenheit aus der Evaluierung des Gefühls, das aus dem Diskonfirmationsprozess hervorgeht.

In der Emotionsforschung wird Zufriedenheit sehr vage definiert. Der Hauptgrund für diese Tatsache ist, dass in der Psychologie und Psychiatrie vor allem negative Emotionen im Fokus der Untersuchungen stehen, denn sie müssen in Praxisfällen als unerwünschte Zustände verstanden und bekämpft werden. Selbst in der Forschung des Konsumentenverhaltens werden eher Emotionen mit negativer Valenz untersucht – der emotionalen Komponente, die aus dem Diskonfirmationsprozess hervorgeht, wird deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt, als der emotionalen Komponente aus dem Konfirmationsprozess. Die Zufriedenheit stellt keinen unerwünschten emotionalen Zustand dar, sondern ein hypothetisches, nicht direkt beobachtbares Konstrukt zur Beschreibung des psychischen Innenlebens eines Individuums, das in der Regel mit positiven affektiven Zuständen wie Freude, Glück oder Genugtuung assoziiert wird (Bau00, vgl. S. 15). Nach Krafft (Kra99, vgl. S. 511-530) ist Kundenzufriedenheit die positive emotionale Reaktion auf einen kognitiven Vergleichsprozess zwischen den Erwartungen des Kunden und des von ihm wahrgenommenen Leistungsniveaus, also das emotionale Ergebnis für den Fall Ist-Leistung > Soll-Leistung des C/D-Paradigmas. Die diskrete Emotion Zufriedenheit wird daher in positiver Korrelation mit der Lust-Komponente (der „P“-Dimension) des zweidimensionalen Circumplex Modells gesetzt (siehe Kapitel 2.3.2.3). Laut Genfer Emotionsrad ist sie eine positive Belohnungsemotion (siehe Kapitel 2.3.2.4). Zufriedenheit wird bei Produkten oft auch mit Vergnügen in Verbindung gesetzt, welches als subjektive Qualitätskomponente identifiziert wurde (siehe Kapitel 2.4.2).

Der Begriff Kundenzufriedenheit ist laut C/D-Paradigma an einem bestimmten Verhältnis zu einem Zielprodukt verknüpft und ist somit dem Begriff der Einstellung eng verwandt. Der Unterschied zwischen den beiden Begriffen liegt darin, dass Einstellungen situationsabhängig gebildet werden und sich auf ein breiteres Spektrum von Bezugsobjekten fokussieren, während Kundenzufriedenheit einen höheren Konkretisierungsgrad und stärkere Verhaltensrelevanz aufweist (Höl08, vgl. S. 16).

Aus dem Vergleich dieses Kapitels mit dem Kapitel 2.4.2 kann eine Interdependenz und sogar anteilige Überlappung der Begriffe Kundenzufriedenheit und Qualität festgestellt werden. Daraus entsteht die Notwendigkeit deren Abgrenzung, wofür in der Literatur verschiedene Ansätze bestehen:

- **Qualität** wird als **Einflussgröße auf die Kundenzufriedenheit** identifiziert, und zwar insbesondere die Dimensionen der Produktqualität, der Dienstleistungsqualität sowie der Qualität von kundenbezogenen Prozessen (Hom06a, vgl. S. 77).
- **Qualität** wird als **Antezedens-Variable der Kundenzufriedenheit** betrachtet (Bau06, vgl. S. 123). Ferner wird **Qualität** auch als **analoges Konstrukt zur Kundenzufriedenheit** erfasst, das sich an das C/D-Paradigma anlehnt. Ein Qualitätsurteil wird daher als das Ergebnis eines Vergleichsprozesses zwischen Erwartungen und der subjektiv erlebten Leistung eines Sachproduktes oder einer Dienstleistung angesehen (Bau00, vgl. S. 17).
- Im Rahmen des Total Quality Managements (TQM) wird **Kundenzufriedenheit als Qualitätskomponente** formalisiert (Gri10, vgl. S. 9). TQM stellt einen Ansatz für qualitätszentrierte Organisation dar, der auf die Teilnahme aller Mitglieder beruht und einen langfristigen Erfolg durch Kundenzufriedenheit bezweckt (ISO94).
- **Qualität** wird als ein **primär kognitives** (rationales, auf messbare objektive Eigenschaften beruhendes) Konstrukt erfasst, während **Zufriedenheit als stärker affektiv bedingtes kognitives Konstrukt** verstanden wird (Kai02, vgl. S. 28).

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Ansatz verfolgt, dass sowohl Kundenzufriedenheit als auch Qualität kognitive und emotionale Komponenten aufweisen und dass Qualität als Antezedens-Variable der Kundenzufriedenheit fungiert. Konkreter wird postuliert, dass die während eines Erlebnisses wahrgenommene ästhetische und funktionsbezogene Qualität eines Produktes die transaktionspezifische Kundenzufriedenheit wesentlich beeinflusst.

Kundenzufriedenheit charakterisiert sich ähnlich wie Qualität mit mehreren Dimensionen. Czepiel und Rosenberg unterscheiden beispielsweise sieben Dimensionen der Kundenzufriedenheit im Konsumgüterbereich (Cze97, vgl. S. 15-28): Kaufprozess, Entscheidung, Funktionalität der Leistung, Ästhetik der Leistungsmerkmale, psychologische Auswirkungen der Leistung, Dienstleistungen in Verbindung mit der Leistung und Umfeld der Leistungserbringung.

In der aktuellen Marketingforschung wird die eindimensionale lineare Abhängigkeit zwischen dem Erfüllungsgrad einer Qualitätsanforderung (der objektiven Qualität) und der ausgelösten Kundenzufriedenheit als überholt angesehen; stattdessen hat sich das dreifaktorielle Konstruktverständnis von Kundenzufriedenheit durchgesetzt (Beu06, vgl. S. 129). Im nachfolgenden Kapitel 2.4.4 wird das Kano-Modell als das berühmteste Modell aus der Praxis beschrieben, das ein dreifaktorielles Konstrukt postuliert.

2.4.4. Kano-Modell und Kano-Methode der Kundenzufriedenheit

Das Kano-Modell ist die Bezeichnung für die theoretischen Überlegungen zu den Leistungsattributen eines Produktes sowie für die grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen (objektiver) Erwartungserfüllung und (subjektiver) Kundenzufriedenheit (Höl08, vgl. S. 76). Somit postuliert das Kano-Modell die Qualität als kognitives und Zufriedenheit als stärker affektiv bedingtes Konstrukt sowie die Existenz der Korrelation zwischen diesen beiden Konstrukten. Es beschreibt die Wirkung unterschiedlicher objektiver Qualitätsmerkmale eines Produktes als Zufriedenheitsfaktoren bei der Bildung einer subjektiven Produktwahrnehmung. Hingegen stellt die Kano-Methode ein konkretes Messverfahren zur Identifikation und Klassifikation der Zufriedenheitsfaktoren im Kano-Modell dar (Höl08, vgl. S. 76). Die Kano-Methode ist somit das methodische Werkzeug zur Erstellung und Erläuterung des Kano-Modells.

2.4.4.1. Kano-Modell: Dreifaktorielle Erklärung der Kundenzufriedenheit

Im zweidimensionalen Kano-Modell (**Abbildung 10**) wird auf der Ordinate die empfundene Kundenzufriedenheit von einem Produktmerkmal aufgetragen. Der Abszissenwert stellt das Ausmaß der Erwartungserfüllung der Kunden dar (Lil06, vgl. S. 60); es wird vorausgesetzt, dass dieser Wert objektiv durch Vergleich mit früher formulierten Anforderungen oder subjektiv durch Kundenbefragung ermittelt werden kann. Postuliert werden folgende drei Hauptklassen von Produktattributen als Zufriedenheitsfaktoren („dreifaktorielles Konstrukt“):

- Leistungsanforderungen („one-dimensional (O) quality“): es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit und dem Ausmaß der Erwartungserfüllung – Wettbewerbsvorteile können also durch bessere Leistungswerte als bei der Konkurrenz erzielt werden
- Basisanforderungen („must-be (M) quality“ nach Watson (Wat03, vgl. S. 221-230)): die Nichterfüllung der Erwartung führt zu großer Unzufriedenheit, während die einwandfreie Erfüllung kaum Zufriedenheit stiftet – die Anforderung ist somit eine Voraussetzung für das Produkt und bietet keinen Spielraum für Erzielung emotional bedingter Kundenpräferenzen gegenüber Konkurrenzprodukten
- Begeisterungsanforderungen („attractive (A) quality“): das Vorhandensein des Produktmerkmals löst selbst bei nicht so guter Umsetzung positive Emotionen aus, während sich sein Fehlen keinesfalls negativ auswirkt – die Anforderung ist latent

und dem Nutzer vor der Erfahrung mit dem Produkt meist unbewusst, was ein sehr großes Potential zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen birgt

Eine Grundannahme des Kano-Modells besagt somit, dass die latenten und oftmals unbewussten Kundenbedürfnisse (Begeisterungsfaktoren) den größten Einfluss auf die Kundenzufriedenheit ausüben, während Basisfaktoren nur die Entstehung von Unzufriedenheit verhüten können (Höl08, vgl. S. 171). Die in der Wissenschaft früher postulierte positive lineare Korrelation zwischen Kundenzufriedenheit und Ausmaß der Bedürfniserfüllung gilt nur für die Leistungsfaktoren, die nur begrenzt den Zufriedenheitswert eines Produktes steigern können.

Es werden auch weitere Attributklassen sowie Subklassen der drei Hauptklassen postuliert (siehe Kapitel 2.4.4.2), von denen die Klasse der indifferenten (I) Anforderungen eine wesentlichere Rolle spielt. Dazu gehören alle Produktmerkmale, welche von den Kunden gar nicht wahrgenommen werden – im Kano-Diagramm stimmt die Darstellung der indifferenten Anforderungen mit der Abszisse überein.

Das Kano-Modell beruht historisch auf das Herzbergsche Zwei-Faktoren-Modell der Mitarbeiterzufriedenheit aus der Personalwirtschaft, das Herzberg aber als relevant für Zufriedenheit allgemein betrachtet hat (Her65, vgl. S. 369). Die theoretische Kernannahme des Herzbergschen Modells ist, dass Zufriedenheit und Unzufriedenheit zwei unterschiedliche Konstrukte darstellen, die über unterschiedliche Skalen abzubilden sind und jeweils gegensätzliche Pole Nicht-Zufriedenheit und Nicht-Unzufriedenheit besitzen (Sta99, vgl. S. 10). Somit lassen sich die häufig beobachteten unterschiedlichen Stärken der positiven und negativen Reaktion bei der Erfüllung bzw. Nichterfüllung einer Anforderung erklären. Herzberg postulierte zwei Klassen von Zufriedenheitsfaktoren:

- Hygienefaktoren (deren Erfüllung als selbstverständlich zur Vermeidung von Unzufriedenheit, aber als unwirksam zur Stiftung von Zufriedenheit empfunden wird)
- Motivatoren (deren Nichterfüllung keine Unzufriedenheit auslöst, aber deren Erfüllung die Zufriedenheit steigert)

Somit entsprechen die Hygienefaktoren nach Herzberg den Basisanforderungen und die Motivatoren den Begeisterungsanforderungen nach Kano. Das theoretische Fundament des Kano-Modells kann als eine Erweiterung des Herzbergschen Modells um die Leistungsanforderungen erfasst werden, bei denen Zufriedenheit und Unzufriedenheit tatsächlich als zwei Gegenpole fungieren.

In den letzten Jahren wurden wesentliche Erkenntnisse zur besseren und umfangreicheren Nutzung des Kano-Diagramms gewonnen. Beispielsweise wurde die früher postulierte Orthogonalität der Attributwichtigkeit und der Attributzufriedenheit in Frage gestellt (Mat05, vgl. S. 306), was den Stellenwert der als wichtig empfundenen Produktmerkmale erhöht. Aus diesem Grund schlägt Hölzing eine Hierarchisierung der Leistungsattribute im Kano-Diagramm vor (Höl08, vgl. S. 88). Kano, der Entwickler des gleichnamigen Modells, hat

den Qualitätsmerkmalen dynamische Natur bescheinigt – er besagte, dass sie im Verlauf der Zeit im Diagramm einen Lebenszyklus von indifferenten über Begeisterungs- und Leistungs- bis Basisanforderungen durchlaufen (Kan01). Somit ist für den Produkthersteller äußerst wichtig, relevante neue Produktmerkmale für den Nutzer möglichst frühzeitig zu identifizieren.

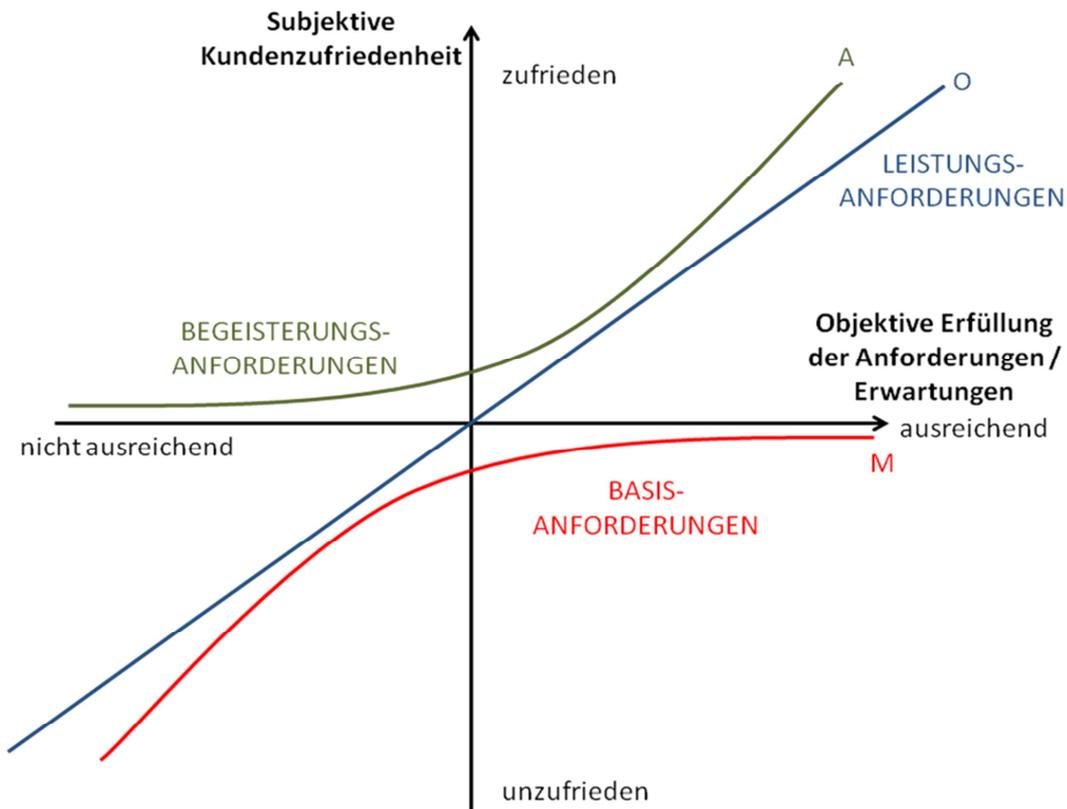


Abbildung 10: Das dreidimensionale Kano-Modell der Kundenzufriedenheit

Wissenschaftler haben lange den Mangel an empirischen Beweisen aus der Praxis für das Kano-Modell kritisiert. Diese Kritik konnte durch einige Studien von Hölzing (Höl08, vgl. S. 202) relativiert werden, die wichtige Aussagen des Kano-Modells empirisch auf Einzelattributenebene bestätigten. Hölzing konnte die Richtigkeit der Grundannahmen des Kano-Modells, die variierenden Zufriedenheitswirkungen der verschiedenen Attributklassen und die dynamischen Effekte bei der Attributklassifikation (die Existenz des von Kano postulierten spezifischen Attribut-Lebenszyklus) nachweisen (Höl08, vgl. S. 202). Dem Kano-Modell wurde früher auch oft vorgeworfen, dass es theoretisch schwach fundiert ist. Hölzing konnte ebenfalls eine gute theoretische Grundlage für das Modell in der Opponent-Prozess-Theorie finden (Höl08, vgl. S. 99-110), die das Auftreten von Emotionen in Gegenpol-Paaren postuliert, wobei die beiden Emotionen zueinander zeitlich verschoben eintreten.

Trotz der theoretischen Absicherung und der empirischen Bestätigung des Kano-Modells weist es weiterhin einige Schwächen auf. Das Modell beschreibt Zusammenhänge phänomenologisch – es werden der Input des Verarbeitungsprozesses in Form von

objektiver Qualität und sein Output in Form von subjektiver Qualität eines Attributes (Zufriedenheit von einem Attribut) erfasst, die psychologischen Prozesse während der Verarbeitung und ihre Unterscheidung nach Attributkategorie können aber nicht erklärt werden (Lil06, vgl. S. 62). Darüber hinaus bietet das Kano-Modell keinen Aufschluss über die Wahrnehmungstreiber und die Wichtigkeit einzelner Produktattribute sowie über die darauf basierende Verhaltensabsicht der Kunden (Bha97, vgl. S. 107). Aus diesem Grund eignet sich das Kano-Modell weniger für die Ermittlung und Erklärung individueller Präferenzen und eher für das Ziehen von statistischen makroskopischen Schlussfolgerungen.

2.4.4.2. Kano-Methode: Klassifizierung der Zufriedenheitsfaktoren

Die Kano-Methode klassifiziert die Produktmerkmale als Zufriedenheitsfaktoren auf Basis der bipolaren Fragentechnik (**Tabelle 4**). Diese Technik sieht zwei Fragen für jedes untersuchte Produktmerkmal vor (Höl08, vgl. S. 111):

- die **funktionale Frage**, die sich auf die Reaktion des Kunden bezieht, wenn das untersuchte Qualitätsattribut vorhanden ist („Wie würden Sie reagieren, wenn (ein bestimmtes Produktmerkmal) erfüllt wäre?“)
- die **dysfunktionale Frage**, welche die Kundenreaktion bei Nicht-Existenz desselben Qualitätsattributes ermittelt („Wie würden Sie reagieren, wenn (ein bestimmtes Produktmerkmal) nicht erfüllt wäre?“)

Häufig wird zur Beantwortung beider Fragen eine fünfstufige Skala mit verbalen Beschreibungen jeder Stufe eingesetzt. Die Fragen werden manchmal auch in Form von Aussagen umgeschrieben, deren Richtigkeit vom Kunden eingeschätzt wird. Die üblichen Stufenbeschreibungen für beide Varianten sind:

1. Würde mich sehr freuen / Trifft völlig zu
2. Setze ich voraus / Trifft eher zu
3. Das ist mir egal / Neutral
4. Könnte ich in Kauf nehmen / Trifft eher nicht zu
5. Würde mich sehr stören / Trifft gar nicht zu

Anschließend werden die Antwortkombinationen laut der Matrix in **Tabelle 4** aufgezählt und statistisch ausgewertet. Es sind folgende Attributklassen möglich:

- O („one-dimensional“): Leistungsanforderungen im Kano-Modell
- A („attractive“): Begeisterungsanforderungen im Kano-Modell
- M („must-be“): Basisanforderungen im Kano-Modell
- I („indifferent“): Indifferente Anforderungen (siehe Kapitel 2.4.4.1)
- R („reverse“): Anforderungen, bei welchen die funktionale und dysfunktionale Frage andersherum gestellt werden müssen, um sie als O-, A- oder M- Anforderungen zu klassifizieren

- Q („questionable“): Logisch unververtretbare Antwortkombinationen, die auf falsche Interpretationen der Fragen zurückzuführen sind
- Nicht klassifizierbar (-)

Tabelle 4: Klassifizierung der Zufriedenheitsfaktoren mittels bipolarer Fragen nach der Kano-Methode

		Negative Formulierung					
		1 Trifft völlig zu	2 Trifft eher zu	3 Neutral	4 Trifft eher nicht zu	5 Trifft gar nicht zu	0 Andere Antwort
Positive Formulierung	1 Trifft völlig zu	Q	A	A	A	O	-
	2 Trifft eher zu	R	I	I	I	M	-
	3 Neutral	R	I	I	I	M	-
	4 Trifft eher nicht zu	R	I	I	I	M	-
	5 Trifft gar nicht zu	R	R	R	R	Q	-
	0 Andere Antwort	-	-	-	-	-	-

Aus der zahlenmäßigen Zusammenstellung der Antwortkombinationen einer Befragung kann der Koeffizient der Zufriedenheitsstiftung $CS^+ = (A + O)/(A + O + M + I)$ sowie der Koeffizient der Unzufriedenheitsstiftung $CS^- = -(O + M)/(A + O + M + I)$ errechnet werden, wobei die Buchstaben die Anzahl der entsprechenden Antwortkombinationen in der Stichprobe darstellen (Höl08, vgl. S. 124-125). Die Formeln besagen, dass erfüllte individuelle Begeisterungs- und Leistungsanforderungen positive Emotionen bei Kunden auslösen, während für die negativen Emotionen nichterfüllte Leistungs- und Basisanforderungen zuständig sind. Aus diesem Grund sollten die drei Anforderungsklassen A, O und M als Anfangspunkte für die kundenindividuelle Produktgestaltung genommen werden (Gri10, vgl. S. 81-85).

Eine modifizierte Form des Kano-Fragebogens führt die differenzierte Skalenausprägung bei funktionalen und dysfunktionalen Fragen ein. Nämlich wird im Falle einer positiven Attributausprägung eine negative Bewertung nicht zugelassen, während im Falle einer negativen Attributausprägung keine positive Reaktion zur Auswahl steht. (Gie03, vgl. S. 14-34)

Vor der praktischen Anwendung der Kano-Methode werden Voruntersuchungen vorgeschlagen (Hom03, vgl. S. 234), bei denen vor allem die Verständlichkeit der formulierten Fragen überprüft wird.

2.4.5. Kundenfeedbackmanagement

Da die Weltökonomie des 21. Jahrhunderts informationsbasiert ist (Cor01, vgl. S. 16), wird die Sammlung von Kundenwissen zunehmend zu einer Voraussetzung zur Gewährleistung des Wettbewerbsvorsprungs (im Sinne des Frontloading laut Kapitel 1.1), des kontinuierlichen Lernens und der langfristigen Beziehungen eines Unternehmens zu Endkunden. Kundennahe Unternehmen sind erfolgreicher am Markt, denn sie weisen eine bessere Effizienz bei der Allokation von Forschungs- und Entwicklungsressourcen auf und forschen nicht am Markt vorbei (Hom95, vgl. S. 211-220). Der Stellenwert des Customer Relationship Managements (CRM) als Philosophie des Denkens in langfristigen Geschäftsbeziehungen mit dem Ziel der wertorientierten Unternehmensführung (Göt06, vgl. S. 409-430) steigt.

Wegen der Kurzfristigkeit des Vergnügens, ein Produkt in der heutigen Konsumgesellschaft zu besitzen oder zu nutzen, ist die größte Herausforderung im Rahmen des Customer Relationship Managements den Genuss und die Langfristigkeit der Person-Produkt-Beziehung (englisch „Person-Product-Relationship“, PPR) zu gewährleisten (Dav05, vgl. S. 307). Das PPR-Lebenszyklusmodell besteht aus folgenden Phasen (Dav05, vgl. S. 308):

- Erste Begegnung: Der Kunde bekommt erste Eindrücke und entwickelt seine Erwartungen gegenüber dem Produkt.
- Festlegung: Der Kunde trifft seine Kaufentscheidung.

- Flitterwochen-Zeitraum: Der Kunde nimmt sich die Zeit, um das Produkt kennen zu lernen und mit ihm vertraut zu werden.

Nach diesen drei Phasen hat die Beziehung zwei mögliche Ausgänge: Dauerhaftigkeit oder Beendigung. Weil das Unternehmen immer eine dauerhafte Beziehung zu jedem individuellen Kunden anstrebt, stellt die ausgewogene Kombination aus anfangs anziehenden (Aufmerksamkeit erregenden) und dauerhaft angeforderten Merkmalen, die oft unterschiedlicher Natur sind, eine große Herausforderung für die Produktentwicklung.

Eine Maxime des Kundenfeedbackmanagements ist, dass das Verständnis der Kundenwahrnehmung und –Beurteilung eine Voraussetzung für die dauerhafte Person-Produkt-Beziehung darstellt. Aus diesem Grund werden technologische Lösungen herangezogen, welche einen Einblick in die Kundensicht ermöglichen. Ein klassisches Beispiel stellt die Motivational User Interface (MUI) dar – ein Werkzeug für Call Center Operatoren, das denen die Personalisierung der Arbeitsumgebung und das effektive Management der Kundeninformation in dem Format ermöglicht, in welchem der Kunde diese sieht (Mil99, vgl. S. 51-52). Die Technologie der Virtuellen Realität würde sich als Werkzeug zur Erforschung der transaktionalen Kundenzufriedenheit in der Phase der ersten Begegnung mit dem virtuellen Produkt eignen. Eine realitätsnahe Abbildung des Nutzungskontextes würde sogar einen Einblick in den vertrauten Umgang mit dem Produkt (partielle Vorverlagerung des Flitterwochen-Zeitraumes) ermöglichen. Das Unternehmen könnte somit die emotionalen Reaktionen des Kunden zu unterschiedlichen Produktvarianten schon im Laufe des Customization-Prozesses in Virtueller Realität erfassen und auswerten.

3. Stand der Technik und Forschung

3.1. Methoden zur Gewinnung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung

3.1.1. Übersicht

In der Produktentwicklung wird die Emotion zu einem Produkt am häufigsten durch die affektive Komponente der Kundenzufriedenheit beschrieben. Dies ist laut Kapitel 2.4.3 ein sinnvoller Ansatz, denn die Kundenzufriedenheit kann als Folge der wahrgenommenen (subjektiven) Produktqualität betrachtet werden.

Die Kundenzufriedenheitsmessungen können nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert werden. Je nach Sicht und Zweck existieren in der Literatur für dasselbe Kriterium manchmal unterschiedliche Aufteilungen. Hier werden diejenigen Klassifizierungen präsentiert, die für das Ziel dieser Arbeit, ausgehend aus den Anforderungen (siehe Kapitel 4.1) und den Annahmen (siehe Kapitel 4.2) für die entwickelte Methodik, am besten geeignet sind.

Nach **Beeinflussbarkeit durch den Messobjekt** wird zwischen subjektiven (von Kunden beeinflussbaren) und objektiven (von Kunden unbeeinflussbaren) Messmethoden unterschieden. Die Feedbackquelle für beide Methodenarten ist der Kunde selbst; der Unterschied liegt in der Möglichkeit des Kunden, die Messergebnisse opportunistisch zu verfälschen. Diese hier vorgezogene Begriffsdeutung widerspricht der klassischen wirtschaftswissenschaftlichen Literatur, bei der die objektiven Kundenzufriedenheitsmessungen ausschließlich anhand makroskopischer monetärer Größen erfolgen (Beu06, vgl. S. 124). Wegen der Abhängigkeit der monetären Größen von vielen kundenunabhängigen externen Faktoren ist die Validität solcher Messungen mangelhaft – daher werden sie in dieser Arbeit als irrelevant angesehen und weiterhin nicht berücksichtigt.

Nach **Ergebnisart** werden qualitative und quantitative Messmethoden unterschieden. Hauptcharakteristika der qualitativen Methoden sind: geringe Anzahl an Teilnehmern, Einsatz von offenen Fragen oder Beobachtungen, detaillierte Analyse der Antworten, unzulässige Generalisierung der Ergebnisse usw. (Tay98, vgl. S. 7-22). Die quantitativen Methoden liefern im Gegensatz dazu statistisch verwertbare, quantifizierbare Ergebnisse.

Nach **Art der Erfassung** des emotionalen Kundenfeedbacks werden folgende Methodengruppen unterschieden, die in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert werden:

- Befragung (strukturierte subjektive, quantitative oder qualitative Erfassung durch bewusste Beantwortung von Fragen seitens des Kunden; siehe Kapitel 3.1.2)
- Biologische Messversuche (objektive quantitative Erfassung durch Messung und Auswertung von relevanten biologischen Signalen während der Interaktion des Kunden mit dem Produkt; siehe Kapitel 3.1.3)

- Beobachtung (objektive qualitative Erfassung durch Aufnahme und Analyse der nicht-biologischen Signale während der Interaktion mit dem Produkt; siehe Kapitel 3.1.4)

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur existieren unter Anderem noch folgende Klassifizierungen der Kundenzufriedenheitsmessungen (Beu06, vgl. S. 125-131):

- Nach **interessierendem Zeitintervall**: ereignisbezogene (die im Kapitel 2.4.3 eingeführte transaktionsspezifische Kundenzufriedenheit betreffende) und merkmalsorientierte Messungen (kumulative Betrachtung der emotionalen Wirkung verschiedener Merkmale zur Ermittlung der im Kapitel 2.4.3 definierten kumulativen Kundenzufriedenheit)
- Nach **Initiator**: implizite (Analyse von Leistungsdefiziten aus Kundenbeschwerden als repräsentative Feedbackquelle, unter der Annahme eines aktiven Beschwerdeverhaltens) und explizite Messungen (Auswahl einer repräsentativen Testgruppe seitens des Unternehmens)
- Nach **Anzahl ermittelter (Zufriedenheits-)Dimensionen**: ein- und mehrdimensionale Messverfahren
- Nach **Berücksichtigung von Erwartungen**: Ex-Ante/Ex-Post (Vergleich der Ergebnisse nach Kennenlernen des Produktes mit anfänglichen Erwartungen) und reine Ex-Post Verfahren (Ermittlung der Kundenzufriedenheit nach Kennenlernen des Produktes)

3.1.2. Befragungsmethoden

Nach benutztem Erhebungsmedium werden folgende Befragungsarten unterschieden (Beu06, vgl. S. 135): persönliche, telefonische, schriftliche und Internet-/Online-Befragungen. Bei den persönlichen Befragungen entsteht ein direkter Kontakt zwischen dem Befrager und dem Befragten, die sich zum Zeitpunkt der Befragung am selben Ort aufhalten. Ein Beispiel für persönliche Befragungen aus den frühen Phasen der Produktentwicklung sind die sogenannten „Produktkliniken“ in der Automobilindustrie, die nach einem festen Befragungsschema ohne Variationsmöglichkeiten mit einem Lead-User-Kreis durchgeführt werden (Sei05, vgl. S. 79). Bei der Lead-User-Methode werden ausgewählte motivierte Endkunden, welche zukünftige Kundentrends voraussagen und mitbestimmen können, in den Produktentwicklungsprozess eingebunden (Lan08, vgl. S. 131-147). Die telefonischen und schriftlichen Befragungen gehören zum üblichen Instrumentarium der Marketingabteilungen bei der Durchführung von Massen-Kundenanalysen. In den letzten Jahren werden die Online-Befragungen immer häufiger angewendet (Ber04, vgl. S. 114) und ersetzen damit teilweise die anderen Befragungsarten.

In diesem Kapitel wird weiterhin von der Aufteilung der Befragungsmethoden nach Ergebnisart in qualitative und quantitative Methoden (siehe Kapitel 3.1.1) ausgegangen. Die hierbei formulierten Aussagen sind unabhängig vom Erhebungsmedium gültig. Zunächst werden die geschlossenen und offenen Fragen als kleinste methodische Bausteine bei der Durchführung von quantitativen bzw. qualitativen Befragungen erläutert.

3.1.2.1. Geschlossene Fragen

Die geschlossenen Fragen erlauben eine endliche diskrete Anzahl von möglichen Antworten. Somit sind sie, je nach Art der abgefragten Variablen, quantitativ durch unterschiedliche Skalen beschreibbar. Es existieren folgende Variablenarten (Vav97, vgl. S. 143-146):

- **Nominale Variablen:** angewendet zur Kategorisierung unterschiedlicher Objekte in definierten Klassen, zulässige mathematische Operanden sind = und \neq
- **Ordinale Variablen:** angewendet zur Bestimmung der Reihenfolge von Objekten nach bestimmten Attributen ohne Spezifikation der Distanz zueinander, zulässige mathematische Operanden sind =, \neq , > und <
- **Intervallvariablen:** angewendet zur Platzierung von Objekten auf einer äquidistanten Messskala mit einer spezifischen Messeinheit und beliebig ausgewähltem Nullpunkt, zulässige mathematische Operanden sind =, \neq , >, <, + und –
- **Verhältnisvariablen:** angewendet zur Platzierung von Objekten auf einer äquidistanten Messskala mit einer spezifischen Messeinheit und (im Gegensatz zu Intervallvariablen) aussagekräftigem Nullpunkt, zulässige mathematische Operanden sind =, \neq , >, <, +, –, * und /

Nominale Variablen werden bei Kundenzufriedenheitsmessungen zur Segmentierung des Kundenkreises angewendet (z.B. nach Geschlecht, Nationalität usw.). Während ordinale Variablen auf sogenannte Ranking-Skalen abgebildet werden, wird bei Intervall- und Verhältnisvariablen von Rating-Skalen gesprochen. Die Entscheidung, ob eine Variable bei Zufriedenheitsmessungen als ordinale, Intervall- oder Verhältnisvariable angenommen wird, ist im Gegensatz zu Skalen in den Naturwissenschaften subjektiv und hängt davon ab, wie die unterschiedlichen Abstufungen und die Distanzen zwischen den Abstufungen seitens des Kunden wahrgenommen werden. Diese Entscheidung, die keinesfalls trivial ist, bestimmt entscheidend den Spielraum bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse, indem sie die erlaubten mathematischen Operationen festlegt. Beispielsweise ist die Bildung eines Mittelwertes nur bei Rating-Skalen erlaubt.

In Fragebögen wird am häufigsten die Likert-Skala angewendet, die ursprünglich ordinal ist, aber in vielen Studien als eine Intervallskala angenommen wird. Dabei wird für eine strikt positiv oder negativ formulierte Aussage eine diskrete Anzahl von möglichen Antworten definiert, die nach ab- oder aufsteigendem Grad der Zustimmung mit der Aussage angeordnet sind. Für eine erfolgreiche zielführende Anwendung von Likert-Skalen sind folgende empirisch ermittelte Anforderungen zu beachten (Beu06, vgl. S. 138-140):

- Die Skala soll fünf bis sieben Punkte (Abstufungen) enthalten. Bei Likert-Skalen mit weniger als fünf Punkten wurden Probleme mit der internen Konsistenz der Antworten festgestellt, während bei Skalen mit mehr als sieben Punkten der Mensch

nicht mehr diskriminierungsfähig ist (schlechte Differenzierbarkeit der unterschiedlichen Kategorien voneinander).

- Bei einer ungeraden Anzahl von Abstufungen und der (häufig angenommenen, wenn auch umstrittenen) Empfindung der Likert-Skala als äquidistant, neigt der Mensch dazu, bei für ihn nicht-bewertbaren Aussagen die mittlere (neutrale) Abstufung zu wählen. Dieser Effekt ist als „Flucht in die Mitte“ bekannt und kann bei Bedarf durch eine gerade Anzahl von Antworten ohne neutrale Abstufung oder durch eine zusätzliche Antwortmöglichkeit „Ich weiß nicht“ vermieden werden.
- Die Skalenendpunkte sollen leicht kommunizierbar und intuitiv nachvollziehbar sein. Es ist praktisch, zwei extreme Gegenpole als Skalenendpunkte zu nehmen.
- Zur Unterstützung des Kunden sollen neben den Skalenendpunkten auch die Zwischenstufen beschriftet werden.

Eine wichtige Eigenschaft für die Gewährleistung der Aussagekraft eines Fragebogens ist seine Reliabilität – der Grad der formalen Genauigkeit, der Stabilität der Messungen und somit der Reproduzierbarkeit. Darüber hinaus ist die Konstruktvalidität des Fragebogens, als Grad der Übereinstimmung der theoretischen Annahmen für Zusammenhänge zwischen Messinstrument und Konstrukten mit den tatsächlichen empirischen Relationen zwischen ihnen, relevant. (Höl08, vgl. S. 129-130)

Empirisch wurden bisher viele Regeln zur Gewährleistung der Reliabilität von Fragebögen ermittelt. Die Fragen müssen immer aus der Sicht und in der Sprache der Kunden formuliert werden, damit sie diese verstehen und beantworten können (Ber93, vgl. S. 9). Sie sind einerseits so detailliert wie nötig, andererseits aber so allgemein wie möglich zu formulieren; die Integration von mehr als einem Element in einer Frage ist zu vermeiden (Ber93, vgl. S. 9-13). Bei der Erstellung des Fragebogens ist auf die unmissverständliche eindeutige Zuordnung der Antworten auf die formulierten positiven und negativen Fragen zu der Richtung der Skala zu achten, so dass die gesammelten Daten in dieser formalen Hinsicht nicht beeinträchtigt werden (Vav97, vgl. S. 171). Es wurde auch festgestellt, dass die Positionierung der Gesamtzufriedenheits-Frage im Fragebogen seine Beantwortung beeinflusst – wenn diese Frage am Ende des Fragebogens steht, dann wird das Urteil stärker kognitiv abgeleitet als wenn sie gleich zu Beginn gestellt wird (Beu06, vgl. S. 144-145).

Trotz der Beliebtheit von Fragebögen zur Zufriedenheitsmessung, die vor allem auf die vergleichsweise leichte und kostengünstige Durchführung der Untersuchung zurückzuführen ist, müssen deren Ergebnisse wegen zahlreicher Schwächen immer kritisch betrachtet werden. Ein Fragebogen weist viele potentielle Fehlerquellen auf: Fehler der Stichprobe (hinsichtlich Anzahl und Zusammensetzung), Fehler aufgrund Nichtbeantwortung von Fragen, Fehler der Befragten, Fehler bei der Fragestellung und administrative Fehler bei der Bearbeitung der Ergebnisse (Dut95, vgl. S. 111). Wegen deren subjektiven Natur besonders schwer zu entdecken sind die Fehler der Befragten und der Befrager, die anschließend detailliert beschrieben werden.

Das emotionale Feedback (das Feedback über die affektive Komponente der Kundenzufriedenheit) wird bei Fragebögen durch die zugrundeliegende **kognitive Mediation beim Ausdrücken** verfälscht, denn sie ist direkt von der Menge und der Qualität der verfügbaren Informationen zum jeweiligen Zeitpunkt abhängig (Wil00, vgl. S. 10). Durch Beantwortung von Fragen kommunizieren die Kunden nicht ihre reellen Anforderungen, sondern Sachverhalte, die sie (vielleicht fälschlicherweise) als Anforderungen beurteilen (Kow07, vgl. S. 95). Kunden können dabei entweder zu Anspruchsinflationen (undifferenzierte hohe Gewichtung aller Produktmerkmale) oder zur Nivellierung in der Mitte (undifferenzierte mittlere Gewichtung aller Produktmerkmale) neigen (Beu06, vgl. S. 157). Die Entscheidungskriterien bei den Beurteilungen bleiben (trotz bewusster Informationsverarbeitung seitens des Kunden) unbewusst (Beu06, vgl. S. 157) – es kann von einer subjektiven Erfassung subjektiver Empfindungen gesprochen werden. Im Falle einer „kognitiven Überforderung der Befragten“ (Beu06, vgl. S. 157), die meist bei Nutzung von unverständlichen Fachbegriffen und Satzkonstrukten der Fall ist, kann sogar eine Willkürlichkeit der Antworten nicht ausgeschlossen werden.

Fragebogenergebnisse können auch durch **Unehrllichkeit des Befragten oder des Befragers** beeinträchtigt werden. Bestimmte opportunistische Absichten der Teilnehmer oder der Versuchsdesigner können die Reliabilität der Ergebnisse in Frage stellen (Ohk11, vgl. S. 328). Aussagen, die gesellschaftlichen Trends widerspiegeln, werden oft wegen der sozialen Erwünschtheit überbewertet (Beu06, vgl. S. 157). Negative Antworten werden dagegen insbesondere in kollektivistischen Kulturkreisen wegen der sozialen Unerwünschtheit häufig vermieden. Außerdem wurde festgestellt, dass Menschen den Wunsch nach Besitz eines Objektes bestreiten können, obwohl sie es attraktiv empfinden (Ber99, vgl. S. 525-557). Die Diskrepanz zwischen Objekten, die Menschen als wichtig bezeichnen, und Objekten, denen sie ihre Aufmerksamkeit schenken, ist sogar ein alltägliches Phänomen (Mil98, vgl. S. 13).

Als häufige Fehlerursache sind auch **Formulierungsschwierigkeiten und -missverständnisse** zu nennen. Bei der Designbeurteilung erweist sich beispielsweise die Formalisierung von globalen Charakteristika, relativen Proportionen, räumlichen Lagen und Merkmalsabhängigkeiten als eine sehr schwierige Aufgabe (Bor11, vgl. S. 79). Der in einem Fragebogen benutzte Wortschatz ist sprachlich mehrdeutig (Ohk11, vgl. S. 328) und nicht repräsentativ (Wil00, vgl. S. 10). Aus diesem Grund ist der direkte Vergleich zwischen Skalen in verschiedenen Sprachen oft irreführend (Wil00, vgl. S. 10). Darüber hinaus werden oft bei der Konzipierung des Fragebogens stillschweigende und sogar unbewusste Annahmen getroffen, die das Gesamtergebnis verfälschen. Beispielsweise wird oft die visuell und akustisch wahrgenommene Produktqualität als eindimensionale Größe behandelt, obwohl sie von vielen Faktoren beeinflusst wird (Wil00, vgl. S. 10).

Problematisch bei Fragebögen ist auch der **Zeitpunkt der Feedbackfassung**. Sie erfolgt nämlich nicht zeitgleich mit der bewerteten Erfahrung (Erlebnis oder Nutzung eines Produktes). Eine Unterbrechung des aktiven Informationsflusses zum bewertenden System ist unentbehrlich (Ohk11, vgl. S. 328) – die Befragung fragmentiert den Erfahrungsprozess

oder ist dem Prozess nachgelagert. Auf dieser Weise besteht die Möglichkeit der Beeinträchtigung der Ergebnisse durch zwischenzeitliche emotionale Beeinflussung seitens Störfaktoren.

3.1.2.2. Offene Fragen

Bei den offenen Fragen, die bestimmte relevante Produktmerkmale betreffen, können die Antworten frei formuliert werden. Auf dieser Weise wird der Kunde nicht durch einen vorgegebenen engen Rahmen eingeschränkt, sondern kann auf die Fragestellungen kreativ eingehen. Die offenen Fragen werden am häufigsten bei mündlichen Befragungen (Interviews) angewendet, denn sie fördern empathische Wechselwirkungen zwischen dem Befrager und dem Befragten, welche für direkte („face-to-face“) und telefonische Kontakte üblich sind. Der Nachteil im Vergleich zu geschlossenen Fragen ist die statistische Nicht-Verwertbarkeit der Erkenntnisse. Die einzelnen Antworten werden als Beispielsbeurteilungen qualitativ ausgewertet; es lassen sich daraus aber keine Verallgemeinerungen ableiten.

Für die erfolgreiche Durchführung von Interviews sind zahlreiche praktische Ratschläge vorhanden. Trotz des Fehlens einer festen formellen Interviewstruktur, soll der Interviewer einen detaillierten Diskussionsentwurf vorbereiten, der alle bei der Befragung zu deckenden Aspekte beinhaltet (Dut95, vgl. S. 61-70). Es sind die „wie“-Fragen vor den „warum“-Fragen vorzuziehen, denn kausale Zusammenhänge verlangen mehr kognitive Verarbeitung als deskriptive Feststellungen und können somit (insbesondere unter Zeitdruck) verfälschte Antworten induzieren (Jev05, vgl. S. 280). Dies ist besonders wegen der Tatsache wichtig, dass Menschen nur über sehr wenige Objekte gespeicherte Meinungen besitzen und somit in den meisten Fällen die Beurteilungen erst nach Aufforderung bilden (Beu06, vgl. S. 144).

Die offenen Fragen weisen viele ähnliche Defizite mit den im Kapitel 3.1.2.1 beschriebenen geschlossenen Fragen auf. Antworten in Interviews können, genauso wie Antworten auf geschlossene Fragen, wegen der Tendenz zur sozialen Erwünschtheit **unehrlich** sein (Gri10, vgl. S. 172). Bei freier Abfrage sind die Kunden auch stark mit dem **Problem der Gewichtung von Kriterien** konfrontiert – sie tendieren dazu, alle Kriterien als wichtig zu beurteilen. Ein häufiges Problem stellt ebenfalls die **Extraktion relevanter Informationen** dar. Konsumenten sprechen zwar viel über das Produktaussehen und das dadurch bereitgestellte Vergnügen, jedoch in der Regel in einer sehr abstrakten Weise, so dass fast nie ein direkter Bezug zu konkreten Produktkomponenten hergestellt werden kann (Sne01, vgl. S. 1-6).

Eine allgemeine Kritik an die Befragungsmethoden zur Erfassung der Kundenzufriedenheit ist, dass die Bewertung einzelner Produktmerkmale keine Erklärungen darüber gibt, warum bestimmte Merkmale als wichtig oder unwichtig betrachtet werden und warum deren Performanz als gut oder schlecht empfunden wird (Oli77, vgl. S. 480-486).

3.1.2.3. Auswahl standardisierter Befragungsmethoden

In den letzten Jahren hat sich die Nutzereinbindung in die Produktentwicklung von konsultativ zu partizipierend (aktiv) entwickelt. Somit werden auch bei der Befragung verstärkt kundenzentrierte Ansätze verfolgt, wie beispielsweise Geschichtenerzählung, Fokusgruppen und Nutzbarkeitsbefragungen. (Bon05b, vgl. S. 146)

Die **Geschichtenerzählung** („storytelling“) stellt eine qualitative Methode der narrativen Analyse zur Feedbackgewinnung dar, bei der der Kunde eine Geschichte anhand externer und interner Informationsquellen erstellen soll (Kow07, vgl. S. 89-90). Sie beruht auf der These, dass der Mensch in Ereignisketten in chronologischer Reihenfolge denkt (Abe04, vgl. S. 287-310). Als Vorteile von Geschichten gegenüber anderen verbalen Ausdrucksformen können die Tatsachen hervorgehoben werden, dass sie verständlicher sind, stärker im Gedächtnis des Menschen bleiben und somit eine identitätsstiftende Rolle spielen (Bit04, vgl. S. 70-78). Mit der Geschichtenerzählung können sowohl emotionale als auch funktionsbezogene (rationale) Bedürfnisse des Kunden erfolgreich ermittelt werden (Kow07, vgl. S. 91).

Unter **Fokusgruppen** („focus groups“) werden freie Diskussionen mit einer Kundengruppe bestehend aus fünf bis zehn Personen verstanden, die ähnliche relevante Eigenschaften aufweisen (Gri10, vgl. S. 172). Fokusgruppen werden häufig unmittelbar nach Produkterlebnissen oder Nutzungserfahrungen angesetzt und werden von erfahrenen Methodenexperten moderiert. Die Diskussion dauert in der Regel etwa zwei Stunden und es werden dabei Meinungen, Sichten und Wahrnehmungen über ein definiertes Thema ausgedrückt (Gri10, vgl. S. 172). Die Methode zeichnet sich durch eine hohe Effektivität aus – in zwei Stunden können mit wenigen Kosten viele Kundenantworten über Produkte erfasst werden (Boe05, vgl. S. 228).

Die **Semantic Differential (SD) Methode** besteht darin, Produktmerkmale auf bipolaren Adjektiv-Skalen, mit Paaren von Antonymen als Skalenendpunkte, zu bewerten (Yan11, vgl. S. 290). Diese Befragungsmethode mit geschlossenen Fragen ermöglicht eine Quantifizierung und Generalisierung der Ergebnisse. Eine Schwäche der Methode liegt darin, dass Menschen individuell unterschiedliche Potenzialskalen für jede Semantic Differential Skala empfinden (Yan11, vgl. S. 293), was teilweise auch kulturell bedingt ist.

Bei den traditionellen **Nutzbarkeits- („Usability-“)Befragungen** werden Kunden mit standardisierten Fragebögen über deren Erfahrungen bei der Nutzung eines Produktes gefragt. Eine weit verbreitete Methode zur Messung der emotionalen Bindung des Nutzers zum Produkt ist die Skala nach Jordan. Sie beruht auf die Hypothese, dass Vergnügen bei der Nutzung eines Produktes auf Funktionalität und Nutzbarkeit aufbaut (Kit09, vgl. S. 92). Mit insgesamt 14 Fragen werden Erlebnisse auf vier unterschiedliche Ebenen erfasst (Kit09, vgl. S. 93):

- Physiologisches Vergnügen („physio-pleasure“): als Folge des sensorischen Erlebens interaktiver Produkte
- Soziologisches Vergnügen („socio-pleasure“): als Folge der (angenehmen) Beziehung zu anderen Personen
- Ideologisches Vergnügen („ideo-pleasure“): als Folge der Erfüllung der Wertvorstellungen des Nutzers in Bezug auf die Interaktion mit dem Produkt
- Psychologisches Vergnügen („psycho-pleasure“): emotionale und kognitive Reaktionen bei der Interaktion mit dem Produkt

Eine gut bewährte und besonders bei Ingenieuren geschätzte Befragungsmethode zur Klassifizierung der zufriedenheitsstiftenden Produktmerkmale mittels bipolaren Fragen stellt die **Kano-Methode** dar, die im Kapitel 2.4.4.2 ausführlich beschrieben wurde. Ihre früher bemängelte Konstruktvalidität wurde durch eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse mit anderen Methoden, wie die Conjoint-Analyse (siehe Kapitel 3.1.2.4) und das Importance-Grid untermauert (Sau00, vgl. S. 177). Wegen dem formalisierten Ablauf, dessen Aufwand mit der Anzahl der beurteilten Produktmerkmalausprägungen oder Ausprägungskombinationen linear wächst, eignet sich die Kano-Methode lediglich für die Beurteilung einer geringen diskreten Anzahl von Varianten.

3.1.2.4. Abgrenzung zu Präferenzuntersuchungen auf rationaler Basis

Bei den Präferenzuntersuchungsmethoden auf rationaler Basis werden Kunden nicht über Wahrnehmungen von Produktmerkmalen gefragt, sondern deren Präferenzen werden aufgrund getroffener Entscheidungen in simulierten Auswahl-situationen ermittelt. Die Hauptannahme bei diesen Methoden ist, dass sich der Kunde immer rational verhält. Dies widerspricht allerdings den im Kapitel 2.4.1 beschriebenen modernen Kaufentscheidungstheorien, nach denen die Entscheidung sowohl von rationalen als auch von affektiven Komponenten beeinflusst wird. Somit liefern die Präferenzuntersuchungsmethoden, die anschließend anhand einiger Beispiele erläutert werden, ein einseitiges Bild und sollen unbedingt mit Methoden zur Gewinnung von emotionalem Feedback kombiniert werden.

Der Stand der Forschung im Bereich der rationalen Entscheidungsfindung schlägt eine Mehr-Kriterien-Analyse vor. Dabei werden halbstrukturierte Entscheidungsprobleme und multiple Entscheidungskriterien postuliert; letztere erfüllen die vorausgesetzten Eigenschaften der Monotonie, Vollständigkeit und Redundanzfreiheit (Gri10, vgl. S. 91-95). Die Hauptansätze der Mehr-Kriterien-Analyse sind (Gri10, vgl. S. 91-93):

- Gültigkeit der Mehr-Attribute-Nutzerwerttheorie: Zugrundelegung eines Wertesystems, das die Präferenzen des Entscheiders berücksichtigt und auf strenge Annahmen, wie beispielsweise volle und transitive Relationen, beruht
- Ansatz der wichtigeren Relationen: Zulassung von Inkompatibilitäten zwischen den Entscheidungsaktionen

- Ansatz der Aggregation und Disaggregation: Analyse des Verhaltens und des kognitiven Stils des Entscheiders
- Ansatz der Optimierung mehrfacher Ziele („multi-objective optimization approach“): Lösung von Problemen mit mehreren objektiven Funktionen und ohne diskrete alternative Aktionen

Die wohl bekannteste Methode zur Ermittlung der kognitiv ermittelten relativen Wichtigkeit unterschiedlicher Attribute eines Konzepts oder Produkts ist die **Conjoint-Analyse** (Kah05, vgl. S. 294). Ihre Aufgabe besteht darin, Kaufpräferenzen für individuelle Kunden zu bestimmen, unter der Annahme, dass Menschen unterschiedliche Merkmale in Kombination miteinander gewichten (Kah05, vgl. S. 294). Die Conjoint-Methode wird heutzutage in unterschiedlichen Varianten angewendet. Während bei der Voll-Konzept-Methode der Nutzer eine festgelegte Menge von Profilen oder Karten nach seinen Präferenzen vollständig rangieren soll (Kah05, vgl. S. 294), werden bei der adaptiven Variante unterschiedliche zu vergleichenden Kombinationen rechnergestützt in Echtzeit gebildet. Der Anspruch der adaptiven Conjoint-Analyse ist das vollständige Präferenzprofil eines Kunden basierend auf einer unvollständigen, aber repräsentativen Befragung zu erstellen und somit bei bleibender Ergebnisqualität die Befragungszeit zu senken. Bei der Conjoint-Analyse sollen maximal sechs bis acht Merkmale pro Karte benutzt werden, denn ansonsten spüren die Testpersonen Informationsüberschuss und die Zuverlässigkeit der Antworten kann somit wesentlich beeinträchtigt werden (Kah05, vgl. S. 294).

MUSA (MUlticriteria Satisfaction Analysis) stellt ein Mehr-Kriterien-Modell zur Messung und Analyse der rationalen Komponente der Kundenzufriedenheit dar, bei dem von einem rein rationalen Kunde, der Existenz eines Sets aus Zufriedenheitskriterien und dem Prinzip der additiven Aggregation ausgegangen wird (Gri10, vgl. S. 18). Die allgemeinen Präferenzen werden nach den Grundsätzen der ordinalen Regressionsanalyse aufgeschlossen, indem das Zufriedenheitsniveau einer Gruppe von Individuen auf Basis ihrer Werte und ausgedruckten Präferenzen evaluiert wird (Gri10, vgl. S. 18). Das Ergebnis der MUSA-Methode ist eine Aufteilung der Kunden nach dem Verlauf der Zufriedenheit als Funktion vom Bedürfniserfüllungsgrad in drei Gruppen – neutrale Kunden bei einem linearen, anspruchsvolle Kunden bei einem konvexen und nichtanspruchsvolle Kunden bei einem konkaven Funktionsverlauf (Gri10, vgl. S. 108).

3.1.3. Biologische Messversuche

In der Psychologie werden folgende drei Emotionsmesebenen unterschieden (Kro99, vgl. S. 106): subjektive Erlebnismessung, Messung des Ausdrucksverhaltens und Messung von (peripheren und zentralnervösen) psychobiologischen Veränderungen. Während die subjektive Erlebnismessung durch Befragungsmethoden (siehe Kapitel 3.1.2) erfolgt, werden das Ausdrucksverhalten und die psychobiologischen Prozesse mittels biologischer Messversuche erfasst. Dabei werden biologische Signale, die mit bestimmten Emotionen oder Emotionsdimensionen korrelieren, kontinuierlich in Echtzeit gemessen. Zur

Emotionserfassung werden folgende Arten von biologischen Signalen eingesetzt (Kra09a, vgl. S. 94):

- Verhaltensausrücke (kinematisch beschreibbare Ganzk6rperbewegungen, Kopfbewegungen, Gesichtsausrücke und Angewohnheiten, paralinguistische Aspekte des Sprechens usw.)
- Okulomotorische Daten (Blinken, Bewegungen der Augenlider, ruckartige Augenbewegungen usw.)
- Elektrophysiologische Daten (Daten aus der Elektroenzephalographie, der Elektromyographie und der Elektrokardiographie, Gr66en der elektrodermalen Aktivit6t usw.)

Die okulomotorischen Daten werden wegen ihrer kinematischen Natur in dieser Arbeit als eine Kategorie von Verhaltensausrücken und nicht als eine Sonderart von biologischen Signalen betrachtet.

Biologische Messversuche weisen eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu Befragungen auf. Sie sind mit keiner inh6renten (innewohnenden) Subjektivit6t behaftet, sondern durch physikalische Gr66en messbar. Die bewusste Beeinflussung der Messergebnisse durch den Teilnehmer selbst oder durch den Versuchsdesigner wird somit fast ausgeschlossen. Wegen der kontinuierlichen Aufzeichnung der Signale k6nnen seitens der Kunden keine Informationen opportunistisch zur6ckgehalten werden. Daher k6nnen die biologischen Versuche als Methoden zur objektiven Erfassung von subjektivem emotionalem Feedback bezeichnet werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil liegt in der Echtzeiterfassung des emotionalen Feedbacks w6hrend der Aufgabenl6sung (Erleben oder Nutzen eines Produktes), im Gegensatz zur zeitlich nachgelagerten Erfassung bei Befragungen. (Zan09, vgl. S. 63), (Ohk11, vgl. S. 328)

3.1.3.1. Verhaltensausrücke

Gestische und mimische Ausrücke werden wegen ihrer Vielfalt und Komplexit6t bei den unterschiedlichen Erkennungsverfahren in vordefinierte generische Kategorien verschl6sselt. Beispielsweise werden Handgesten nach aktiver Hand (linke oder rechte), Form, Position und Richtung verschl6sselt (Kip09, vgl. S. 1-8). Das mimische Ausrucksverhalten ist von besonderer Bedeutung, denn es erm6glicht eine valide Interpretation durch die Erkennung der Bewegung von nur wenigen markanten Gesichtspunkten (Hil03, vgl. S. 561-566). Es wird h6ufig wegen seiner biologischen Vorprogrammierung und dem reflexartigen Auftreten als zuverl6ssiges biologisches Signal f6r Emotionserfassung benutzt (Iza99, vgl. S. 89-92). Allerdings konnte festgestellt werden, dass einige Menschen die F6higkeit besitzen, aufgetretene Gesichtsausrücke im Millisekunden-Bereich durch opportunistisch verf6lschte Gesichtsausrücke zu ersetzen, was die Erfassung der urspr6nglich aufgetretenen Emotion deutlich erschwert (Ekm10, vgl. S. 296).

Das berühmteste und am weitesten angewendete Verschlüsselungssystem von Gesichtsausdrücken ist das von Ekman entwickelte Facial Action Coding System (FACS). Die FACS-Kodierung basiert auf die kleinsten sichtbaren Einheiten der Muskelaktivität (sogenannte „action units“) und ermöglicht somit die objektive Messung und Beschreibung von Gesichtsausdrücken auf mikroanalytischer Ebene (Ekm78), ohne physiologische Ableitungen der Gesichtsmuskelaktivität anhand der Elektromyographie (Coh05, vgl. S. 9-64).

Die paralinguistischen Aspekte des Sprechens beziehen sich auf objektiv formalisierbare, sprachenunabhängige Stimm- und Sprechgrößen. Nach Scherer, Johnstone und Klasmeyer geben die Sprechgeschwindigkeit, die Sprechpausen, die Grundfrequenz und die Dynamik der verbalen Äußerungen Hinweise auf den emotionalen Zustand des Sprechers (Sch03, vgl. S. 433-456). Krajewski konnte drei relevanten Kategorien von Spracherkennungsgrößen identifizieren (Kra09, vgl. S. 96-97):

- Satzrhythmus: umfasst unter Anderem die wahrgenommene Tonfrequenz (englisch „pitch“), die Intensität, die Pausenmuster und die Sprachrate
- Artikulation: Grad der Undeutlichkeit, umfasst die Phänomene der Reduktion und Elision
- Stimmqualität (unterschiedliche Klangfarben)

Zur Emotionserfassung anhand von Stimmgrößen haben Shuzo und Yamada ein Flussdiagramm vorgeschlagen. Hierbei wird der Sprecher erkannt und seine Stimme wird mit einem Satz aus Referenzstimmen verglichen. Während der Messung werden die physikalischen Größen Grundfrequenz (beschrieben durch Minimal- und Maximalwert, Werteintervall, Durchschnittswert und Varianz) und Leistung der Stimme (beschrieben durch den maximalen Anfangswert, den Durchschnittswert und die Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) als kompakte Darstellungsform des Frequenzspektrums) erfasst. (Shu11, vgl. S. 21-38)

Die wesentlichen Vorteile der Spracherkennung liegen in dem nicht-invasiven Verlauf (keine Fremdkörper kommen in Kontakt zur Versuchsperson), in der Nicht-Beeinträchtigung der Mobilität und der Aktionsfähigkeiten der Versuchsperson und in der leichten Aufnahme selbst bei schwierigen Umgebungsbedingungen (wie ungünstige Lichtverhältnisse, Luftfeuchtigkeit und Temperatur). (Kra09, vgl. S. 95)

Für die Blickerfassung (Okulometrie) können unterschiedliche optische, elektrische und magnetische Methoden eingesetzt werden. Einer ihrer Hauptvorteile ist die unbeschränkte Bewegung und Aktionsfähigkeit der Versuchsperson.

3.1.3.2. Biophysiological Signale

Heutzutage gewinnt die objektive Erfassung der Emotionsaktivierung mit biophysiological Schnittstellen zunehmend an Bedeutung (Bou09, vgl. S. 18). In der Fachliteratur wird bei den benutzten Messsignalen hauptsächlich zwischen zentralphysiologischen (kortikalen) und

peripheren physiologischen Größen unterschieden. Während die kortikalen Größen durch Anbringung von Kopfelektroden am Gehirn (Elektroenzephalographie) gemessen werden, beschreiben periphere physiologische Größen die Funktionen anderer relevanten menschlichen Organe. Zu den am häufigsten angewendeten peripheren physiologischen Messverfahren gehören: EDA (Elektrodermale Aktivitätsmessung), EMG (Elektromyographie) und EKG (Elektrokardiographie). Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen beobachtetem Verhalten und empfundenem Erleben einerseits und den physiologischen Vorgängen andererseits ist Gegenstand der wissenschaftlichen Disziplin Psychophysiologie (Sch98, vgl. S. 1). Die biophysiological Informationen des Menschen können, bei Gewährleistung einer zuverlässigen Echtzeitauswertbarkeit der Messdaten, zur Anpassung eines technischen Systems an identifizierte affektive Zustände des Menschen angewendet werden (Dza09, vgl. S. 1). Auf dieser Weise wäre eine empathische Beziehung zwischen dem technischen System und dem Nutzer realisierbar.

Die standardisierten Elektroenzephalographie(EEG)-Systeme erfassen die Gehirnsignale nicht-invasiv, durch Messung der vom Hirncortex verursachten Spannungsänderungen auf der Kopfhaut (Dza09, vgl. S. 1-5). Die EEG-Elektroden werden meist nach dem internationalen 10-20 System auf die Kopfhaut der Versuchsperson platziert (Jas58, vgl. S. 371-375). Die Herstellung eines guten galvanischen Kontaktes benötigt bei standardisierten, auf Ag/AgCl basierten Elektroden eine aufwendige und zeitintensive Vorbereitung (Oeh09, vgl. S. 6). Ein weiterer Nachteil ist der eingeschränkte Komfort der Versuchsperson (Dza09, vgl. S. 1). Die alternativen Lösungen zu den Gel-Elektroden sind mit anderen Nachteilen behaftet – trockene Elektroden weisen ein höheres Rauschen auf und kapazitive Elektroden sind anfällig für Bewegungsartefakte (Bewegungen der Versuchsperson während der Aufnahmen) (Oeh09, vgl. S. 6). Die wichtigsten Messgrößen der EEG sind die Frequenz, die Amplitude und das Leistungsspektrum der unterschiedlichen Gehirnwellen. Emotionen werden aus den Aufnahmen durch manuelle oder automatisierte Mustererkennung identifiziert.

Die elektrodermale Aktivität (EDA) ist ein sich langsam änderndes peripheres physiologisches Messsignal, das Auskunft über die sympathetische Aktivität der Versuchsperson gibt (Wha07, vgl. S. 205). Die EDA wird mathematisch am häufigsten über den Hautwiderstand als Kehrwert der Hautleitfähigkeit beschrieben. Als Synonyme für EDA werden oft die Begriffe SCL (Skin Conductance Level) und SCR (Skin Conductance Responses) angewendet, wobei mit SCL das allgemeine Niveau der elektrischen Leitfähigkeit und mit SCR auffällige Niveauänderungen gemeint sind. Wachsender Hautwiderstand ist mit einer Verminderung der Schweißdrüsenaktivität verbunden und korrespondiert einem Zustand niedriger Erregung im PAD-Modell (siehe Kapitel 2.3.2.3) (Kup09, vgl. S. 87). Die Intervalllänge des Hautwiderstandsrückgangs bei Erregung beläuft sich auf einige Sekunden. Größere SCR-Amplituden und längere SCR-Intervalle als Reaktion zu emotionsauslösenden Bildern korrelieren positiv mit der Persönlichkeitsdimension Neurotizismus (Nor07, vgl. S. 832-826).

Weitere für die Emotionsmessung relevante Parameter der menschlichen Haut sind die sich langsam ändernde Hauttemperatur (englisch „Skin Temperature“, SKT), die als Zeichen für die parasympathetische Aktivität höhere Werte bei niedriger Erregung aufweist (Wha07, vgl. S. 205), und das Finger-Photoplethysmogram (Finger-PPG). Das PPG stellt ein sich schnell änderndes Signal aus der optischen volumetrischen Messung von Organen dar. Mit dem Finger-PPG wird das Blutvolumen-Puls (englisch „Blood Volume Pulse“, BVP) gemessen, der mit der Herzrate in Korrelation steht und somit ebenfalls als ein Zeichen für den Erregungsgrad im PAD-Modell (siehe Kapitel 2.3.2.3) fungiert (Wha07, vgl. S. 204). Kleinere BVP-Amplituden werden in Stresssituationen beobachtet und gelten somit als mögliches Zeichen für Unzufriedenheit (Wil00, vgl. S. 12).

Bei der Elektromyographie (EMG) werden je zwei Elektroden für jede Gesichtshälfte am Augenbrauen-/Stirnrunzler (Corrugator Supercilii) und am Lach-/Jochbeinmuskel (Zygomaticus Major) angebracht (Kup09, vgl. S. 88). Auf dieser Weise wird die Aktivität dieser Muskeln erfasst, die gut mit der Valenzdimension des PAD-Modells korreliert – die Korrelation mit dem Zygomaticus ist positiv, während die Korrelation mit dem Corrugator negativ ist. Die Messdaten werden über gleich große Intervalle von 50 Millisekunden aufsummiert und mittels der Methode der Effektivwerte (quadratischen Mittelwerte) als standardmäßig empfohlener Glättungsalgorithmus gefiltert (Kup09, vgl. S. 88). Unter der Annahme symmetrischer Gesichtsbewegungen werden oft Messungen nur für eine Gesichtshälfte durchgeführt.

In der Elektrokardiographie (EKG) werden physiologische Größen des menschlichen Herzes erfasst. Die bekanntesten EKG-Parameter sind:

- Herzrate (Herzschlagfrequenz): Anzahl von Herzschlägen pro Zeiteinheit
- Herzratenvariabilität: quantitative Erfassung der Streuung der Herzschlagfrequenz

Für die Herzrate wurde, neben der bereits erwähnten Korrelation mit der Erregung, auch eine positive Korrelation mit der Emotionsdimension Valenz ermittelt (Neu01, vgl. S. 245-253). Die Herzratenvariabilität ist mit der Erregungsdimension des PAD-Modells verbunden (Kup09, vgl. S. 86).

Neben den EKG-Größen können auch kardiovaskuläre Größen (Größen des Herzkreislaufes) für die Emotionsforschung von Interesse sein, wie beispielsweise:

- Gesamtgefäßwiderstand („Total Peripheral Resistance“, TPR): Strömungswiderstand, den der arterielle Schenkel des Blutkreislaufs dem Herzen entgegensetzt
- Herzzeitvolumen („Cardiac Output“, CO): Blutvolumen, das in einer Zeiteinheit vom Herz über die Hauptschlagader in den Blutkreislauf eingepumpt wird

Die Atemfrequenz, d.h. die Anzahl von Atemzügen pro Minute, steht in positiver Korrelation mit der Emotionsdimension Aktivierung (Kup09, vgl. S. 87-88).

Zusammenfassend lassen sich folgende zuverlässige Korrelationen zwischen Emotionsdimensionen und peripheren physiologischen Größen feststellen:

- Zwischen Valenz („Pleasure“) als Emotionsdimension einerseits und den EMG-Signalen für die Aktivitäten des Augenbrauenrunzlers und des Jochbeinmuskels andererseits (Lar03, vgl. S. 776-785)
- Zwischen Erregung („Arousal“) als Emotionsdimension einerseits und der EDA, der Herzrate und der EEG langsamer Gehirnwellen andererseits (Cut00, vgl. S. 96-111)

Trotz der Gewährleistung einer objektiven Messung von auftretenden Emotionen werden den biophysiologicalen Messmethoden auch Schwächen bescheinigt. Die gegenwärtigen Messverfahren weisen mangelnde Robustheit gegenüber Umgebungs- und interpersonellen Variationen auf sowie Komfort- und Messdauerprobleme wegen Elektrodenanwendung (Kra09, vgl. S. 95). Desweiteren müssen sie hinsichtlich Alltagstauglichkeit und Onlinefähigkeit verbessert werden (Sch09c, vgl. S. 79). Die Messbarkeit einiger Parameter, wie Hautwiderstand, Atemfrequenz und EKG-Größen, in Alltagssituationen kann in naher Zukunft durch integrierte Sensorik in Textilien verbessert werden (Kup09, vgl. S. 91).

3.1.4. Beobachtungen

Die Beobachtungsmethoden zur Erfassung des affektiven Kundenfeedbacks setzen eine Interaktion des Kunden mit dem Produkt, seinem physikalischen Prototyp oder einer virtuellen Darstellung des Produktes voraus.

Beim aktiven physikalischen Produkterlebnis lernt der Kunde unterschiedliche Produktmerkmale durch seine Sinne kennen: Form, Textur, Härte, Temperatur, Größe, Gewicht usw. (Wol06, vgl. S. 31-456). Virtuelle Darstellungen sind grundsätzlich für den Kunden nicht so hilfreich wie reelle, denn aufgrund von technischen Beschränkungen können einige reelle Merkmale nur bedingt und oft nur über Ausgangskanäle für andere Sinne dargestellt werden. Einige Studien zeigten jedoch, dass Multimodalität bei der Kompensierung, Integration und Ergänzung von Informationen sehr hilfreich sein kann (Bor11, vgl. S. 79), so dass dieser Forschungsbereich vor allem wegen des kontinuierlichen technologischen Fortschritts weiterhin interessant bleibt.

Die **direkte Kundeneinbindung in den Designprozess** durch Interaktion mit Darstellungen virtueller zukünftiger Produkte („partizipierender Design“) stellt eine besonders aktive Beobachtungsmethode zur Erfassung der affektiven Komponente der transaktionsspezifischen Kundenzufriedenheit dar. Die Interaktion findet in nutzerzentrierten Umgebungen („Ökosystemen“) für öffentlich-private Partnerschaften statt, die als „Living Labs“ bezeichnet werden (Pal09). Auf dieser Weise können latente Sensitivitäten entdeckt werden, über welche sich der Kunde unbewusst ist und welche erst bei Erfahrungen wahrgenommen werden (Yan11, vgl. S. 292). Neben der Feststellung und Entwicklung begeisternder Produktmerkmale ist auch die Entdeckung negativer Aspekte der existierenden Erfahrung wichtig, denn somit können fehlende und in Zukunft zu

vermeidende Elemente identifiziert werden (Sur05, vgl. S. 160). Ein technologisches Problem des partizipierenden Ansatzes der direkten Kundeneinbindung in den Designprozess ist die Bereitstellung von adäquatem und entsprechendem Support für den Nutzer während der Ausübung der Designaktivitäten (Bon05b, vgl. S. 146).

Felduntersuchung („field expedition“) ist eine Methode aus der Anthropologie und Ethnographie, bei der Menschen während der Nutzung des untersuchten Produktes in ihren natürlichen Umgebungen beobachtet werden (Jev05, vgl. S. 275-277). Dabei werden häufig Videos als glaubhafte deskriptive Dokumentationsmedien erstellt. Auf dieser Weise kann das Unternehmen den authentischen Nutzungskontext eines Produktes erfahren. Dies ist zur Entwicklung des (laut Suri) benötigten „ganzheitlichen Verständnisses der menschlichen Antworten“ auf die unternehmenseigenen Produkte sehr wichtig (Tay05, vgl. S. 172). Der **Kontext** kann als eine Menge aus Informationen definiert werden, die benutzt werden, um den Zustand bzw. die Situation einer Zielentität (Person, Platz oder Objekt) zu beschreiben (Dey11, vgl. S. 4-7), (Yan07, vgl. S. 234). Er wird von Menschen generiert und enthält externe (bezogen auf Artefakte, andere Menschen oder Rahmenbedingungen, die in Relation mit der Zielentität stehen) oder interne (bezogen auf die Zielentität und ihre Ziele) Elemente, die untrennbar voneinander sind (Nar96, vgl. S. 69-102). Die Ethnographie als ergänzende Technik zur Ermittlung subjektiver Werte und latenter Nutzerbedürfnisse stellt mit ihren Instrumenten leider ein langfristiges und kostenintensives Vorhaben dar (Tay05, vgl. S. 171-181). Als Synonym für Felduntersuchungen kann der von Beyer und Holtzblatt (Bey98, vgl. S. 21-25) geprägte Begriff „kontextuelles Design“ benutzt werden.

Bei der bildbasierten Untersuchung („**Image-Based Research**“) können die Kunden alltägliche Muster und Änderungen eines Produktes anhand von grafischen Darstellungen erleben und beurteilen. Zur erfolgreichen Anwendung dieser Methode sind die Erfahrung mit und das Wissen über das Produkt und seine Umgebung eine Voraussetzung, weil diese Aspekte im Versuchsverlauf nicht explizit berücksichtigt werden. (Boe05, vgl. S. 223-234)

Die **Methode des lauten Denkens** („Thinking aloud“) besteht darin, dass der Anwender bei der Bedienung des zu nutzenden interaktiven technischen Systems ständig laut und frei spricht und versucht dadurch seine Gedankenzüge zu verbalisieren (Kit09, vgl. S. 118). Der Forscher stellt dabei keine Fragen und kann den Versuchsverlauf nur durch Formulierung bestimmter Aufgaben beeinflussen.

Eine weitere qualitative Feedbackermassungsmethode, basierend auf Beobachtungen der Interaktion des Kunden mit dem virtuellen Produkt, ist die **Phänomenographie**. Ihr Alleinstellungsmerkmal besteht darin, dass sich der Forscher nicht auf das tatsächliche Phänomen fokussiert, sondern lediglich auf die Beschreibungen der Versuchspersonen (Ulj91, vgl. S. 80-107). Diese Beschreibungen können sowohl automatisch in Echtzeit als auch anschließend sorgfältig analysiert werden. Der Forscher darf im Vorfeld des Versuches zur Vermeidung der Beeinflussung weder eine Formulierung von Erwartungen noch eine Systematisierung relevanter Kategorien vorgenommen haben – es wird also die Existenz

einer perspektivischen Wahrheit postuliert. Das Ziel der Methode ist Beschreibung, Analyse und Verständnis von individuellen Erfahrungen (Mar81, vgl. S. 177-200).

Viele Beobachtungsmethoden basieren ähnlich wie die Befragungsmethoden auf verbale Äußerungen des Kunden. Sie sollen jedoch wegen der aktiven, erforschenden Rolle des Kunden innerhalb eines Versuches und der gleichzeitig passiven Rolle des Forschers (der gar nicht oder kaum in den Versuchsverlauf eingreift) aus der Sicht dieser Arbeit (siehe Kapitel 3.1.1) eindeutig als Beobachtungsmethoden kategorisiert werden.

3.1.5. Weitere Methoden

Immer mehr Wissenschaftler plädieren für einen kombinierten Einsatz unterschiedlicher Methoden zur Gewinnung von emotionalem Kundenfeedback. Auf dieser Weise können eine Synergie deren Vorteile und ein Ausgleich deren Nachteile erzielt werden. Der verstärkte parallele Einsatz von Methoden dient auch zu deren gegenseitigen Validierung und zur Absicherung der Ergebnisse.

Dutka (Dut95, vgl. S. 25-60) schlägt eine Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden zur Maximierung ihrer individuellen Stärken vor. Schmidt-Daffy (Sch09c, vgl. S. 81) empfiehlt zur Emotionserkennung den parallelen Einsatz von zentralnervösen und peripheren physiologischen Messungen einerseits und der Erfassung von sprachbezogenen Signalen andererseits.

Eine Studie zur Wichtigkeit der unterschiedlichen Methoden des nutzerzentrierten Designs in der Praxis hat ergeben, dass am wichtigsten die Felduntersuchungen angesehen werden (Mao05, vgl. S. 105-110), bei denen laut Kapitel 3.1.4 die Kundenanforderungen „im Feld“, also im Kontext der späteren Nutzung erhoben werden. Dagegen wird das partizipierende Design in Living Labs als unwichtigste Methode betrachtet (Mao05, vgl. S. 105-110). Dies ist ein etwas überraschendes polarisierendes Ergebnis, vor allem wegen der grundsätzlichen Eignung von Living Labs zur guten Simulation von Nutzungskontexten. Diese Feststellung impliziert den Verbesserungsbedarf bei der Kundeneinbindung in die Produktentwicklung hinsichtlich der Gewährleistung einer realitätsnahen Abbildung der Anwendungssituation – ein operatives Ziel, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit durch Kombination dieser Methode mit anderen Methoden im Rahmen einer durchgängigen Methodik zur Erfassung des emotionalen Kundenfeedbacks verfolgt wird.

3.2. Methoden zur Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung

3.2.1. Übersicht angewandeter Methoden

Für die Emotionsklassifizierung im Rahmen von biophysiologicalen Messversuchen wird in der Regel folgende Prozesskette eingesetzt (Kup09, vgl. S. 88-89):

1. Erfassung der Rohdaten (beschrieben im Kapitel 3.1.3.2)

2. Parameterextraktion: Ableitung bedeutungsvoller Untersuchungsmerkmale aus den Rohdaten, Prozess der Sinngebung zu erfassten Daten
3. Merkmalsreduktion: Entfernung von Merkmalen niedriger Priorität und von störenden Merkmalen
4. Klassifizierung: Anwendung von Algorithmen zur Mustererkennung und Segmentierung des Datensatzes
5. Entscheidung (Endergebnis)

Diese Prozesskette lässt sich mit entsprechenden Anpassungen gut auf alle weiteren Erfassungsmethoden übertragen. Während bei der Erforschung von Verhaltensausrücken und Beobachtungen der Verlauf praktisch identisch ist, ist bei Befragungsmethoden die Merkmalsreduktion nicht immer notwendig und die Klassifizierung erfolgt deutlich einfacher.

Während der Auswertung des emotionalen Feedbacks, welche die letzten vier Schritte der beschriebenen Prozesskette umfasst, ist ein Mechanismus für Qualitätssicherung notwendig. Übertragungsfehler müssen durch möglichst automatisierte Prozesse ausgeschlossen werden und fehlende Werte müssen einheitlich behandelt werden, was beispielsweise durch Nicht-Berücksichtigung unvollständiger Einträge zu erreichen ist (Beu06, vgl. S. 151). Es wird auch eine Doppelüberprüfung aller Analysen empfohlen (Beu06, vgl. S. 151).

Bei der Auswertung des gewonnenen Feedbacks sind ebenfalls durchgängig die Situations- und Individualspezifität der Emotionen zu berücksichtigen. Wegen der Unterschiedlichkeit der psychologischen Reaktionen in verschiedenen Situationen stellen die Auslöse- und Kontextbedingungen Einschränkungen für die Übertragbarkeit von Befunden dar (Sch09c, vgl. S. 80). Diese situativen Rahmenbedingungen werden besonders bei Ingenieur Anwendungen häufig vernachlässigt, was zu einer Verfälschung der Schlussfolgerungen durch Generalisierung von Erkenntnissen aus Spezialfällen führen kann. Die Differenzierung der Emotionen über verschiedenen situativen Bedingungen gewährleistet den Messversuchen die notwendige konvergente Validität (Sch09c, vgl. S. 80). Die festgestellten individuellen emotionsspezifischen Reaktionsmuster beruhen auf Persönlichkeitsunterschiede (siehe Kapitel 2.3.2.1).

Die Klassifizierungsalgorithmen, die für Emotionsauswertung eingesetzt werden, können entweder parametrisch oder nicht-parametrisch (lernend) sein (Abe10, vgl. S. 1).

Für die Anwendung parametrischer Algorithmen müssen die Abhängigkeiten und Wahrscheinlichkeitsverteilungen für den Datensatz im Voraus bekannt sein (Seb04, vgl. S. 1-32). Parametrische Wahrscheinlichkeitsnetzwerke besitzen sowohl eine qualitative Komponente, welche Abhängigkeits- und Unabhängigkeitsrelationen zwischen ihren Variablen beschreibt, als auch eine quantitative Komponente, welche Auskunft über die Gewichte der Abhängigkeiten anhand der Wahrscheinlichkeitstheorie gibt (Kja08, vgl. S. 63). Auf dieser Weise werden kausale Wechselwirkungen im Datensatz modelliert (Bal00, vgl. S. 200). Die Vorteile von Wahrscheinlichkeitsnetzwerken liegen: in der Möglichkeit des Ziehens

interkausaler Schlussfolgerungen anhand bekannter Variablenzustände, in der geeigneten Bearbeitung voneinander abhängigen Kanäle bei der multimodalen Emotionserkennung und in der zuverlässigen einheitlichen Behandlung fehlender und nicht-beschrifteter Daten (Kja08, vgl. S. 17-18). Zur Verbindung von Emotion und Persönlichkeit zu äußeren Darstellungsmerkmalen werden als Vertreter der Wahrscheinlichkeitsnetzwerke am häufigsten die **Bayesischen Netzwerke** angewendet (Bal00, vgl. S. 196-203). Sie stellen azyklische gerichtete Graphen mit einem Satz aus diskreten und/oder kontinuierlichen Variablen und einem Satz aus bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilungen dar (Kja08, vgl. S. 65).

Bei den nicht-parametrischen Klassifizierungsalgorithmen werden Regeln über Verbindungen zwischen den Variablen erst im Laufe des Einsatzes „gelernt“. Die häufigsten Vertreter dieser Art sind die Support Vector Machines (SVM), der KNN-Algorithmus („k-Nearest Neighbour“), die Neuronalen Netzwerke und die Fuzzy-Systeme (Abe10, vgl. S. 1). Das Prinzip der **Support Vector Machines (SVM)** als diskriminierender Algorithmus ist die Findung der besten Hypertrennebene zwischen Datenpunktgruppen in einem Merkmalsraum, so dass die Grenzen deutlich sind (Kra09, vgl. S. 102). Neben der hiermit erzielten Maximierung der Bandbreiten von Klassengrenzen (Abe10, vgl. S. 9), stellt auch die Trainierbarkeit von generalisierbaren Klassifikatoren in hochdimensionalen Merkmalsräumen anhand eines kleinen Sets ein wichtiger Vorteil von SVM dar (Kra09, vgl. S. 102). Beim relativ einfachen **KNN-Algorithmus** wird eine lokale Approximation durch Berechnung der Euklidischen Abstandsmetrik zwischen Versuchsdaten und jeder Instanz des Trainingsdatensatzes durchgeführt (Kra09, vgl. S. 102).

3.2.2. Genauigkeit der Emotionsklassifizierung

Obwohl die kommunikative Funktion gegenüber den Artgenossen laut Kapitel 2.3.1.1 eine der evolutionär bedingten Aufgaben von Emotionen darstellt und sich Emotionserkennung für viele Menschen trivial anhört, ist diese Aktivität in der Wirklichkeit überhaupt nicht einfach. Der Mensch selbst kann anhand von sprachlichen Signalen anderer Menschen nur sechs Emotionen mit einer Genauigkeit von lediglich 60% erkennen (Sch81, vgl. S. 189-220).

Der Stand der Emotionsforschung übertrifft deutlich die menschlichen Fähigkeiten zur Emotionserkennung. Schon zum Jahrhundertwechsel konnten am MIT acht Emotionen mit einer Genauigkeit von 80% anhand von biophysiologicalen Daten erkannt werden (Vyz99, vgl. S. 135-142). Als Vorbereitung für den tatsächlichen Messversuch wurde dabei eine zur Kontrolle gedachte fünfzehnminütige Messung auf standardisierter Basisskala durchgeführt und die ersten fünf Minuten vom tatsächlichen Experiment wurden in die Auswertung nicht berücksichtigt (Vyz99, vgl. S. 135-142). Eingesetzt wurden folgende biologische Messgrößen: EMG-Werte, BVP, Hautleitwert (EDA) und Atmungsgrößen (Pic01, vgl. S. 1175-1191).

Die EMG-Größen zeigen sich im direkten Vergleich zu EEG-Größen als deutlich zuverlässigere Messdaten für Emotionserkennung bei Lösung von kognitiven Aufgaben – die Erfolgsquote liegt bei EMG-Messungen bei 98% im Gegensatz zu 75% bei EEG-Messungen (Sch09b, vgl. S.

26). Die Genauigkeit der Emotionserkennung mittels paralinguistischer Größen für Zwei-Klassen-Probleme beläuft sich inzwischen auch auf ein gutes Niveau von 80 bis 90% (Kra09, vgl. S. 94).

Die beiden wichtigen Emotionsdimensionen Valenz und Erregung (siehe Kapitel 2.3.2.3) können nach aktuellem Stand der Forschung anhand peripherer physiologischer Messgrößen sehr zuverlässig ermittelt werden. In einer Studie konnten Haag, Goronzy, Schaich und Williams Genauigkeiten von 96,58% für die Dimension Erregung (A) und 89,93% für die Dimension Valenz (P) beweisen (Haa04, vgl. S. 33-48).

Kupschick und Oehme kamen zu einer ähnlichen Feststellung, dass die einzelnen Dimensionen des PA-Emotionsmodells mittels SVM-Klassifizierung personenunabhängig mit einer Wahrscheinlichkeit von bis zu 91% erkannt werden. Mit der Nutzung der Software HealthLab-Systems der Firma Koralewski konnte im Rahmen einer Emotionsklassifizierung in Echtzeit anhand der peripheren physiologischen EKG-, EDA-, EMG- und Atmungsparameter sowie der Stimme eine Genauigkeit von 91% für die Erregungs- (A) und 85% für die Valenzdimension (P) erzielt werden. Als wichtigste Zeichen für die A-Dimension wurden die Atemfrequenz, der prozentuale Anteil der langsam steigenden Hautwiderstandskurve und die Standardabweichungen der EMG-Signale an der Stirn und an der Wange identifiziert. Für die Valenz sind dagegen die verschiedenen Maße der EMG-Parameter an der Wange, die Herzrate sowie der Anstieg und die Amplitude des Hautwiderstandes ausschlaggebend. (Kup09, vgl. S. 90-91)

Wissenschaftler des KIT konnten durch ein Emotionserkennungssystem anhand von EEG-Signalen deutlich schlechtere Genauigkeiten erzielen. Die Genauigkeitsrate bei einer SVM-Klassifizierung lag je nach Kombination der angewendeten Kanäle bei nur 50-65%. An der Untersuchung nahmen 23 Personen teil, welchen 16-kanalige EEG-Kappen nach dem internationalen 10-20 System und ein Kopfband mit vier frontalen Elektroden gesetzt wurden. Als Emotionsauslöser wurden 90 Bilder der international anerkannten standardisierten Bilderreihe IAPS (International Affective Picture System) angewendet. Die Bilder waren in zufälliger Reihenfolge in zwei Blöcken mit je 15 Bildern für jeden der Emotionszustände „angenehm“, „neutral“ und „unangenehm“ präsentiert. Jedes Bild war für 8 Sekunden gezeigt und zwischen den zwei sechsminütigen Blöcken war eine fünfminütige Pause angelegt. (Sch09a, vgl. S. 72-77)

Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass heutzutage anhand peripherer physiologischer Messgrößen und SVM-Klassifizierung eine sehr gute Erkennung der Emotionsdimensionen Valenz und Erregung möglich ist.

3.3. Methodiken zur Gewinnung und Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung

In der vorliegenden Arbeit wird als Methodik ein durchgängiges Methodenbündel verstanden, das zur Lösung eines definierten Problems unter bestimmten Voraussetzungen

in einer festgelegten Reihenfolge angewendet wird. Für ein solches Methodenbündel wird oft im Deutschen auch der Begriff „Methodologie“ angewendet, der aber ursprünglich die Bezeichnung für die Metawissenschaft über die wissenschaftliche Methoden darstellt und somit für den Zweck dieser Arbeit als unpassend angesehen wird. Anschließend werden die wichtigsten derzeit angewendeten Methodiken zur Gewinnung und Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung kurz beschrieben.

3.3.1. Kansei Engineering

„Kansei“ ist ein japanisches Wort, das sich auf die Sensitivität eines menschlichen Sinnesorganes bezieht, dessen Wahrnehmungen Antwort auf äußere Stimuli darstellen (Yan11, vgl. S. 289-290). Somit steht Kansei als Oberbegriff für mehrere Worte: Sinn, Gefühl, Ästhetik, Intuition, Emotion usw. (Lee05, vgl. S. 213). Die wichtigsten Eigenschaften von Kansei können wie folgt zusammengefasst werden (Lee05, vgl. S. 214):

- Subjektivität: Abhängigkeit von Charakter, Wissen und Erfahrung des Nutzers
- Keine vollständige Beschreibbarkeit ausschließlich durch Worte
- Basierend auf die beidseitige Interaktion zwischen Intuition und intellektueller Aktivität

Kansei Engineering ist somit eine Methodik zur Gewinnung und Auswertung von emotionalem Kundenfeedback in der Produktentwicklung, die die menschliche Reaktion auf äußere Anreize (und nicht die inneren menschlichen Einstellungen und Wünsche) als Ausgangspunkt nimmt. Als Messgröße fungiert die subjektiv wahrgenommene Produktqualität (siehe Kapitel 2.4.2). Sie wird auch als „Kansei Qualität“ bezeichnet – Produktqualität, welche die Eindrücke, Gefühle oder Emotionen eines Kunden zu einem Produkt hervorruft (Yan11, vgl. S. 289). Sie lenkt die Aufmerksamkeit des Nutzers auf Konzepte wie Schönheit und Vergnügen (Lee05, vgl. S. 212-222).

In der Literatur sind mehrere alternative Abläufe von Kansei Engineering ausführlich beschrieben. In Anlehnung auf Schütte (Sch07b, vgl. S. 1-8) werden in dieser Arbeit die Phasen des konsolidierten Grundverlaufes wie folgt formuliert:

1. Auswahl von zu beurteilenden Produkten und deren Darstellungsform
2. Auswahl von Kansei-Adjektiven zur Beschreibung der Kansei-Qualität
3. Auswahl der relevanten Produktmerkmale
4. Beurteilung: Ermittlung von Kansei-Werten
5. Zuordnung von Kansei-Werten zu Produktmerkmalen

Zur Darstellung des beurteilten Produktes werden in der Regel zweidimensionale Bilder eingesetzt. Außerdem bestehen bereits Ansätze zur Erweiterung auf Produkterfahrungen mit Räumlichkeit und dreidimensionalen Piktogrammen (Lee05, vgl. S. 217-219). Die Adjektive zur Beschreibung der Kansei-Qualität werden am häufigsten über die Semantic Differential Methode (siehe Kapitel 3.1.2.3) eingesammelt (Yan11, vgl. S. 290). Die Kansei-Werte werden in der Regel über Fragebögen ermittelt und mittels Klassifizierungsalgorithmen wie

Multiregressionsanalyse, Fuzzy Logik und Neuronalen Netzwerken zu den entsprechenden Produktmerkmalen zugeordnet (Hsi02, vgl. S. 67-84).

Ein Hauptkritikpunkt bei der Kansei Engineering Methodik stellt die fehlende explizite Berücksichtigung von Stimulus-Antwort-Reaktionszyklen dar, womit die Voraussetzung des Designs auf viszeraler Ebene (siehe Kapitel 2.4.1) nach Norman unerfüllt bleibt. Somit lassen sich mit Kansei Engineering keine direkten kausalen Zusammenhänge zwischen Stimulus und Antwort ermitteln, sondern lediglich das emotionale Endergebnis der Informationsverarbeitung. Außerdem wird die übliche Ermittlung von Kansei Werten nur anhand von Fragebögen kritisiert und als „fast unmöglich“ bezeichnet (Ohk11, vgl. S. 328).

3.3.2. Citarasa Engineering

„Citarasa“ ist ein malaiisches Wort, das sich aus den beiden Worten „cita“ (Absicht, Bestreben, Erwartung, Hoffnung) und „rasa“ (Geschmack, Gefühl, Emotion) zusammensetzt, und sich somit auf die emotionalen Absichten und Erwartungen der Kunden bezieht (Kha09, vgl. S. 4). Im Gegensatz zu der im Kapitel 3.3.1 beschriebenen Methodik des Kansei Engineering, wird Citarasa nicht von den Wahrnehmungen der Kunden (extrinsisch) getrieben, sondern intrinsisch von deren Bedürfnissen (Kha07, vgl. S. 9). Das Citarasa Konzept sieht demnach eine aktive Suche von Designmerkmalen seitens der Kunden vor, die für die emotionale Komponente ihrer Zufriedenheit von Bedeutung sind (Kha09, vgl. S. 4). Es stützt somit nicht auf eine vorgegebene einschränkende Bezugsmenge an Produkten, sondern lässt den Kunden Freiraum für Formulierung von Erwartungen, die vielleicht noch nicht von Marktprodukten gedeckt sind. Als Messgröße dient bei Citarasa Engineering, ebenfalls wie bei Kansei Engineering, die Qualität. Allerdings umfasst die „Citarasa Qualität“ neben der affektiven Anforderungen (d.h. der wahrgenommenen Qualitätskomponente) auch die funktionsbezogenen Anforderungen (d.h. die objektive Qualität) (Kha09, vgl. S. 5-6). Aus dem Grund, dass Citarasa Engineering sowohl den Lösungsablauf als auch entsprechende Werkzeuge vorschlägt, wird sie gleichzeitig als Methodik und Technologie bezeichnet (Kha07, vgl. S. 33).

Die Citarasa Engineering Methodik besteht grob aus folgenden drei Schritten (Kha07, vgl. S. 11):

1. Citarasa Erfassung: Erhebung von affektiven Bedürfnissen
2. Citarasa Analyse: Analytische Modellierung von affektiven Kundenwünschen
3. Citarasa Erfüllung: Ableitung von Designlösungen

Dieser Ablauf lässt sich verfeinern, indem die ersten zwei Stufen in je zwei Stufen unterteilt werden (Erfassung in Modellierung und Datensammlung; Analyse in Datenanalyse und Data Mining). Der letzte Schritt der Erfüllung wird auch als Entscheidungsfindung bezeichnet. Somit ergibt sich der folgende fünfstufige Ablauf (Kha09, vgl. S. 9-28):

1. Modellierung: Es wird zuallererst die Umgebung der Produktentwicklung durch Informationen über das Marketing, den Nutzungskontext und die Gesellschaft

erfasst. Diese Informationsbasis wird zur Formulierung der Designziele und Randbedingungen genutzt, die in Form einer Matrix der funktionalen und affektiven Randbedingungen dargestellt werden. Sie ist das Kreuzprodukt aus der im vierten Schritt ermittelten „Mapping“-Matrix und der Matrix der Designparameter (DECA-Formel). Für das emotionale Design wird der Drei-Ebenen-Verarbeitungsprozess nach Norman (siehe Kapitel 2.4.1) postuliert. Für die Designbeurteilung seitens des Kunden wird ein kombinierter Einsatz des (schnellen, intuitiven, auf Erfahrung basierenden) affektiven und des (langsamen, analytischen, rationalen) kognitiven Systems angenommen. Die beiden Systeme berücksichtigen die individuellen Bedürfnisse unterschiedlicher Natur. Eine besonders auffällige Annahme ist, dass jedes dieser beiden Systeme trotz seiner Bezeichnung sowohl die affektiven (Emotionen, Gefühle, Einstellungen) als auch die kognitiven (Wissen, Bedeutung, Glauben) Antworten beeinflusst. Die benutzten Bezeichnungen im Designabschätzungsmodell sind daher unscharf und irreführend. Das Citarasa-Modell ist der **Abbildung 11** zu entnehmen.

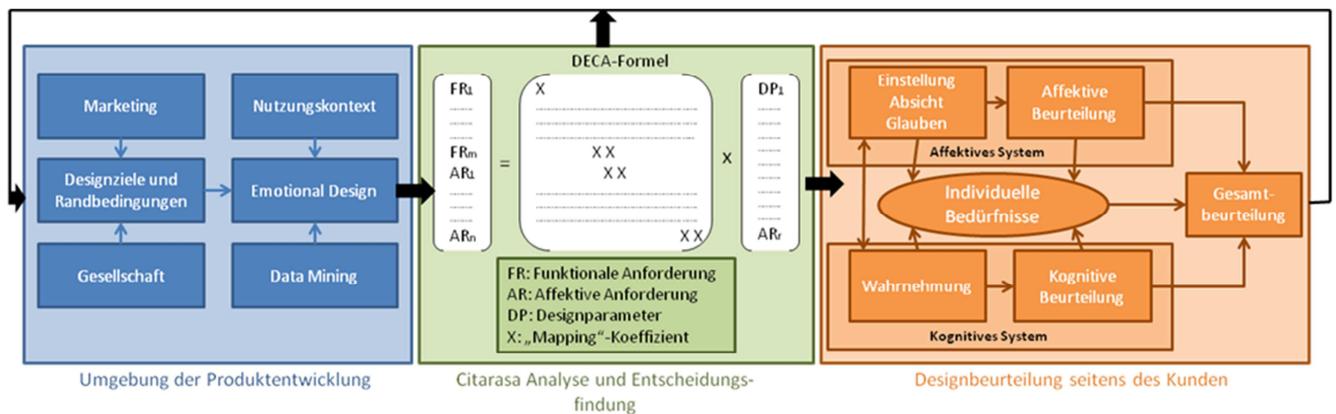


Abbildung 11: Das Citarasa-Modell

2. Datensammlung: Von den Kunden werden einschlägige Adjektive zur Beschreibung des Wunschproduktes anhand von standardisierten Fragebögen im Rahmen von Feld- und Online-Untersuchungen eingesammelt. Sie beziehen sich beispielsweise bei Fahrzeugen auf Ästhetik, Farbe, Kosten, Design, Abmessungen und Ergonomie (Kha07, vgl. S. 20). Bei individualisierbaren Produkten werden vorbereitete Bilder sortiert und rangiert, dann die Designattribute für die ersten drei erwünschten Designoptionen benotet und anschließend die Designparameter für die meisterwünschte Designoption ausgewählt.
3. Datenanalyse: Bei offenen Fragen werden zur Mustererkennung statistische Algorithmen eingesetzt. Zuerst werden die qualitativen Daten quantifiziert und danach die Datenkategorien reduziert. Ergebnis dieses Schrittes sind aktualisierte Ontologie-Listen und Datenmatrizen.

4. Data Mining: In diesem Schritt werden die Koeffizienten (Elemente) der „Mapping“-Matrix errechnet, welche die Zuordnungen der Citarasa Anforderungen zu den Designparametern formal beschreiben.
5. Entscheidungsfindung: Aus der DECA-Formel werden anhand der ermittelten Kundenanforderungen und der „Mapping“-Matrix die Werte für die Designparameter und somit die Produktvarianten bestimmt.

3.3.3. SEQUAM

SEQUAM (Sensorial Quality Assessment Method) analysiert die Verbindungen zwischen physikalischen Produkteigenschaften einerseits und den Antworten der Nutzer zu taktilen, haptischen, thermalen, funktionalen, akustischen und visuellen Anreizen beim Kontakt mit dem Produkt andererseits (Bon99, vgl. S. 234-248). Trotz ihrer Bezeichnung als Methode wird SEQUAM in dieser Arbeit wegen ihrer Komplexität und Granulierbarkeit als Methodik betrachtet. Sie geht, ähnlich wie Kansei Engineering (siehe Kapitel 3.3.1), von den äußeren Signalen für die menschlichen Sinne als Auslöser für die emotionale Bewertung von Produkten aus. Im Vergleich zu Kansei Engineering ist SEQUAM jedoch enger gestellt (Bon99, vgl. S. 234-248). Die Messgröße bei dieser Methodik ist das empfundene Vergnügen als hedonistische Qualitätskomponente während der Produktnutzung (siehe Kapitel 2.4.2). Die Vergnügungsbewertung erfolgt in Form einer Matrix, in dem die getesteten Objekte (Varianten) horizontal in Reihenfolge absteigender Präferenzen und die einzelnen beurteilten physikalischen Eigenschaften vertikal aufgetragen werden (Bon05, vgl. S. 202-203).

Für den Ablauf von SEQUAM sind folgende drei Phasen charakteristisch (Bon05, vgl. S. 194-200):

1. Analyse und Auswahl von Objekten aus dem Markt: Es werden im Rahmen einer umfangreichen Marktanalyse konkrete Produkte (Objekte) gesucht, die wegen deren unterschiedlichen, mit Vergnügen verbundenen Aspekte für die untersuchte Produktklasse von Interesse sind. Ziel dieser Phase ist die Definition des breitest möglichen Raumes an für das Vergnügungsgefühl relevanten Produkteigenschaften.
2. Design von Objekten für die Forschung: Für die Untersuchung werden nicht die identifizierten Marktprodukte aus dem ersten Schritt, sondern aktuelle Konzepte von Eigenprodukten angewendet. Die Begründung für diese Entscheidung liegt darin, dass das derzeitige Marktangebot aus Entwicklungssicht bereits veraltet ist; es wurde in der Vergangenheit konzipiert und der Stand der Technik der Konzepte ist schon fortgeschritten.
3. Verifikation der Vergnügungsaspekte mittels funktionierender physikalischer Prototypen: Die Prototypen müssen die Eigenschaften der Endprodukte besitzen und in einer (sowohl aus funktionaler als auch aus formaler Sicht) kohärenten Umgebung platziert werden. Der Nutzer wird nicht nur über das empfundene Vergnügen befragt, sondern auch während der multimodalen Interaktion mit den Prototypen in

einem nutzungsnahen Kontext direkt betrachtet und gefilmt. Diese Kombination aus Befragungs- und Beobachtungsmethoden liefert vollständiger komplementäre Ergebnisse über die Kundenemotionen.

3.3.4. Methodik von Hauge-Nilsen und Flyte

Ähnlich wie bei der SEQUAM-Methodik nach Bonapace (siehe Kapitel 3.3.3), nehmen Hauge-Nilsen und Flyte das Vergnügen als Messgröße für die Beschreibung des emotionalen Kundenfeedbacks. Sie schlagen folgende dreistufige Methodik für Feedbackerfassung vor (Hau05, vgl. S. 249-252):

1. Einsammlung von Adjektiven, die das Vergnügen eines Kunden am zutreffendsten beschreiben, im Rahmen von Fokusgruppen
2. Rangordnung der eingesammelten Adjektive nach absteigender Korrelation zum Vergnügen, mittels Fragebögen
3. Identifizierung von Produktmerkmalen, die mit dem Vergnügen verbunden sind, anhand von Nutzerproben

Die Ergebnisse von Hauge-Nilsen und Flyte zeigen, dass zufriedenstellend („satisfying“) zu den Attributen zählt, die am stärksten mit Vergnügen verbunden werden (Hau05, vgl. S. 252). Dies bestätigt den starken Bezug der Kundenzufriedenheit mit dem emotionalen (hedonistischen) Nutzen aus einem Produkt, der laut Kapitel 2.4.2 die Umschreibung für den Begriff Vergnügen (als subjektive Qualitätskomponente eines Produktes) darstellt.

3.4. Auswahl der wichtigsten Studien der Emotionsforschung in der Produktentwicklung

Die Emotionsforschung in der Produktentwicklung gehört seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts zu den wichtigen interdisziplinären Forschungsthemen. Seitdem wurden zahlreiche Untersuchungen zu (zumindest teilweise) emotional bedingten Konstrukten wie Produktqualität und Produktzufriedenheit durchgeführt, allerdings wurden dabei (vor allem seitens Ingenieure) aus Sicht der Emotionsforschung hauptsächlich lediglich phänomenologische, oberflächliche, unpräzise definierte und sogar willkürliche Aspekte berücksichtigt. Dies macht die Ergebnisse nicht eindeutig, nicht vergleichbar, konvergent invalid und letztendlich opportunistisch begründbar. Die Anzahl der Studien, die psychologisch begründete Abläufe und Ergebnisse zur Emotionsforschung in der Produktentwicklung aufweisen, ist relativ überschaubar. Selbst sie liefern teilweise konvergierende oder sogar widersprüchliche Aussagen. Beispielsweise besteht immer noch kein Konsens darüber, ob positive oder negative Emotionen einen höheren Stellenwert bei der emotionalen Beurteilung (der Qualität oder Zufriedenheit) eines Produktes besitzen.

Die Rolle und die relative Wichtigkeit funktionsbezogener und hedonistischer Produktdimensionen wurden unter anderem in den Studien von Mano und Oliver, von Snelders und von Creusen und Snelders untersucht.

In der **Studie von Mano und Oliver** (Man93, vgl. S. 451-466) stellte der Einfluss des Charakters eines Produktes auf die emotionale Bewertung seitens des Kunden den Untersuchungsgegenstand dar. Die Produktdimensionen wurden mit den damals aktuellen Zaichkowskys Involvementskala und Skala von Batra und Ahtola (siehe Kapitel 2.4.2) erfasst, die heutzutage kritisch angesehen werden. Emotionen wurden durch die zweidimensionale Circumplex Skala (siehe Kapitel 2.3.2.3) beschrieben. Ziel der Studie war die Zuordnung von funktionsbezogenen und hedonistischen Dimensionen eines Produktes einerseits zu Valenzwerten und andererseits zu Werten des Aktivierungsgrades („Arousal“); die Zielgruppe waren Studierende. Ein Hauptergebnis der Studie besagt, dass hedonistische Dimensionen sowohl mit der Valenz als auch mit dem Aktivierungsgrad stärker als die funktionsbezogenen Dimensionen korrelieren, was die Unterscheidung dieser zwei Kategorien berechtigt. Es konnte ebenfalls festgestellt werden, dass Konsumsituationen mit höherem Aktivierungsgrad eine stärkere emotionale Bewertung hervorrufen. Der Einfluss von negativen Emotionen auf die Kundenzufriedenheit ist laut dieser Studie größer als der Einfluss von positiven Emotionen – dies würde bedeuten, dass Mängel und Schwächen des Produktes den Kunden emotional stärker beeinflussen als seine Stärken. Zwischen der Kundenzufriedenheit und dem Grad der Einbindung (englisch „Level of Involvement“) konnte überraschend keine direkte Abhängigkeit festgestellt werden. Somit beeinflusst laut der Studie von Mano und Oliver der investierte Aufwand in der Bekanntmachung mit einem Produkt nicht die Kundenzufriedenheit.

Snelders hat in seiner Studie vom Jahre 1995 (Sne95, vgl. S. 1-204) die drei von ihm entwickelten Skalen (hedonistisch, rational und Involvement-) zur Messung der von ihm postulierten entsprechenden Produktdimensionen ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden zwei Zielgruppen mit 405 und 624 Teilnehmern befragt. Die hedonistische Skala ermittelte den Grad der Emotionalität der benutzten Kaufkriterien und der endgültigen Kaufentscheidung, inklusive der Rolle der Intuition. Außerdem wurde mit ihr der Umfang des erlaubten Ausdruckes der eigenen Persönlichkeit durch das Produkt („Produkt als Identifizierungsobjekt“) abgeschätzt. Mit der rationalen Skala wurde die logisch begründbare Anwendung von Kriterien, ihr Bezug auf objektive Produktfunktionen sowie die Rolle von konkreten Produkteigenschaften bei der Urteilsbildung (im Gegensatz zu ganzheitlichen Produktabschätzungen) abgefragt. Die allgemeine Involvement-Skala diente zur Erfassung der empfundenen Wichtigkeit des Produktes seitens des Kunden, der für den Kauf investierten Zeit und Aufwand sowie der wahrgenommenen Risikoverlust bei der Auswahl eines falschen Produktes. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass Vergnügen einen eigenständigen Produktwert darstellt, der keine Relationen zu objektiven Produkteigenschaften aufweist, aber denen gleichbedeutend ist. Daher sollen laut der Studie von Snelders hedonistische und rationale Produktwerte als komplementäre Aspekte eines generellen Involvements mit dem Produkt betrachtet werden.

Zehn Jahre später hat Snelders zusammen mit Creusen eine Studie (Cre05, vgl. S. 70) durchgeführt, bei der die Versuchspersonen eine Auswahl aus einer begrenzten Anzahl von Produktalternativen treffen und anschließend die Gründe für die getroffene Auswahl nennen

mussten. Die **Studie von Creusen und Snelders** ergab, dass bei näherungsweise der Hälfte der Testpersonen hedonistische ästhetische Produktwerte für die Entscheidung maßgeblich waren. Diese Werte spielten eine wesentliche Rolle auch in den Fällen, wenn die Konsumenten über ausreichend Zeit und Produktkenntnisse für eine detaillierte kognitive kausale Verarbeitung verfügten. Es wurde weiterhin festgestellt, dass die meisten hedonistischen Beurteilungen mittels holistischer Informationsverarbeitung erfolgen und somit eine Zuordnung zu einzelnen Produktmerkmalen unmöglich ist.

Bedenken über die Anwendbarkeit der emotionalen Beurteilung einzelner Designparameter und deren anschließende Aggregation zur Beurteilung der Gesamtgestalt äußerte **Rutherford**. Er stellte fest, dass Gestalt holistisch beurteilt wird – einzelne falsche Bausteine können somit den Eindruck einer Gestalt auf Menschen verderben (Rut05, vgl. S. 298-306). Somit wurde der Sinn der Trennung zwischen vorwiegend funktionsbezogenen und hedonistischen Produktdimensionen zur Ermittlung des subjektiven Empfindens der Kunden in Frage gestellt. Aus der Sicht von Rutherford entspricht nur eine Gesamtbeurteilung des ganzen Produktes im Rahmen von Messungen der Realität, was den analytischen Aufwand erheblich senken würde.

Die dimensionale Erfassung von Kundenemotionalen (siehe Kapitel 2.3.2.3) im Laufe der Produktentwicklung wurde durch die Studien von Westbrook, von Oliver und von Van Dolen gerechtfertigt. Die Kundenzufriedenheit wurde in anderen Studien, wie bei Faullant oder bei Westbrook und Oliver, in Korrelation auch mit diskreten Emotionen gebracht.

Westbrook (Wes87, vgl. S. 258-270) konnte in seiner Studie die Hypothese beweisen, dass emotionale Reaktionen auf Konsumerlebnisse deutlich zutreffender durch zwei orthogonale unipolare Valenzdimensionen (positiver und negativer Effekt) beschrieben werden können als durch eine eindimensionale bipolare Skala mit Endpunkten „positiver Effekt“ und „negativer Effekt“. Auf dieser Weise wurde die Eignung des Circumplex Modells (siehe Kapitel 2.3.2.3) für die Beschreibung von emotionalem Kundenfeedback bestätigt. Die Studie von Westbrook hat darüber hinaus, im Gegensatz zur bereits vorgestellten späteren Studie von Mano und Oliver, gezeigt, dass sich positive Emotionen stärker auf die Kundenzufriedenheit auswirken als die negativen Emotionen.

Die **Studie von Oliver** (Oli93, vgl. S. 418-430), die in einer realen nicht-manipulierten Konsumsituation durchgeführt wurde, bestätigte ebenfalls die zweidimensionale Struktur von Emotionen und zeigte zusätzlich, dass sich die verbale Definition und Anwendung konkreter diskreter Emotionen als nicht zielführend erweist.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch **Van Dolen** in seiner Studie (Van01, vgl. S. 359-376). Er hat bei einer Befragung mit über 800 Testpersonen Emotionen einmal nach ihrer Valenz (positiv oder negativ) eingeordnet und zusätzlich dazu noch in diskreten Kategorien klassifiziert. Die Auswertung zeigte, dass die Anwendung konkreter Emotionen bei der Befragung keinen zusätzlichen Erklärungsgehalt im Vergleich zur Basis-Emotionsdimension Valenz lieferte.

In der **Studie von Faullant** (Fau07, vgl. S. 145-196) wurde mittels Fragebögen die Korrelation des subjektiven Zufriedenheitsgefühls aus einem organisierten Bergerlebnis (Dienstleistung als Produkt) mit diskreten Emotionen sowie mit den Persönlichkeitsmerkmalen Extraversion und Neurotizismus untersucht. Es wurden 234 Bergsteiger auf dem Rückweg nach der Gipfelbesteigung und vor dem endgültigen Abstieg ins Tal über die Zufriedenheit vom Bergerlebnis befragt. Die Befragung fand in der ersten Schutzhütte auf dem Rückweg vom bestiegenen Gipfel statt, die auf einer 347 Meter niedrigeren Seehöhe als der Gipfel liegt. Faullant zeigte in der Studie, dass sich bei der Untersuchung der emotionalen Zufriedenheit auch diskrete Emotionen als Faktoren identifizieren lassen. Sie konnte feststellen, dass sich Freude positiv und Angst negativ auf die Kundenzufriedenheit auswirkt. Faullant plädiert somit, im Gegensatz zu Oliver und zu Van Dolen, zusätzlich zu der dimensional um eine kategorische Betrachtung der seitens eines Produktes ausgelösten Emotionen. Außerdem konnte sie positive Korrelationen einerseits zwischen dem individuellen Extraversionswert und dem empfundenen Maß an Freude und andererseits zwischen dem individuellen Neurotizismuswert und dem empfundenen Maß an Angst feststellen. Die Eigenkritik von Faullant an ihrer Studie betrifft die mögliche Verzerrung der Repräsentativität der Stichprobe durch die alleinige Berücksichtigung von Personen, die zuvor die Entscheidung getroffen haben, den Berg zu besteigen. Aus der Sicht dieser Arbeit besteht ein weiterer kritischer Punkt in der Auswahl des Zeitpunktes der Emotionserfassung – aufgrund der Spezifität der Randbedingungen beim untersuchten Fall erfolgt sie kumulativ (wenn auch unmittelbar) nach der Bergbesteigung. Somit blieb die Dynamik der empfundenen Emotionen unberücksichtigt und das Feedback basierte auf eine nachgelagerte Reflexion über die empfundenen Emotionen, wodurch die Gefahr einer wesentlichen kognitiven Verfälschung der Ergebnisse besteht.

Westbrook und Oliver (Wes91, vgl. S. 84-91) konnten die Kombination aus Freude und Überraschung als Merkmal der transaktionellen Zufriedenheit sowie die Kombination aus Freude und Interesse als Merkmal der kumulativen Zufriedenheit identifizieren.

Schlussfolgernd lassen sich nach der Analyse der teilweise divergierenden Ergebnisse aller beschriebenen Studien folgende allgemeine Feststellungen formulieren:

- Die Trennung zwischen hedonistischen und rationalen Produktdimensionen bei der Erfassung des emotionalen Kundenfeedbacks für ein Produkt ist nicht sinnvoll, denn sie bringt einen zusätzlichen analytischen Aufwand und wenig Nutzen. Selbst die Studien, welche eine stärkere Korrelation von hedonistischen Produktdimensionen mit Emotionsdimensionen nachweisen, bestreiten nicht, dass auch die rationalen Produktdimensionen in gewissem Umfang zur emotionalen Bewertung beitragen.
- Die ästhetische Beurteilung eines Produktes erfolgt holistisch. Daher ist bei einer vergleichenden Bewertung methodisch sinnvoller, unterschiedliche diskrete Produktvarianten gegenüber unterschiedlichen Ausprägungen einzelner Produktmerkmale als Zielobjekte vorzuziehen.

- Die dimensionalen Emotionsmodelle liefern eine aussagekräftige Beschreibung des emotionalen Kundenfeedbacks.

3.5. Anwendungen der Virtuellen Realität in der Produktentwicklung

3.5.1. Übersicht

Die Potenziale der Technologie der Virtuellen Realität im Bereich der Produktentwicklung wurden relativ früh erkannt, ihr erfolgreicher Masseneinsatz entfiel aber bisher wegen dem ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis. In den letzten Jahren behaupten einige Forscher jedoch, dass die VR bereits reif ist, um Anwendungen für effiziente und effektive lebenszyklusübergreifende Produktentwicklung erfolgreich zu unterstützen (Ye07, vgl. S. 1193). Diese Feststellung deckt sich gut mit der derzeitigen Position und Tendenz der Virtuellen Realität im Hype-Zyklus – vom Tal der Enttäuschungen aufwärts zum Plateau der Produktivität (siehe Kapitel 2.1.1.3). Ihr identifizierter Nutzen liegt vor allem in der Verbesserung von Visualisierung und Interaktion (Ye07, vgl. S. 1193). Im Hinblick auf die zunehmende, bereits bewährte Multimodalität der Interaktion in VR, ist aus Sicht dieser Arbeit zutreffender, über Verbesserung der Darstellung im Allgemeinen statt der Visualisierung zu sprechen.

Ottosson vertritt die Ansicht, dass für die Produktentwicklung, im Gegensatz zur Mehrheit der wissenschaftlichen Disziplinen, nur das Quantum Paradigma anwendbar ist – dies bedeutet, dass Erkenntnisse nur durch holistische situationsbezogene Untersuchungen gewonnen werden können, wobei die Ganzheit nicht als Aggregation der Bestandteile angesehen werden darf. Laut dieser Ansicht sind bezüglich der Eignung des Einsatzes der Virtuellen Realität für die Produktentwicklung nur Ergebnisse statistischer Natur möglich, die situationsübergreifend nicht-übertragbar sind. Zur Untersuchung dieses Einsatzes hat Ottosson mehr als ein Jahr die praxisnahe Methodik der partizipierenden Aktionsforschung („Participating Action Research“) in einer schwedischen Firma angewendet. Diese Methodik sieht vor, dass der Wissenschaftler in der untersuchten Arbeitsumgebung für eine längere Zeit vollständig integriert wird und sich somit in ständigem Austausch mit den Mitarbeitern befindet. Während seiner Tätigkeit führt er Gespräche, Beobachtungen und Befragungen durch, wertet die Ergebnisse aus und schlägt Maßnahmen zur Verbesserung und Optimierung der untersuchten Prozesse. (Ott02, vgl. S. 160-163)

Als Ergebnis seiner Untersuchungen schlägt Ottosson unter Anderem folgende Einsatzmöglichkeiten der Virtuellen Realität in der Produktentwicklung vor (Ott02, vgl. S. 164-168):

- Erstellung von virtuellen statt reellen Mock-Ups
- Montageuntersuchungen
- Virtuelle Simulationen unterschiedlicher Art
- Erfassung von Anforderungen institutioneller Kunden
- Kommunikation von Konzepten zu den ersten zukünftigen Nutzern

- Untersuchungen von Nutzerverhalten

Als Oberbegriff für Entwicklungsprozesse, die durch VR unterstützt werden, wird am häufigsten **Virtual Reality Prototyping** vorgeschlagen. Laut Kerttula beschreibt dieser Begriff einen „Prozess, bei welchem ein Produkt oder Produktkonzept, sein Verhalten und seine Nutzung, durch Anwendung von Computermodellen und Techniken der Virtuellen Realität, so realitätsnah wie möglich simuliert werden“ (Ker97, S. 3). In der Regel werden bei VR Prototyping folgende Produkteigenschaften simuliert: visuelle Ansicht, akustische Eigenschaften, Funktionalität und Verhalten des Produktes, Funktionalität der Benutzerschnittstelle sowie Force und Touch Feedback bei Nutzer-Produkt-Interaktionen (Ker97, vgl. S. 3). In Anlehnung auf die Arbeit von zwei Forscherteams können folgende konsolidierte Hauptschritte bei der Generierung virtueller Prototype formuliert werden (Ker97, vgl. S. 7), (Oh04, vgl. S. 10):

1. **Geometriedefinition:** Extraktion der Geometrie aus einem CAD-Modell mit anschließender Komplexitätsreduktion (Optimierung des Detaillierungsgrades) einerseits oder Erstellung eines CAD-Modells aus vorhandenen Produktinformationen andererseits
2. **Erstellung des Visualisierungsmodells:** Ergänzung der definierten Geometrie mit Oberflächeneigenschaften (wie Farbe, Materialeigenschaften, Texturen, Licht, Schatten, Schattierung) und Modellierung von Begleitelementen
3. **Implementierung von Funktionalität und Verhalten:** Generierung des Modells für haptisches Rendering (Einstellung der einzelnen Simulationsparameter für Touch und Force Feedback) sowie des logischen Modells des virtuellen Prototyps (anhand vorhandener oder neu entwickelter logischer Modellkomponenten), Integration von Hardware- und Software-Simulationsmodellen, und abschließende Verbindung aller Komponentenmodellen zum logischen Modell des virtuellen Prototyps

Hinsichtlich der Implementierung von Funktionalität wurde am KIT eine Methode zur Zuordnung der semantischen Informationen aus der Funktionsmodellierung eines Produktes zum zugehörigen Szenengraph einer virtuellen Umgebung entwickelt. Basierend auf dieser Methode kann ein virtueller Prototyp erstellt werden, der das Verhalten der Komponenten sowie die Interaktionen zwischen den Bauteilen veranschaulicht. (Kra09b, vgl. S. 272)

Der Einsatz von Virtual Reality Prototyping in der Produktentwicklung bringt unter Anderem folgende Vorteile (Ker97, vgl. S. 4-5):

- Kombinierbarkeit von Simulationsmodellen aus unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen
- Möglichkeit der Modellierung, Darstellung und Validierung von für den Nutzer wahrnehmbaren Produkteigenschaften, die schwer explizit spezifizierbar sind (siehe Kapitel 4.4.2)
- Effiziente Ansammlung von Nutzerpräferenzen und Anforderungen

- Vorausschauende Simulation und Beurteilung von Produktkonzepten, die erst in der Zukunft durch technologische Fortschritte realisierbar werden

Die VR wird als geeignet für den Einsatz schon in den ersten Designphasen, wie die des konzeptuellen Designs, eingeschätzt (Ye07, vgl. S. 1193) – eine Aussage, auf der diese Arbeit beruht. Somit kann sie als Technologie bereits in den Phasen „IDEATE“ und „CREATE“ des „neuen Produktentwicklungsprozesses“ (siehe Kapitel 2.2.2) angewendet werden. Beispielsweise wurde für die Desktop VR (siehe Kapitel 2.1.1.2) Umgebungen ein Werkzeugsatz zur Modellierung von Freiformflächen für Designer entwickelt (Bru03, vgl. S. 1-9), der sich mit einer relativ intuitiven Interaktion charakterisiert (siehe Kapitel 3.6). Dieser Werkzeugsatz ist im Vergleich zur CAD-Software geeigneter für Skizzieraufgaben, denn er gewährt dem Designer den für die Kreativitätsentfaltung erforderlichen Freiraum. Gängige CAD-Lösungen weisen für Skizzieraufgaben einen zu hohen Detaillierungsgrad – vordefinierte Funktionen und eingebaute Zwangsbedingungen, die für spätere Designphasen gedacht und beim Skizzieren völlig überflüssig sind, erschweren den Umgang und lenken die Aufmerksamkeit des Designers ab.

Virtuelle Umgebungen können auch für Kundenbeteiligung zur Untersuchung der Bedienbarkeit während der Phasen der Ideenerforschung und Konzeptevaluierung nach dem Ping-Pong-Modell (siehe Kapitel 2.2.4) eingesetzt werden. Beispielsweise haben Ye et al. (Ye07, vgl. S. 1194-1197) die Beurteilung von Handys und Personal Digital Assistants (als hochinteraktive mechatronische Produkte) seitens des Nutzers in frühen Entwicklungsphasen, anhand deren virtueller Prototypen und durch den Einsatz des visuellen und haptischen Sinnes, ermöglicht. Virtuelle Realität findet ebenfalls in der Verifikationsphase des Ping-Pong-Modells Anwendung, wie zum Beispiel zur Untersuchung der visuellen und kinästhetischen Wahrnehmungen und des Verhaltens von aktiven Nutzern (Pel08, vgl. S. 136). In der Fahrzeugindustrie wird sie schon länger zur Verifikation der Übereinstimmung zwischen den Kundenwünschen einerseits und den Merkmalen und Funktionen entwickelter Fahrzeuge andererseits, sowie zur Sicherung der Zufriedenheit beim Fahren eingesetzt (Ste99, vgl. S. 18-22).

Virtuelle Montageuntersuchungen in immersiven Umgebungen sind ein Beispiel für die Anwendung der VR in späten Produktentwicklungsphasen. Dabei werden mechanische Montageaufgaben mit virtuellen Elementen durchgeführt, um die Montierbarkeit der Teile vor deren Herstellung zu überprüfen (Gao10, vgl. S. 433). Mittels bidirektionaler haptischer Schnittstellen kann der Nutzer die Kollision des untersuchten Teiles mit den anderen Teilen der virtuellen Szene spüren. Die Position von Montagefeatures wird in der Regel mit Marken (in örtlichen Koordinaten des Elements beschriebenen geometrischen Punkten) angegeben (Gao10, vgl. S. 436).

3.5.2. Anwendungen im Rahmen von Konfigurationsprozessen

Zur Ermöglichung einer direkten Kundenbeteiligung an sehr frühen Phasen der Entwicklung modularer Produkte können die Hauptprinzipien des systematischen Ingenieurdesigns mit

den 3D-Web Technologien (der Web VR als Ausprägung der Desktop VR) kombiniert werden (Tud09, vgl. S. 28). Auf dieser Weise bekommen private und institutionelle Kunden eine zusätzliche Vorverkaufsdienstleistung. Je nach organisatorischen und logistischen Möglichkeiten, lässt sich diese Vorgehensweise auch auf Immersive VR ausweiten.

Die Fahrzeugindustrie bietet bereits seit Ende des 20. Jahrhunderts eine Unterstützung der Konfiguration individueller Fahrzeuge durch die VR an. Beispielsweise ermöglichte Daimler seinen Kunden die Zusammenstellung eines Wunschfahrzeuges in einer Desktop-Umgebung und seine anschließende Besichtigung mit der Technologie der Virtuellen Realität (Pil06, vgl. S. 119). Die festgestellte ausgelöste Begeisterung über das Produkt wurde teilweise auch auf die Konfiguration als Prozess selbst zurückgeführt – dieses Phänomen wird als „Pride of Authorship“-Effekt (Sch05b, vgl. S. 50-53) bezeichnet. Das auftretende emotionale Erlebnis beim virtuellen Einkauf wurde schon damals als Differenzierungsinstrument der Firmenpolitik erkannt (Pil06, vgl. S. 119).

Eine andere Branche, bei der die Vorteile von Virtueller Realität für die Unterstützung von kundenindividueller Konfiguration erkannt wurden, stellt die Möbelindustrie dar. Alleinstellungsmerkmale dieser Branche sind: die Produktvielfalt, das Mass Customization (siehe Kapitel 2.2.5) und die Notwendigkeit der Kenntnisse über die Konsumentenpräferenzen, welche die Markteinführungszeit reduzieren (Oh04, vgl. S. 1). Kunden können in Möbelhäusern schwer eine Kaufentscheidung treffen, denn es ist unmöglich die Möbel in ihrer realen Einsatzumgebung zu testen (Oh04, vgl. S. 2). Die explizite Berücksichtigung von hochindividuellen Kontextinformationen fehlt daher – dieser Informationsmangel kann nur durch die Verfügbarkeit entsprechender digitaler Modelle beseitigt werden. Die VR bietet als Lösung dafür (relativ) realistische Probeläufe, welche eine „detaillierte Beurteilung von individuellen Möbelstücken und Kombinationen“ ermöglichen (Oh04, S.3). Der Vorteil des Einsatzes von VR ist in der Möbelindustrie als besonders signifikant einzuschätzen, denn die Produkte sind in der Regel sperrig (Oh04, vgl. S. 8) und daher schwer transportierbar. Immersive Umgebungen ermöglichen sowohl eine kognitive als auch eine emotionale Auseinandersetzung mit den konfigurierten Möbeln; der Nutzer kann sowohl Produktinformationen abrufen als auch die Produktnutzung erfahren (Oh04, vgl. S. 8).

Als Beispiel für Konfigurationsprozesse mit VR im Rahmen des Industriegütermarketings (siehe Kapitel 2.2.1) ist die modulare Gestaltung von Einspannvorrichtungen zu nennen. Sie stellt eine komplizierte heuristische Aufgabe dar, die aus folgenden drei Phasen besteht: Planung (Bestimmung der Flächenarten), Konfigurationsdesign (Auswahl und Platzierung von Paarungselementen) und Verifikation (Sicherstellung der präzisen und starken Haltung von Maschinen). Der Designer von Einspannvorrichtungen muss, unter Berücksichtigung der funktionalen und strukturellen Abhängigkeiten, Komponenten aus einem Satz auswählen und sie nach dem Baukastenprinzip („Building-Block“-Prinzip) zusammenlegen. Die realisierte Softwarearchitektur für den Konfigurationsprozess von Einspannvorrichtungen

besteht aus drei Modulen: Information Management, Virtual Design Environment und Virtual Assembly Environment. (Gao10, vgl. S. 432, 434, 440)

3.6. Interaktionsparadigmen in virtuellen Umgebungen

3.6.1. Einführung

Die Interaktion stellt laut Kapitel 2.1.1.2 eine der drei Haupteigenschaften der Virtuellen Realität dar. Sie wird über Mensch-Maschine-Schnittstellen realisiert, die die Rolle der Verknüpfung zwischen kontinuierlichen (mit dem menschlichen Körper verbundenen) und diskreten (mit der Hardware und Software verbundenen) Funktionseinheiten übernehmen (Omm06, vgl. S. 139). Die wahrgenommene Qualität dieser Schnittstellen stellt einen Schlüsselfaktor für den erfolgreichen Masseneinsatz der Technologie der VR dar. Sie wurde schon vor vielen Jahren als technologische Schwachstelle identifiziert – Packer und Jordan haben die Fähigkeit der Nutzer, die Schnittstelle zu ignorieren und sich an die Anwendung zu konzentrieren, als Bedingung dafür formuliert, dass sich Virtuelle Realität zu einem seriösen Visualisierungswerkzeug entwickelt, statt für immer eine neuartige Erfahrung zu bleiben (Pac01, vgl. S. 1). Dazu ist eine Anpassung der Technik an menschliche Belange statt der üblichen Anpassung des Menschen an angebotene technische Lösungen notwendig, wozu die VR die Potenziale besitzt. Laut Jaron Lanier, dem Pionier der VR, ist sie „das erste Medium, das groß genug ist, um die menschliche Natur nicht zu begrenzen“ (Omm06, vgl. S. 95).

Die Interaktion ist hinsichtlich der in Anspruch genommenen menschlichen Fertigkeiten dreifaltig – während der Interaktion mit Produkten werden kognitive (Wissen), wahrnehmungsmotorische (Handeln) und emotionale (Fühlen) Fertigkeiten eingesetzt (Ove05, vgl. S. 8). Diese Komplexität ihrer Natur macht die Qualitätsanforderungen an guter Interaktion schwer beschreibbar. Zu diesem Zweck wird eine Vielfalt von Begriffen benutzt, die meist miteinander korrelieren oder sich teilweise überlappen. Unter Anderem werden folgende Qualitätsanforderungen an Interaktionsgeräten gestellt:

- Intuitive und natürliche Interaktion
- Benutzerfreundlichkeit (Benutzbarkeit)
- Unterstützung des Präsenzgefühls (Immersion)
- Leichte Erlernbarkeit und Unterstützung vom Hersteller
- Akzeptanz und Adoption
- Keine gesundheitliche Risiken

Zur Erhöhung der Qualität der Interaktionsgeräte ist ein Paradigmenwechsel hin zur Entwicklung natürlicherer Werkzeuge notwendig, die den typischen Arbeitsweisen des Nutzers entsprechen (Bor11, vgl. S. 78). Neben dem Begriff der **Natürlichkeit** wird in dieser Hinsicht auch der Begriff der **Intuition** benutzt. Die Intuition stellt einen unbewussten Prozess dar, der stark ästhetisch geprägt wird, kontextabhängig ist und daher nicht universal für ein technisches System definiert werden kann (Nau07, vgl. S. 128-129). Eine als intuitiv

empfundene Schnittstelle bietet einen ähnlichen Arbeitsstil wie der routinemäßig eingesetzte Stil während der Interaktion des Nutzers mit den entsprechenden Objekten und Umgebungen aus dem Alltag (Ye03, vgl. S. 1194). Diese Eigenschaft korreliert mit der Erlernbarkeit – eine als intuitiv empfundene Schnittstelle benötigt wenig Training (Ye03, vgl. S. 1194). Die Kriterien, die den Begriff der „intuitiven Interaktion“ formal beschreiben, kommen meist aus dem ISO-Standard 9241-110 (Moh06, vgl. S. 215-224).

Die **Benutzbarkeit** umfasst, in Anlehnung auf Janson, Merkmale sowohl hinsichtlich des Aufwandes zur Benutzung eines Systems als auch hinsichtlich der individuellen Bewertung einer solchen Benutzung durch eine festgelegte oder angenommene Nutzergruppe. Somit ist sie ein Oberbegriff unter Anderem für Verständlichkeit, Erlernbarkeit und Bedienbarkeit. (Kit09, vgl. S. 73).

Die **Akzeptanz** und die **Adoption** stellen komplexe Phänomene dar, die sowohl von den innewohnenden Eigenschaften der Interaktionsgeräte als auch von externen Bedingungen abhängen. Für die Adoption technologischer Innovationen wurden fünf zentrale Eigenschaftsgruppen identifiziert: relativer Vorteil, Kompatibilität, Komplexität (Lernaufwand), Erprobbarkeit und Beobachtbarkeit (Rog95, vgl. S. 15-16).

3.6.2. Interaktionsarten und Interaktionsparadigmen

Bei der Beschreibung der Interaktionsarten ist wegen der richtigen Erfassung der Komplexität wichtig, zwischen den Nutzeraktionen und dem Systeminput zu unterscheiden (Jai05, vgl. S. 119). Beispielsweise erfolgt bei der Benutzung eines Joysticks oder einer Tastatur der Input über den haptischen Kanal, der Mensch benötigt aber zur Nutzung dieser Interaktionsgeräte auch den visuellen Sinn.

Die Interaktionsarten können nach der Anzahl der benutzten räumlichen Dimensionen in den Kategorien zweidimensional (2D), dreidimensional (3D) und gemischt (2D/3D) eingeordnet werden. Die üblichen Schnittstellen in Virtueller Realität nutzen in der Regel entweder 2D- oder 3D-Techniken (Dar05, vgl. S. 39). Bei den 2D-Techniken erfolgt die Eingabe über gewöhnliche Geräte aus Desktop-Anwendungen, wie Maus und Tastatur, während die Ausgabe Text und graphische Elemente in einer Ebene beinhaltet. Beispiele für 3D-Techniken sind (Dar05, vgl. S. 40): Ray-Casting (räumliche Auswahl von Objekten mittels eines virtuellen Strahles), Armerweiterung (Auswahl und Manipulation von Objekten mittels Datenhandschuhe) und Gestenerkennung (Anweisungen über Erkennung der Bewegungen des menschlichen Körpers, am häufigsten der Hände). Datenhandschuhe werden aus ergonomischer Sicht als problematisch angesehen – sie passen nicht zu jeder Person und eine Systemkalibrierung ist notwendig; auch das Tragen kann als unangenehm empfunden werden. Bei der Gestenerkennung müssen kontinuierliche menschliche Bewegungen in diskrete Kategorien klassifiziert und richtigen Absichten zugeordnet werden. Beispielsweise wird das Schließen der Hand häufig als Auswahl und ihr Öffnen nach erfolgreicher Auswahl als Loslassen gedeutet (Nav09, vgl. S. 18:41). Das Analysesystem bei der Gestenerkennung besteht aus folgenden vier Phasen: Bewegungszerlegung, Objektklassifizierung, Verfolgung

und Interpretation (Jai05, vgl. S. 120). Manchmal werden zur Steuerung der virtuellen Szene neben Gestenerkennung auch okulomotorische Daten mittels Eye-Tracking erfasst.

3D-Eingabegeräte können beispielsweise erfolgreich als intuitive Skizziergeräte in VR eingesetzt werden, wie beispielsweise Microscribe 3D (räumliches Eingabegerät mit befestigtem Kugelschreiber) und Spacemouse (Bru03, vgl. S. 4-5). Obwohl die effektive 3D-Interaktion die Leistung des Nutzers gegenüber dem 2D-Input bei einigen wissenschaftlichen Visualisierungsaufgaben nachweislich verbessert (Che09, vgl. S. 371), konnte ihr bisher der Marktdurchbruch nicht gelingen. Der Hauptgrund dafür liegt in der generischen Natur der existierenden Interaktionsaufgaben und der folglich generischen Natur der Interaktionstechniken, die somit nicht anwendungsspezifisch und unpraktisch sind (Che09, vgl. S. 370-371). Die Entwickler von Interaktionsgeräten halten immer noch an dem kanonischen Satz der universellen Grundaufgaben einer interaktiven Anwendung: Auswahl, Positionierung, Orientierung, Pfaddefinition, Quantifizierung und Textoperationen (Fol84, vgl. S. 13-48), der auch eine Grundlage des vorherrschenden WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing Device) -Paradigmas darstellt. Anwendungsspezifische Techniken weisen den Nachteil auf, dass ihre Entwicklung zeit- und kostenintensiv ist. Die Kombination aus generischem und anwendungsspezifischem Interaktionsdesign wird als domänenspezifisches Design bezeichnet und kann laut neuer Forschungserkenntnisse tatsächlich die Vorteile beider Techniken maximieren und ihre Nachteile minimieren (Che09, vgl. S. 374-377).

Die Interaktion zwischen dem Nutzer und der virtuellen Umgebung erfolgt, in Anlehnung an das WIMP-Paradigma, oft über Anweisungen in graphischen Menüs. Ihre Ziele sind die Ausführung einer bestimmten Funktion und die Änderung des Interaktionsmodus oder des Systemzustandes (Bow05b, vgl. S. 263-273). Bei der Positionierung von Menüs in einer immersiven Umgebung existieren viele Referenzmöglichkeiten – im Bezug auf die projizierte Welt (fixiert), auf das aktive Objekt, auf den menschlichen Körper oder auf das Interaktionsgerät (Bow05b, vgl. S. 263-273).

Gegenwärtig sind Trends zur Erweiterung des WIMP-Paradigmas auf neuartigen Interaktionsarten zu beobachten. Sie können unter dem Begriff der realitätsbasierten Interaktion (englisch „Reality-Based Interaction“, RBI) zusammengefasst werden; RBI wird als vereinendes Konzept für Interaktionsarten verstanden, die sich von der WIMP- oder direkten Manipulation dadurch unterscheiden, dass sie stärker auf „das vorhandene Wissen des Nutzers über die alltägliche nicht-digitale Welt“ aufbauen (Jac08, vgl. S. 201). Das RBI-Konzept umfasst folgende vier Themenbereiche (Jac08, vgl. S. 202-203):

- Naive Physik (erfahrungsbasiertes Wissen über die physikalische Welt, das dem menschlichen Verstand zur Verfügung steht)
- Körperbewusstsein und –Fähigkeiten (Bewusstsein über den eigenen physikalischen Körper und Fähigkeiten zu seiner Kontrolle und Koordination)
- Umgebungsbewusstsein und –Fähigkeiten (Sinn über die Umgebung und Fähigkeiten zur Verhandlung, Manipulation und Navigation innerhalb der Umgebung)

- Soziales Bewusstsein und –Fähigkeiten (Bewusstsein über andere Personen in der Umgebung und Fähigkeiten zur Interaktion mit diesen Personen)

Oberstes Ziel des RBI-Konzeptes ist die Realität der Darstellung. Dieses Ziel soll explizit aufgegeben werden, nur wenn eines der folgenden konkurrierenden Ziele dadurch deutlich verbessert wird: Ausdruckskraft, Effizienz, Vielfalt, Ergonomie, Zugänglichkeit oder praktische Anwendbarkeit. Viele moderne Interaktionsmöglichkeiten bauen auf das RBI-Prinzip auf. Beispielsweise werden bei der Auswahl und Verschiebung von Objekten in immersiven Umgebungen naive Physik und Umgebungsbewusstsein und –Fähigkeiten angewendet, während beim Headtracking sowohl Körper- als auch Umgebungsbewusstsein und –Fähigkeiten angesprochen werden. (Jac08, vgl. S. 205, 208)

Als weiterer Trend bei der Interaktion in virtuellen Umgebungen ist die Nutzung multimodaler Schnittstellen zu nennen. Sie bringen folgende Hauptvorteile: Fehlervorbeugung, Robustheit, Hilfestellung bei der Korrektur von Fehlern, Erweiterung der Bandbreite der Kommunikation sowie Bereitstellung alternativer Kommunikationsmodelle für unterschiedliche Situationen und Umgebungen (Coh04, vgl. S. 41-46).

Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass die Entwicklung neuer Interaktionsparadigmen und Interaktionsgeräte ein hochaktuelles Forschungsgebiet ist. Die Motivation dafür liegt in den Begrenzungen der heutigen Schnittstellen. Der Ausblick für die Zukunft ist aber durchaus positiv – die Begrenzungen der heutigen Schnittstellen werden nach Schätzung von Experten von mobilen und tragbaren Geräten überwunden (Jai05, vgl. S. 134).

3.6.3. Auswahl der wichtigsten Studien

Die **Vorteile der 3D-Visualisierung und 3D-Interaktion** für bestimmte Zwecke wurden durch einige Studien nachgewiesen.

Ye et al. (Ye07, vgl. S. 1196-1197) konnten anhand einer Befragung feststellen, dass 3D-Displays im Produktdesign deutlich beliebter als konventionelle 2D-Displays sind. Auf einer als äquidistant angesehenen Likert-Skala mit fünf Punkten, wobei 1 die schlechteste und 5 die beste Note war, wurden 3D-Displays mit 4,5 und 2D-Displays nur mit 2,5 benotet. Die haptische Interaktion wurde mit 3,5 benotet, woraus sich ihre generelle Eignung, aber auch ein Verbesserungsbedarf für ihren Einsatz im Produktdesign ableiten lässt.

Darken und Durost (Dar05, vgl. S. 38-45) konnten herausfinden, dass die Eignungen von 3D- und 2D-Techniken für unterschiedliche generische Grundaufgaben unterschiedlich sind. In ihrer Studie hat jeder Teilnehmer dieselben Grundaufgaben in unterschiedlichen Vergleichsumgebungen in einer randomisierten Reihenfolge durchgeführt und die Eignung der entsprechenden Techniken sowie die Qualität der Realisierung für jede Grundaufgabe auf einer Likert-Skala mit fünf Punkten bewertet. Während für die Grundaufgaben Auswahl und Positionierung 3D-Techniken eindeutig vorgezogen werden und auch eine qualitativ bessere Lösung der Grundaufgabe bieten, werden für Texteingabe und Textlesen hinsichtlich Eignung und Qualität eindeutig 2D-Techniken empfohlen. Die Qualitätsurteile für 2D-

Texttechnologien fielen in der Studie besser im Vergleich zu den Urteilen für 3D-Auswahl und 3D-Positionierung, was laut der Autoren auf die Bekanntheit und die Gewöhnung der Nutzer auf 2D-Techniken zurückzuführen ist. Als Fazit ihrer Studie empfehlen Darken und Durost den Einsatz gemischter (2D/3D) Interaktionstechniken.

Baier, Wittmann und Ende (Bai11, vgl. S. 135-143) veröffentlichten eine **Vergleichsstudie über die Grundaufgabe Auswahl bei unterschiedlichen Interaktionsmethoden**. Ihre Testgruppe bestand aus 22 männlichen und 2 weiblichen Teilnehmern mit einem durchschnittlichen Alter von 25 Jahren; somit lassen sich die Ergebnisse gut nur für junge männliche Personen generalisieren. Es wurden folgende sechs Interaktionsmethoden basierend auf den zwei Eingabegeräten Maus und Datenhandschuh entwickelt und evaluiert (Bai11, vgl. S. 136-138):

- Datenhandschuhbasiert: direkt (Armerweiterung und Auswahl mit Zeigefingerspitze) und mit Strahl (Ray-Casting)
- Mausbasiert: mit Ebene und mit Zylinder als Mauszeiger
- Listenbasiert: mit handoperierter und mit mausoperierter Liste

Der Auswahlprozess bestand aus der Benennung und Bestätigung einer Zielkugel. Durch zwei Kugeldurchmesser (1,4 cm und 0,6 cm) und zwei Abstände zwischen Objekt und Hand (25 cm und 65 cm) wurden vier Schwierigkeitsstufen implementiert. Der Versuchsdesign war vollfaktoriell – jeder Teilnehmer hat alle vier Schwierigkeitsstufen mit allen sechs Interaktionsmethoden ausprobiert, wobei die Reihenfolge so ausgewählt war, dass unerwünschte Sequenzeffekte vermieden werden. Die Studie hat ergeben, dass sich datenhandschuhbasierte Interaktion durch lange Auswahlzeiten und hohe Fehlerquoten auszeichnet. Als Fehlerquelle wurde die Programmierung der Bestätigungsaktion durch Zusammenbringen von Daumen und Mittelfinger identifiziert – dieses unabsichtlich gegebene Zeichen wurde während des Versuches oft falsch als Bestätigung interpretiert. Im direkten Vergleich zeigte die direkte Interaktion mit dem Datenhandschuh eine bessere Leistung und eine geringere Fehlerquote als die Variante mit Ray-Casting. Die mausbasierte Interaktion erwies sich deutlich besser als die datenhandschuhbasierte Interaktion, während die eindeutig besten Ergebnisse die listenbasierte Interaktion in ihren beiden Varianten lieferte. Laut Studienergebnisse empfehlen die Autoren die mausbasierte Interaktion (wegen ihrer Unabhängigkeit vom räumlichen Orientierungsvermögen des Nutzers), besonders bei relativ heterogenen Gruppen und gewünschter hoher Leistung, während sie von der Anwendung eines Datenhandschuhs abraten (Bai11, vgl. S. 142).

Der Einfluss der **Positionierung von Menüs** in der virtuellen Umgebung auf die Nutzerleistung stellt ebenfalls ein aktuelles Forschungsthema dar.

Das und Borst (Das10, vgl. S. 47-50) stellten fest, dass kontextuale Pop-Up-Menüs die Nutzerleistung im Vergleich zu fixierten (auf die projizierte Welt referenzierten) Menüs erhöhen.

Dang und Mestre (Dan11, vgl. S. 147-151) haben in ihrer Studie unter Anderem den Einfluss der Orientierung der 3D-Menüs (auch „floating menus“ genannt) auf die Nutzerleistung untersucht. Am Versuch nahmen 7 Personen zwischen 22 und 39 Jahren teil, die alle über normale Sicht und über richtige stereoskopische Wahrnehmung verfügten. Sie waren alle Rechtshänder und bis auf eine Person hatten sie kaum oder keine Erfahrung mit stereoskopischem Sehen in virtuellen Umgebungen. Der Versuch dauerte inklusive der Kalibrierung ca. eine Stunde pro Person, die anschließende Befragung erfolgte anhand einer Likert-Skala mit sieben Punkten. Die Studie von Dang und Mestre hat ergeben, dass die horizontale Orientierung des 3D-Menüs in einer deutlich niedrigeren Nutzerleistung als die vertikale und die 45°-Orientierung resultiert.

Kaapu, Tiainen und Ellman (Kaa09, vgl. S. 18-35) haben den **Einfluss des Kontextes auf den Nutzerfokus** während der Interaktion mit virtuellen Produkten in VR untersucht. In einer komparativen Studie haben sie die Interaktion von 20 Testpersonen (nach Vorauswahl aus 68 Personen, wegen Gewährleistung der Repräsentativität) mit virtuellen 3D-Mobelmanifesten in einem CAVE Labor sowie die Interaktion von 13 Testpersonen mit denselben Modellen auf einem Powerwall auf einer Messe erforscht. Als Methode nutzten sie die Phänomenographie (siehe Kapitel 3.1.4), ergänzt durch Tracking-Daten. Die Studie hat gezeigt, dass der Kontext, in dem die virtuellen Produkte präsentiert werden, deren Interpretation wesentlich beeinflusst. Auf der Messe fokussierten sich die Teilnehmer auf die Möbel, während im CAVE Labor die VR Technologie im Vordergrund stand. In der CAVE-Umgebung interpretierten die Nutzer die Möbel häufiger als fotografische Darstellung und nicht als Produkt.

Während der Interaktion in der virtuellen Umgebung kann ein **Logging von Echtzeitdaten** (Verfolgung der gedruckten Tasten, Mausklicke, Mausbewegungen usw.) durchgeführt werden (Con11, vgl. S. 43), wodurch sowohl eine Echtzeit- als auch eine nachgelagerte Auswertung ermöglicht wird.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studien stellen aus Sicht dieser Arbeit wichtige richtungsweisende Erkenntnisse dar. Dennoch sind besonders die quantitativen Aussagen mit Vorbehalt zu betrachten, denn alle Testgruppen sind hinsichtlich Anzahl und Zusammensetzung nur bedingt repräsentativ.

3.7. Virtuelle Realität als technologische Umgebung zur Gewinnung von emotionalem Feedback

3.7.1. Bestehende Lösungen

Die technologischen Aspekte der Gewinnung von emotionalem Feedback sind Gegenstand der Wissenschaftsdisziplin Affective Computing. Nach Picard wird Affective Computing als „*computing that relates to, arises from, or deliberately influences emotions*“ (Pic97, S. 249) definiert, die entsprechende deutsche Übersetzung lautet „Berechnung, die mit Emotionen im Bezug steht, aus denen hervorgeht oder sie willkürlich beeinflusst“. Die affektive virtuelle

Umgebung soll einen freien (empathischen) Dialog zwischen ihr und dem Nutzer ermöglichen (Mor05, vgl. S. 4).

Der bisherige Schwerpunkt von Affective Computing liegt in der Entwicklung von virtuellen Agenten zur realistischen Nachahmung von emotionalen Qualitäten (Li10, vgl. S. 1). Dabei werden für die Agenten häufig sogenannte Schichtenmodelle entwickelt, bei denen jede Schicht (beispielsweise der affektive Zustand oder die Interaktionsschicht) Informationen für alle anderen Schichten generiert und sie mit denen teilt (Li10, vgl. S. 1-2). Das Problem dieser Ansätze liegt in den zugrundeliegenden enormen Vereinfachungen, die eine empathische emotionale Beziehung zwischen Mensch und Agent weitgehend verfehlen. Liu und Pan haben, basierend auf das diskrete Emotionsmodell nach Plutchik (siehe Kapitel 2.3.2.1) und auf das kognitive Emotionsmodell nach Ortony, Clore und Collins (siehe Kapitel 2.3.2.2), ein psychologisch fundiertes, allgemeines mathematisches Modell zur Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen Emotion, Stimulus, den Motivations- und Persönlichkeitsvariablen entwickelt; hierbei werden unter Anderem eine formalisierte Menge aus Basisemotionen $BE = \{be_1, \dots, be_n\}$ und eine zeitlich abhängige Emotionsvariable $E(t)$ definiert (Liu05, vgl. S. 631-632).

3.7.1.1. Lösungen für Desktop VR

Desktop VR Umgebungen werden oft für die teilweise emotionale Beurteilung der Benutzbarkeit von Produkten eingesetzt. Zur Produktvisualisierung werden beispielsweise VRML-Modelle in einem Web-Browser-Fenster benutzt (Bat05b, vgl. S. 237). Die Nutzer betrachten unter Anderem die Erforschbarkeit folgender Aspekte des technischen Produktes als relevant für eine Weiterentwicklung solcher Studien: der physikalischen Funktionalität des Produktes, der Bedienungsaktionen (beispielsweise Öffnung und Schließung von Teilen, Hineinstecken und Herausnehmen der Batterie), der Sicht (Darstellung des montierten Produktes und Explosionsdarstellung) und der Funktionalität der Schnittstelle (Bat05b, vgl. S. 244). Die Desktop VR Umgebung ist für Untersuchungen der Benutzbarkeit kostengünstig und relativ leicht einsetzbar. Jedoch konnten wegen der niedrigeren Immersion einer Desktop VR Umgebung, Unterschiede zwischen den Beurteilungen virtueller und reeller Modelle festgestellt werden (Bat05b, vgl. S. 243).

Ein weiteres sehr aktuelles Anwendungsgebiet der Emotionsforschung in Desktop VR stellt die Auswirkung der Emotionen auf den Lernprozess dar. Da Menschen nachweislich begleitet von Emotionen mit positiver Valenz erfolgreicher lernen, werden die hervortretenden Verknüpfungen zwischen ihren Emotionen und den Designelementen der Desktop VR erforscht, um eine optimierte Desktop VR Lernumgebung zu entwickeln (Chu11, S. 39). Chuah, Chen und Teh haben zur Erfassung dieser Verknüpfungen Kansei Konzepte (Chu11, S. 32) und zu deren Auswertung die Methode der partiellen kleinsten Quadrate angewendet (Chu11, S. 34).

Moderne Sensoren, die in einer (für zuverlässigen Kontakt mit der Nutzerhand) speziell designierten sogenannten „Emotionalen Maus“ integriert werden, ermöglichen Messungen

der Hauttemperatur und des Hautwiderstandes sowie Finger-Photoplethysmogramme in Desktop-Umgebungen. Die Messergebnisse weisen eine bessere Genauigkeit für die Erregungsdimension als für die Valenz auf. Diese Desktopanwendungen sehen auch empathische Antworten der Umgebung vor – bei negativen Emotionen werden beispielsweise individuelle Lieblingsmusik oder Lieblingsvideos vorgespielt. (Wha07, vgl. S. 204-211)

3.7.1.2. Lösungen für Immersive VR

Psychophysiologische Messungen in immersiven Umgebungen werden bereits zur Untersuchung von menschlichen Wahrnehmungsprozessen eingesetzt (Hec05, vgl. S. 22-25). Immersive VR setzt sich insbesondere als neues Medium in der Experimentalforschung der menschlichen Antworten auf räumliche Strukturen und räumliche Navigation durch (Pla09, vgl. S. 50). Als relevanter Untersuchungsgegenstand stellt sich die Verbindung zwischen den Wahrnehmungselementen in der Umgebung und den Aktionsmöglichkeiten des Betrachters heraus, die als Angebotscharakter (englisch „affordance“) bezeichnet werden kann (Gib79, vgl. S. 117-143). Die Umgebung hat demzufolge die Aufgabe, reale äußere Anreize kontexttreu abzubilden und gleichzeitig den für solche Situationen natürlichen Reaktionsspielraum für den Nutzer zu ermöglichen. Laut Morie et al. (Mor05, vgl. S. 5) soll zwischen drei Arten von designierten Angebotscharakteren unterschieden werden: Sicherheiten, Schocks und Überraschungen.

Im Bezug auf den Stellenwert der realistischen Darstellung für die Qualität der emotionalen Reaktion existieren divergierende Meinungen. Einige Autoren gehen von dem Gedanken aus, dass unsere visuelle Welt eine chaotische Ansammlung von Objekten, Texturen und Farben im Überfluss darstellt, und ziehen daraus die Schlussfolgerung, dass in einer immersiven Umgebung das Fehlen dieser Details als unecht oder gestellt wahrgenommen würde (Mor05, vgl. S. 3). Somit wäre auch die emotionale Reaktion verfälscht. Laut Spanlang ist im Gegensatz „die visuelle Qualität (für die emotionale Reaktion) nicht sehr wichtig“; viel wichtiger sei die Situationssensitivität, d.h. dass aus Nutzersicht „VR auf der Art und Weise reagiert wie erwartet“ (Red10). Der Einfluss von Genauigkeitsvariationen der Visualisierung in immersiven Umgebungen auf die kognitiven Fähigkeiten des Menschen wird häufig durch neurophysiologische Messungen erforscht – Ziel ist die Ermittlung der Beziehungen zwischen der Leistung bei einer Wahrnehmungsaufgabe einerseits und den neurophysiologischen EEG-Antworten andererseits (Vic11, vgl. S. 397).

Anschließend werden die wichtigsten technologischen und methodischen Erkenntnisse aus dem bisherigen Einsatz der Immersive VR als Umgebung zur Gewinnung von emotionalem Feedback präsentiert.

Meehan et al. haben durch Messungen der Herzrate (HR) und durch SCR-Messungen die Erregungsdimension der Emotionen in Immersive VR untersucht (Mee02, vgl. S. 645-652). Sie konnten feststellen, dass die physiologischen Antworten auf das Ereignis der Setzung der Versuchsperson vor einer tiefen Grube in der realen Welt und in der virtuellen Umgebung

vergleichbar sind (Mee02, vgl. S. 645-652). Wie bei psychologischen Untersuchungen für klinische Zwecke üblich (siehe Kapitel 2.4.3), wurde der Fokus lediglich auf unerwünschte Emotionen gesetzt.

Wu et al. haben eine Studie mit 19 Studierenden durchgeführt, die die sogenannte „Virtual Reality Stroop“ Aufgabensammlung gelöst haben. Sie mussten bei Erscheinung von Worten, die Bezeichnungen für unterschiedliche Farben darstellen und in einer zufälligen Textfarbe geschrieben sind, folgende drei Aufgabenarten bearbeiten: Farbenbenennung, Wortlesen und Interferenzaufgaben (der Nutzer muss die Taste drücken, die zur Farbe des Wortes passt, der am Bildschirm erscheint). Die Studie hat für über 80% der Versuchspersonen das Yerkes-Dodson Gesetz bestätigt, das besagt, dass ein optimales Erregungsniveau für die Lieferung einer guten Leistung existiert und dass oberhalb und unterhalb dieses Wertes die Leistung sinkt. Die emotionale Dimension der Erregung kann für eine Versuchsperson anhand ihres Verhaltens in vorhergehenden Versuchen präzise vorausgesagt werden; der interpersonelle Vergleich gestaltet sich aber schwer. Laut dieser Studie sind die wichtigsten Messgrößen für die Erregung der Hautwiderstand und die Atmungsgrößen. EEG-Größen erweisen sich als mäßig wichtig und bei EKG-Größen ist der Zeitabstand zwischen Herzschlägen (engl. „interbeat interval“, IBI) wichtiger als die Herzrate. (Wu10, vgl. S. 109-115)

Morie et al. haben in einem Experiment mit 64 Versuchspersonen aus universitärem Umfeld, im Alter zwischen 18 und 40 Jahren, folgende methodische und technologische Lösungen für Gewinnung von emotionalem Feedback in Immersive VR benutzt (Mor05, vgl. S. 6-7):

- Der Versuch startete mit der Ausfüllung von drei standardisierten Fragebögen: Immersive Tendencies Questionnaire (ITQ), Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) und Virtual Environments Questionnaire (VEQ).
- Anschließend wurde der Mechanismus der Anfangsinstruktion („priming“) eingesetzt. Dabei wurde ein kurzes Video gezeigt, das die zu lösende Aufgabe in VR erklärt. Die wesentlichen Vorteile eines solchen Videos liegen: in der kontextgetriebenen emotionalen Verbindung über eine Hintergrundgeschichte, in der Funktion als Schema für Nutzererfahrung sowie als Referenzpunkt für Assoziationen und Füllung von Lücken aus der Erfahrungsphase und in der extrinsischen Motivation durch Zielvorgabe.
- Vor dem Erlebnis in VR wurden zuerst die Messgeräte für die Messung von Herzrate und SCR-Größen an die Testperson angebunden und danach die Interaktionsgeräte für stereoskopisches Sehen und Navigation in der VR.
- Nach dem Erlebnis wurden Erinnerungs- und Beibehaltungs-Fragebögen ausgefüllt.
- Die Auswertung erfolgte mittels Data Mining der gesammelten Daten aus den Fragebögen vor und nach dem Erlebnis in VR sowie der Verhaltens- und biometrischen Daten während des Erlebnisses in VR. Auf der zeitlichen Achse konnten die Überlappung von HR- und SCR-Ergebnissen und ihr Bezug zur Sicht des Nutzers zu jedem relevanten Zeitpunkt dargestellt werden.

Eine wichtige technologische Voraussetzung zur Ermöglichung valider Emotionserfassung in immersiven virtuellen Umgebungen stellt die Realisierung einer robusten Interaktion im Stehen dar. Dazu wurde beispielsweise eine mobile Gehirn-Computer-Schnittstelle für eine Innenraum-Umgebung entwickelt und validiert (Tou11, vgl. S. 291-293).

3.7.2. Potenziale

Die Gewinnung emotionalen Feedbacks bei interaktiven Ingenieur Anwendungen stellt gegenwärtig ein Themengebiet mit schwacher Methodik und sehr vielen offenen Fragen dar. Es lässt sich behaupten, dass die Rolle der Emotion bei der Mensch-Maschine-Interaktion nicht ausreichend geklärt ist (Hud03, vgl. S. 1-32). Bisher wurden hauptsächlich Emotionsstimuli ohne Abbildung realistischer Kontexte eingesetzt und die Untersuchungen wurden auf sehr spezifische Domänen (beispielsweise Fahrerverhalten) konzentriert. Dies ist eine Folge der überwiegend Technik- statt Menschen-zentrierter Betrachtungen. Die üblichen Kritikpunkte an die Methoden der Emotionserkennung sind die oft niedrige Genauigkeit und die schlechte Wirtschaftlichkeit (Fre09, vgl. S. 134).

Die Technologie der Virtuellen Realität weist wegen ihrer Natur viele Potenziale zur Verbesserung der geschilderten Situation auf, die anschließend erläutert werden.

Technisch-philosophisch betrachtet, werden in der VR die individuell isolierten und begrenzten Sinnes- und Wahrnehmungsorgane erweitert (Omm06, vgl. S. 71-74). In dieser Umgebung zählt „der gegenwärtige Moment, mit aller seiner Unmittelbarkeit, Augenblicklichkeit, Vergänglichkeit“ sowie seiner Situationsbedingtheit (Omm06, vgl. S. 114). Auf dieser Weise bietet sie sich als eine Plattform für die Erforschung der emotionalen Antworten auf (festgelegte oder vom Nutzer während der Interaktion ausgelöste) äußere Stimuli in der Zeitlupe. Die Handlungsfähigkeit in diesem Medium wird durch Flexibilität und Kreativität gewährleistet, die mit Situations- und Sozialkompetenz gepaart werden (Omm08, vgl. S. 95-113). Somit sind Erlebnisse in VR nutzerzentriert und bauen auf die Erfahrungen und Kenntnisse des Nutzers auf. Der Nutzer kann also auch sein stilles Wissen (englisch „tacit knowledge“) in den Beurteilungsprozess einbeziehen. Dieser Begriff wird definiert als sehr persönliches und schwer formalisierbares Wissen, das sich in den menschlichen Geist und Körper befindet; Beispiele für stilles Wissen sind subjektive Erkenntnisse, Intuition, Präferenzen und Vorahnungen, während seine typische Repräsentationsformen Aktionen, Werte und Kontexte sind (Non95, vgl. S. 8-11).

Das Präsenzgefühl in immersiven Umgebungen wird durch die „ich“-Form des Agenten, statt der „er“-Form bei Avataren, und durch Einbeziehung kinästhetischer und synästhetischer Wahrnehmungsqualitäten erhöht (Omm06, vgl. S. 282-283, 308). Die beobachtete Folge „Imagination → Emotion → Aktion“ (Son11, vgl. S. 213) wird von der Virtuellen Realität unterstützt, denn Imagination stellt eine der drei Haupteigenschaften (siehe Kapitel 2.1.1.2) von VR dar und die Interaktionsmöglichkeiten gewährleisten einen entsprechenden Aktionsraum.

Es wurden durch unterschiedliche Autoren folgende weitere Vorteile der Darstellung in Immersive Virtual Reality identifiziert:

- Gewährleistung vergleichbarer experimenteller Randbedingungen für alle Teilnehmer (Pla09, vgl. S. 52)
- Interaktive perspektivische Sicht (Ogi11, vgl. S. 105)
- Ermöglichung von (relativ) unbeschränkten Bewegungen (Pla09, vgl. S. 57)
- Erforschbarkeit des Produktes in reeller Größe (Ogi11, vgl. S. 105)
- Flexible und personalisierte Generierung von Stimuli (Pla09, vgl. S. 52)
- Präzise Kontrolle von experimentellen Stimuli und Bedingungen ohne Zerstörung deren 3D-Eigenschaften bei der Darstellung (Pla09, vgl. S. 52)
- Natürliche Problemlösung durch die Umgebungsvalidität (Pla09, vgl. S. 52)
- Aufbau der Umgebung mit weniger Aufwand als in realen Situationen (Pla09, vgl. S. 52)
- Eignung zur Unterstützung von Kansei Engineering (Ogi11, vgl. S. 105)
- Ermöglichung des Stellens von schwierigen Aufgaben, die in reeller Form unmöglich oder unethisch sind (Red10)

Ein Nachteil der Produkterlebnisse in Virtueller Realität ist die fehlende Zeit zur Entwicklung einer emotionalen Beziehung zum dargestellten Produkt. Aus diesem Grund eignet sie sich nur zur Erfassung der transaktionsspezifischen und nicht der kumulativen Kundenzufriedenheit (siehe Kapitel 2.4.3). Früher wurden hohe Wahrscheinlichkeiten für abweichende Evaluierungen zwischen virtuellen und realen Räumen festgestellt (Oku97, vgl. S. 460-464). Dieser Nachteil wurde durch die kontinuierliche technologische Weiterentwicklung jedoch wesentlich relativiert.

4. Methodik zur Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback in immersiver Umgebung

4.1. Anforderungen

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Methodik soll für eine kundengerechte und –zentrierte Auswahl von entwickelten Produktkonzeptvarianten, basierend auf den emotionalen Feedback der potenziellen Kunden anhand der virtuellen Darstellung der Varianten in immersiven Umgebungen, eingesetzt werden. Somit ist sie in der CREATE-Phase des „neuen Produktentwicklungsprozesses“ (siehe Kapitel 2.2.2) platziert. Mit ihrem Einsatz soll erzielt werden, dass die Vorauswahl der weiter zu verfolgenden Konzeptvarianten aus dem Anfangssatz der Konzeptvorschläge während der CREATE-Phase mit passender Kundenbeteiligung erfolgt; üblicherweise wird gegenwärtig die Vorauswahl in Expertenteams mittels technisch-wirtschaftlicher Analyse und weiterer formaler Entscheidungsunterstützungsmethoden, ohne Rücksprache mit dem Kunden, getroffen. Nach VDI 2221 (siehe Kapitel 2.2.2) gehört die Methodik zum Arbeitsschritt „6. Gestalten des gesamten Produktes“, bei dem aus Vorentwürfen der Gesamtentwurf entsteht.

Eine Hauptanforderung der Methodik, die gleichzeitig ihr wichtigstes Alleinstellungsmerkmal darstellen soll, ist ihre **Durchgängigkeit** – es soll eine grundsätzliche Vorgehensweise entwickelt und validiert werden, bei der alle Aufgaben und ihre Zuordnung zu den beteiligten Personen beschrieben werden.

Die Methodik muss trotz der hohen Komplexität der Aufgabestellung **beherrschbar** bleiben. Wegen der Vielzahl an theoretisch möglichen Merkmalkombinationen ist eine vollständige Beurteilung aller möglichen Varianten unrealistisch. Daher soll die Beurteilung im Sinne der Methodik ebenfalls kundenzentriert, durch eine **interaktive Konfiguration in Virtueller Realität**, erfolgen. Verbales Feedback über viele Produktvarianten wird schnell unübersichtlich und weist erhebliche Nachteile auf, wie dem Kapitel 3.1.2 zu entnehmen ist. Aus diesem Grund stellt die **quasi-kontinuierliche Emotionserfassung in Echtzeit mittels biologischer Signale** eine weitere Anforderung dar. Hierbei muss eine **objektive Messung von Größen** erfolgen, die mit bestimmten Emotionen korrelieren und von der Versuchsperson kaum beeinflussbar sind.

Die eingesetzten Interaktions- und Messverfahren müssen **Robustheit gegenüber Umgebungs- und interpersonellen Variationen** zeigen. Diese Robustheit muss **auch im Stehen und bei langsamen Bewegungen** gewährleistet werden, was insbesondere bei den psychophysiologischen Messungen eine große Herausforderung darstellt.

Eine wichtige Herausforderung an der Darstellung in der immersiven Umgebung ist die **realitätsnahe Abbildung des konzipierten Produktes in dem entsprechenden Anwendungskontext aus dem Alltag**.

Weiterhin ist **hinsichtlich der Interaktion in VR** die Berücksichtigung der sogenannten „Human Factors“ (HF) notwendig. Die Philosophie von HF besagt, dass alle Produkte und

Systeme letztendlich für Menschen entwickelt werden und somit die Ziele der Kundenzufriedenheit, Sicherheit und Benutzbarkeit erfüllen müssen (San07, vgl. S. 165). Die technologischen Lösungen für die Interaktion in der immersiven Umgebung müssen in diesem Sinne so ausgewählt sein, dass **der Nutzer seine Aufmerksamkeit auf das virtuelle Produkt und nicht auf die Interaktion fokussiert**. Im konkreten Fall für die hier vorgeschlagene Methodik bedeutet dies, dass die Interaktion **intuitiv und leicht** erfolgen sowie den **natürlichen Reaktionsspielraum** für den Nutzer ermöglichen soll (siehe Kapitel 3.6.1).

Die vorliegende Methodik **fokussiert sich nur auf das emotionale Feedback** für virtuelle Produkte. Sie kann komplementär mit anderen aus der Praxis vertrauten methodischen Lösungen eingesetzt werden, die für die Gewinnung von kognitivem Feedback für virtuelle Produkte sorgen.

4.2. Annahmen

In den Kapiteln 2 und 3 dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die hier behandelte Thematik hochinterdisziplinär ist und dass bei vielen Aspekten immer noch divergierende Meinungen und teilweise keine konsolidierte Begriffsverständnisse zwischen den unterschiedlichen Disziplinen und innerhalb einer Disziplin existieren. In diesem Kapitel werden nochmals die wichtigsten Begriffsdefinitionen und wissenschaftlich begründeten Annahmen aus allen Disziplinen zusammengefasst, auf welche die vorgeschlagene Methodik beruht; der Verweis auf den Kapitel, in dem die entsprechende Aussage detaillierter begründet ist, wird in Klammern gegeben. Die Thesen, die im Rahmen dieser Arbeit formuliert und überprüft werden, sind in der Beschreibung der Methodik im Kapitel 4.4 zu finden.

Es werden folgende Annahmen für die grundlegenden Begriffe innerhalb dieser Methodik getroffen:

- Die Virtuelle Realität stellt ein Medium dar, bei dem der Mensch im Mittelpunkt steht. Die benutzte Technologie dient dazu, eine Umgebung so zu simulieren, dass sich der Mensch präsent in der simulierten Welt fühlt und mit ihr durch seine Sinneswahrnehmungen und Handlungen interagiert (Kapitel 2.1.1).
- CAVEs werden im weiteren Sinne des Wortes gefasst – sie stellen eine Ausgabeart der Projektion VR dar, die drei bis sechs Projektionswände beinhaltet und einen höheren Immersionsgrad gegenüber Desktop- und Powerwall-Umgebungen aufweist. Aus diesem Grunde wird für CAVEs in der vorliegenden Arbeit das Synonym „immersive Umgebungen“ benutzt (Kapitel 2.1.2.1).
- Der Begriff Kunde wird als Oberbegriff sowohl für bekannte Kunden als auch für die Gesamtmenge der potenziellen Kunden angewendet.

- Ein Produkt stellt ein Nutzenbündel für den Kunden dar, das zur Gewährleistung des Markterfolgs in Zusammenarbeit zwischen Anbieter und Kunden erstellt werden soll. Es kann keine scharfe Trennung zwischen materiellen Sachgütern und immateriellen Dienstleistungen gemacht werden – ein modernes Ingenieurprodukt ist vielmehr eine Kombination aus diesen zwei Kategorien (Kapitel 2.2.1).
- Eine Produktvariante ist ein Produkt, das den größten Teil der Merkmale mit anderen Produkten teilt und sich von denen durch je mindestens eine Merkmalausprägung unterscheidet (Kapitel 2.2.5).
- Der Designbegriff wird in der vorliegenden Methodik breit gefasst – er beinhaltet sowohl den ästhetischen (die Form betreffend) als auch den funktionsbezogenen (technischen) Design. Das funktionsbezogene Design wird in der Regel von Ingenieuren entworfen (Kapitel 2.2.3).
- Emotionen stellen objektbezogene affektive Zustände dar, die einem sie auslösenden Stimulus eindeutig zugeordnet werden können und eine kurze Dauer besitzen (Kapitel 2.3.1.1).
- Qualität ist der Grad der wahrgenommenen Erfüllung der Erwartungen an das Produkt seitens eines individuellen Kunden. Als Kundenzufriedenheit bezeichnet man das Verhältnis des individuellen Kunden zum Zielprodukt, das sich durch die bewusste und unbewusste Verarbeitung seiner Wahrnehmungen dynamisch bildet. Somit wird Qualität als Antezedens-Variable der Kundenzufriedenheit angesehen. Sowohl Qualität als auch Kundenzufriedenheit besitzen rationale und emotionale Komponenten. (Kapitel 2.4.2 und 2.4.3).

Desweiteren werden folgende wissenschaftlich begründete Annahmen getroffen:

- Nicht die vollkommen realistische Darstellung in Virtueller Realität ist ausschlaggebend, sondern ihre Wahrnehmung seitens des Kunden als realistisch (Kapitel 2.1.1.1).
- CAVEs eignen sich laut der SWOT-Analyse als technologische Plattform für die Lead-User-Methode zum Frontloading von Kundenwissen in der Produktentwicklung (Kapitel 2.1.3).
- Die Kundeneinbindung bereits in die Konzeptphase liefert wichtige Designperspektiven (Kapitel 2.2.4). Die Virtuelle Realität ist geeignet für den Einsatz schon in der Phase des konzeptuellen Designs (Kapitel 3.5).
- Emotionen können laut Zajonc auch unbewusst entstehen und benötigen keine bewusste kognitive Verarbeitung (Kapitel 2.3.2.2).
- Emotionen können durch das dreidimensionale PAD-Modell vollständig beschrieben werden (Kapitel 2.3.2.3). Kundenemotionen über Produkte können durch

dimensionale Modelle ausreichend beschrieben werden – die Nutzung diskreter Emotionen bringt nur einen schwachen Erkenntniszugewinn bei stark zunehmender Komplexität (Kapitel 3.4).

- Zur Kaufentscheidung tragen nicht nur rationale Komponenten, sondern größtenteils emotionale, erfahrungsbasierte Komponenten bei (Kapitel 2.4.1).
- Die wichtigste Variable zur Beschreibung des emotionalen Kundenfeedbacks für ein Produkt ist die Valenzkomponente (P) im dimensionalen PA(D)-Modell (laut Positionierung der Zufriedenheit auf **Abbildung 8** und der Begründungen im Kapitel 2.4.3). Als wichtig wird auch die Erregungskomponente (A) angesehen, besonders zur Beschreibung des Erlebnisses in VR, das als Dienstleistung auch ein Teil des Nutzenbündels und somit des Produktes ist.
- Wegen dem steigenden Angebot variantenreicher und individualisierter Produkte auf dem Markt, ist nur eine Qualitätsbeurteilung des kundenindividuellen Wunschproduktes als Zielobjekt relevant (Kapitel 2.4.2).
- Jedes Gebrauchsgut besteht aus komplementären nützlichen und hedonistischen Merkmalen bzw. Merkmalanteilen (Kapitel 2.4.2).
- Für die Feststellung der emotionalen Qualität eines Produktes ist die realitätsnahe kontexttreue Simulation der Produktnutzung notwendig (Kapitel 2.4.2).
- Emotionale Bewertungen von Produktvarianten erfolgen laut Rutherford meist holistisch. Aus diesem Grund ist der Vergleich von vollständigen Produktvarianten in Virtueller Realität sinnvoller als der Vergleich der Ausprägungen einzelner Produktmerkmale bei unterschiedlichen Varianten. (Kapitel 3.4)
- Die während eines Erlebnisses wahrgenommene ästhetische und funktionsbezogene Produktqualität beeinflusst die transaktionsspezifische Kundenzufriedenheit (Kapitel 2.4.2).
- Es wird ein dreifaktorielles Konstruktverständnis der Kundenzufriedenheit im Bezug auf die Qualität angenommen (Kapitel 2.4.3).
- Das Kano-Modell liefert fundierte statistische Erkenntnisse über die makroskopische Zufriedenheit des Kundenkreises von einem bestimmten Produkt (Kapitel 2.4.4).
- Mündliche oder schriftliche kognitiv vermittelte Aussagen über den emotionalen Zustand einer Person können aus unterschiedlichen Gründen verfälscht sein (Kapitel 3.1.2).
- Psychobiologische Messungen können von der Versuchsperson kaum opportunistisch beeinflusst werden (Kapitel 3.1.3).

- Support Vector Machines und Neuronale Netzwerke eignen sich für eine ausreichend genaue Auswertung von emotionalem Feedback aus psychophysiologischen Messungen anhand des PAD-Modells (Kapitel 3.2).

4.3. Informationsmodell

Zur vollständigen formalisierten Beschreibung der Methodik für einen Einzelversuch mit einem bestimmten Kunden wird hier ein allgemeines, erweiterbares und an den jeweiligen Anwendungsfall anpassbares Informationsmodell M vorgeschlagen. Es stellt ein Tupel aus sieben Elementen dar:

$M = (\text{Kunde, Unternehmen, Versuchsumgebung, Zeit, Produkt, Emotion, Interaktion})$

Die ersten drei Elemente (Kunde, Unternehmen und Versuchsumgebung) bilden den quasi-statischen Teil des Tupels. Ihre Parameter weisen aus einem der folgenden Gründe konstante Werte im Laufe eines Einzelversuches auf:

- Die Werte des Parameters wurden für den Versuch durch Entscheidungen eindeutig festgelegt (z.B. Abmessungen der Projektion, Interaktionsgeräte)
- Die Werte des Parameters ändern sich sehr langsam (z.B. Alter, Nationalität) im Vergleich zur Dauer des Versuches (ca. 1 Stunde).
- Die Werte des Parameters werden nur einmal während des Versuches und nicht kontinuierlich erfasst (z.B. Einschätzung der Erfahrung des Kunden mit dem Produkt).

Die letzten vier Elemente des Tupels (Zeit, Produkt, Emotion und Interaktion) bilden den dynamischen Teil. Ihre Parameterwerte ändern sich kontinuierlich im Laufe des Versuches und werden in bestimmten kurzen Zeitabständen (in der Regel im Millisekunden-Bereich) aufgenommen. Die Zeit fungiert daher als Bezugsvariable für die Beschreibung der Änderungen aller anderen Variablen des dynamischen Teils des Tupels.

Anschließend werden alle sieben Elemente des Tupels ausführlich beschrieben.

4.3.1. Kunde

$\text{Kunde} = (n_k, s_k, a_k, g_k, h_k, b_k, \dots, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, k_{1k}, k_{1b}, k_{2k}, k_{2b})$

n_k – Identifikationsnummer des Kunden ($n_k \in \mathbb{N}$)

s_k – Kundensegment, zu dem der Kunde gehört

a_k – Alter des Kunden ($a_k \in \mathbb{N}$, $a_k \in [a_{kmin}, a_{kmax}]$, wobei a_{kmin} das minimal und a_{kmax} das maximal zulässige Alter der Versuchsperson darstellt)

g_k – Geschlecht des Kunden ($g_k \in \{m, w\}$, wobei m für männlich und w für weiblich steht)

b_k – Beruf / Bildung des Kunden

h_k – Nationalität (Heimatsland) des Kunden

p_1 – Persönlichkeitswert für emotionale Stabilität / Neurotizismus (ermittelt durch Persönlichkeitsinventar)

p_2 – Persönlichkeitswert für Extraversion (ermittelt durch Persönlichkeitsinventar)

p_3 – Persönlichkeitswert für Offenheit (ermittelt durch Persönlichkeitsinventar)
 p_4 – Persönlichkeitswert für Freundlichkeit (ermittelt durch Persönlichkeitsinventar)
 p_5 – Persönlichkeitswert für Gewissenhaftigkeit (ermittelt durch Persönlichkeitsinventar)
 k_{1k} – Selbsteinschätzung der Erfahrung des Kunden mit dem Produkt ($k_{1k} \in \mathbb{N}$, $k_{1k} \in [1, 5]$)
 k_{1b} – Einschätzung der Erfahrung des Kunden mit dem Produkt seitens des
 Versuchsbetreuers ($k_{1b} \in \mathbb{N}$, $k_{1b} \in [1, 5]$)
 k_{2k} – Selbsteinschätzung der Erfahrung des Kunden mit der Versuchsumgebung ($k_{2k} \in \mathbb{N}$, $k_{2k} \in [1, 5]$)
 k_{2b} – Einschätzung der Erfahrung des Kunden mit der Versuchsumgebung seitens des
 Versuchsbetreuers ($k_{2b} \in \mathbb{N}$, $k_{2b} \in [1, 5]$)

Die Definition der Kundensegmente erfolgt nach unternehmensinternen Kriterien und im Hinblick auf die Versuchsziele. Beispielsweise kann dazu die Klassifizierung nach Raschke (Ras05, vgl. S. 68-74) oder eine Einteilung nach Beziehung zum Unternehmen (Stammkunden, Neukunden, ehemalige Kunden usw.) angewendet werden.

Die Ober- und Untergrenze für das Alter der Versuchsperson sind ebenfalls im Hinblick auf die Versuchsziele zu definieren. Wegen der Aufnahme personenbezogener Daten, wenn auch diese mit Einverständnis des Kunden aufgenommen und anonymisiert werden, ist laut Kapitel 4.4.9 eine Mindestaltersgrenze von mindestens 18 Jahren ausdrücklich zu empfehlen.

Für den Fall, dass bei einem Parameter mehrfache Angaben möglich sind (z.B. Beruf/Bildung, Nationalität), muss eine konsolidierte Vorgehensweise im Rahmen des Versuchsdesigns festgelegt werden. Beispielsweise können mehrere Eingaben ins Modell erlaubt werden, oder aber auch nur eine und der Kunde müsste sich dann von den mehreren Möglichkeiten um eine entscheiden.

Der Kunde schätzt seine Erfahrung mit dem untersuchten Produkt und mit der Versuchsumgebung auf einer Likert-Skala mit fünf Punkten ein. In dieser Arbeit wird empfohlen, diese Abfrage vor dem Erlebnis durchzuführen, um eine zu starke kognitive Beeinflussung der Antwort zu vermeiden. Zum Vergleich schätzen auch die Versuchsbetreuer den Kunden bei diesen beiden Aspekten ein, und zwar direkt nach Beendigung des Versuches.

Das hier vorgestellte Kundenmodell kann für spezifische Fälle mit weiteren relevanten Parametern ergänzt werden. Ebenfalls können unwichtige Parameter für eine spezifische Studie weggelassen werden.

4.3.2. Unternehmen

Unternehmen = (n_u , n_{mit} , n_{marke} , (ue_1 , ue_2 , ...), p_{entw} , p_{entsch} , ...)

n_u – Name des Unternehmens

n_{mit} – Mitarbeiterzahl des Unternehmens ($n_{mit} \in \mathbb{N}$)

n_{marke} – Bezeichnung der untersuchten Marke

ue_1 , ue_2 , ... – Bezeichnungen der beteiligten Unternehmenseinheiten

p_{entw} – Parameter des Entwicklungsprozesses

p_{entsch} – Parameter des Entscheidungsprozesses

Die Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse in einem Unternehmen stellen wichtige Rahmenbedingungen für die Methodik dar, denn sie bestimmen den Handlungsspielraum und indirekt die Motivation der beteiligten Mitarbeiter. Die Entwicklungsprozesse können beispielsweise nach ihrer Reihenfolge (sequentiell, parallel usw.) und die Entscheidungsprozesse nach dem Führungsstil der Verantwortlichen (partizipierend, autoritär usw.) klassifiziert werden.

4.3.3. Versuchsumgebung

Versuchsumgebung = $(l_p, h_p, b_p, a_p, (i_{g1}, i_{g2}, \dots), (i_1, i_2, \dots), (i_{k1}, i_{k2}, \dots), (e_{mg1}, e_{mg2}, \dots), (e_1, e_2, \dots), (e_{k1}, e_{k2}, \dots))$

l_p – Länge der Projektionsfläche [m]

h_p – Höhe der Projektionsfläche [m]

b_p – Breite der Projektionsfläche [m]

a_p – Projektionsart

i_{g1}, i_{g2}, \dots – Bezeichnungen der Interaktionsgeräte

i_1, i_2, \dots – Bezeichnungen der Interaktionsparameter

i_{k1}, i_{k2}, \dots – Koordinatensysteme für die Interaktionsparameter i_1, i_2, \dots

e_{mg1}, e_{mg2}, \dots – Bezeichnungen der Emotionsmessgeräte

e_1, e_2, \dots – Bezeichnungen der Emotionsmessgrößen

e_{k1}, e_{k2}, \dots – Koordinatensysteme für die Emotionsmessgrößen e_1, e_2, \dots

Die Abmessungen der Projektionsfläche(n) stellen wichtige Faktoren für den Immersionsgrad der Versuchsumgebung dar, denn sie bestimmen das für das Gefühl des Eintauchens wichtige Verhältnis zwischen der Größe des Projektionsfeldes und der Größe des Blickfeldes, bei bekannter relativen Position und Orientierung des Kunden im Bezug auf die Projektionsfläche(n). Für 2D-Projektionen gilt $b_p = 0$. Mögliche Projektionsarten sind beispielsweise: CAVE (mit Angabe der Anzahl und Anordnung der Projektionsflächen, laut Annahme im Kapitel 4.2), Powerwall, HMD, Desktop VR usw.

Unter Interaktionsgeräten werden im vorliegenden Modell vereinfachend neben den klassischen Ein- und Ausgabegeräten mit bidirektionalem Austausch auch reine Ausgabe- und reine Eingabegeräte zusammengefasst. Als Interaktionsgeräte können auch Teile des menschlichen Körpers fungieren, wie beispielsweise bei der Gesten- (Hände) und bei der Spracherkennung (Stimmbänder). Zu den wichtigen Interaktionsparametern eines Gerätes zählen unter anderem seine Positions- und Orientierungsparameter sowie der Zustand der unterschiedlichen Tasten. Ihre Werte sind dynamisch und werden im Element „Interaktion“ des Tupels M im Bezug auf jeweils ein festgelegtes Koordinatensystem gespeichert (siehe Kapitel 4.3.7).

Beispielhafte Emotionsmessgrößen sind BVP, EDA, EMG-1 (Zahl ist Bezeichnung des Kanals), EMG-2 usw. Alle diese Größen werden anhand festgelegter Verhältnis- oder Intervallskalen (als eindimensionale Koordinatensysteme) quantifiziert.

4.3.4. Zeit

Zeit = t

Die Zeit wird in regelmäßigen Schritten in einem Data Log oder in mehreren Data Logs für unterschiedliche Parameter automatisch erfasst. Für die Validität der Ergebnisse ist sehr wichtig, dass alle Messsignale hinsichtlich Zeit mit einer Genauigkeit im Millisekunden-Bereich synchronisiert sind.

4.3.5. Produkt

Produkt = $(n_v, (m_1, a_{m1}), (m_2, a_{m2}), \dots)$

n_v – Bezeichnung der aktuellen Variante

m_1, m_2, \dots – Bezeichnungen der aktuell aktivierten Produktmerkmale

a_{m1}, a_{m2}, \dots – aktuelle Ausprägungen (Werte) der Produktmerkmale

Bei variantenreichen Produkten wird in dieser Arbeit zur Beibehaltung der Übersichtlichkeit von semantischen Bezeichnungen der Varianten abgeraten. Stattdessen werden Kennnummern vorgeschlagen, die nach Bedarf (abhängig von der Anzahl der theoretischen Kombinationen und von den erwarteten Vorteilen der Hierarchisierung) neben dem Identifizierungs- auch einen Klassifizierungsteil besitzen können.

4.3.6. Emotion

Emotion = $(a_{e1}, a_{e2}, \dots, P, A)$

a_{e1}, a_{e2}, \dots – aktuelle Werte der Emotionsmessgrößen e_1, e_2, \dots (siehe Kapitel 4.3.3)

$P = f(e_1, e_2, \dots)$ – aktuelle Ausprägung der Emotionsdimension Valenz (siehe Kapitel 2.3.2.3)

$A = f(e_1, e_2, \dots)$ – aktuelle Ausprägung der Emotionsdimension Erregung (siehe Kapitel 2.3.2.3)

Die Ausprägungen für die Emotionsdimensionen Valenz (P) und Erregung (A) können anhand der Messwerte a_{e1}, a_{e2}, \dots in Echtzeit oder nachgelagert ermittelt werden.

4.3.7. Interaktion

Interaktion = (a_{i1}, a_{i2}, \dots)

a_{i1}, a_{i2}, \dots - aktuelle Werte der Interaktionsparameter i_1, i_2, \dots (siehe Kapitel 4.3.3)

4.4. Beschreibung der Methodik

4.4.1. Übersicht

Die hier vorgestellte Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback in immersiver Umgebung besteht aus sechs Schritten und umfasst fünf Aufgabenbereiche, die unterschiedlichen Personengruppen entsprechend zugeordnet sind. Ihr Ablauf soll nicht als sequentiell und dogmatisch angesehen werden, sondern eher als eine nützliche Anleitung zum praktischen Ansatz. Zwischen den einzelnen Schritten sind auch Iterationen möglich und sinnvoll, insbesondere wenn die erzielten Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind oder wenn eine Absicherung der Ergebnisse notwendig ist.

Es wird der folgende grundsätzliche Ablauf vorgeschlagen:

1. Definition des Variantenraumes
2. Auswahl der Versuchspersonen
3. Konzipierung der Versuchsumgebung
4. Versuchsdurchführung
5. Auswertung der Messergebnisse
6. Rückführung der Ergebnisse ins Produktmodell

Insbesondere die ersten beiden Schritte stehen in engem Zusammenhang zueinander, der sich durch mehrere Iterationen charakterisiert. Die Findung einer Reihenfolge zwischen der Definition des Variantenraumes und der Auswahl der Versuchspersonen stellt ein „Hühner-Ei-Problem“ ohne eindeutige Lösung dar. Damit ein Produkt konzipiert wird, sind Kenntnisse über seine Kunden notwendig; andererseits muss das Unternehmen bei der Identifizierung der potenziellen Kunden bereits Vorstellungen über das Produkt haben, das es anbieten will. Die hier getroffene Auswahl orientiert sich an der Annahme in der Methodik zur Messung der Kundenzufriedenheit des Unternehmens Motorola (Mot95, vgl. S. 1-34), laut welcher als erster Schritt die Identifikation des Sachgutes oder der Dienstleistung und als zweiter Schritt die Identifikation des Kunden definiert wird. Diese Annahme ist sinnvoll unter dem Gesichtspunkt, dass die Versuchspersonen in der Regel bereits Erfahrungen mit Produkten des Unternehmens oder mit ähnlichen Produkten der Konkurrenz gemacht haben, so dass das Unternehmen in der ersten Iterationsstufe von der Gültigkeit allgemein bekannter Erwartungen an das Produkt ausgehen kann.

An der Methodik sind folgende fünf Personengruppen beteiligt:

- **Lead-User-Gruppe von Kunden** (repräsentative Gruppe nach Anzahl und Zusammensetzung, welche die Erfolgsaussichten zukünftiger Produkte anhand virtueller Darstellungen abschätzen kann)
- **Produktentwickler** (Ingenieure und Designer, die im Rahmen der funktionsbezogenen und ästhetischen Produktkonzipierung eng miteinander kooperieren)

- **Virtual Reality Experten** (Experten, die über Kenntnisse und Knowhow im Hinblick auf immersive Umgebungen verfügen, darunter Hardware, Software und Konzipierung)
- **Psychologen** (Experten, die im Bereich der Emotions- und Persönlichkeitsforschung Kompetenzen besitzen)
- **Marketingexperten** (Experten, die Marktforschungen für die Unternehmensprodukte betreiben)

Die Anzahl und die vielfältige Natur der Schritte und Prozessbeteiligten deutet auf eine hohe Komplexität der Methodik hin. Zur Vermeidung einer unübersichtlichen Gesamtdarstellung, werden für die Methodik folgende zwei komplementäre Darstellungsformen angewendet:

- **Informationsflussdiagramm**, das zur Beschreibung der Grundidee und des grundsätzlichen Ablaufs ohne Anspruch auf Vollständigkeit angewendet wird; der Übersichtlichkeit halber werden nur die Hauptflüsse dargestellt (**Abbildung 12**)
- **Stakeholder-Phase-Matrix**, die die grundsätzliche Reihenfolge aller Schritte und Teilschritte sowie ihre Zuordnung zu einzelnen Prozessbeteiligten vollständig beschreibt (**Abbildung 13**)

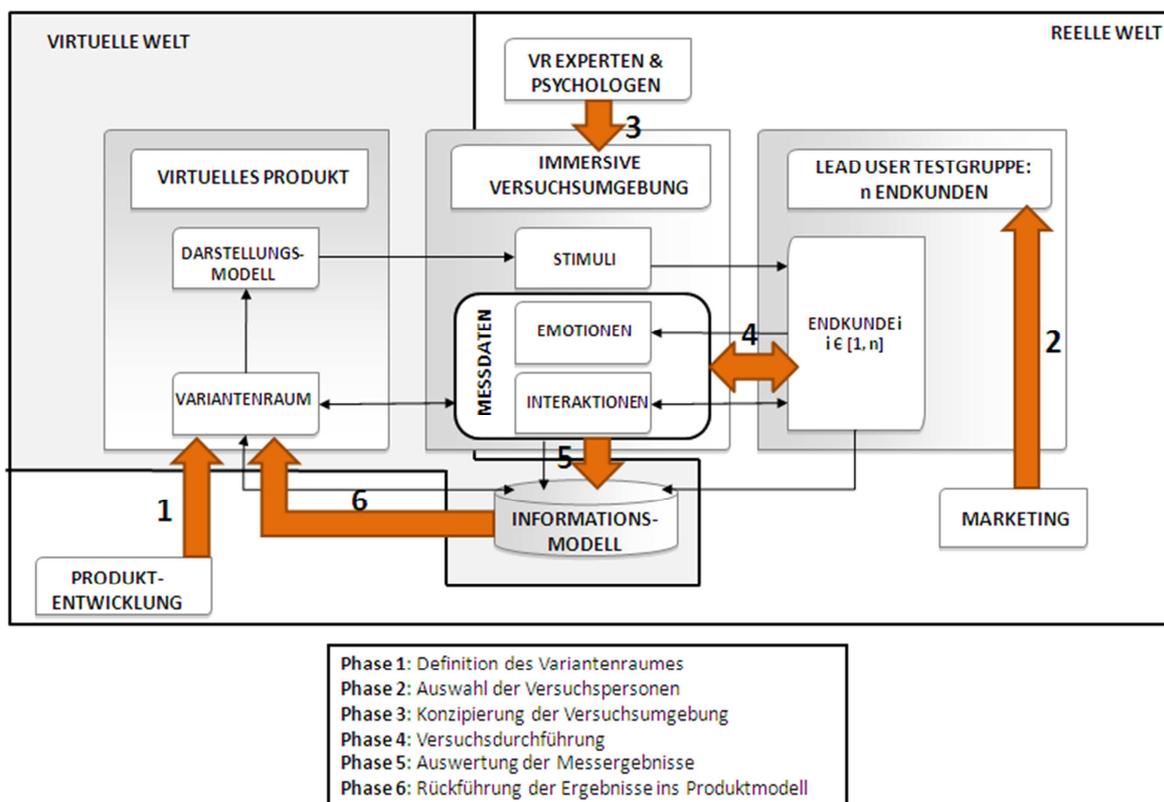
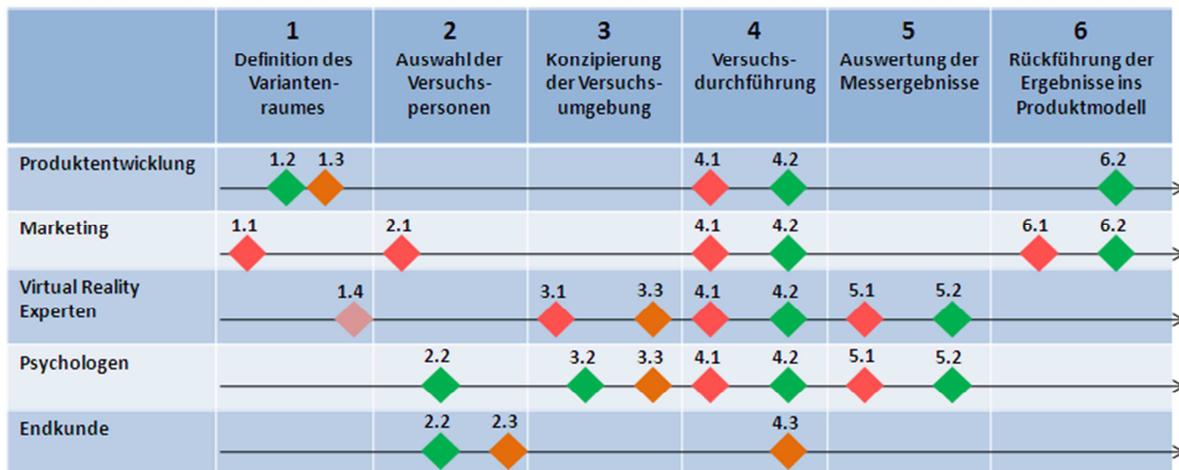


Abbildung 12: Vereinfachtes Flussdiagramm der Methodik

Das vereinfachte **Informationsflussdiagramm** bildet die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Objekten und Konstrukten im Rahmen der Methodik ab. Der Informationsfluss während des tatsächlichen Versuches (bestehend aus dem Erlebnis in VR und den vor- und nachbereitenden Aktivitäten), der hauptsächlich Schritt 4 und bedingt Schritt 5 betrifft, wird mit schmalen vollen schwarzen Pfeilen dargestellt. Die breiten, beschrifteten, orangefarbenen Pfeile zeigen den Hauptinformationsfluss innerhalb der entsprechenden Phase der Methodik.



- | | |
|--|--|
| 1.1 Bereitstellung von Feedback aus Vorgängerprodukten | 4.1 Versuchsdesign |
| 1.2 Entwicklung von Produktvarianten | 4.2 Versuchsbetreuung |
| 1.3 Bereitstellung virtueller Modelle | 4.3 Teilnahme am Versuch |
| 1.4 Gestaltung des Produktconfigurators in Virtueller Realität | 5.1 Konsolidierung der Versuchsdaten |
| 2.1 Identifikation von Lead Users | 5.2 Operative Auswertung |
| 2.2 Profilierung der Testgruppe | 6.1 Verwaltung der ausgewerteten Daten |
| 2.3 Zusage für Versuchsteilnahme | 6.2 Reduktion der Produktvarianten |
| 3.1 Auswahl der Interaktionsmodalitäten und –Geräte | |
| 3.2 Auswahl der Emotionsmessgrößen und –Geräte | |
| 3.3 Integration | |

Abbildung 13: Stakeholder-Phase-Matrix der Methodik

Im Mittelpunkt der Methodik steht der einzelne Endkunde als Mitglied der Lead-User-Gruppe (ausgewählt von Marketingexperten, mit Unterstützung von Psychologen). Er erlebt interaktiv in der immersiven Versuchsumgebung (konzipiert von VR Experten und Psychologen) die virtuelle Darstellung von Produktvarianten aus einem Variantenraum. Dieser Variantenraum wurde von der Produktentwicklung (Ingenieure und Designer) mit Unterstützung des Marketings (hinsichtlich Spezifikationen) und der Virtual Reality Experten (hinsichtlich Konfigurator) vordefiniert. Die zu einem Zeitpunkt während des Erlebnisses dargestellte Produktvariante stellt ein äußerer Stimulus (Anreiz) für den Kunden dar, der bei ihm Emotionen (affektive Antworten) und Aktionen (mit dem Ziel der Änderung der Darstellung oder der Variante) auslöst. Diese Aktionen rufen entsprechende Reaktionen der virtuellen Welt hervor – es wird von Mensch-Maschine-Interaktion gesprochen. Die Emotions- und Interaktionsfolgen während des Versuches werden im Informationsmodell

(siehe Kapitel 4.3.6 und 4.3.7) gespeichert und anschließend ausgewertet. Das Informationsmodell enthält noch zusätzliche Informationen über die Produktvarianten, den Kunden und die Versuchsumgebung (siehe Kapitel 4.3). Die Erkenntnisse aus dem Versuch werden zur kundengerechten Reduktion des ursprünglichen Variantenraumes benutzt, die von Vertretern des Marketings und der Produktentwicklung durchgeführt wird.

Der Vorteil der **Stakeholder-Phase-Matrix** gegenüber dem Flussdiagramm ist die strukturierte explizite Darstellung der Arbeitsschritte und der Zuständigkeiten. Die einzelnen Teilschritte jedes Schrittes werden auf **Abbildung 13** mit nummerierten Rauten gekennzeichnet und ihr zeitlicher Verlauf kann anhand der relativen Position auf der horizontalen Zeitachse qualitativ ermittelt werden. Nachteilig im Vergleich zum Flussdiagramm ist der fehlende explizite Bezug zu den Objekten und Konstrukten, die Gegenstände der Untersuchung sind. Die einzelnen Schritte der Stakeholder-Phase-Matrix werden in den folgenden Kapiteln 4.4.2 bis 4.4.7 ausführlich diskutiert.

4.4.2. Schritt 1: Definition des Variantenraumes

4.4.2.1. Bereitstellung von Feedback aus Vorgängerprodukten

In dieser Methodik wird, wie im Kapitel 4.4.1 erklärt, von einer grundsätzlichen Bekanntschaft der Kunden mit der Produktklasse ausgegangen, der das untersuchte Produkt gehört. Heutzutage stellen die seltensten Innovationen in der Produktentwicklung Neuinnovationen dar – in der Regel ist jedes neue Produkt eine Anpassungsinnovation, als deren Entwicklungsbasis das Model eines (möglichst erfolgreichen) Vorgängerproduktes genutzt wird. Daher ist **der erste Teilschritt** der Phase 1 die **Bereitstellung von Kundenfeedback aus zuletzt vermarkteten Vorgängerprodukten**, was eine typische Aufgabe für die Marketingabteilung eines Unternehmens darstellt.

Zum Anfang der Entwicklung des neuen Produkts steht wertvolles qualitatives und quantitatives Feedback aus der Phase der Produktnutzung von Vorgängerprodukten zur Verfügung. Es ist ratsam, als Entwicklungsbasis das Vorgängerprodukt mit der aktuellsten Markteinführung und der größten Ähnlichkeit mit dem entwickelten Produkt zu nutzen. Dies ist manchmal nicht das direkte Vorgängerprodukt, und zwar in Fällen wenn dies noch nicht auf dem Markt angeboten wird. Das kognitive und emotionale Feedback der Kunden aus der Nutzungsphase wird durch das Kundenfeedbackmanagementsystem gesammelt, und zwar anhand direkter Ansprachen (telefonisch, bei festgelegten Wartungsterminen usw.), indirekter Ansprachen (z.B. Online-Befragungen) sowie anhand der Analyse von Kundenbeschwerden. Quantitative Aussagen werden statistisch ausgewertet und qualitative Aussagen werden nach Kriterien strukturiert, um eine formale makroskopische **Beschreibung der Kundenanforderungen und der Kundenzufriedenheit in der Sprache des Kunden** zu ermöglichen. Wenn das Unternehmen bisher keine vergleichbaren Produkte vermarktet hat, können frei verfügbare Daten über die Konkurrenzprodukte (beispielsweise aus Qualitätstests) herangezogen werden. Eine **gründliche Marktforschung der Konkurrenzprodukte** ist auf jeden Fall unverzichtbar.

Tabelle 5: Schema zur Beschreibung des Anwendungskontextes von Ingenieurprodukten

Kontextelement	Merkmale
Ort der Nutzung	Innenraum: Abmessungen, Ausstattung, Lichtverhältnisse Außenraum: Geodätische Daten, Umgebende Architektur, Landschaft, Wetter, Lichtverhältnisse
Zeitliche Komponente der Nutzung	Typischer Zeitpunkt (z.B. Uhrzeit, Jahreszeit) Dauer Wiederholung/Häufigkeit
Anlass der Nutzung	Motiv Situation: Faktoren, typische affektive Zustände usw.
Interaktion mit anderen Menschen	Anzahl Art der Beziehung (z.B. Familie, Freundeskreis, Berufsumfeld) Charakter der Interaktion (z.B. locker, formal)
Art der Nutzung	Schnittstellen Grad der kognitiven Belastung Grad der physischen Belastung
Mensch	Anthropometrische Daten Psychologische Daten Erfahrungen und Einstellungen Ziele Kenntnisse und Fähigkeiten Wahrnehmungen

Eine weitere sehr wichtige Aufgabe stellt die **Beschreibung des Anwendungskontextes** dar, denn nicht nur das Darzustellende ist wichtig, sondern auch die Art und Weise der

Darstellung und des Versteckens, inklusive Raum, Beleuchtung und Relationen (Käl05, vgl. S. 88-89). Sowohl die physikalischen Eigenschaften von Produkten (Bon05a, vgl. S. 200) als auch das Design (Tay99, vgl. S. 218-228) sind immer im Bezug auf Umgebung und Menschen kontextabhängig. Der Kontext charakterisiert sich mit einer dynamischen Natur, denn sowohl die Umgebung der Produktnutzung als auch die Ziele, Wahrnehmungen und Einstellungen des Nutzers ändern sich im Laufe der Zeit. In dieser Arbeit wird ein Schema zur Beschreibung des Anwendungskontextes von Ingenieurprodukten vorgeschlagen, die der **Tabelle 5** zu entnehmen ist. Diese Beschreibung soll möglichst ausführlich und präzise erfolgen, damit eine kontexttreue Simulation in Virtueller Realität gewährleistet wird, die laut Annahme für die Feststellung der emotionalen Qualität des Produktes notwendig ist (siehe Kapitel 4.2). Die besten Ergebnisse bei der Kontextbeschreibung liefert die Methode der Felduntersuchung (siehe Kapitel 3.1.4), die in Zusammenarbeit mit Ethnologen oder Anthropologen durchgeführt werden kann. Wegen dem hohen Aufwand der Felduntersuchungen werden allerdings häufig klassische Befragungsmethoden vorgezogen.

Anhand der identifizierten Kundenanforderungen, des beschriebenen Anwendungskontextes und der durchgeführten Marktforschung seitens der Marketingexperten, erfolgt die **Formulierung der Randbedingungen für die Produktentwicklung**. Im Sinne des magischen Dreiecks der Betriebswirtschaftslehre (Kosten, Zeit und Qualität als Erwartungskomponenten des Kunden) betreffen diese Randbedingungen folgende Faktoren:

- **Preisspanne** (wird auf Basis des Wettbewerbs ermittelt; nach dem „Mass Customization“-Prinzip darf der Preis eines individualisierten Einkaufsgutes nur geringfügig über dem Preis vergleichbarer Massenprodukte liegen, während bei Luxusgütern größere Spielräume vorhanden sind)
- **Entwicklungszeit** (angestrebt wird ein schnellere Markteinführung als die Konkurrenz)
- **Kundenwissen über die Produktklasse** (in der Informationsgesellschaft ist es wichtig, ein Produkt anzubieten, deren Nutzung und Bedienung dem Stand der Kenntnisse und Fähigkeiten vieler potenziellen Nutzer entspricht)

4.4.2.2. Entwicklung von Produktvarianten

Der zweite Teilschritt vom Schritt 1 stellt die **Entwicklung von Produktvarianten** dar, an der Ingenieure und Designer aus der Produktentwicklung beteiligt sind, die laut Kapitel 4.4.1 unter dem Begriff Produktentwickler zusammengefasst werden.

Innerhalb dieses Teilschrittes muss zunächst eine **Identifikation der relevanten Produktmerkmale (Attribute)** erfolgen. Nach einer umfassenden Analyse von Merkmalklassifizierungen bei unterschiedlichen Ingenieurprodukten wurde eine unüberschaubare, enorme Vielfalt an möglichen Merkmalen festgestellt, die größtenteils branchen-, anwendungs- und produktspezifisch sind. Daher erweist sich eine universale Klassifizierung von Produktmerkmalen als nicht zweckmäßig und praktisch unmöglich. Aus

diesem Grund wird in dieser Arbeit empfohlen, für unterschiedliche Produktklassen spezifische Merkmalsräume nach entsprechenden Standards zu definieren. Nur wenige Merkmale sind universal anwendbar (wie beispielsweise Geometrie, Gewicht, Temperatur, Produktfarbe, Preis, Garantiedauer usw.). Weiterhin wird eine Aufteilung der sämtlichen Produktmerkmale in die zwei disjunkten Klassen physikalische (beschreibbar durch physikalisch definierte Einheiten) und nicht-physikalische Merkmale empfohlen, da der Umgang mit ihnen grundlegend unterschiedlich verläuft. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen die physikalischen Produktmerkmale.

Für jedes einzelne Merkmal muss anschließend eine **Festlegung des Ausgabekanals (menschlichen Sinns) und der Ausgabeform für die virtuelle Darstellung** erfolgen. Zu diesem Zweck wird hier eine Attribut-Ausgabekanal-Matrix vorgeschlagen (**Tabelle 6**), bei der die Relationen zwischen Produktmerkmalen und Ausgabeformen mit Kreuzen dargestellt werden. Es sind auch mehrfache Ausgabeformen für ein Produktmerkmal zulässig – die Auswahl hängt maßgeblich von den technologischen Möglichkeiten der Versuchsumgebung (siehe Kapitel 4.4.4) ab. Die hier vorgestellte Attribut-Ausgabekanal-Matrix berücksichtigt die drei meist benutzten Ausgabekanäle (visuell, akustisch und haptisch) mit den entsprechenden möglichen Ausgabeformen. Bei der akustischen Ausgabe sind nur Geräusche anzuwenden, welche die Interaktion und die Gefühle des Nutzers verbessern (Pop05, vgl. S. 364). Häufig eignen sich aufgrund der Gewöhnung und intuitiven Wahrnehmung des Menschen auch synästhetische Darstellungen (wie z.B. Farben für die haptische Größe Temperatur). Über menschliche Sinne nicht wahrnehmbare Größen (wie z.B. elektromagnetische oder radioaktive Strahlung) können auch über bestimmte Ausgabeformen dargestellt werden.

These 1: *Die multimodale Darstellung von Produktmerkmalen bringt für den Kunden einen Vorteil bei der emotionalen Beurteilung des virtuellen Produktes gegenüber der rein visuellen Darstellung.*

Anschließend folgt die **Identifikation relevanter Produktfunktionen und ihre Darstellung**. Eine Funktion wird als „Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems“ definiert, „mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen“ (Pah07, vgl. S. 42). Somit beschreibt sie konstante oder zeitlich veränderliche Abhängigkeiten zwischen physikalischen Produktmerkmalen. Die analytische Beschreibung von Funktionen ist Gegenstand der Funktionsmodellierung, die dafür entsprechende Ansätze und Werkzeuge bietet.

These 2: *Die Produktfunktionen sind für den Kunden bei der emotionalen Beurteilung des virtuellen Produktes wichtig.*

Sobald der Rahmen für die Produktmerkmale und –Funktionen festgelegt ist, stellt die nächste Aufgabe die **Generierung einer Vielfalt von Lösungen** dar. Für diese kreative Tätigkeit können unterschiedliche diskursive und intuitive Methoden der Produktentwicklung angewendet werden. Der morphologische Kasten ist beispielsweise für eine strukturierte Variantenbildung durch Kombination unterschiedlicher Merkmalausprägungen geeignet. Sein Hauptvorteil liegt darin, dass alle möglichen

Tabelle 6: Attribute-Ausgabekanal-Matrix

			Ausgabekanäle								
			visuell				akustisch			haptisch	
			Räumliche Dimensionen								
			Geometrische Elemente	Alphanumerisch	Piktogramme	Farben	Lautstärke	Tonfrequenz	Wiederholungsfrequenz	Touch Feedback	Force Feedback
Attribute	Physikalisch	Geometrie									
		Gewicht									
		Temperatur									
		Produktfarbe									
		Geräuschpegel									
		Strahlung									
										
	nicht-physikalisch	Preis									
		Garantiedauer									
		Zeitpunkt der Markteinführung									
										

Kombinationen berücksichtigt werden und keine subjektiven Vorentscheidungen der Produktentwickler den Auswahlspielraum der Kunden beschränken.

Für die Generierung neuartiger Lösungskonzepte benötigen die Produktentwickler hingegen intuitive, nicht einschränkende Methoden, wie das Brainstorming oder seine schriftliche Variante Brainwriting. In dieser Arbeit wird eine Kombination des morphologischen Kastens und der intuitiven Methoden befürwortet, und zwar in folgender Reihenfolge: zuerst werden anhand intuitiver Methoden mögliche Merkmalausprägungen (diskret oder quasi-kontinuierlich) definiert sowie mögliche Funktions- und Teilfunktionslösungen generiert und anschließend erfolgt die Bildung aller theoretisch möglichen Kombinationen aus Ausprägungen unterschiedlicher Merkmale sowie aus Lösungen unterschiedlicher (Teil-) Funktionen.

Nächste Aufgabe ist das **Verwerfen unrealisierbarer Lösungen** aus dem theoretischen Variantenraum des morphologischen Kastens. Einige Kombinationen sind wegen technischer Inkompatibilitäten und kontextspezifischer Begrenzungen nicht erlaubt und sollten daher nicht weiter berücksichtigt werden. Hinsichtlich der Herstellbarkeit sind in der Regel nur diskrete Merkmalausprägungen möglich; bei einigen Merkmalen (wie RGB-Farben) sind die möglichen diskreten Werte so dicht aneinander, dass man über quasi-kontinuierliche Räume sprechen kann. Wirtschaftliche Gründe sollten kein Kriterium für den Ausschluss von Lösungen sein – der Kunde könnte sich während des Versuches den Endpreis der aktuell angezeigten Konfiguration ansehen und eine Aussage treffen, ob er bereit ist, diesen Preis zu zahlen.

Das **Endergebnis** des zweiten Teilschrittes stellt die **Produktarchitektur** dar, **die das Basisprodukt mit allen erlaubten Varianten definiert**. Die Konkretisierungsebene hängt hierbei vom Versuchsziel ab.

4.4.2.3. Bereitstellung virtueller Modelle

Im **dritten Teilschritt** vom Schritt 1 erfolgt die **Bereitstellung virtueller Modelle für das Produkt und seine Umgebung**.

Als Ausgangsbasis für die **Erstellung von CAD-Modellen für die einzelnen Produktvariantenkonzepte** dient die im vorherigen Teilschritt festgelegte Produktarchitektur. Die Modelle können in allen gängigen 3D-CAD-Modellierungswerkzeugen (wie CATIA® und Pro/ENGINEER®) und in 3D-Modellierungswerkzeugen (wie 3ds Max) generiert werden. Sie werden anschließend in das Programm exportiert, in der die virtuelle Szene erstellt wird. Zur Vermeidung von Informationsverlust bei der Konvertierung und zur Erleichterung der Konfigurierbarkeit von Texturen sollen die entsprechenden 2D-Grafiken getrennt von den zugehörigen geometrischen Modellen als Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Besondere Aufmerksamkeit ist den benutzten Koordinatensystemen zu schenken, denn sie stellen eine wesentliche Fehlerquelle bei der Zusammenstellung der Szene dar. Die einzelnen

Komponenten eines Modells und ihre Freiheitsgrade sollen im Bezug auf unbewegliche Elemente in einem lokalen Koordinatensystem definiert werden. Bei der Zusammenfassung von Einzelteilen zu Komponenten ist die Konkretisierungsebene der Produktarchitektur maßgeblich. Zur Reduktion des Gesamtarbeitsaufwandes und zur Vermeidung von Fehlerquellen soll die Faustregel „so wenige Komponenten wie möglich, so viele wie nötig“ beachtet werden.

Zur **Verwaltung von Variantendaten** ist eine allgemeine Namensgebungskonvention notwendig, die für den Produktentwickler einfach, eindeutig und nachvollziehbar sein muss. Bei vergleichsweise kleiner Gesamtzahl von Varianten ist eine geordnete Dateistruktur ausreichend, während bei einer größeren Variantenvielfalt der Einsatz eines PDM-Systems unverzichtbar ist.

Die **Kontextmodellierung** erfolgt ähnlich wie die Modellierung der Produktvarianten. Der sich operativ auswirkende Unterschied liegt darin, dass hierfür tendenziell mehr feste und weniger konfigurierbare Bestandteile der Szene modelliert werden.

Die **Erstellung der virtuellen Szene** umfasst die richtige Positionierung der Umgebungs- und Produktmodelle sowie die Einstellung von allgemeinen Szenenparametern, wie Kameras, Lichtverhältnisse usw. Zu diesem Zweck können kommerzielle oder selbstentwickelte Softwarelösungen angewendet werden.

4.4.2.4. Gestaltung des Produktkonfigurators in Virtueller Realität

Im **vierten und letzten Teilschritt** des Schrittes 1, der **Gestaltung des Produktkonfigurators in Virtueller Realität**, wird ein regelbasiertes Konfigurationssystem aufgebaut, das eine kontextsensitive Einschränkung der verfügbaren Auswahl entsprechend der vordefinierten Produktarchitektur ermöglicht. Der Konfigurator darf nicht belastend sein (Sch05b, vgl. S. 32-34) und muss daher eine beherrschbare Komplexität für den Nutzer aufweisen. Auf dieser Weise wird „das erworbene Unfähigkeitssyndrom“ (englisch „Acquired Incapacity Syndrome“, AIS) vermieden, das besagt, dass Nutzer, die eine (in einfachere Bestandteile) unteilbare Komplexität begegnen, sich nicht logisch sondern heuristisch verhalten (Boy07, vgl. S. 14). Gerade für unseren Zweck ist von großer Bedeutung, dass keine Emotionen für die Bedienung des Konfigurators entstehen, die die gewünschte Aufnahme von Emotionen für das dargestellte virtuelle Produkt beeinträchtigen.

Die **Implementierung des Variantenbaums in den Softwarecode** erfolgt über Referenzieren der einzelnen Modelle. Die entsprechenden Modelldateien werden in festgelegten Ressourcen-Ordnern strukturiert gespeichert. Geometrische, akustische und graphische Dateien sollen getrennt voneinander aufbewahrt werden, auch wenn sie zum selben Objekt gehören.

Eine wichtige Aufgabe, die in enger Verbindung mit der im Kapitel 4.4.4 behandelten Interaktion steht, ist die **Auswahl des Konfigurationsparadigmas**. In der Regel werden in Konfiguratoren unterschiedliche Arten von Menüs eingesetzt. Weitere

Konfigurationsparadigmen, wie beispielsweise Spracherkennung oder Nutzung virtueller Lagerräume für Austauschteile, sind für Konfigurationszwecke wenig erforscht. 2D-Menüs werden oft auch innerhalb dreidimensionaler Projektionen in immersiven Umgebungen statt 3D-Menüs („floating menus“) eingesetzt. Die zur Auswahl stehenden Objekte in einem Menü können in alphanumerischer Form (wie bei den Drop-Down Menüs von Microsoft Windows), in reiner graphischen Form (sogenannte Previews) oder in einer gemischten Form aus alphanumerischen und graphischen Elementen dargestellt werden.

Der Schritt der Gestaltung des Produktkonfigurators in Virtueller Realität endet mit der **Implementierung des Konfigurationsparadigmas**.

4.4.3. Schritt 2: Auswahl der Versuchspersonen

4.4.3.1. Identifikation von Lead Users

Ausgangsbasis für die Bestimmung der Zielgruppe für die Kundeneinbindung in die Konzeptphase der Produktentwicklung stellt die **Analyse des bisherigen Kundenkreises und des abgegebenen Feedbacks über Vorgängerprodukte** dar. In diesem **ersten Teilschritt** wird der Kundenkreis anhand statistischer Auswertungen umfassend beschrieben. Weiterhin werden, mittels Data Mining Techniken, Muster zwischen Kundensegmenten und Zufriedenheitsurteilen über bestimmte Produkte oder einzelne Produktraspekte und – Merkmale erkannt. Diese Untersuchungen erschaffen einen Überblick über die erzielten Erfolge und die Potenziale des Unternehmens hinsichtlich der untersuchten Produktklasse. Auf Basis der Ergebnisse kann das Marketingteam entscheiden, ob ehemalige (wegen Rückgewinnung von Vertrauen), gegenwärtige (wegen Beibehaltung der Beziehung) oder potenzielle Nutzer (wegen Erschließung neuer Marktsegmente) Gegenstand ihrer Untersuchung werden sollen.

Empfehlung dieser Methodik ist, dass die **Beschreibung des Zielkundenkreises für die Untersuchung** vorerst verbal in freier Form erfolgt. Sie soll sich auf die Unternehmensphilosophie und auf die geplante strategische Weiterentwicklung des Unternehmens stützen. Der Kunde wird darin als eine gedachte Vorbild-Zielperson für das Unternehmen durch seine relevanten Eigenschaften beschrieben.

Die nächste Aufgabe stellt die **Definition von Kriterien zur Segmentierung des Kundenkreises** dar. In dieser Methodik wird von der Theorie von Hofstede (Hof91, vgl. S. 4-7) ausgegangen, die besagt, dass menschliche Wahrnehmungen auf drei unterschiedlichen Ebenen erfolgen; alle diesen Ebenen beeinflussen die subjektiven Bedeutungen und ästhetischen Beurteilungen. Diese drei Ebenen sind: die persönliche (eigene Assoziationen), die gruppenspezifische (gemeinsame Bedeutungen für bestimmte soziale und kulturelle Gruppen) und die universale Ebene (in Verbindung mit der menschlichen Natur auf einer inneren, fundamentalen Ebene). Daher müssen bei der Segmentierung des Kundenkreises Kriterien sowohl aus der persönlichen als auch aus der gruppenspezifischen Ebene berücksichtigt werden; bei den Wahrnehmungen auf universaler Ebene existieren keine

interpersonellen Unterschiede. Ein ähnlicher Ansatz verfolgten Hauge-Nilsen und Flyte (Hau05, vgl. S. 258), die neben dem individuellen und dem kulturell-sozialen Rahmen auch den Aufgabenrahmen, der in dieser Methodik in die Kontextbeschreibung (siehe Kapitel 4.4.2.1) einfließt, als dritte Faktorengruppe postulierten. Allgemein wichtige gruppenspezifische Kriterien sind die **demographischen Parameter** (Geschlecht, Alter, Nationalität) sowie der **Beruf** und/oder die **Ausbildung**. Sie können leicht erfasst werden und ordnen einen bestimmten Kunden zu einer Gruppe zu, deren Mitglieder unter anderem bevorzugt bestimmte Bedürfnisse, Wertvorstellungen und Lebensweisen aufweisen können. Ein sehr wichtiges individuelles Kriterium für die Kundensegmentierung ist die **Erfahrung mit dem Produkt und seinem Anwendungskontext**, denn in vertrauten Nutzungsumgebungen (wie beispielsweise in der eigenen Wohnung) üben individuelle organisatorische Fragen und Verhaltensmuster einen größeren Einfluss auf die Produktauswahl aus, als die demographischen Daten (Dou96, vgl. S. 95-104). Neben der Erfahrung mit dem Produkt stellt auch die **Erfahrung mit der Versuchsumgebung** ein wichtiges Kriterium dar, denn sie steht in Korrelation mit dem kognitiven Aufwand bei der Versuchsdurchführung, der seinerseits besonders bei Überforderung den affektiven Zustand beeinflussen kann. Diese allgemeinen Kriterien sollen nach Einschätzungen der Marketingexperten und der weiteren Beteiligten am Versuchsdesign mit anderen **fallspezifischen Kriterien** ergänzt werden.

These 3: *Die demographischen Parameter und der Beruf / die Ausbildung der Versuchspersonen einerseits sowie die Erfahrung der Versuchspersonen mit dem untersuchten Produkt und der Versuchsumgebung andererseits, üben einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse aus und stellen somit relevante Segmentierungskriterien dar.*

Anschließend wird die **Vorauswahl der Versuchspersonen** als erste Stufe zur Festlegung der Stichprobe vorgenommen. Die Stichprobe soll ein möglichst treues Abbild der Grundgesamtheit der Kunden darstellen. Daher muss sie dieselben Eigenschaften wie die Grundgesamtheit zeigen und auch den Umfang reflektieren, zu dem diese Eigenschaften variieren (Bon05a, vgl. S. 200). Beschäftigte des Unternehmens und andere Experten für das untersuchte Produkt sollen aus der Stichprobe ausgenommen werden, denn sie können durch ihre Vertrautheit mit dem Produkt sowie aus opportunistischen Gründen die Ergebnisse der Studie verfälschen. Dennoch ist es wichtig, dass die Testpersonen ein Grundverständnis über das Produkt und seine Nutzung aufweisen. Sie sollen die Kapazität besitzen, anhand mehr oder weniger realistischer Simulationen sich reale Situationen vorzustellen und sie kritisch zu beurteilen (Bon05a, vgl. S. 200). Bei der Vorauswahl der Versuchspersonen ist noch zu beachten, dass jede Stichprobe nur anteilige Aussagen über die Grundgesamtheit geben kann, aus der sie entnommen wurde (Kle09, vgl. S. 86). Manchmal sind sogar mehrere Stichproben zum Vergleich oder zur komplementären Datenerfassung notwendig. In diesen Fällen muss die Repräsentativität durch Verfahren wie die Blockbildung und die zufällige Anordnung (englisch „Randomising“) gewährleistet werden (Kle09, vgl. S. 86). Zur Ansprache der potenziellen Versuchspersonen können klassische kommunikationspolitische Instrumente des Marketings eingesetzt werden. Hierbei sollen die Kunden über die Versuchsziele und die Aufgaben während des Versuchs

informiert werden. Die hier empfohlene Zulassung unternehmensexterner Versuchspersonen während der frühen Phasen der Produktentwicklung stellt ein Dilemma für viele Unternehmen dar und kann unter Umständen ein entscheidendes Argument gegen den Einsatz der Methodik in einem in dieser Hinsicht konservativen Unternehmen sein (siehe Kapitel 4.4.9).

4.4.3.2. Profilierung der Testgruppe

Der **zweite Teilschritt** vom Schritt 2 umfasst die endgültige **Profilierung der Testgruppe** anhand der festgelegten Segmentierungskriterien.

Damit auf Basis der Vorauswahl eine Stichprobe mit ausgewogenem Verhältnis der Ausprägungen aller relevanten Kundenmerkmale definiert wird, muss eine umfassende **Erfassung der individuellen Werte für alle relevanten Segmentierungskriterien** bei allen Kunden aus der Vorauswahl durchgeführt werden. Dies kann in Form eines Online-Fragebogens oder einer schriftlichen Befragung per Post erfolgen.

Der Charakter und die Intensität der individuellen emotionalen Antworten auf äußere Stimuli hängen wesentlich von der Persönlichkeit (siehe Kapitel 2.3.1.3) der Versuchsperson ab. Aus diesem Grund ist eine **Erfassung der Persönlichkeitsmerkmale** mittels standardisierter Fragebögen für jede Testperson notwendig. In dieser Methodik wird das Inventar NEO-FFI (NEO Five Factors Inventory) vorgeschlagen, das als eine Kurzfassung der NEO-PI-R von Costa und McCrae (siehe Kapitel 2.3.1.3) die fünf Persönlichkeitsfaktoren anhand von geschlossenen Fragen auf fünfstufiger Skala ermittelt. Dieser Fragebogen kann alternativ auch am Anfang oder am Ende der Versuchsdurchführung im Schritt 4 beantwortet werden. Es können auch weitere komplementäre Fragebögen eingesetzt werden.

Zur besseren kundengerechten Planung des Versuches wird in dieser Methodik die **Ermittlung der Kundenerwartungen vom Versuch** vorgeschlagen. Auf dieser Art und Weise können die Versuchsdesigner eventuelle Unterschiede zwischen den eigenen Zielen und Erwartungen einerseits und den Erwartungen der Kunden andererseits identifizieren. Die Versuchsdesigner müssen gegebenenfalls mit Änderungsmaßnahmen dafür sorgen, dass die Diskrepanz zwischen den Erwartungen beider Seiten auf einem akzeptablen niedrigen Niveau bleibt, denn unerfüllte Erwartungen können den affektiven Zustand des Kunden während des Versuches beeinflussen und somit die Validität der Messungen beeinträchtigen.

Nachdem alle relevanten Daten der potenziellen Versuchsteilnehmer erhoben worden sind, kann die **Reduktion der Vorauswahl der Versuchspersonen** als zweite und letzte Stufe zur Festlegung der Stichprobe durchgeführt werden. Bezüglich der Anzahl und der Zusammensetzung der Testgruppe existieren zahlreiche empirische Empfehlungen. Für repräsentative Ergebnisse werden (bei wenigen Segmentierungskriterien) 20 bis 40 Testpersonen empfohlen (Bon05a, vgl. S. 200). Bei einer großen Stichprobe ab 100 Personen

sind hingegen mindestens 30 Kunden pro Kategorie notwendig, damit die Ergebnisse nicht auf Zufallseffekte beruhen (Beu06, vgl. S. 134). Dies bedeutet, dass das Marketingteam so wenige Kategorien wie möglich pro Segmentierungskriterium definieren soll. Beispielsweise können drei bis vier Altersgruppen statt genauem Alter als Kategorien benutzt werden. Bei einem Kriterium mit zwei möglichen Kategorien (wie Geschlecht) sollte laut dieser Empfehlungen jede Kategorie mit mindestens 30% in der Stichprobe vertreten sein, damit die Ergebnisse als repräsentativ angesehen werden können.

4.4.3.3. Zusage für Versuchsteilnahme

Nachdem die endgültige Stichprobe festgelegt wurde, muss jede Versuchsperson im **dritten und letzten Teilschritt** die Teilnahme am Versuch bestätigen. Gleichzeitig ist auch der individuelle Termin für den Versuch festzulegen. In dieser Methodik wird zur Vermeidung von Einzelversuchsausfällen wegen Absagen die Bildung einer Warteschlange vorgeschlagen, die ca. 20% des Umfangs der Stichprobe und eine mit ihr vergleichbare Zusammensetzung aufweist. Die potenziellen Risiken durch die Versuchsteilnahme sowie die Datenschutzbestimmungen müssen der Versuchsperson vor der endgültigen Unterzeichnung des Einverständnisses mitgeteilt werden; dies kann auch direkt vor Ort während des Schrittes 4 erfolgen.

4.4.4. Schritt 3: Konzipierung der Versuchsumgebung

Die Versuchsumgebung für die vorliegende Methodik besteht aus zwei komplementären Hauptkomponenten: einer interaktiven immersiven Umgebung und einer Umgebung zur Messung von psychobiologischen Signalen. Daher besteht die Konzipierung der Versuchsumgebung aus der Festlegung dieser beiden Komponenten und ihrer erfolgreichen Integration.

4.4.4.1. Auswahl der Interaktionsmodalitäten und –Geräte

Im **ersten Teilschritt** des Schrittes 3 findet die **Auswahl der Interaktionsmodalitäten und –Geräte für die Ein- und Ausgabe** in der immersiven Umgebung statt.

Die Aufgabe der **Auswahl der Interaktionsmodalitäten** (auch Interaktionsarten genannt, siehe Kapitel 3.6.2) wird in dieser Methodik partiell in Schritt 1 vorverlagert. Die Festlegung der durch die Darstellung angesprochenen menschlichen Sinne und der Ausgabeformen soll aus Sicht dieser Arbeit bereits bei der Definition des Variantenraumes anhand der im Kapitel 4.4.2.2 vorgestellten Attribute-Ausgabekanal-Matrix erfolgen, denn dies ist eine wichtige Randbedingung für die entsprechende Modellierung des Produktes seitens der Produktentwickler. Es wird laut **These 1** (siehe Kapitel 4.4.2.2) eine multimodale Interaktion befürwortet, was in gutem Einklang mit den Empfehlungen anderer Autoren steht. Multimodale Schnittstellen zeigen eine wesentlich bessere Performanz bei der Berücksichtigung multipler Variablen und eine niedrigere Arbeitsbelastung (Tro07, vgl. S. 184). Die größte Bedeutung wird dem visuellen Kanal beigemessen; laut einer Studie kommen an zweiter Stelle für Nutzer aus Europa fast gleichauf der haptische und der

akustische Sinn, während für Nutzer aus Asien die haptische Ausgabe deutlich wichtiger erscheint (Kha07, vgl. S. 25). Die Eingabemodalitäten müssen im Gegensatz zu den Ausgabemodalitäten nicht bereits im Schritt 1 endgültig festgelegt werden; eine grundsätzliche Richtungsbestimmung wäre jedoch für die Gestaltung des Produktkonfigurators (siehe Kapitel 4.4.2.4) hinsichtlich der Auswahl der eingesetzten Art des Menüs sehr hilfreich und empfehlenswert. Ausgehend aus der im Kapitel 4.1 formulierten Anforderung, dass die Interaktion mit dem virtuellen Produkt in der immersiven Umgebung natürlich und intuitiv erfolgen soll, wird in dieser Methodik die Gestenerkennung als passende Interaktionsart vorgeschlagen. Das weit verbreitete WIMP-Paradigma entspricht nicht vollständig dem tatsächlichen Umgang mit technischen Produkten, denn die Interaktion mit ihnen ist vielfältiger und erfolgt nur teilweise über Knöpfe/Tasten und Menüs. Spracherkennung wird ebenfalls im Bezug auf Produkterlebnisse in VR als unnatürlich betrachtet, denn der gesunde Mensch nutzt die Sprache in der Regel als ein Kommunikationsmittel nur mit lebendigen Objekten (andere Menschen und Tiere). Die Personifizierung von technischen Produkten stellt ein Trend aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz dar, der nicht im Sinne der Philosophie der VR ist.

These 4: *Die Erkennung von Gesten stellt eine natürliche, intuitive und leicht erlernbare Modalität zur Interaktion mit virtuellen Produkten dar.*

Bei der **Definition der technischen Anforderungen an die immersive Umgebung** werden die entsprechenden allgemeinen Anforderungen an die Methodik aus Kapitel 4.1 auf technischer Ebene konkretisiert. Die realitätsnahe Darstellung wird durch **objektive Parameter der Medienqualität** wie Auflösung (Anzahl von Bildelementen auf der Projektionsfläche) und Bildrate (Anzahl sequentiell gezeigter Bilder pro Sekunde) beeinflusst. Nicht-optimale Werte dieser Parameter beeinträchtigen die physiologischen Antworten des Menschen – beispielsweise werden Änderungen der Herzrate bei Abweichungen der Bildrate von dem Standardwert von 25 Bildern pro Sekunde beobachtet (Wil99, vgl. S. 15). Die formalisierte Beschreibung von technischen Anforderungen zur natürlichen und intuitiven Bedienung stellt eine sehr schwierige Aufgabe dar, denn es müssen komplexe **Verknüpfungen zwischen diskreten Einheiten des Rechners und kontinuierlichen Einheiten des Menschenverhaltens** definiert werden. Zur Gewährleistung der Robustheit der VR Technologie gegenüber Umgebungsvariationen müssen **allgemeine, flexible und skalierbare Lösungen** entwickelt werden. Der unerwünschte Einfluss von interpersonellen Variationen, wie anthropometrische Daten und Erfahrung des Nutzers mit der Interaktionsart sowie mit dem Interaktionsgerät, auf die Qualität der Interaktion kann durch Erstellung von **Baureihen- und Variantenlösungen** verringert werden.

Anschließend folgt die **Identifizierung der einsetzbaren technologischen Lösungen**, die entweder kommerziell verfügbar sind oder laut technischen Anforderungen von den VR Experten im Team selbstentwickelt sein können, vorausgesetzt dass die dafür notwendigen Kompetenzen und Ressourcen vorhanden sind. Dies stellt eine kreative Lösungsfindungsaufgabe dar, die möglichst von Vorfixierungen befreit bleiben soll.

Die **wirtschaftliche Analyse der möglichen technologischen Lösungen** umfasst die Überprüfung deren Verfügbarkeit und deren Kosten. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen sind die anfallenden fixen Kosten einer eigenen immersiven Umgebung zu hoch und der Bedarf an VR Untersuchungen eher unregelmäßig, so dass für diese Fälle das zeitlich befristete Mieten von Living Labs oder die Nutzung von „Affordable VR“ Lösungen (siehe Kapitel 2.1.3) empfohlen wird.

Nachdem alle notwendigen Vorbereitungsschritte erfolgreich abgeschlossen sind, kann die **Auswahl der technologischen Lösungen** getroffen werden. Eine grundlegende Entscheidung stellt die Auswahl des Projektionssystems dar, wobei viele unterschiedliche Möglichkeiten von Desktopplatz bis zur Sechs-Seiten-CAVE bestehen. Die Skalierbarkeit und die flexible Gestaltung von immersiven Umgebungen können bei vielen Anwendungsfällen neben der realitätsnahen visuellen Darstellung eine maßstabstreue Abbildung der Nutzungssituation ermöglichen. Auf dieser Weise kann der Kunde den Prozess der Produktnutzung unter realen räumlichen Verhältnissen aus ergonomischem Gesichtspunkt beurteilen.

These 5: *Dreidimensionale Visualisierungen in immersiven Umgebungen erhöhen das Vorstellungsvermögen des Nutzers gegenüber zweidimensionalen Darstellungen und dreidimensionalen Darstellungen auf Powerwalls.*

Die Auswahl des Interaktionsgerätes kann sich besonders bei heterogenen Testgruppen als schwierig erweisen, denn die Bedienbarkeit für den Nutzer hängt wesentlich von seinem Vorwissen und seinen Erfahrungen ab. Wenn die Eindrücke eines Interaktionsgerätes mit der Erfahrung des Nutzers nicht kompatibel sind, dann wird er dies nicht intuitiv nutzen können (Nau07, vgl. S. 128-136). Das Interaktionsgerät steht in starker Wechselwirkung mit den benutzten Konfigurationsaktionen aus, die laut dem im Schritt 1 ausgewählten Konfigurationsparadigma definiert und implementiert werden.

These 6: *Für unterschiedliche Testgruppensegmente lassen sich unterschiedliche passende Interaktionsgeräte und Konfigurationsaktionen für eine bestimmte Anwendung identifizieren.*

Zur lückenlosen Aufnahme der Interaktionschronologie während der späteren Versuche ist die **Implementierung des vollständigen Data Logs für alle Ein- und Ausgabegeräte** notwendig. Alle Parameter der Geräte müssen zu diesem Zweck in vorzugsweise einheitlichen konstanten Intervallen aus dem Millisekunden-Bereich quasi-kontinuierlich abgelesen und in einer Text-Datei abgespeichert werden. Beispielsweise zählen für das Headtracking zu den erfassten Parametern die Koordinaten der Position und der Orientierung der einzelnen Sensoren, während bei aktiven Eingabegeräten unter Anderem das Drücken und das Halten bestimmter Tasten oder Knöpfe mit den entsprechenden ausgelösten Funktionen aufgenommen werden.

4.4.4.2. Auswahl der Emotionsmessverfahren und –Geräte

Nachdem die Interaktionsmodalitäten und –Geräte ausgewählt worden sind, erfolgt im **zweiten Teilschritt** des Schrittes 3 die **Auswahl der Verfahren und Geräte für die**

Emotionsmessung. Dieser Teilschritt fängt mit der **Definition der technischen Anforderungen an die Emotionsmessverfahren und –Geräte** an. Die angewendeten biologischen Messgrößen müssen an interpersonell leicht und eindeutig identifizierbaren Stellen des menschlichen Körpers mittels bekannter Prinzipien zuverlässig und kontinuierlich messbar sein. Desweiteren müssen die Messgrößen **mit entsprechenden Emotionsdimensionen** aus dem PAD-Modell **korrelieren** (siehe Kapitel 3.1.3.2). Zur Gewährleistung der Robustheit der Messungen im Stehen und bei freien langsamen Bewegungen sollen **möglichst kabellose und leicht tragbare Messeinrichtungen** eingesetzt werden, die **keine Anfälligkeit für Bewegungsartefakte zeigen**.

Ausgehend aus den formulierten technischen Anforderungen, erfolgt die **Auswahl der Messverfahren**. In dieser Methodik wird der kombinierte Einsatz mehrerer peripheren physiologischen Messungen (EMG-, BVP- und EDA-Messungen) befürwortet, denn er zeigt laut Kapitel 3.1.3 und Kapitel 3.2 sehr gute Korrelationen mit den beiden Dimensionen des PA-Modells, bei sehr guter Genauigkeit der Emotionserkennung (90% oder mehr). Von EEG-Messungen wird aus mehreren Gründen abgeraten – wegen der langen und aufwendigen Vorbereitung, wegen Komforteinschränkungen, wegen Inkompatibilitäten mit Headtracking, wegen der deutlich ungenaueren Emotionserkennung und wegen der größeren Sensibilität der erfassten Daten. Die Anwendung von Gestenerkennung zu diesem Zweck wird auch nicht empfohlen, denn sie wird laut Kapitel 4.4.4.1 eher als passende Interaktionsart angesehen. Mimische Signale sind wiederum wegen der freien Bewegung der Versuchsperson schwer kontinuierlich zu erfassen und sind von der Versuchsperson leicht manipulierbar; einige Menschen können in weniger als ein Fünftel Sekunde nach Auftreten einer Emotion durch gestellte Gesichtsbewegungen die ursprüngliche Reaktion („Mikroausdruck“) und somit das wahre Gefühl verbergen (Ekm10, vgl. S. 296). Im Gegensatz dazu können bei Messungen mit Elektroden keine Emotionen vollständig gedämpft werden (Ekm10, vgl. S. 294-320).

Im Rahmen der **Auswahl der Messgeräte** muss zur Entscheidungsfindung eine technisch-wirtschaftliche Analyse der verfügbaren Lösungen anhand festgelegter Kriterien durchgeführt werden.

Die **Implementierung des Data Logs für alle biologischen Messgrößen** stellt eine Voraussetzung für die lückenlose Aufnahme der Emotionschronologie dar. Ähnlich wie bei den Data Logs für die Interaktion, müssen alle Messgrößen in vorzugsweise einheitlichen konstanten Intervallen aus dem Millisekunden-Bereich quasi-kontinuierlich erfasst, auf einem Datenserver übertragen und in einer Text-Datei abgespeichert werden.

4.4.4.3. Integration

Der **dritte und letzte Teilschritt** vom Schritt 3 umfasst die **Integration der gewählten Lösungen für Interaktion und Emotionsmessung**. Zuallererst muss eine **Überprüfung der Kompatibilität der VR- und Emotionsmesstechnologien** durchgeführt werden. Sie erfolgt unter Berücksichtigung aller relevanten Aspekte – räumlicher Kollisionen, individueller Nutzermerkmale und Arten der Bedienung sowie Einschränkungen der zuverlässigen

Funktionsfähigkeit der Technologie und des Aktionsraumes der Versuchsperson. Die Kompatibilitätsmatrix für die am häufigsten angewendeten technologischen Lösungen entnimmt man der **Tabelle 7**. Vollständig miteinander kompatible Paare werden mit „+“ gekennzeichnet, „0“ bedeutet eine Kompatibilität nur bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen und „-“ steht für Inkompatibilität.

Die **Synchronisation der Data Logs** für die Interaktions- (siehe Kapitel 4.4.4.1) und Emotionsmessgeräte (siehe Kapitel 4.4.4.2) ist eine Voraussetzung für die Entdeckung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zwischen Nutzeraktionen und deren emotionalen Reaktionen auf die dadurch verursachten Änderungen der virtuellen Szene, anhand der Gegenüberstellung der Interaktions- und der Emotionschronologie. Da häufig unterschiedliche Aktionen des Nutzers in Bruchteilen von Sekunden aufeinander folgen und einige Emotionen sogar weniger als eine Sekunde dauern können, ist eine hohe Genauigkeit der Synchronisation (im Millisekunden-Bereich) notwendig. Noch strenger genommen wäre bei einer üblichen Bildwiederholungsrate von 25 Hz eine Genauigkeit kleiner als 40 ms wünschenswert.

Tabelle 7: Kompatibilitätsmatrix für die am häufigsten angewendeten Technologien der Virtuellen Realität (in der Kopfzeile) und die häufigsten biologischen Emotionsmessgrößen (linke Spalte)

	Brille zum stereoskopischen Sehen	HMD	Autostereoskopische Monitore	Beweglichkeit in immersiver Umgebung	Optisches Tracking	3D-Maus	Flystick	Datenhandschuh
EMG-Daten	0	-	+	0	+	+	+	+
HR	+	+	+	0	+	+	+	+
BVP	+	+	+	0	+	0	0	0
Hauttemperatur	+	+	+	0	+	0	0	0
Atmung	+	+	+	0	+	+	+	+
EDA-Daten	+	+	+	0	+	0	0	0
EEG-Daten	-	-	+	-	-	+	+	+
Mimik	-	-	+	0	-	+	+	+

Der anschließende **technische Vorversuch** überprüft die technische Funktionsfähigkeit der vorgeschlagenen Gesamtlösung für die Versuchsumgebung. Es ist empfehlenswert, dass als Versuchspersonen Menschen fungieren, die mit den eingesetzten Technologien keine oder kaum Erfahrung aufweisen. Anhand einer für diesen Zweck erstellten Checkliste müssen im Rahmen dieses Vorversuches alle relevanten Aspekte bei möglichst vielen denkbaren Faktorenkombinationen, insbesondere für alle Grenzfälle, untersucht werden. Der technische Vorversuch muss in der Regel mehrmals wiederholt werden.

Die Erkenntnisse aus den technischen Vorversuchen führen zu einer **iterativen Verbesserung** und schließlich zur **Freigabe der Versuchsumgebung**.

4.4.5. Schritt 4: Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung umfasst alle Aktivitäten der Testperson und der Versuchsbetreuer, vom Zeitpunkt der Anmeldung der Testperson am Versuchstag bis zu ihrer Verabschiedung. Im weiteren Sinne wird in der hier vorgestellten Methodik auch die davor stattfindende genaue Planung des Versuchs zum Schritt der Versuchsdurchführung zugerechnet. Somit geht dieser Schritt weit über die Kernphase der psychophysiologischen Messungen während des Erlebens eines variantenreichen virtuellen Produktes hinaus.

4.4.5.1. Versuchsdesign

Im **ersten Teilschritt** erfolgt eine **Festlegung des detaillierten Versuchsdesigns**. Zuallererst wird im Team eine **erste genaue Beschreibung und wissenschaftliche Begründung der Versuchsschritte und dessen zeitlichen Ablaufs** erstellt. In dieser Arbeit wird eine grobe Einteilung des Versuches in folgende in chronologischer Reihenfolge aufgeführte vier Schritte vorgeschlagen:

- **Einleitende Befragung.** Anhand eines Fragebogens wird die Stimmung der Testperson zum Versuchsanfang ermittelt, denn sie bestimmt als mittelfristige Komponente des affektiven Zustandes (laut Kapitel 2.3.1.2) maßgeblich den affektiven Hintergrund und die temporale Neigung zu bestimmten Emotionen während des Versuches. Die relevanten Segmentierungskriterien (demographische Parameter, Ausbildung und/oder Beruf, Erfahrung mit dem Produkt und mit der Versuchsumgebung) und die Kundenerwartungen vom Versuch wurden bereits während der Profilierung der Testgruppe (siehe Kapitel 4.4.3.2) einmal erfasst. Falls jedoch aus Datenschutzgründen (siehe Kapitel 4.4.9) das zwischenzeitliche Löschen dieser Daten notwendig war, müssen sie nochmals in der einleitenden Befragung erhoben werden. Die Persönlichkeit als langfristiger Faktor für den affektiven Zustand kann anhand des NEO-FFI-Inventars während der Profilierung der Testgruppe (siehe Kapitel 4.4.3.2) oder alternativ während des Versuches erfasst werden.
- **Messvorbereitung.** Die Testperson muss anschließend in die Versuchsumgebung und insbesondere in die implementierte Interaktion eingewiesen werden. Die Versuchsanordnung, bestehend aus technologischen Lösungen für Virtuelle Realität

(z.B. Trackingbrillen und Eingabegerät) und für Erfassung von psychophysiologischen Größen, muss laut festgelegten Bestimmungen an den Körper der Versuchsperson angebracht werden. Wenn aus anthropometrischen Gründen eine Baureihe für bestimmte Geräte (z.B. Datenhandschuh) zur Verfügung steht, muss eine entsprechende Auswahl getroffen werden. Bei mehreren alternativ möglichen Interaktionsgeräten soll die Versuchsperson nach kurzen Tests entscheiden, welches Gerät sie für den Kernversuch nutzen würde. Für das Anbringen einiger Sensoren ist Elektrodengel notwendig, das die für zuverlässige Messungen erforderliche Haftung nur für eine beschränkte Zeit (in der Regel 30 Minuten bis 3 Stunden) garantiert. Vor dem Kernversuch ist eine **emotionale Kalibrierung der Versuchsperson** nützlich, um die individuellen Ausprägungen typischer emotionaler Reaktionen zu erfassen. Zur emotionalen Kalibrierung wird die Anwendung der standardisierten IAPS (International Affective Picture System) Bildfolge empfohlen. Hierbei wird der Versuchsperson ein fester Satz aus Bildern mit festgelegter Dauer und Reihenfolge in randomisierten Blöcken vorgespielt, die unterschiedliche jeweils interpersonell vergleichbare Emotionen auslösen. Während des Vorspielens der IAPS Bildfolge erfolgt eine kontinuierliche Aufzeichnung des Data Logs für die psychophysiologischen Größen.

- **Kernversuch.** Die Testperson erlebt interaktiv das variantenreiche virtuelle Produkt, währenddessen ihre Interaktionen und biologischen Signale kontinuierlich in synchronisierten Data Logs aufgezeichnet werden. Je nach verfolgtem Ziel kann der Versuch auch aus mehreren Teilaufgaben bestehen. Die Gesamtlänge soll 30 Minuten nicht überschreiten, denn ansonsten kann die Versuchsperson überfordert und die Zuverlässigkeit der Messungen mit Elektroden nicht gewährleistet werden. Die zeitlichen Vorgaben und die Komplexität der Aufgabe sind so zu definieren, dass die Entstehung der Empfindung eines Zeitdruckes weitgehend vermieden wird.
- **Abschließende Befragung.** Eine Reflexion der Versuchsperson auf den Kernversuch dient zum Abgleich der erfassten Daten mit ihren subjektiv beschriebenen Empfindungen. Dabei sollen Fragen über ihren allgemeinen Eindruck, über besonders gut oder schlecht empfundene Produktvarianten und besondere Vorkommnisse sowie über das Empfinden der Interaktion gestellt werden. Anhand dieser Informationen können bei der Auswertung (Kapitel 4.4.6) Gründe für einzelne aufgetretene Emotionen identifiziert oder verifiziert werden.

Die Gesamtlänge des Versuches hängt von dem konkreten Inhalt der einzelnen beschriebenen Schritte ab und soll in der Regel zwischen 45 und 90 Minuten betragen. Zwischen zwei Versuchen soll als Puffer eine Pause von mindestens 15 Minuten eingeplant werden.

Die anschließende **Risikoanalyse des Versuchsdesigns** dient zur Identifizierung von möglichen Störfaktoren und Engpässen während der Versuchsdurchführung. Damit die Untersuchung möglichst umfassend und systematisch erfolgt, sollte eine Checkliste benutzt

werden, die auch Erfahrungen aus früheren Versuchen berücksichtigt. Ergebnis der Risikoanalyse ist die Definition von Maßnahmen zur Vermeidung und Bekämpfung der einzelnen möglichen Störungen und Engpässe. Eventuell findet auch eine Änderung des Versuchsdesigns statt.

Einige Wochen vor dem tatsächlichen Versuch sollen **Vorversuche** durchgeführt werden, deren Ziel das exemplarische Testen des Versuchsdesigns ist. Zur Vermeidung opportunistischer Schlussfolgerungen sollen für die Vorversuche Personen eingeladen werden, die den Versuchsdesign noch nicht kennen und daher keine Vorurteile diesbezüglich haben können. Die Testpersonen sollen die Hauptmerkmale des Zielkundenkreises für den Versuch erfüllen. Zur systematischen Erfassung ihres Feedbacks ist eine möglichst umfangreiche Checkliste einzusetzen.

Nachdem das ursprüngliche Versuchsdesign durch Vorversuche iterativ geprüft und entsprechend korrigiert worden ist, erfolgt die **Freigabe des Versuchsdesigns**.

4.4.5.2. Versuchsbetreuung

Der **zweite Teilschritt** beschreibt die **Versuchsdurchführung aus Sicht der Versuchsbetreuer**, basierend auf das allgemeine Versuchsdesign aus Kapitel 4.4.5.1. Hierbei wird davon ausgegangen, dass für jede Testperson eine oder mehrere Versuchsbetreuer zuständig sind, die aus einem Team von für den Versuch ausführlich vorbereiteten Fachpersonen stammen, so dass eine koordinierte, weitgehend einheitliche Betreuung zustande kommt. Einfachheitshalber wird der Begriff „Betreuer“ stets im Singular als Oberbegriff für eine bestimmte Betreuungsperson oder für mehrere Betreuungspersonen, die koordiniert vorgehen, benutzt.

Während der einleitenden Befragung erklärt der Betreuer die Versuchsziele und schafft einen Überblick über den Versuchsablauf.

Anschließend führt der Versuchsbetreuer die Testperson in die benutzte Technologie ein. Er gibt ihr Bedienungseinweisungen für die eingesetzten Interaktionsgeräte und bindet die Messgeräte an den Nutzer an. Der Versuchsbetreuer muss vor Beginn der Messungen sicherstellen, dass die Installation der Geräte auf den Körper des Nutzers dem vorgeschriebenen Design der Versuchsumgebung entspricht.

Während der emotionalen Kalibrierung und des Kernversuches ist der Versuchsbetreuer für die Gewährleistung der Funktionsfähigkeit der verwendeten Technik (Geräte, Software, Logging) zuständig. Er muss eventuelle Unstimmigkeiten und besondere Vorkommnisse in ein Versuchstagebuch notieren. Bei gravierenden Störungen darf er auch den Versuch zeitweilig unterbrechen und im Extremfall vorzeitig beenden. Die Funktionsfähigkeit der Technik muss vor jedem neuen Versuch erneut überprüft werden, wofür Pufferzeiten zwischen den einzelnen Versuchen vorgesehen werden müssen.

Neben der Kontrolle der Technik soll der Versuchsbetreuer während des Kernversuches auch die Testperson beobachten und auffällige Beobachtungen notieren. Er soll ihr zudem auf Anfrage erlaubte Hilfestellung bieten. Bei den Befragungen kontrolliert der Betreuer das ordnungsgemäße Ausfüllen der Fragebögen. Nach Versuchsende ist er für die Bewahrung der aufgezeichneten Daten und der ausgefüllten Fragebögen zuständig.

Alle Erklärungen der Versuchsbetreuer müssen sachlich, einheitlich und im Voraus fest vereinbart sein. Auch die Antworten auf allen Fragen müssen sachlich bleiben, um eine Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden. Jeder Versuchsbetreuer darf seine eigenen Meinungen während der gesamten Versuchsdauer weder explizit formulieren noch implizit andeuten. Er muss sich der möglichen Wirkung seiner Aktionen während der gesamten Versuchsdurchführung bewusst sein und daher versuchen, soweit möglich, seine Aktionen vollständig zu kontrollieren.

4.4.5.3. Teilnahme am Versuch

Dieser **Teilschritt** erfolgt **zeitgleich mit der Versuchsbetreuung** (Kapitel 4.4.5.2) und beschreibt, basierend auf das allgemeine Versuchsdesign aus Kapitel 4.4.5.1, **die Versuchsdurchführung aus Sicht der Testperson**.

In der einleitenden Befragung gibt die Testperson allgemeine Informationen über sich, über ihren aktuellen affektiven Zustand, über eigene Erfahrungen mit dem Produkt und der Versuchsumgebung sowie über Erwartungen an den Versuch. Ein Teil dieser Informationen kann auch aus dem Teilschritt der Profilierung der Testgruppe (Kapitel 4.4.3.2) direkt übernommen werden, sofern die geltenden Datenschutzregelungen dies erlauben. Besonders die Erfassung emotionaler Erwartungen ist wichtig, denn sie beeinflussen die Wahrnehmung der Leistungsattribute (Phi02, vgl. S. 243-252).

Zur Erfassung der individuellen Besonderheiten der emotionalen Erfahrung (Kalibrierung) wird der Testperson zuerst eine IAPS-basierte Bildfolge vorgespielt; wegen der vollständigen Linearität des Szenarios ist hierbei die Nutzung eines Eingabegerätes nicht notwendig. Durch eine zusätzliche Aufgabe zur Emotionskalibrierung sollen typische Reaktionsmuster unter vergleichbaren Bedingungen wie im Kernversuch (bei freier Bewegung, stereoskopischen Projektion und unter Nutzung der Interaktionsgeräte) ermittelt werden. Die Ergebnisse der emotionalen Kalibrierung sind mit dem PAD-Modell beschreibbar und auswertbar (Kat11, vgl. S. 665-675).

Während des Kernversuches interagiert die Versuchsperson frei mit dem konfigurierbaren virtuellen Produkt, um aus dem zur Verfügung stehenden Variantenraum eine ansprechende individuelle Konfiguration zu erstellen. Jede Aktion des Nutzers (Bewegung verfolgter Körperteile, Navigieren, Selektieren, Manipulieren) wird in eine Log Datei aufgezeichnet – dadurch wird die Interaktionschronologie des Versuches festgehalten. Gleichzeitig und synchronisiert werden die psychophysiologischen Messgrößen, aus denen die Emotionsdimensionen nach dem PAD-Modell bestimmbar sind, in eine andere Log Datei

aufgezeichnet – diese Datei beinhaltet also die Emotionschronologie des Versuches. Ziel ist, den direkten zuverlässigen Vergleich dieser beiden Dateien zu ermöglichen, um Abhängigkeiten zwischen den Aktionen des Nutzers und den dadurch ausgelösten emotionalen Reaktionen feststellen zu können.

These 7: *Die Aufzeichnung und Gegenüberstellung der Interaktions- und der Emotionschronologie bei psychophysiologischen Messungen in immersiver Umgebung kann mit hinreichender Genauigkeit durchgeführt werden, um eine zuverlässige eindeutige Identifizierung von auslösenden Aktionen für die einzelnen emotionalen Reaktionen zu ermöglichen.*

Die aufgezeichneten Emotionen müssen nicht unbedingt als Bezugsobjekt das untersuchte Produkt haben, sondern können sich auch auf für die Messung unerwünschte Objekte beziehen, wie beispielsweise die implementierte Interaktion, die Versuchsumgebung allgemein oder andere Objekte, mit denen sich die Testperson bewusst oder unbewusst mental auseinandersetzt. Manche Autoren schlagen daher eine Absicherung der Messung durch eine Anfrage über die empfundene Emotion in einem Pop-Up-Menü (Wha07, vgl. S. 207). Der Einsatz dieser Absicherung ist jedoch kritisch zu hinterfragen, denn sie beeinträchtigt stark den natürlichen Fluss der Interaktion und kann selbst negative Emotionen auslösen.

4.4.6. Schritt 5: Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung der gewonnenen Rohdaten wird durch die komplexe Interaktion mehrerer Variablen, darunter auch Störgrößen, erschwert. Der Stand der Technik der Emotionsauswertung laut Kapitel 3.2.2 ermöglicht eine zuverlässige Emotionsklassifizierung anhand physiologischer Daten mit großer Genauigkeit. Neben den physiologischen Faktoren müssen hierbei jedoch auch physische (z.B. individuelle Abmessungen), sensorische (z.B. Seh- und Hörvermögen) und psychologische Faktoren (z.B. individuelle Fähigkeiten und Fertigkeiten) berücksichtigt werden (San07, vgl. S. 166).

4.4.6.1. Aufbereitung der Versuchsrohdaten

Im **ersten Teilschritt** erfolgt eine **Aufbereitung der gewonnenen Versuchsrohdaten** aus Schritt 4. Sie beinhaltet Methoden der Transformation, Extraktion, Reduktion und Klassifikation von Daten, die aus dem ursprünglichen umfangreichen Datensatz einen für das Versuchsziel entsprechend modifizierten relevanten Datensatz bilden.

Zunächst muss aus den quasi-kontinuierlich erfassten biophysiologischen Daten der Emotionsverlauf der Testperson während des Versuches ermittelt werden. Die **Zuordnung** (das „Mapping“) **von Ausprägungen für die Dimensionen Valenz (P) und Erregung (A) des PAD-Modells zu einzelnen Wertefolgen der erfassten biophysiologischen Größen** kann am effektivsten mittels trainierter Support Vector Maschinen oder Neuronaler Netze erfolgen (siehe Kapitel 3.2.1). Je nach Natur und mathematischer Definition des untersuchten relevanten psychophysiologischen Parameters müsste unter Umständen der aufgenommene

quasi-kontinuierliche Verlauf der Rohdaten zuerst weitgehend diskretisiert werden – die Daten für ein Zeitfenster werden in diesem Fall durch einen einzigen Wert zusammengefasst. Beim Mapping müssen Parameteränderungen innerhalb einer definierten Genauigkeitsgrenze als zufällig ausgeschlossen werden. Beispielsweise wird die Definition eines neutralen Bereiches um die Koordinatenachsen der dimensionalen Emotionsmodelle vorgeschlagen, und zwar wegen der Variation der Messsensitivität individuell für jeden Nutzer (Wha07, vgl. S. 206). Die mathematische Beschreibung der Emotionsdimensionen erfolgt in der Regel nicht auf einer absoluten Skala, sondern relativ über die Angabe der prozentuellen Variation der Stärke der Eingangssignale (E). Sie wird über die allgemeine Formel $E = (C-N)/N$ berechnet, wobei N den definierten neutralen Zustand (englisch „neutral state“) und C den aktuellen Zustand (englisch „current state“) einer relevanten biophysiologicalen Größe darstellt (Wha07, vgl. S. 207). Durch Definition je eines positiven (+E), neutralen (0) und negativen (-E) Bereiches für jede Dimension entstehen unterschiedliche theoretische Kombinationen, die in der graphischen Darstellung durch entsprechende Bereiche repräsentiert werden (wie in **Abbildung 14** für das PA-Modell dargestellt). Einige dieser theoretischen Kombinationen müssen gegebenenfalls wegen Inkompatibilität mit physiologischen Prozessen ausgeschlossen werden. Die Kombination aus den neutralen Bereichen für alle untersuchten Emotionsdimensionen ergibt den Referenzbereich.

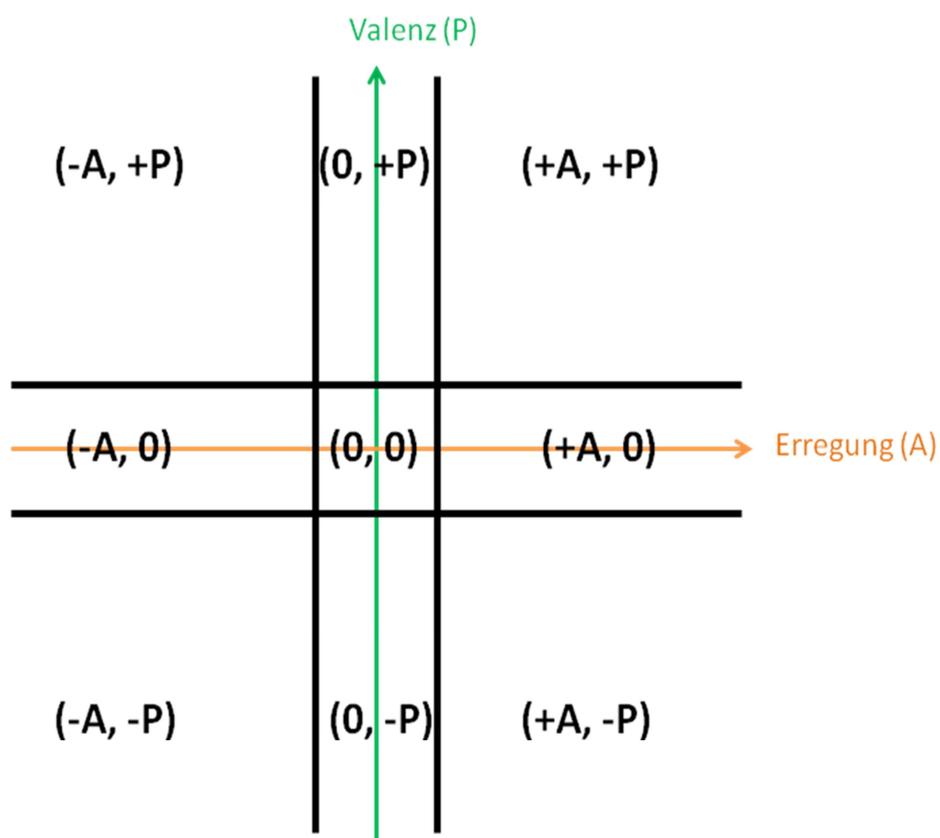


Abbildung 14: Quadranten des PA-Modells

Anschließend erfolgt die **Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie der Versuchsperson**. Ihre grundsätzliche graphische Form entnimmt man der **Abbildung 15**; auf der horizontalen Achse wird die Zeit und auf der vertikalen Achse werden die Werte für die einzelnen Parameter aufgetragen. Dabei werden diskrete Parameter durch Datenpunkte und quasi-kontinuierliche Parameter durch interpolierte kontinuierliche Verläufe visualisiert. Die Zeitpunkte für die diskreten Größen können abhängig von ihrer Natur und mathematischen Definition äquidistant oder nicht-äquidistant sein. Unterschiedliche Farben weisen auf unterschiedliche Parameter hin. Diese Darstellung unterstützt die semi-manuelle Auswertung der Messergebnisse seitens Psychologen, die bei der in dieser Arbeit vorgestellten nicht-echtzeitfähigen Auswertungsmethodik zu empfehlen ist. Die Implementierung einer vollautomatisierten Auswertung benötigt einen immensen Entwicklungsaufwand und kann daher nur langfristig erfolgen.

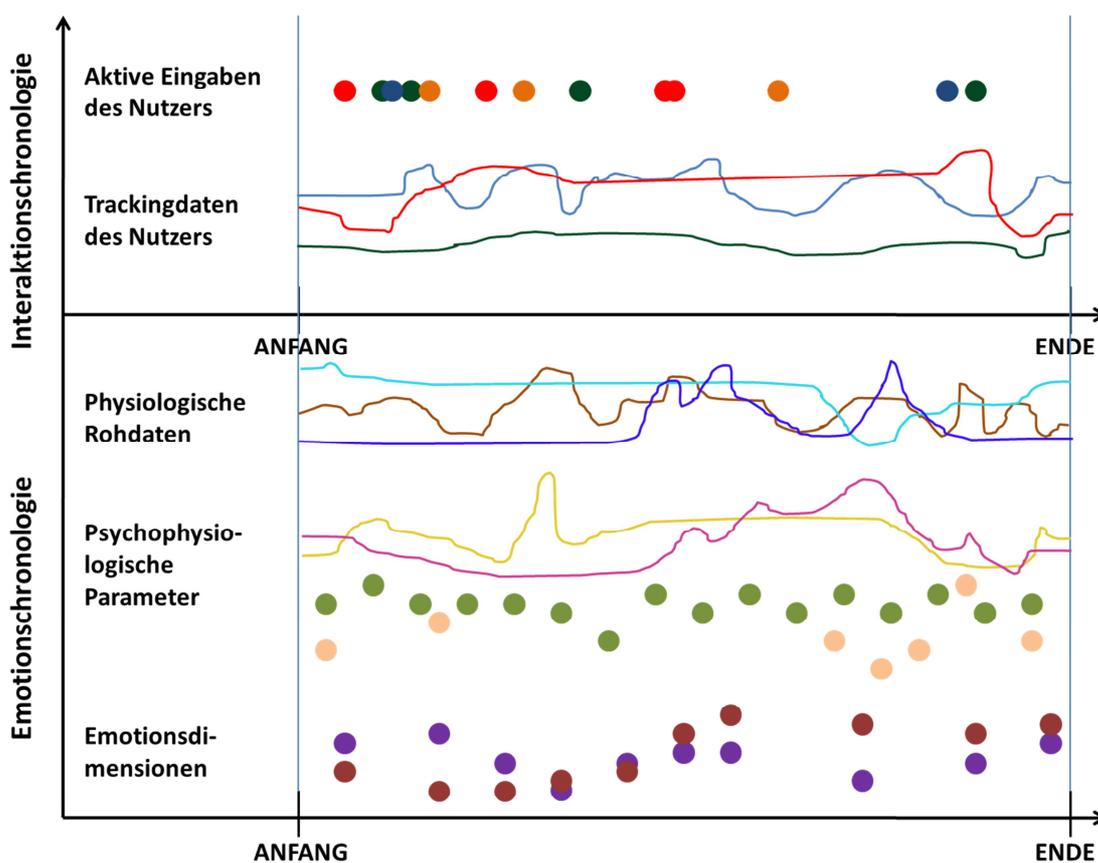


Abbildung 15: Grundsätzliche graphische Form der Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie bei unterschiedlichen diskreten und quasi-kontinuierlichen Größen

Die **Erkennung von Störgrößen und deren Auswirkung** auf die Versuchsergebnisse ist ein komplexes Problem, das eine fundierte, umfassende und kreative Vorgehensweise verlangt. Sie wird teilweise mit dem Vergleich der Gegenüberstellung der beiden Folgen mit dem Kundenfeedback aus der abschließenden Befragung nach dem Kernversuch (siehe Kapitel 4.4.5.1) ermöglicht. Alle Ausreißer und anderweitige untypische Befunde müssen zur

Ermittlung ihrer Ursachen sorgfältig untersucht werden. Ein Ausreißer soll erst dann ausgeschlossen werden, wenn nachvollzogen wurde, wie er zustande kam (Fau07, vgl. S. 166). Eine besonders wichtige Aufgabe besteht darin, die unerwünschte Überlagerung der affektiven Reaktionen auf die Interaktion mit den affektiven Reaktionen auf das dargestellte Produkt in ihrem Ausmaß und in ihrer Qualität zu identifizieren.

4.4.6.2. Operative Auswertung

Der **zweite und letzte Teilschritt** umfasst die **operative Auswertung der aufbereiteten Versuchsergebnisse** seitens Psychologen und Experten für Virtuelle Realität.

Die **Erkennung kausaler Zusammenhänge zwischen den Aktionen des Kunden während des Erlebens des variantenreichen virtuellen Produktes und seinen Emotionen** stellt eine kreative Forschungstätigkeit dar, die auf die Gegenüberstellung der beiden Folgen nach vorheriger Identifikation ihrer Störungsanteile (Kapitel 4.4.6.1) beruht. Die identifizierten Emotionen innerhalb des Zeitintervalls von einigen Sekunden nach jeder Aktion können als direkte Folge dieser Aktion betrachtet werden. Da der Wechsel zwischen zwei Produktvarianten aus dem zur Verfügung stehenden Variantenraum immer mit einer Nutzeraktion verbunden ist, kann daher grundsätzlich eine Zuordnung einer Kundenemotion zu jeder untersuchten Produktvariante erfolgen. Die Zuordnung ist unmöglich für den Fall schnell nacheinander folgender Nutzeraktionen. Sie ist irrelevant, falls das auslösende Objekt der Emotion nicht das dargestellte Produkt ist. Die Feststellung abweichender Emotionsauslöser ist nur teilweise möglich, und zwar anhand der im Kapitel 4.4.6.1 beschriebenen Methode zur Erkennung von Störgrößen. Durch Vergleich der Headtracking- oder Eyetracking-Daten mit der aktuellen Darstellung in jedem Frame ist die Ermittlung des durch den Blick fokussierten Objektes zu jedem Zeitpunkt möglich, was eine zusätzliche Hilfestellung bei der Feststellung abweichender Emotionsauslöser sein kann. Diese Aufgabe ist allerdings sehr aufwendig; darüber hinaus muss noch erwähnt werden, dass der Emotionsauslöser zum aktuellen Zeitpunkt nicht unbedingt das mit den Augen fokussierte Objekt ist, sondern das aktuell mental verarbeitete, möglicherweise abweichende Objekt. Der **Ausschlag der gemessenen Emotionen** hängt entscheidend vom Begeisterungspotenzial des untersuchten Produktes ab. Begeisternde Eigenschaften weisen viele Konsumgüter auf, denn laut Kapitel 2.4.1 ist der Anteil der emotionalen Komponente bei der Urteilsbildung hinsichtlich eines Produktes beträchtlich. Bei einem Produkt, dessen Erleben kaum oder keine Emotionen beim Kunden hervorruft, würde sich die Testperson im Laufe des ganzen Versuches im neutralen Bereich des PA-Modells oder im Bereich, das ihrer aktuellen Stimmung entspricht, befinden. Die Ergebnisse der in dieser Arbeit vorgestellten Methodik hätten bei solchen Produkten kaum Aussagekraft über die Einstellung des Kunden zum Produkt.

These 8: *Das emotionale Kundenfeedback über individualisierte Gebrauchsgüter mit hohem potenziellem hedonistischem Nutzen lässt sich mittels biophysiologicaler Größen zuverlässig erfassen.*

Tabelle 8: Möglichkeiten zur formalen Beschreibung der emotionalen Auswirkung einzelner Produktvarianten

Klassifizierungs-kriterium	Ausprägung	Beschreibung
Art der Skala	Absolute Angabe	Der Produktvariante wird auf einer quasi-kontinuierlichen Verhältnis- oder Intervallskala ein Wert für die Emotionsdimension zugeordnet.
	Relative Angabe	Die Produktvariante wird zum Vergleich mit anderen Varianten auf einer ordinalen Skala der Emotionsdimension platziert.
	Klassenangabe	Der Produktvariante wird eine vordefinierte Klasse der Emotionsdimension zugeordnet (meist stehen „positiv“, „neutral“ und „negativ“ zur Auswahl).
Zeitbezug	Momentaner Wert	Es wird der Wert zu einem bestimmten Zeitpunkt oder mit bestimmter Relevanz (z.B. Maximum, Minimum) benutzt.
	Gemittelter Wert	Es wird ein gemittelter Wert (z.B. arithmetischer Mittelwert) aus dem Wertesatz für ein bestimmtes Zeitintervall benutzt.
Subjekt	Einzelperson	Der Wert bezieht sich auf eine Einzelperson.
	Kundensegment	Der Wert bezieht sich auf einen anhand bestimmter Kriterien definierten Teil der Gesamttestgruppe.
	Gesamttestgruppe	Der Wert bezieht sich auf die Gesamttestgruppe.

Die anschließende **parametrische Beschreibung der emotionalen Auswirkung einzelner Produktvarianten** ermöglicht eine eindeutige Formulierung der ermittelten Zusammenhänge. Dafür existieren zahlreiche komplementäre Beschreibungsmöglichkeiten; die wichtigsten Möglichkeiten sind der **Tabelle 8** zu entnehmen. Je nach Stakeholder sind laut Kapitel 4.4.7.1 unterschiedliche Informationen von Interesse. Als entscheidende Emotionsdimension wird laut Kapitel 4.2 die **Valenz** angenommen, die laut der im Kapitel 3.4 vorgestellten Studien (insbesondere laut Studie von Van Dolen) relevante und relativ

umfassende Informationen über die affektive Wirkung von Produkten liefert. Sie stellt einen über physiologische Messungen erfassbaren Parameter dar, der mit der wahrgenommenen Produktqualität sowie mit der affektiven Komponente der transaktionsspezifischen Zufriedenheit positiv korreliert. Eine positive Valenz deutet grundsätzlich auf hohe wahrgenommene Produktqualität und auf Zufriedenheit vom Produkt hin; hingegen stellt eine negative Valenz in der Regel ein Zeichen für eher schlechte subjektive Produktqualität und Unzufriedenheit vom Produkt dar. Valenzwerte im neutralen Bereich bedeuten, dass die hedonistische Produktkomponente eher schwach ausgeprägt ist oder zumindest beim interaktiven Erleben in immersiver Umgebung nicht in den Vordergrund tritt.

Die Emotionsdimension **Erregung** beeinflusst nach Kapitel 3.4 ebenfalls den affektiven Zustand des Kunden hinsichtlich eines Produktes. Jedoch ist ihre gewünschte Ausprägung für untersuchte Produkte nicht so eindeutig wie bei der Valenz – je nach Anwendungszweck des Produktes und Nutzer kann hohe oder niedrige Erregung zufriedenheitsstiftend sein. Darüber hinaus kann sich diese Emotionsdimension (deutlich stärker als die Valenz) anteilig auf die moderne immersive Umgebung beziehen, was eine Störung der Messungen darstellt.

4.4.7. Schritt 6: Rückführung der Ergebnisse ins Produktmodell

Die Ergebnisse aus Schritt 5 müssen zur weiteren Nutzung im Rahmen der Produktentwicklung ins Produktmodell zurückgeführt werden.

4.4.7.1. Verwaltung der ausgewerteten Daten

Im **ersten Teilschritt** muss eine **zielorientierte Verwaltung der ausgewerteten Daten** nach den Interessen und Zuständigkeiten der Prozessbeteiligten realisiert werden.

Zunächst ist eine **Definition unterschiedlicher Profile für die Nutzung der Ergebnisse** erforderlich. Für größere Projekte mit vielen Beteiligten und einer großen Anzahl an untersuchten Produktvarianten ist hierfür der Einsatz von PDM-Software unumgänglich. Die Ergebnisse sind für alle im Kapitel 4.4.1 identifizierten Stakeholder von Interesse, bis auf die Virtual Reality Experten, welche nur eine unterstützende Dienstleistungsrolle im Prozess übernehmen. Desweiteren ist die Bekanntmachung der Entscheidungsträger auf höherer Ebene mit den Ergebnissen der Methodik sehr empfehlenswert, denn diese Ergebnisse stellen eine relevante Informationsquelle für operative und strategische Entscheidungen hinsichtlich des Produktprogramms des Unternehmens dar.

Anschließend wird eine **Extraktion relevanter Ergebnisse für die einzelnen Profile** durchgeführt. Hierbei ist insbesondere auf die Art und den Grad der Verdichtung der verfügbaren Information zu achten – sie müssen den Aufgaben, den Interessen und dem investierbaren Zeitaufwand des Profils zugeschnitten sein. Die Produktentwickler benötigen Informationen über die allgemeine Empfindung unterschiedlicher von ihnen entwickelten Produktvarianten, um sich ihrer wahrgenommener Qualität aus Kundensicht bewusst zu werden. Marketingexperten interessieren sich vor allem um die relative Bevorzugung der Produktvarianten bei den unterschiedlichen Kundensegmenten, denn diese Informationen

können neben den Ergebnissen aus Untersuchungen rationaler Produktwahrnehmung als Grundlage für Definition zielgruppenspezifischer Marketingstrategien dienen. Die Entscheidungsträger im Unternehmen benötigen zur Gewährleistung des Gesamtüberblicks sowohl generelle als auch kundensegmentspezifische Informationen über die untersuchten Produktvarianten in stark verdichteter Form; bei der Vorbereitung dieser Informationen muss eine sorgfältige Einsortierung nach definierten Kriterien durchgeführt werden, um die Vorenthaltung wichtiger Informationen aus opportunistischen Gründen zu vermeiden. Psychologen haben für ihre wissenschaftliche Tätigkeit besonderes Interesse an auffälligen Feststellungen bei individuellen Testpersonen. Jeder Einzelkunde, der am Versuch teilgenommen hat, soll nur nach eigenem explizitem Wunsch die Möglichkeit bekommen, die Ergebnisse aus dem eigenen Versuch in für ihn verständlicher Form zu erfahren; dabei muss er über die Datenschutzauswirkungen dieser Vorgehensweise (siehe Kapitel 4.4.9) informiert sein. Auf Basis der im Kapitel 4.4.6.2 tabellarisch vorgestellten Möglichkeiten wurden in **Tabelle 9** die grundsätzlich passenden Darstellungsformen der verfügbaren Informationen für die einzelnen Profile präsentiert. Zusätzliche Informationen, die als relevant weitergeleitet und benutzt werden können, sind die Länge (in Sekunden) der Erkundung einer Variante sowie die Häufigkeit ihrer Erkundung (prozentualer Anteil der Testpersonen, die die Variante untersucht haben).

Tabelle 9: Passende Darstellungsformen der emotionalen Reaktion auf einzelne Produktvarianten für unterschiedliche Stakeholder

	Art der Skala	Zeitbezug	Subjekt
Produktentwicklung	Absolute Angabe	Gemittelter Wert	Gesamttestgruppe
Marketing	Relative Angabe	Gemittelter Wert	Alle Kundensegmente
Endkunde	Relative Angabe, Klassenangabe	Momentaner Wert, Gemittelter Wert	Eine Einzelperson: „sich selbst“
Psychologen	Absolute Angabe	Momentaner Wert, Gemittelter Wert	Alle Einzelpersonen
Entscheidungsträger	Relative Angabe, Absolute Angabe	Gemittelter Wert	Gesamttestgruppe, Alle Kundensegmente

4.4.7.2. Reduktion der Produktvarianten

Ergebnis des **zweiten Teilschritts** der **Reduktion der Produktvarianten** ist die kundenzentrierte Auswahl von versprechenden Produktvarianten zur Weiterverfolgung in der Produktentwicklung. Hierbei sollen die (nach Valenz) am positivsten empfundenen Varianten, sowohl aus allgemeiner als auch aus kundensegmentspezifischer Sicht, einsortiert werden. Daher sind auch polarisierende Varianten weiter zu entwickeln, wenn sie von einer genügend großen Zielgruppe als besonders positiv empfunden werden. Die Anzahl der weiterverfolgten Produktvarianten hängt maßgeblich von den Entwicklungs- und Produktionskapazitäten des Unternehmens ab, wobei eine ausgewogene Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Faktoren notwendig ist.

These 9: *Repräsentative Kundengruppen können durch interaktive Konfiguration in VR anhand Konzeptmodelle den optimalen Variantenraum für das spätere Produkt bestimmen.*

4.4.8. Ethische Fragen

Im Rahmen der vorliegenden Methodik werden von Privatpersonen Informationen erhoben, verarbeitet und genutzt. Wegen der nachgewiesenen „Nichtneutralität der Informationen“ (Kos80, vgl. S. 277-283) besteht die Gefahr ihres Missbrauchs, der nur durch ethisch korrektes Verhalten der Beteiligten vermieden wird. Die im Kapitel 4.4.1 beschriebenen Stakeholder müssen also in individueller und gemeinschaftlicher Verantwortung eine von der Gesellschaft allseits oder wenigstens mehrheitlich akzeptierte Vorgehensweise gewährleisten (Web09, vgl. S. 12-14). Hierbei müssen sie sich an die für ihren Beruf geltenden ethischen Leitlinien halten. Diese Aufgabe wird in der heutigen pluralistischen Gesellschaft durch die Nicht-Eindeutigkeit (und zumindest anteilige freie Interpretierbarkeit) ethischer Normen und das häufige Fehlen des Gesamtüberblickes der Einzelnen erschwert (Web09, vgl. S. 18, 20-21). Ethische Normen bekommen Form, konkreten Detaillierungsgrad und Verbindlichkeit durch entsprechende Gesetze, wie beispielsweise das Bundesdatenschutzgesetz, auf das im Kapitel 4.4.9 kurz eingegangen wird.

Zentrale ethische Fragenstellungen der hier entwickelten Methodik sind die Erhebung personenbezogener Daten in Form von Fragebögen und Log Dateien sowie der Umgang mit diesen Daten. Die Versuchspersonen müssen laut vorherrschender ethischer Normen über den Zweck des Versuches, die erfassten Daten und deren Nutzung lückenlos informiert werden; alle Ergebnisse der Forschungen sind anonymisiert zu veröffentlichen (Kos80, vgl. S. 277-283). Besonders sensibler Aspekt dieser Methodik stellt die Erfassung von Emotionen dar. Obwohl Emotionen wegen ihrer im Kapitel 2.3.1.1 vorgestellten evolutionsbedingten kommunikativen Funktion gegenüber den Artgenossen mittels Körpersignale, im Gegensatz zu Gedanken, eine öffentliche Natur aufweisen, wird ihre formale Erfassung mit Messungen oft als Eindringen in die Privatsphäre empfunden. Aus diesem Grund sind die Freiwilligkeit der Versuchsteilnahme und eine explizite Zustimmung zur Erfassung und Nutzung psychobiologischer Daten unerlässliche Voraussetzungen dieser Methodik. Hier wird aus ethischen Gründen ausdrücklich für den Verzicht auf zentralphysiologische Messungen

innerhalb der Methodik plädiert, bei denen konkreter Bezug mit den Gedanken der Versuchspersonen hergestellt werden kann.

Eine weitere relevante Anforderung der Informationsethik auf die hier vorgestellte Methodik ist die Beherrschbarkeit der angewendeten informationstechnischen Lösungen. Die eventuelle Undurchschaubarkeit der Softwarefunktionen hätte blinde Computergläubigkeit als Folge (Hen95, vgl. S. 23-36), die besonders bei der Verarbeitung personenbezogener Daten nicht zulässig ist.

4.4.9. Rechtliche Fragen

Die wesentlichen rechtlichen Fragen, die aus der hier entwickelten Methodik hervorgehen, beziehen sich auf den Datenschutz. Hierbei sind die geltenden Gesetze für das Land zu berücksichtigen, in dem die Versuche durchgeführt werden. In Deutschland wird der Datenschutz über das **Bundesdatenschutzgesetz** juristisch geregelt.

Die Methodik muss laut dem Bundesdatenschutzgesetz die Grundsätze der Verhältnismäßigkeit des Umgangs mit Daten (nach der Regel „so viel Umgang wie nötig, so wenig wie möglich“), der Zweckbindung und der Transparenz erfüllen (Wyb11, vgl. S. 13-71). Hinsichtlich der Verhältnismäßigkeit ist insbesondere die Erforderlichkeit der psychobiologischen Messungen wegen ihrer Sensibilität ausführlich zu begründen – laut Kapitel 3.1 wird das dadurch gewonnene Feedback im Gegensatz zu Befragungen kaum willentlich verfälscht und daher deutlich aussagekräftiger. Die Zweckbindung verbietet die Vorratsspeicherung von personenbezogenen Daten. Der Name und die Kontaktdaten jeder einzelnen Versuchsperson müssen daher umgehend nach Versuchsende gelöscht werden, sofern die Versuchsperson unter bewusster Berücksichtigung der Datenschutzrisiken das Gegenteil nicht explizit erlaubt.

Die vorgesehene Direkterhebung muss mit einer Anonymisierung verbunden werden, die durch die zufällige Vergabe von Identifikationsnummern und den Verzicht auf Namen in allen Feedbackbögen realisiert werden kann. Somit ist die Zuordnung von Einzelangaben zu Personen nicht mehr möglich oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand erzielbar (Wyb11, vgl. S. 13-71). Eine Ausnahme soll analog wie bei der Vorratsspeicherung der personenbezogenen Daten nur dann möglich sein, wenn die Versuchsperson explizit die Ergebnisse aus ihrem Versuch (laut **Tabelle 9** im Kapitel 4.4.7.1) erfahren möchte, und die damit verbundenen Risiken aus Datenschutzsicht kennt und akzeptiert.

Laut dem Bundesdatenschutzgesetz ist die schriftliche Einwilligung des Betroffenen für die Datenverarbeitung vor dem Umgang mit personenbezogenen Daten zwingend notwendig; sie muss auf freiwilliger Basis erfolgen und der Einwilligungstext muss sich optisch von den übrigen Erklärungen auf dem Informationsblatt deutlich abheben (Wyb11, vgl. S. 13-71). Der Umgang mit den Versuchsdaten durch Unbefugten ist mit **Zutritts-** (Vergabe von Schlüsseln und Codekarten zu den Räumlichkeiten, in denen sich die Rechner mit den gespeicherten Daten befinden), **Zugangs-** (Einrichten von Passwörtern für die Rechner, an denen die Daten

gespeichert sind) und **Zugriffskontrolle** (Einrichtung unterschiedlicher Nutzerprofile mit entsprechenden Rechten und Einschränkungen laut Kapitel 4.4.7.1) zu verhindern (Wyb11, vgl. S. 176-180). Zum Versuch dürfen wegen der Erhebung personenbezogener Daten keine Minderjährige zugelassen werden.

Die Anforderung vieler Unternehmen, an Versuchen in frühen Phasen der Produktentwicklung wegen der Gefahr des Wissensabflusses nur eigene Mitarbeiter zuzulassen, ist für die hier vorgeschlagene Methodik sehr ungünstig. Diese Vorgehensweise würde eine zu große Gefahr vor Verfälschung der Ergebnisse durch den Opportunismus der Mitarbeiter und deren Vertrautheit mit dem Produkt bergen. Ein Beharren des Unternehmens auf diese Anforderung würde den Versuch sogar sinnlos machen. Bei der Auswahl der Lead-User Gruppe ist aber auf jeden Fall im Rahmen der gesetzlich erlaubten Möglichkeiten auf die Zuverlässigkeit der Versuchspersonen zu achten.

4.4.10. Organisatorische Fragen

Der erfolgreiche Einsatz der hier beschriebenen Methodik hängt entscheidend von einigen Aspekten der Unternehmensorganisation ab, die hier kurz erläutert werden.

Begünstigende Organisationsform für die Methodik ist die heutzutage oft eingesetzte **Projektstruktur**. Hierbei leitet ein Projektmanager das Vorhaben und ihm sind Mitarbeiter untergeordnet, die zumindest für die Dauer des Vorhabens von der Linienstruktur des Unternehmens losgelöst sind. Diese Wunschform fördert die Freiheit und die Kreativität der Teammitglieder, gibt ihnen den Spielraum für innovative Entwicklungen und erleichtert ihnen den „Blick über den eigenen Tellerrand“, der bei dieser hochinterdisziplinären Aufgabe unabdingbar ist. Bei Unternehmen mit ausgeprägt starken Linienstrukturen ist die Methodik im Gegensatz dazu schwer einsetzbar.

Voraussetzung für erfolgreichen Einsatz der Methodik ist eine für die Aufgabe passende **Organisationskultur**. Unter Organisationskultur versteht man ein weithin akzeptiertes, gemeinsames, relativ stimmiges System aus zeit- und gruppenspezifischen Gestaltungen einer Organisation; deren Inhalt und Formen sind einmalig, ständig im Wandel, stellen zugleich das Ergebnis und das Mittel sozialer Interaktionen dar und sind prozessübergreifend (Neu89, vgl. S. 205-250). Die hier beschriebene Methodik ist für eine wandlungsfähige, lernende Organisation vorgesehen. Alle Teammitglieder müssen sich zu den gemeinsamen Projektzielen bekennen, ihre Kompetenzen und Kenntnisse zur Verfügung stellen und eigene Interessen den Projektzielen unterordnen. In Verbindung mit der Projektstruktur kann in dieser Hinsicht von einer „Aufgabenkultur“ die Rede sein. Der Hauptvorteil dieser Aufgabenkultur liegt in der Synergie, die einen überdurchschnittlich hohen projektbezogenen, aber (besonders mittel- und langfristig) auch individuellen Zuwachs an Erkenntnissen und Kompetenzen liefert. Die Interdisziplinarität des Teams stellt die Anforderung an im Voraus explizit formulierten Regeln für Kommunikation und Konfliktmanagement. Die Motivation der Teammitglieder muss ständig auf hohem Niveau gehalten werden, wofür insbesondere immaterielle Anreize zu schaffen sind.

5. Validierung

Die im Kapitel 4 beschriebene Methodik wurde wegen ihrer Komplexität und der Vielfältigkeit der Schritte anhand von zwei komplementären Studien validiert. Während bei der ersten Studie NICE (siehe Kapitel 5.1) der Schwerpunkt eher auf die ersten Schritte der Methodik gelegt war, fokussierte sich die zweite Studie EMO VR (siehe Kapitel 5.2) vorwiegend auf die letzten Schritte. Durch diese beiden Studien konnten die Plausibilität des vollständigen vorgeschlagenen Verlaufs sowie die mit den einzelnen Schritten verbundenen formulierten Thesen überprüft werden.

5.1. Anwendungsfall 1: Studie NICE

5.1.1. Allgemeine Beschreibung

Die Studie NICE (Abkürzung für „Natural Interaction and Configuration Paradigms in Virtual Environments“) wurde im Sommer und Herbst 2010 zusammen mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern Wolfgang Schotte und Dr. Jürgen Schöchlin am Institut IMI vorbereitet und mit freundlicher Unterstützung der Gesellschaft zur wissenschaftlichen Förderung CAD-CAM e.V. durchgeführt. Bei der Studie wurden Unternehmensprozesse in einem zehnköpfigen Team realistisch simuliert. Jeder Stakeholder im Team wies die entsprechenden relevanten Kompetenzen einer der untersuchten Personengruppen laut Kapitel 4.4.1 auf. Als Virtual Reality Experten, Produktentwickler und Marketingexperten fungierten wissenschaftliche Mitarbeiter und Studenten, die entweder bereits Abschlüsse in diesen Bereichen hatten oder sich in diesen Bereichen spezialisieren und schon konkrete Erfahrungen gemacht haben. Die Testgruppe bestand aus potenziellen Kunden für das untersuchte Produkt. Psychologen wurden im Rahmen dieser Studie, aufgrund ihres Schwerpunktes auf die ersten Schritte der in dieser Arbeit entwickelten Methodik, nicht direkt, sondern nur als Berater eingesetzt. Die Versuche mit allen 102 Testpersonen fanden im November 2010 statt.

Zentrale Frage der NICE-Studie war die Konzipierung der virtuellen Umgebung im Hinblick auf Interaktionsmodalitäten und -Geräte. Die Benutzerakzeptanz der virtuellen Umgebung stellt ein maßgebliches Kriterium für ihren effizienten Einsatz im Rahmen der in dieser Arbeit entwickelten Methodik dar. In Anlehnung auf das Konzept der wahrgenommenen Qualität (siehe Kapitel 2.4.2) wurden die individuellen Empfindungen des Immersionsgrades und der Interaktion als entscheidende Faktoren für die Benutzerakzeptanz untersucht. Konkretes operatives Ziel stellte der Vergleich der wahrgenommenen Qualität der Interaktion und der Immersion bei bimodaler (visueller und akustischer) Ausgabe in unterschiedlich konfigurierten virtuellen Umgebungen. Darüber hinaus wurden in der Studie die ersten zwei Schritte der vorgeschlagenen Methodik (Definition des Variantenraumes und Auswahl der Versuchspersonen) vollständig validiert.

Als Szenario wurde die Konfiguration einer Küche aus vordefinierten Bausteinen (Küchenelementen) gewählt. Der Hauptgrund für die Auswahl dieses Szenarios liegt in der allgemeinen Vertrautheit unterschiedlichster Menschen mit diesem Produkt, wodurch es

sich für heterogene und große Testgruppen eignet, wie bei der NICE-Studie der Fall ist (siehe Kapitel 5.1.3). Ein weiterer wichtiger Grund ist die Vergleichbarkeit der Größenordnung der gewöhnlichen Dimensionen von CAVEs und Küchen, was eine maßstabstreue 1:1 Produktdarstellung in der immersiven Umgebung ermöglicht. Die Produktmerkmaldarstellung wurde mit Simulationen der Funktionen unterschiedlicher Küchenelemente ergänzt – hierbei lag der Schwerpunkt in der Darstellung realitätstreuer Wahrnehmungssignale für die einzelnen Funktionen und nicht in der physikalischen Korrektheit deren Implementierung.

5.1.2. Produktentwicklungsprozess, Produktmodelle und angewendete Software

Da dem Team kein Feedback aus Vorgängerprodukten zur Verfügung stand, dienten umfangreiche Marktanalysen moderner Küchenprodukte und Befragungen potenzieller Kunden als Ausgangsbasis für die Produktentwicklung. Die Anforderungen wurden in der Sprache der Kunden gesammelt. Der simulierte Anwendungskontext wurde nach Beobachtungen und Befragungen wie folgt definiert:

Die Küche stellt ein kundenindividuelles Innenraum-Produkt dar, dessen Form und Abmessungen von der dafür vorgesehenen Räumlichkeit bestimmt sind. Die Größenordnung der Küchenabmessungen entspricht in etwa den Dimensionen der in CAVE-Modus angewendeten Drei-Wände-Projektion in LESC (siehe Kapitel 5.1.4). Die Küche wird täglich benutzt, wobei je nach Tätigkeit die Dauer der Nutzung von Sekunden- (beispielsweise Holen von Lebensmitteln aus dem Kühlschrank) bis zum Stundenbereich (beispielsweise Kochen eines Gerichts) reicht. Der Anlass ihrer Nutzung kann allgemein als Vor- und Nachbereitung von Mahlzeiten für sich und andere Personen zusammengefasst werden. Faktoren, die die konkrete Nutzungssituation beeinflussen, sind der Zeitpunkt sowie die Personen (Anzahl und Art der Beziehung), mit denen während der Nutzung interagiert wird und/oder für welche Mahlzeiten vor- und nachbereitet werden. Die Interaktion mit anderen Personen während der Küchennutzung kann je nach Situation entweder als Hilfe oder als Störung empfunden werden. Der affektive Zustand während der Nutzung der Küche kann wegen der Häufigkeit der Nutzung und der Vielfältigkeit möglicher Situationen unterschiedlich sein. Gewünscht ist eine stressfreie routinemäßige Nutzung, die durch intuitive Bedienungsschnittstellen erreicht werden kann. Die kognitive und physische Belastung soll hierbei minimal sein. Die Nutzung findet in der Regel im Stehen statt; für die Berücksichtigung ergonomischer Aspekte sind die anthropometrischen Daten des Nutzers maßgeblich. Darüber hinaus spielen die nutzungsbezogenen Erfahrungen, Kenntnisse und Fähigkeiten des Nutzers eine wichtige Rolle bei der Küchennutzung.

Als explizite Randbedingungen für die Produktentwicklung wurden eine begrenzte Entwicklungszeit von etwa sechs Monaten und die Annahme eines Wissensstandes der Kunden hinsichtlich der Nutzung und Bedienung von Küchenelementen, die dem Stand der Technik entspricht, formuliert. Eine Preisspanne war wegen der unmöglichen Produktkostenabschätzung bei dieser nicht-kommerziellen Studie nicht ermittelbar. Der

Aspekt der Wirtschaftlichkeit wurde allerdings durch die Anwendung des Mass Customization Prinzips (siehe Kapitel 2.2.5) implizit einbezogen.

Das konfigurierbare Produkt Küche stellt ein kundenindividuelles System aus einzelnen Komponenten dar, die zu allgemein bekannten Klassen (beispielsweise Schrank, Herd usw.) gehören. Deshalb wurden zunächst mögliche Komponentenklassen und anschließend relevante Produktmerkmale jeder einzelnen Klasse identifiziert. Auf dieser Weise entstand ein Variantenbaum, der in späteren Phasen nur noch um konkrete Ausprägungen der Merkmale ergänzt werden sollte. Für die Darstellung aller Produktmerkmale wurden wenn möglich realistische Ausgabeformen gewählt. Bei impliziten Produktmerkmalen wurden intuitive synästhetische Ausgabeformen angewendet, wie beispielsweise die Darstellung der Innentemperatur des Kühlschranks anhand Farben und Piktogramme (**Abbildung 16**).



Abbildung 16: Synästhetische Darstellung der Innentemperatur des Kühlschranks von der NICE-Studie anhand Piktogramme und Farben

Die Produktfunktionen wurden laut der Überlegungen der Systemtheorie formal als Operationen beschrieben, die Abhängigkeiten zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen definieren. Ihre realitätstreue Darstellung benötigt neben den entsprechenden Ausgabeformen auch eine Wiedergabe deren zeitlichen Charakters. Beispielsweise wurde zur Simulation des Kochvorganges eine Bézier-Funktion der Kochplattenfarbe als RGB-Wert in Abhängigkeit von der Umschaltung ihrer Stufen implementiert; dazu kamen noch die Abbildung der Rauchentwicklung mittels Partikel-Systeme sowie die automatische Ein- und Ausschaltung der Dunstabzugshaube mit entsprechenden Geräuschen je nach aktuellem Zustand des Herdes (**Abbildung 17**).

Die Vielfalt der einzelnen Lösungen wurde zur Vermeidung einer zu großen Kreativitätseinschränkung zunächst intuitiv mittels Brainstorming und Brainwriting Methoden generiert. Erst im nächsten Schritt folgte zwecks Beherrschbarkeit des Variantenmanagements eine diskursive Systematisierung der Lösungen nach dem entwickelten Variantenbaum, der somit mit Inhalt („Blättern“) ergänzt wurde. Unrealisierbare Lösungen wurden verworfen. Die Anzahl der verfolgten realisierbaren

Varianten wurde angesichts der verfügbaren Ressourcen verringert. **Tabelle 10** zeigt zur Veranschaulichung des Prinzips einen vereinfachten Ausschnitt aus dem Variantenbaum. Die Identifizierungsteile der Bezeichnungen wurden hierbei weggelassen.

Tabelle 10: Vereinfachter Ausschnitt aus dem Variantenbaum für die NICE-Studie

Küchenelemente	Teilkomponenten	Texturen
Schränk_unten_Drei_Schubladen	Schublade_oben	Schränktuer_gruen
	Schublade_mittel	Schränktuer_Sand
	Schublade_unten	Schränktuer_weiss
		Schränktuer_rot
		Schränktuer_Holz_dunkel
		Schränktuer_Holz_hell
	Griff	Griff_grau
		Griff_blau
		Griff_gruen
Gehaeuse	vordefiniert	
Leiste		
Boden		

Die CAD-Modelle wurden größtenteils im Programm 3ds Max von Autodesk, Inc. generiert. Dieses Programm stellt ein 3D-Modellierungssoftware für Computergrafik und Animationen dar. Nur einige wenige Modelle (wie z.B. die Mikrowelle) wurden als fertige Objekte aus frei verfügbaren online 3D-Bibliotheken heruntergeladen. In dieser Studie wurde wegen dem zu hohen Aufwand bei der großen Anzahl an Testpersonen auf individuelle Kontextmodellierung verzichtet – stattdessen wurde mittels 3ds Max ein typischer repräsentativer Kontext (bestehend aus Raum mit Abmessungen der Drei-Wände-Projektion im LESC, Fenster, Esstisch und Stühle) modelliert. Wegen dem kleineren Umfang des Projektes wurde eine manuelle Verwaltung von Varianten eingesetzt, bei der die eindeutigen Bezeichnungen aus einem Klassifizierungs- und einem Identifikationsteil bestehen. Die Daten wurden auf einem zentralen Server abgelegt und es wurden regelmäßig Back-Ups generiert.

Zur Vermeidung von Fehlern und Inkonsistenzen mussten komplizierte Zugriffsregelungen im Team vereinbart werden, die teilweise die Arbeit erschwerten.

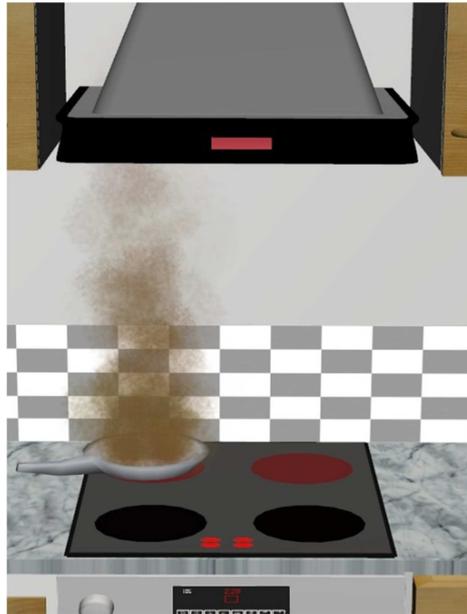


Abbildung 17: Realitätsnahe Darstellung von Funktionen in der Küche bei der NICE-Studie

Die virtuelle Szene wurde im Programm 3DVIA Virtools von Dassault Systèmes S.A. erstellt. Diese Entwicklungsumgebung ermöglicht die Generierung virtueller Welten anhand der Technik des visuellen Programmierens. Dabei werden Skripte durch Verbindung von vordefinierten Blöckchen in einer graphischen Benutzeroberfläche nach dem Drag & Drop-Prinzip erstellt. Für die virtuelle Szene wurden neben den fest positionierten Elementen ein flexibles Raster, auf dem die konfigurierbaren Küchenelemente positioniert werden, Kameras mit unterschiedlichen Sichten sowie entsprechende Lichtverhältnisse definiert. Die Darstellung der virtuellen Szene mit 3DVIA Virtools ist auch in Desktop-Umgebungen für Web VR Anwendungen möglich (Bac09b, vgl. S. 134-144).

Der Variantenbaum wurde in den Softwarecode von 3DVIA Virtools regelbasiert und kontextsensitiv referenziert. Auf dieser Weise konnten auf jedem Platzhalter des Rasters aufgrund unterschiedlicher Einschränkungen nur bestimmte Elemente platziert werden, wie auch in der realen Küche. Es wurden folgende Konfigurationsfunktionen implementiert: Einfügen neuer Küchenelemente, Ersetzen des Küchenelements auf einem bestimmten Platzhalter, Verschieben von Küchenelementen auf freie Platzhalter, Tauschen von zwei Küchenelementen, Löschen von Küchenelementen und Löschen von Platzhaltern. Darüber hinaus wurde ermöglicht, aus zwei einfachen Platzhaltern einen Doppel-Platzhalter zu bilden und umgekehrt. Beim Starten der Anwendung im 3DVIA Player erscheint eine Anfangskonfiguration, zu deren Einstellungen als Überraschungseffekte auch das Einschalten des Cassetten-Recorders mit einer Liederwiedergabeliste, des Toasters und des Wasserhahns gehören.

Zum Vergleich der Benutzerfreundlichkeit wurden drei Konfigurationsparadigmen gewählt:

- Textuelles Drop-Down 2D-Menü mit Preview-Funktionalität
- Rein bildliches 2D-Menü
- Schwebendes 3D-Menü („floating menu“, siehe Kapitel 3.6.3)

Diese drei Konfigurationsparadigmen wurden, an die entsprechenden Eingabegeräte in der Versuchsumgebung (siehe Kapitel 5.1.4) angepasst, implementiert.

5.1.3. Testgruppe

In der NICE-Studie wurden zur Bildung einer relevanten Testgruppe zunächst viele Menschen über deren allgemeinen Erfahrung mit Küchennutzung und Küchenkauf befragt, denn es existierten keine Vorgängerprodukte und kein konkreter Kundenkreis als Grundlage. Es wurde festgestellt, dass die Küche als Produkt für die unterschiedlichsten Menschen interessant ist und dass alle diesen Menschen früher oder später mit der Aufgabe konfrontiert werden, eine neue Küche zu kaufen. Aus diesem Grund wurde die Entscheidung getroffen, eine große heterogene Testgruppe zu bilden. Da die Anwendung moderner Technologien der Virtuellen Realität bei der Beurteilung virtueller Produktkonfigurationen als Schwerpunkt dieser Studie aus unserer Sicht ein langfristig zukunftsweisendes Thema darstellt, wurden überproportional viele junge und technologieinteressierte Menschen für die Testgruppe vorgesehen.

Potentielle Versuchspersonen wurden auf folgenden Wegen angesprochen:

- Verschicken eines Informations-E-Mails an mehrere E-Mail-Verteiler für unterschiedliche Zielgruppensegmente
- Gezielte persönliche Ansprache
- Verteilung von Flyern vor Möbelhäusern und im Campus Süd Gelände des KIT
- Publizieren der Information über die Studie auf den Webseiten des Instituts IMI (www.imi.kit.edu) und des Centers LESC (www.lesc.kit.edu)

Die Anmeldung erfolgte durch das Ausfüllen eines Online-Formulars und die Auswahl eines Termins über eine elektronische Umfrage, die mit dem Internet-Dienst Doodle® erstellt war. Zur Segmentierung des potentiellen Kundenkreises zwecks Vorauswahl wurden im Formular die demographischen Kriterien Geschlecht, Alter und Nationalität sowie der Beruf bzw. die Ausbildung erfasst. Die aktuelle Zusammensetzung der Testgruppe wurde anhand der Formulare kontinuierlich überprüft und die restlichen Termine wurden gegebenenfalls nur Personen mit bestimmten Profilen angeboten. Am Ende der Vorauswahl standen 105 Testpersonen und 10 Reservepersonen fest. Zu diesem Zeitpunkt wurden alle Formulare aus Datenschutzgründen gelöscht; nur die Namen und die E-Mail-Adressen der Test- und Reservepersonen wurden zur Kontakterhaltung bis zum Versuchstag gespeichert.

Da die ausgewählten Testpersonen durch ihre Anmeldung und die selbständige Terminauswahl ihre Bereitschaft für die Teilnahme an dem Versuch zu einem festgelegten

Tabelle 11: Zusammensetzung der Testgruppe der NICE-Studie nach einzelnen Segmentierungskriterien bei Anwendung generalisierter Klassen

Kriterium	Segmente
Geschlecht	Männlich: 68 (66,7%) Weiblich: 34 (33,3%)
Alter	Unter 30 Jahre: 71 (69,6%) Ab 30 Jahre: 31 (30,4%)
Beruf/Studium	Ingenieurbereich: 44 (43,1%) Wirtschaftsbereich: 24 (23,5%) Informatikbereich: 15 (14,7%) Naturwissenschaften: 7 (6,9%) Geisteswissenschaften: 4 (3,9%) Andere: 8 (7,9%)
Nationalität	Deutsch: 47 (46,1%) Bulgarisch: 47 (46,1%) Andere: 8 (7,8%)
Erfahrung mit VR-Technologien	Sehr große oder große: 30 (29,4%) Mittlere: 33 (32,4%) Kleine oder keine: 39 (38,2%)
Erfahrung mit 3D-Software	Sehr große oder große: 20 (19,6%) Mittlere: 27 (26,5%) Kleine oder keine: 55 (53,9%)
Erfahrung mit Kauf von Küchen und Kücheneinrichtung	Sehr große oder große: 29 (28,4%) Mittlere: 22 (21,6%) Kleine oder keine: 51 (50,0%)

Termin geäußert haben, war keine zusätzliche aktive Zusage ihrerseits notwendig. Es wurden drei Tage vor dem Versuchstag Erinnerungs-E-Mails verschickt, in denen um eine Rückmeldung bei eventueller Absage gebeten wurde. Im Versuch wurden 102 von den geplanten 105 Plätzen belegt, was einer sehr guten Quote von 97,1% entspricht.

Die anonymisierte Profilierung der Testpersonen fand zum Beginn des Versuches statt. Neben den Parametern Geschlecht, Alter, Nationalität und Beruf/Studienrichtung wurde auch die Selbsteinschätzung der Testpersonen hinsichtlich deren Erfahrung mit Kauf von Küchen und Kücheneinrichtungen, mit 3D-Software und mit Technologien der Virtuellen Realität abgefragt. Wegen der Zielsetzung der Studie (siehe Kapitel 5.1.1) wurden keine Persönlichkeitsmerkmale zur Profilierung der Testgruppe herangezogen.

Der **Tabelle 11** kann die generalisierte Zusammensetzung der Testgruppe aus 102 Personen entnommen werden. Für die Generalisierung wurden einheitliche Klassifizierungsregeln definiert.

5.1.4. Versuchsumgebungen und Versuchsdesign

Beim Versuchsdesign ist aufzupassen, dass alle möglichen Einflussgrößen verändert werden; denn die Bedeutung einer potentiellen Einflussgröße, die im Versuch nicht verändert wird, kann auch nicht erkannt werden. Als Orientierungswert aus der Praxis wurde die typische handhabbare Anzahl von drei bis sechs Faktoren genommen. (Kle09, vgl. S. 20-23, 40)

Nach mehreren Brainstorming- und Diskussionsrunden wurde die Untersuchung folgender testpersonenunabhängigen variablen Einflussgrößen festgelegt:

- Visualisierungstechnologie (mögliche Ausprägungen: 21-Zoll-2D-Bildschirm; Powerwall vom LESC; Drei-Wände-Projektion vom LESC in CAVE-Modus)
- Eingabegeräte (mögliche Ausprägungen: Tastatur und Maus; Flystick2 von A.R.T. GmbH; Datenhandschuh)
- Menüart für die Konfiguration (mögliche Ausprägungen: textuelles Drop-Down 2D-Menü mit Preview-Funktionalität, rein bildliches 2D-Menü, 3D „floating“ Menü)
- Reihenfolge der Stationen

Wegen der fest vereinbarten einheitlichen Vorgehensweise wurde der Einfluss der Versuchsbetreuer auf die Ergebnisse als vernachlässigbar angenommen.

Die Anzahl der theoretisch möglichen Kombinationen aus unterschiedlichen Visualisierungstechnologien, Eingabegeräten und Menüarten an einer Station ist 27 und somit zu groß, um die Realisierbarkeit eines vollfaktoriellen Versuches zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde ein teilfaktorieller Versuch mit nur drei Stationen (PC, MR und VR) realisiert, deren Übersicht der **Tabelle 12** zu entnehmen ist und die anschließend ausführlich beschrieben werden. Das Team legte drei mögliche Reihenfolgen des Versuches fest: Variante A (PC → MR → VR), Variante B (MR → VR → PC) und Variante C (VR → PC → MR).

Bei der **PC-Station** setzten sich die Testpersonen vor einem gängigen 21“ 2D-Bildschirm und interagierten mit der Anwendung über Maus und Tastatur als verbreitete Eingabegeräte; die Konfiguration erfolgte über ein textuelles Drop-Down Menü mit Preview-Funktionalität in der unteren Leiste von 3DVIA Player, während für die akustische Ausgabe einfache Lautsprecher sorgten (**Abbildung 18**). Diese Station stellte den von der breiten Nutzerschicht aktuell angewendeten Stand der Technik dar und diente somit als Bezugsstation für die anderen zwei Stationen. Laut einer Studie können die Navigationsaufgaben mit den herkömmlichen Schnittstellen Maus und Tastatur aufgrund der Gewöhnung des Nutzers sehr schnell – mit insgesamt drei Interaktionen in weniger als drei Sekunden – ausgeführt werden (Rin09, vgl. S. 15). In der NICE-Studie sollte diese Tatsache verifiziert und mit den Leistungen des Nutzers bei den anderen zwei Interaktionsarten verglichen werden.

Tabelle 12: Übersicht der drei Versuchsstationen bei der NICE-Studie

Station	Visualisierung	Eingabegeräte	Menü
PC	21“ 2D-Bildschirm	Tastatur und Maus	Textuelles Drop-Down 2D-Menü mit Preview-Funktionalität
MR	Powerwall mit Abmessungen 2,0m x 1,6m	Flystick2 und Head-tracking von A.R.T. GmbH	Rein bildliches 2D-Menü
VR	Drei-Wände-Projektion mit Abmessungen ca. 5,0m x 2,6m x 2,0m im CAVE-Modus	Datenhandschuh, Head-tracking von A.R.T. GmbH	3D „floating menu“



Abbildung 18: Die PC-Station bei der NICE-Studie

Die Versuchsperson konnte sich bei der **MR-Station** in einem begrenzten Bereich vor der passiven stereoskopischen Powerwall-Projektion (2,0m x 1,6m) im Mixed Reality Labor von LESC frei bewegen; die Interaktion mit der virtuellen Szene erfolgte über Flystick2 sowie Headtracking von A.R.T. GmbH, zur Konfiguration war ein rein bildliches 2D-Menü implementiert und für die akustische Ausgabe sorgten einfache Lautsprecher mit Verstärker (**Abbildung 19**). Auf dieser Weise konnte unter anderem untersucht werden, wie gut die unterschiedlichen Testpersonen die Konfigurationsaufgaben mit einem typischen Vertreter der auf bekannte Lösungen aus der Spielzeugindustrie beruhenden Interaktionsgeräte bewältigen können. Die Auswahl beim Flystick2 erfolgt mittels der Ray-Casting-Technik (siehe Kapitel 3.6.3) und die Menüfunktionen wurden zu den einzelnen Tasten des Gerätes zugewiesen.



Abbildung 19: Die MR-Station bei der NICE-Studie

Die **VR-Station** bot eine maßstabsgetreue Darstellung der konfigurierten Küche in ihren realen Abmessungen (Ovt11, vgl. S. 21-22) an. Dazu wurde die Drei-Wände-Projektion (ca. 5,0m x 2,6m x 2,0m) im Virtual Reality Labor von LESC im CAVE-Modus eingesetzt; die Interaktion mit der virtuellen Szene erfolgte über einen (von Dipl.-Inform. Wolfgang Schotte aus IMI entwickelten) Datenhandschuh sowie über das eingebaute Headtracking von A.R.T. GmbH anhand drei optoelektronischer Kameras, zur Konfiguration war ein 3D „floating menu“ implementiert und für die akustische Ausgabe sorgte die eingebaute Surround-Anlage (**Abbildung 20**). Durch Bewegungen der Hand, an der der Datenhandschuh befestigt war, konnte die Testperson durch das schwebende 3D-Menü „blättern“. Die Funktion des „Blätterns“ durch ein Menü war einigen Nutzern von Smartphones bereits bekannt, die allerdings zum Zeitpunkt des Versuches noch nicht besonders verbreitet waren. Einzelne Menüfunktionen konnten durch Berührung bestimmter Handschuhflächen mit der oberen Daumeninnenseite des Datenhandschuhs ausgeführt werden.

Der Versuch lief an fünf Tagen mit je sieben einstündigen Versuchsterminen pro Tag. Zu jedem dieser Termine waren je drei Versuchspersonen eingeladen, die in unterschiedlichen

Reihenfolgen (Variante A, B und C) alle drei Stationen durchliefen. Für jede Variante wurde ein fünfseitiger Feedbackbogen entwickelt, der größtenteils aus geschlossenen Fragen auf einer fünfstufigen absteigenden Likert-Skala bestand. Damit die Antworten mittels der Kano-Methode (siehe Kapitel 2.4.4.2) und im Kano-Diagramm (siehe Kapitel 2.4.4.1) ausgewertet werden konnten, wurden für jedes untersuchte Merkmal zwei bipolare Fragen über die subjektive Zufriedenheit des Nutzers sowie eine Frage über die wahrgenommene Qualität der Merkmalerfüllung gestellt. Bei diesem Einsatz der Kano-Methode und des Kano-Modells war das untersuchte Produkt die Technologie für Visualisierung, Interaktion und Konfiguration und nicht die konfigurierte Küche. Dem **Anhang A** kann der Feedbackbogen für die Variante A entnommen werden; die Feedbackbögen für die Varianten B und C unterscheiden sich von diesem Fragebogen nur in der Reihenfolge der Teile 2, 3 und 4. Zwischen zwei Versuchsterminen wurden mindestens 15-minütige Pausen als Puffer gelegt.



Abbildung 20: Die VR-Station bei der NICE-Studie

Jeder Versuchstermin wies folgenden **Versuchsablauf (Abbildung 21)** auf:

- Die Empfangsperson erklärte zunächst kurz die Ziele des Versuches. Danach zogen die Versuchspersonen je einen Zettel, auf der ihre eindeutige Versuchsperson-ID (zwischen 001 und 105) stand. Je nach selbst gewähltem Sitzplatz wurde jeder Versuchsperson eine der drei Varianten A, B oder C zugewiesen. Anschließend erhielten die Testpersonen den Feedbackbogen (FB) für die entsprechende Variante und füllten Teil 1 aus, in dem die im Kapitel 5.1.3 beschriebenen Segmentierungskriterien abgefragt wurden. Die Empfangsperson begleitete danach jede Versuchsperson zu der entsprechenden Station laut **Abbildung 22**.
- Bei jeder Station erklärte der Betreuer am Anfang kurz mit einheitlichen Sätzen die Umgebung, die Bedienung der Eingabegeräte und die Implementierung der Konfigurationsfunktionen. Anschließend hatte die Versuchsperson ca. 12 Minuten Zeit, um ausgehend aus einer einheitlichen Anfangskonfiguration die jeweilige Version des Küchenkonfigurators zu testen. Dabei war im Sinne der Ziele der NICE-Studie (siehe Kapitel 5.1.1) die Vorgabe, dass keine Endkonfiguration geliefert werden muss – somit entstand auch kein unnötiger Zeitdruck. Während der

Interaktion wurde ein vollständiges Data Log für die Ein- und Ausgabegeräte mit einer Genauigkeit von 1s erstellt, das die gewünschte nachträgliche Auswertung der Interaktionschronologie ermöglichte. Anschließend fühlte die Versuchsperson den entsprechenden Teil des Feedbackbogens und der Betreuer den Feedbackbogen zur Bewertung des Versuchsteilnehmers (dem **Anhang B** zu entnehmen). Alle besonderen Vorkommnisse während des Versuches (z.B. technische Probleme, auffälliges Verhalten der Versuchsperson usw.) wurden seitens des Betreuers in diesem Bogen schriftlich festgehalten. Er musste sich während der gesamten Betreuung auf fest vereinbarte Verhaltensregeln halten.

- Nachdem die Versuchsperson alle drei Stationen durchlaufen hat, fühlte sie noch Teil 5 des Feedbackbogens aus, in dem sie Fragen über das Empfinden akustischer, realistischer (dargestellte Funktionen) und Überraschungseffekte zu beantworten hatte. Darüber hinaus wurde im Teil 5 der Gesamtversuch bewertet sowie Platz für Lob und Kritik gelassen. Abschließend wurde gegen Abgabe des Feedbackbogens der Unkostenbeitrag für die Versuchsteilnahme in Höhe von 20,00 € ausbezahlt.

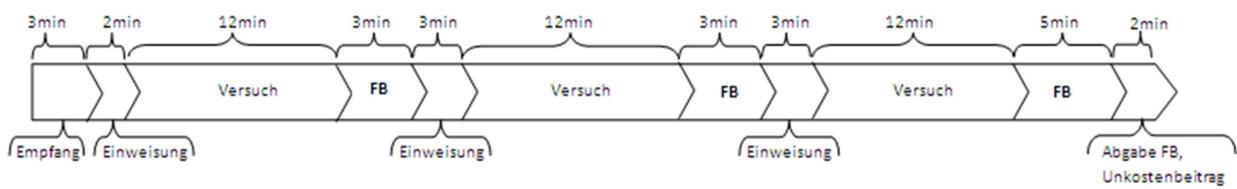


Abbildung 21: Verlauf eines einstündigen Versuchstermins bei der NICE-Studie

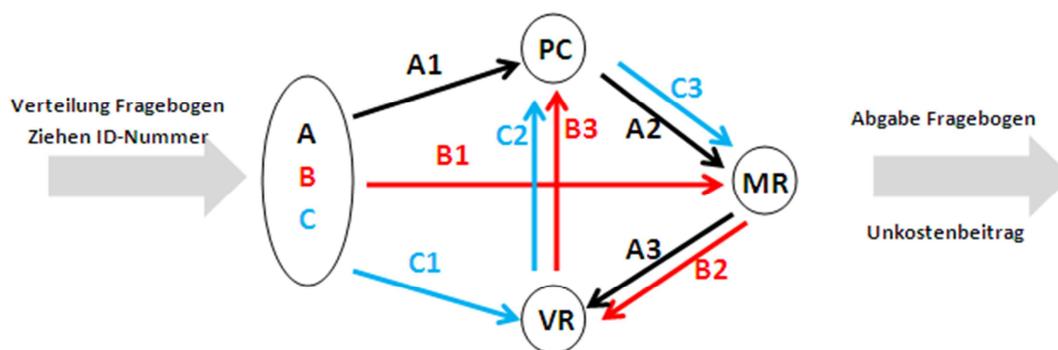


Abbildung 22: Reihenfolge der Stationen bei der NICE-Studie

Zuvor wurden im Rahmen der Versuchskonzipierung mehrere Probeversuche mit freiwilligen Testpersonen durchgeführt, die unterschiedliche praktische Erfahrungen mit den benutzten Technologien hatten. Aufgrund ihres Feedbacks wurden Änderungen in der Anwendung, in der Bedienung der Eingabegeräte, in den Feedbackbögen sowie im Versuchsablauf vorgenommen. Zur Vermeidung einer Überförderung der Testperson durch zu viele

getestete Effekte wurde in den späteren Versuchen auf synästhetische Darstellungen verzichtet.

5.1.5. Ergebnisse

Im Rahmen der NICE-Studie erfolgte eine vollständige Validierung der Schritte 1 (siehe Kapitel 5.1.2) und 2 (siehe Kapitel 5.1.3) der im Kapitel 4 entwickelten Methodik.

Bei den geschlossenen Fragen in den Feedbackbögen für die Versuchspersonen und die Versuchsbetreuer wird die fünfstufige Likert-Skala als äquidistante Intervallskala angenommen, was den Empfindungen der Testpersonen während Vorversuche entspricht. Somit lassen sich neben qualitativen auch quantitative Aussagen (z.B. Gültigkeit der Korrelationsrechnung nach Spearman) formulieren. Hier werden zu allen untersuchten Fragen zuerst qualitative und anschließend, wenn möglich, quantitative Ergebnisse vorgestellt.

Die gewonnenen umfangreichen Daten aus der Befragung der Versuchspersonen und der Versuchsbetreuer wurden mittels folgender Methoden komplementär ausgewertet:

- Einfache (Lageparameter wie arithmetisches Mittel, Quantilen und Modus; Streuungsparameter wie Standardabweichung; Histogramme) und komplexere (Korrelationsrechnungen) **statistische Methoden**
- **Kano-Methode und Kano-Modell** (siehe Kapitel 2.4.4) für die bipolaren Fragen bezüglich Interaktion, Konfiguration, Akustik, Überraschungseffekte sowie Funktionen und die zugehörigen Fragen über die wahrgenommene Qualität im Feedbackbogen für die Versuchsteilnehmer, laut Erklärung im Kapitel 5.1.4
- **Visual Data Mining** – intuitive interaktive Suche nach Abhängigkeiten innerhalb von Datensätzen anhand mehrdimensionaler Darstellungen (drei räumliche Dimensionen, Reiter, sowie Farbe, Größe und Bezeichnung von Datenpunkten) unterschiedlicher Parameterkombinationen aus diesen Sätzen, welche auf die angeborene menschliche Fähigkeit der Mustererkennung beruht (Bac10, vgl. S. 362-363), mit der Software MineSet
- **Qualitative Analyse der Antworten auf die geschlossenen Fragen**

Dem **Anhang C** lassen sich die Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman für die wichtigsten untersuchten Korrelationen (die Abkürzungen weisen auf den entsprechenden Teil des Fragebogens und auf die Nummer der Aussage nach **Anhang A**) entnehmen, während im **Anhang D** die Ergebnisse der Kano-Methode für alle Paare von bipolaren Fragen zu finden sind. **Anhang E** stellt die tabellarische Grundlage für die Visualisierung im Kano-Modell dar, beruhend auf die entsprechende positiv formulierte Zufriedenheitsfrage und die entsprechende Frage über die wahrgenommene Qualität.

Die umfangreiche Auswertung der Feedbackbögen führte zu folgenden Hauptergebnissen:

- Die stereoskopische Visualisierung auf einer Drei-Wände-Projektion im CAVE-Modus bringt deutliche Vorteile für die Unterstützung der Realitätsvorstellung der Versuchsperson gegenüber der stereoskopischen Visualisierung auf einem Powerwall und der Darstellung auf einem herkömmlichen 2D-Bildschirm; letztere beide werden ähnlich empfunden. Während die Qualität der Visualisierung in der immersiven Umgebung auf der absteigenden fünfstufigen Likert-Skala den Modus 1 und den Mittelwert 1,75 aufwies, betrug der Modus für den Powerwall und den Bildschirm 2 (Mittelwert 1,98 für Powerwall und 2,00 für Bildschirm). Die Standardabweichungen bei allen drei Varianten waren ähnlich. Somit wurde **These 5** aus Kapitel 4.4.4.1 bewiesen. Der **Abbildung 23** kann eine Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilungen der Antworten zur Qualität der Visualisierungsart hinsichtlich der Unterstützung der Realitätsvorstellung in der immersiven (links) und in der Powerwall-Umgebung (rechts) entnommen werden.

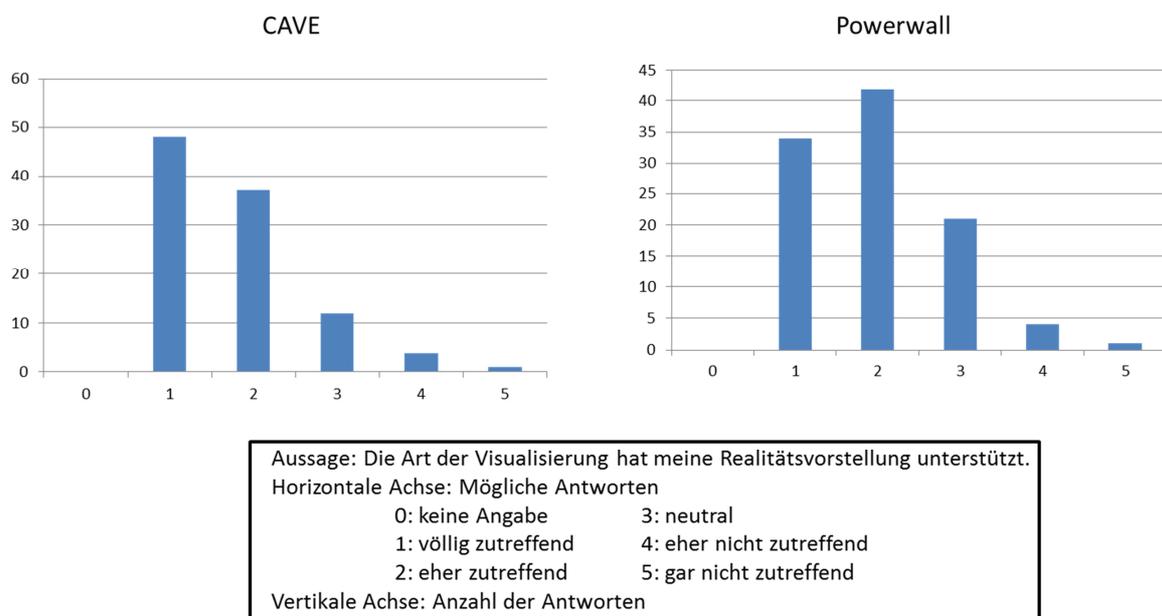


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilungen der wahrgenommenen Qualität der Visualisierungsart bei der Drei-Wände-Projektion im CAVE-Modus (links) und beim Powerwall (rechts) in der NICE-Studie

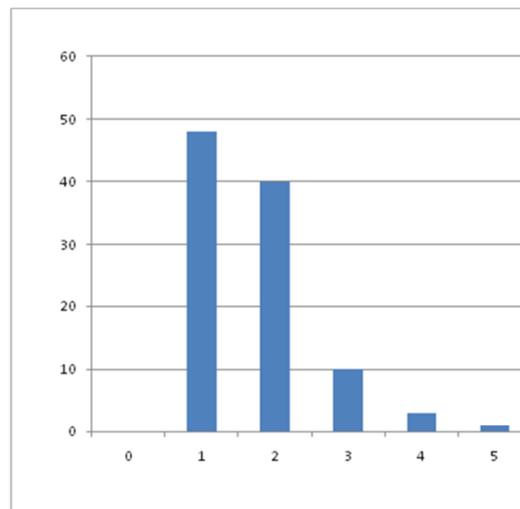
- In der CAVE-Umgebung wurden seitens der Versuchspersonen insbesondere die maßstabsgetreue 1:1-Darstellung und die freie Beweglichkeit als fördernd für die Realitätsvorstellung herausgehoben. Dagegen wurden einige Aktionen in dieser Umgebung sowie bei der MR-Station als zu langsam oder verzögert empfunden, was auf die rechenintensive Prozesse zurückzuführen ist. Es wurden Trackingprobleme bei Versuchspersonen mit großen Haaren identifiziert, die zeitweise die Sensorkugeln für die Kameras verdeckt haben.
- Die Gewöhnung an die anwendungsspezifische Bedienung der herkömmlichen Eingabegeräte Maus und Tastatur als subjektives Qualitätsmerkmal der Interaktion

wurde als deutlich leichter abgeschätzt im Vergleich zu den anderen beiden Interaktionsgeräten. Der im Kapitel 5.1.4 postulierte positive Gewohnheitseffekt hat sich auch durch die deutlich schnellere Navigation abgezeichnet, die aus der Analyse der Log Dateien hervorgeht. Der Datenhandschuh wurde statistisch gesehen nur leicht besser empfunden als das Flystick; letzteres stellt ein Vertreter der herkömmlichen Interaktionsgeräte in immersiven Umgebungen dar. Auf der absteigenden fünfstufigen Likert-Skala hat der Datenhandschuh beim gleichen Modus 2, vor allem wegen mehrerer Benotungen mit „1“, einen besseren Mittelwert (2,41) als das Flystick (2,51) erreicht. Maus und Tastatur lagen im Vergleich mit einem Mittelwert von 1,66, einem Modus 1 und nur fünf unzufriedenen Nutzern (4,9%) deutlich vorne.

- Die eher unpassenden Interaktionsgeräte für Projektion VR heben den Vorteil der immersiven Darstellung vollständig auf und stellen somit den Hauptgrund für die vergleichsweise schlechte Akzeptanz immersiver Umgebungen dar. Bei der holistischen Zufriedenheitsbeurteilung schnitt die PC-Umgebung bei der positiv formulierten Frage mit einem Mittelwert von 1,71 und Modus 1 besser als die VR-Umgebung (Mittelwert 1,87 und Modus 1). Die MR-Umgebung schnitt mit einem Mittelwert von 2,13 und Modus 2 klar am schlechtesten ab. Die Auswertung mit der Kano-Methode (**Anhang D**) zeigte, dass die PC-Umgebung den Charakter einer Leistungsanforderung aufweist – dies bedeutet, dass eine höhere Qualität des Bildschirms und der Eingabegeräte die Zufriedenheit mit der Umgebung erhöhen würde. Die Auswertung der Interaktionsgeräte im Kano-Modell (**Anhang E**) lieferte das Erkenntnis, dass sowohl das Flystick als auch der Datenhandschuh die attraktive Komponente der jeweiligen Station darstellten; somit können benutzerfreundliche Weiterentwicklungen dieser Interaktionsgeräte die Akzeptanz immersiver Umgebungen enorm erhöhen. **These 4** aus Kapitel 4.4.4.1 scheidet daher maßgeblich an der Qualität der in der NICE-Studie implementierten Interaktionslösung mit einem Datenhandschuh.
- Das Öffnen und Schließen von Schränken hat sich bei allen Stationen als vergleichsweise schwierig herausgestellt. Viele Versuchspersonen hatten zudem besonders beim Datenhandschuh Probleme, die Bewegungen und Aktionen vollständig zu kontrollieren. Wegen der Variation der anthropometrischen Daten ist zwecks leichterer Bedienung eine Baureihe von mehreren Datenhandschuhen für die Zukunft zu empfehlen.
- Drop-Down Menüs mit Preview-Funktionalitäten stellen das passende Konfigurationsparadigma für immersive Umgebungen dar. Mit einem Mittelwert von 1,75 und Modus 1 erwies sich diese Lösung deutlich zufriedenheitsstiftender als das reine Bildmenü (Mittelwert von 1,98, Standardabweichung von 0,91 und Modus 2) und das schwebende 3D-Menü (Mittelwert von 2,06, Standardabweichung von 1,13 und Modus 1). Das schwebende 3D-Menü ist laut dieser Ergebnisse deutlich

polarisierender – den 14 von dieser Lösung unzufriedenen (Antwort „4“ oder „5“) und 40 sehr zufriedenen Nutzern (Antwort „1“) standen 7 unzufriedene und 34 sehr zufriedene Nutzer vom reinen Bildmenü gegenüber. Die Qualität aller implementierten Menüs kann deutlich verbessert werden (Modus 2; Mittelwerte von 2,26 für das Drop-Down Menü, 2,53 für das reine Bildmenü und 2,71 für das „floating menu“). Die Kano-Methode (**Anhang D**) und das Kano-Modell (**Anhang E**) zeigten, dass besonders das schwebende 3D-Menü als attraktiv empfunden wird. Laut Ergebnisse der Kano-Methode (**Anhang D**) stellt das reine Bildmenü für vergleichsweise vielen Nutzer eine Basisanforderung dar und kann daher als Stand der Technik angenommen werden.

- Alle Menüs haben teilweise nicht die Erwartungen an intuitive Bedienung erfüllt. Zur Gewährleistung der Echtzeitfähigkeit war der Verzicht auf einige Wunschaktionen (wie z.B. mehrfache Selektion) notwendig. Die Versuchspersonen haben sich eine bessere visuelle Anzeige der Auswählbarkeit von Objekten, eine akustische Bestätigung der Auswahl und eine auf dem Gerät aufgebrachte visuelle Erinnerung an die Funktionen von Tasten und Triggers gewünscht. Für die VR-Station wurde eine objektbezogene oder blickpunktabhängige Positionierung des Menüs statt des für den Versuch gewählten raumfesten (fixierten) Menüs vorgeschlagen.



Aussage: Die Präsenz von akustischen Effekten hat mich positiv gestimmt.
 Horizontale Achse: Mögliche Antworten
 0: keine Angabe 3: neutral
 1: völlig zutreffend 4: eher nicht zutreffend
 2: eher zutreffend 5: gar nicht zutreffend
 Vertikale Achse: Anzahl der Antworten

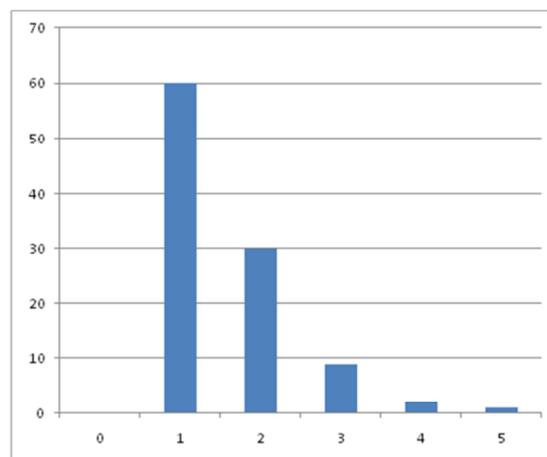
Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Zufriedenheit von der Präsenz akustischer Effekte in der NICE-Studie

- Bezüglich der optimalen Anzahl und Zusammensetzung der für die Konfiguration verfügbaren Elemente gingen die Meinungen innerhalb der Testgruppe weit

auseinander. Es bestand auch keine Einigkeit darüber, ob statt einer vordefinierten Anfangskonfiguration ein leeres Raster benutzt werden soll.

- Akustische Signale stellen eine unverzichtbare Ergänzung der visuellen Darstellung zur Erzielung einer realitätsnahen Vorstellung beim Konfigurationsprozess in Virtueller Realität dar. Die Präsenz der akustischen Ausgabe wurde bei der positiv formulierten Zufriedenheitsfrage mit einem Mittelwert von 1,72, Modus 1 und Rate unzufriedener Nutzer (Antwort „4“ oder „5“) von nur 3,9% bewertet (**Abbildung 24**). Die Qualität ihrer technischen Umsetzung kann verbessert werden (Mittelwert von 2,25 und Modus 2). Die Ergebnisse der Kano-Methode (**Anhang D**) bekräftigten diese Aussage – die akustischen Effekte stellen für eine Mehrzahl der Nutzer eine Leistungsanforderung dar. Das Kano-Modell (**Anhang E**) zeigte zusätzlich, dass die restlichen Nutzer diese Effekte eher als Begeisterungsmerkmale der Versuchsumgebung betrachten, so dass ihr Einsatz ein erhebliches Potenzial für Erhöhung der Zufriedenheit von der Umgebung birgt. Zudem würde die Einbeziehung haptischer Ausgabe, insbesondere der Kraftrückkopplung, nach Meinung der Versuchspersonen die Immersion weiter steigern. Alle diese Ergebnisse unterstützen **These 1** aus Kapitel 4.4.2.2.
- Die Darstellung von Produktfunktionen neben der reinen Designvisualisierung wird vom Nutzer während des Konfigurationsprozesses in Virtueller Realität als sehr nützlich empfunden, was **These 2** aus Kapitel 4.4.2.2 beweist. Die Präsenz solcher realistischer Darstellungen wurde bei der positiv formulierten Zufriedenheitsfrage mit einem Mittelwert von 1,57, Modus 1, Rate sehr zufriedener Nutzer (Antwort „1“) von 58,8% und Rate unzufriedener Nutzer (Antwort „4“ oder „5“) von nur 2,9 % bewertet (**Abbildung 25**). Ihre technische Umsetzung lässt sich jedoch bei einem Mittelwert von 1,92 und Modus 2 qualitativ steigern. Diese Aussage wurde durch die Ergebnisse der Kano-Methode (**Anhang D**) bestätigt – die Darstellung von Funktionen wird von einer Mehrzahl der Nutzer als Leistungsanforderung angesehen. Eine große Mehrheit der restlichen Nutzer empfindet diese Effekte laut Kano-Modell (**Anhang E**) als Begeisterungsmerkmale der Versuchsumgebung. Ihr Einsatz weist daher ähnlich wie der Einsatz akustischer Effekte große Zukunftspotenziale auf.
- Überraschungen (vom Nutzer nicht veranlasste, vorprogrammierte Ereignisse) während der Konfiguration in Virtueller Realität sind für viele Nutzer störend und sollen nicht eingesetzt werden. In der NICE-Studie wurden sie von einer großen Mehrheit von 91 Testpersonen (89,2 %) bemerkt und knapp ein Drittel (30,8%) dieser Personen empfand eine dadurch ausgelöste deutliche (Antwort „1“ oder „2“) Lenkung der Aufmerksamkeit (**Abbildung 26**).
- Bei vielen Aspekten konnten klare Abhängigkeiten der Versuchsergebnisse von den Ausprägungen der demographischen Parameter und des Berufs bzw. der Ausbildung der Testpersonen festgestellt werden, was **These 3** anteilig beweist. Beispielsweise empfanden Männer die MR-Station (mit einem Mittelwert von 1,96 im Vergleich zu

2,47 bei den Frauen) sowie die VR-Station (mit einem Mittelwert von 1,79 im Vergleich zu 2,03 bei den Frauen) deutlich vorteilhafter als die weiblichen Versuchspersonen. Die in der Regel technikbewussteren Informatiker und Ingenieure beurteilten die Qualität der Visualisierung bei moderneren Systemen deutlich besser als die Personen mit anderen Berufen oder Ausbildungen – beispielsweise haben Informatiker sowohl den Powerwall (Mittelwert von 1,71 im Vergleich zu 2,00) als auch die CAVE-Darstellung (Mittelwert von 1,57 im Vergleich zu 1,78) unterstützender für die Realitätsvorstellung empfunden als Wirtschaftsingenieure. Die bulgarischen Versuchspersonen (als Vertreter der kollektivistischen Kulturkreise) haben fast alle befragten Aspekte besser beurteilt als die Deutschen (Vertreter der individualistischen Kulturkreise). Der Unterschied war besonders bei der MR-Station gravierend – die allgemeine Zufriedenheit bei den Bulgaren war um ca. 0,8 Punkte besser (Mittelwerte von 1,72 und 2,51 entsprechend), die Gewöhnung an das Flystick (siehe **Abbildung 27**) gestaltete sich viel schneller (Mittelwert von 2,23 bei den Bulgaren im Gegensatz zu 2,83 bei den Deutschen, bei ähnlicher Standardabweichung) und die Umsetzung des reinen Bildmenüs wurde als deutlich besser (Mittelwerte von 2,19 und 2,89 entsprechend) beurteilt. Aus einer der Studie nachgelagerten Diskussion konnte festgestellt werden, dass die Erfahrung der jungen bulgarischen Versuchspersonen mit ähnlichen Interaktionsgeräten bei Videospielein einer der Gründe für ihre Vorliebe für das Flystick im Vergleich zu den Deutschen sein könnte.



Aussage: Die realistischen Effekte haben mir gefallen.
 Horizontale Achse: Mögliche Antworten
 0: keine Angabe 3: neutral
 1: völlig zutreffend 4: eher nicht zutreffend
 2: eher zutreffend 5: gar nicht zutreffend
 Vertikale Achse: Anzahl der Antworten

Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Zufriedenheit von der Präsenz der Simulation realistischer Funktionalitäten in der NICE-Studie

- Die wahrgenommene Qualität des Menüs ist vom Geschlecht abhängig – während die männlichen Versuchspersonen das Drop-Down Menü (Mittelwert von 2,16 im Vergleich zu 2,47) und das reine 2D-Bildmenü (Mittelwert von 2,46 im Vergleich zu 2,68) besser als die Frauen bewerteten, neigten die weiblichen Versuchspersonen dazu, das schwebende 3D-Menü besser zu bewerten (Mittelwert von 2,53 im Vergleich zu 2,79 bei den Männern). Dies unterstützt **These 6** aus Kapitel 4.4.2.4.

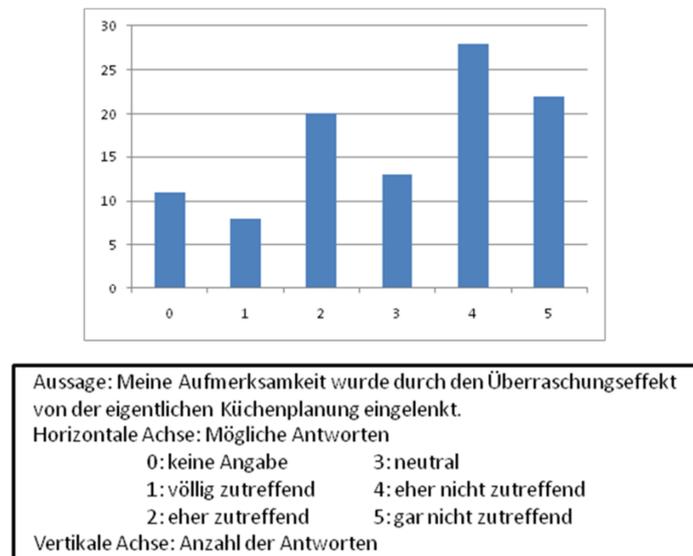


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung des empfundenen Grades der Ablenkung durch Überraschungseffekte in der NICE-Studie

- Die Reihenfolge der Stationen kann die Ergebnisse sehr stark beeinflussen (siehe **Tabelle 13**). Alle Aspekte der PC-Station wurden deutlich besser bei den Varianten B und C beurteilt (bei denen die Versuchspersonen schon mindestens eine Bezugsstation bei der Bewertung hatten) als bei der Variante A, bei der die PC-Station als erste durchlaufen wurde. Alle Aspekte der MR-Station, die bei der Variante A direkt nach der PC-Station kommt, waren bei dieser Variante schlechter als die entsprechenden Aspekte der PC-Station und deutlich schlechter als bei den Varianten B und C bewertet. Dies deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen ihre persönlichen Bewertungsmaßstäbe an ihre Erwartungen und Erfahrungen im Laufe des Versuches anpassen, was schon im Kapitel 3.1.2 als Hauptnachteil der Befragungsmethoden herausgehoben wurde.
- Es bestehen mittlere positive Korrelationen zwischen der allgemeinen Zufriedenheit mit einer Umgebung und mit der darin angewendeten Interaktionsart. Beispielsweise beträgt der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman für die VR-Umgebung und den Datenhandschuh 0,63.

- Die nur mäßige negative Korrelation zwischen der positiv und negativ formulierten Zufriedenheitsfrage eines bipolaren Fragenpaars (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zwischen -0,3 und -0,6 bei allen Fragenpaaren) bei sehr wenigen unlogischen Antwortkombinationen deutet im Einklang mit der theoretischen Grundlage des Kano-Modells darauf hin, dass Zufriedenheit und Unzufriedenheit nicht als Gegensätze, sondern als unterschiedliche Konstrukte empfunden werden.
- Der Einfluss der Erfahrung der Versuchspersonen mit dem untersuchten Produkt und der Versuchsumgebung auf die Versuchsergebnisse der NICE-Studie laut **These 3** besteht, ist aber eher schwach ausgeprägt.
- Der Versuch wurde seitens der Teilnehmer fast einstimmig als zukunftsorientiert und interessant bewertet.

5.2. Anwendungsfall 2: Studie EMO VR

5.2.1. Allgemeine Beschreibung

Die Studie EMO VR (Abkürzung für „Emotional Recognition in Virtual Reality“) wurde vom Herbst 2011 bis Frühling 2012 am Institut IMI in Kooperation mit dem Emotion Lab der Universität Ulm vorbereitet und mit freundlicher Unterstützung der Karlsruher Universitätsgesellschaft e.V. und der Gesellschaft zur wissenschaftlichen Förderung CAD-CAM e.V. durchgeführt.

Im Laufe der Studie wurden alle sechs Schritte der im Kapitel 4.4.1 vorgestellten Methodik anhand einer praxisnahen Aufgabe vollständig durchgeführt. Am Institut IMI des KIT arbeitete das Kern-Team aus einem wissenschaftlichen Mitarbeiter, Autor dieser Arbeit, und vier kurz vor Abschluss stehenden Studierenden durchgängig an der Studie. Die Kompetenzen des Teams deckten die Bereiche Produktentwicklung, Marketing und Virtual Reality ab. Dieses Kern-Team wurde durch zwei wissenschaftliche Mitarbeiter am Emotion Lab der Universität Ulm, Dr. Steffen Walter und David Hrabal, ergänzt, die Kompetenzen hinsichtlich Fragen der Psychologie aufweisen. Besonders im ersten Schritt der Methodik wurde das Kern-Team durch neun weitere Studierende aus dem Virtual Reality Praktikum am KIT im Wintersemester 2011/2012 unterstützt, die aus den Fachrichtungen Maschinenbau, Informatik und Wirtschaftsingenieurwesen kamen. Die Testgruppe bestand aus 21 potenziellen Kunden für das untersuchte Produkt. Das komplexe Versuchsdesign sah Doppeltermine für jede Testperson vor – die ersten Versuche mit allen Testpersonen fanden in der Kalenderwoche 11 und die zweiten Versuche in der Kalenderwoche 12 des Jahres 2012 statt.

Zentrale Frage der EMO VR-Studie war die Feststellung der Zuverlässigkeit und der Aussagekraft der Erfassung von Emotionen potenzieller Kunden hinsichtlich variantenreicher virtueller Produkte während der Konzeptphase ihrer Entwicklung in immersiven Umgebungen. Konkretes operatives Ziel war der Vergleich der gewonnenen Ergebnisse aus psychophysiologischen Messungen peripherer Größen und aus klassischen

Befragungsmethoden. Maßgebliche zu gewährleistende technologische Voraussetzungen für erfolgreiche Anwendung der peripheren physiologischen Messungen waren hierbei die synchronisierte Aufnahme der Interaktionsschritte und der Messsignale sowie die Implementierung einer möglichst routiniert auszuführenden Interaktion, die eine weitgehende Fokussierung der Testperson auf das untersuchte Produkt begünstigt. Darüber hinaus hatte die EMO VR-Studie das Ziel der vollständigen Validierung der im Kapitel 4.4.1 beschriebenen Methodik.

Als Hauptszenario für die EMO VR-Studie wurde die Konfiguration eines Autocockpits anhand mehrerer Varianten für sechs veränderbare Komponenten des Innenraums (drei hinsichtlich Form und Textur, drei nur hinsichtlich Textur) gewählt. Die Gründe für diese Auswahl lagen wie bei der NICE-Studie (siehe Kapitel 5.1.1) in der allgemeinen Vertrautheit der heterogenen Testgruppe mit dem untersuchten Produkt und in der maßstabstreuen 1:1 Produktdarstellung in der CAVE vom LESC. Die Begrenzung der Anzahl der implementierten variablen Komponenten erfolgte wegen der zur Verfügung stehenden Ressourcen.

5.2.2. Produktentwicklungsprozess, Produktmodelle und angewendete Software

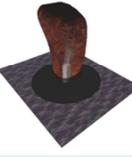
Das Projektteam hat wegen des Fehlens von eigenen Vorprodukten zum Anfang eine umfassende Marktrecherche von Personenkraftfahrzeug-Cockpits (Autocockpits) durchgeführt. Die Kundenanforderungen wurden im Rahmen von Gesprächen in der Sprache des Kunden gesammelt. Der Anwendungskontext des Autocockpits wurde wie folgt beschrieben:

Das Autocockpit ist die Interaktionsschnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug. Es befindet sich im Innenraum des beweglichen Fahrzeuges und dient zur Steuerung seiner Bewegung und Funktionen bei unterschiedlichen verkehrsüblichen Außenraumbedingungen. Die Häufigkeit und Dauer der Nutzung des Autocockpits ist personen- und situationsabhängig. Während der Nutzung interagiert der Fahrer direkt mit maximal vier weiteren Personen im Fahrzeug und eventuell mit weiteren Personen außerhalb des eigenen Fahrzeugs. Die kognitive und physische Belastung des Fahrers aus der Bedienung des Autocockpits soll minimiert werden, damit sich der Fahrer auf das Verkehr konzentrieren kann. Bezüglich des Designs des Autocockpits spielen daher vor allem anthropometrische Daten und die subjektive Wahrnehmung des Fahrers eine Rolle – alle Cockpitelemente müssen ergonomisch konstruiert und greifbar sein sowie dem Fahrer ein positives Gefühl vermitteln. Voraussetzung für die Nutzung ist die Fähigkeit der Bedienung des Autocockpits, die durch ein gültiges Fahrerlaubnis bescheinigt wird.

Bei der Modellierung des Autocockpits wurden als Randbedingungen die Orientierung an mittlerem Preissegment, gutes Kundenwissen über die Produktklasse und eine Entwicklungszeit von drei Monaten für die Konzeptmodelle definiert. Die Entwicklung fand auf Basis einer definierten Anforderungsliste (**Anhang F**) im Rahmen der Veranstaltung „Virtual Reality Praktikum“ im Wintersemester 2011/2012 statt. Zur Beherrschung der Komplexität der Aufgabe im Hinblick auf die menschlichen Ressourcen wurden drei aus

Kundensicht besonders wichtige variable Elemente (Lenkrad, Schaltmechanismus und Pedale) identifiziert, die nach Form und Textur zu variieren waren. Der Rest der Konfiguration sollte hinsichtlich Form konstant bleiben und wurde als Autocockpit-Basis (**Abbildung 28**) bezeichnet; die auf **Abbildung 28** dargestellte Konfiguration wurde nur zwecks Aufgabestellung genutzt und wurde nicht nachmodelliert. Für die Autocockpit-Basis wurden im Laufe der Produktentwicklung Bereiche identifiziert, deren Textur variabel gestaltet wurde. Zur Vereinfachung und wegen der Fokussierung auf die weiteren Schritte der validierten Methodik wurde in der EMO VR-Studie nur der visuelle Kanal mit Form und Farbe angesprochen. Es wurde weiterhin auf die Modellierung von Produktfunktionen verzichtet.

Tabelle 14: Implementierter Variantenraum für den Autocockpit-Konfigurator im Rahmen der Studie EMO VR

Variables Element	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Lenkrad				
Schaltmechanismus				
Pedale				
Fußraum-Textur				
Boden-Textur				
Holzelemente-Textur				

Zur kundengerechten Auswahl der Autocockpit-Basis wurden 15 Cockpits aus aktuellen Fahrzeugen aus dem Mittelpreissegment seitens 20 jungen Autofahrerinnen und Autofahrer auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet, die als äquidistant angenommen wurde. Das nach Mittelwert am besten bewertete Cockpit diente als Grundlage für die Konstruktion. Die Produktentwickler haben für die drei Bereiche mit variabler Textur zahlreiche Vorschläge

gemacht, die ebenfalls auf einer Likert-Skala bewertet wurden; implementiert wurden die zwei nach Mittelwert am besten und die eine oder zwei nach Mittelwert am schlechtesten empfundenen Texturen. Die Varianten für die nach Form und Textur variablen Elemente wurden anhand von Handskizzen auf derselben Skala bewertet. Modelliert wurden schließlich die zwei Varianten, die die besten Mittelwerte aufwiesen, sowie die Variante mit dem schlechtesten Mittelwert. Auf dieser Weise wurde für das Experiment mit wenigen Varianten ein denkbar breiter Emotionsraum gewährleistet. Der implementierte Variantenraum kann der **Tabelle 14** entnommen werden; hierbei entspricht die Reihenfolge nicht den Bewertungsergebnissen aus der Vorauswahl.



Abbildung 28: Grundsätzliche Definition der Basiskonfiguration und der variablen Elemente nach Form (gekennzeichnet mit „V“) laut Anforderungsliste für die EMO VR-Studie

Die CAD-Modelle wurden in Pro/ENGINEER® erstellt, während die Texturen mit 3ds Max erzeugt wurden. Die virtuelle Szene wurde mit Hilfe eines openSG-basierten Frameworks erstellt. Als Kontext wurde eine Straße mit umgebender Landschaft modelliert. Zur Konfiguration wurde ein Menü implementiert, für dessen Bedienung nur die Aktion „Selektieren“ mit Hilfe eines Strahls notwendig ist.

5.2.3. Testgruppe

Wegen der enormen Komplexität des Versuchsdesigns mit Doppelterminen (siehe Kapitel 5.2.4) und der aufwendigen Auswertung wurden in der EMO-VR Studie mit 21 Testpersonen deutlich weniger Probanden als in der NICE-Studie vorgesehen. Diese Anzahl entspricht der üblichen Anzahl der Testpersonen für ähnliche repräsentative Studien im Bereich der Emotionsforschung. Als relevante Segmentierungskriterien wurden Geschlecht, Alter, Nationalität und Erfahrung mit Technologien der Virtuellen Realität festgelegt.

Vollständigkeitshalber wurden auch weitere personenbezogene Daten (Beruf bzw. Studienrichtung, aktives PKW-Fahren, Erfahrung mit Kauf von Autos, Vertrautheit mit Innendesign von Autos) erhoben; für deren Segmentierung in repräsentativen Gruppen war aber die Anzahl der Teilnehmer zu gering. Die generalisierte Zusammensetzung der Testgruppe aus 21 Personen auf Basis von einheitlichen Klassifizierungsregeln kann der **Tabelle 15** entnommen werden.

Tabelle 15: Zusammensetzung der Testgruppe der EMO VR-Studie nach einzelnen Segmentierungskriterien bei Anwendung generalisierter Klassen

Kriterium	Segmente
Geschlecht	Männlich: 11 (52,4%) Weiblich: 10 (47,6%)
Alter	21 bis 30 Jahre: 8 (38,1%) 31 bis 40 Jahre: 6 (28,6%) Über 40 Jahre: 7 (33,3%)
Nationalität	Deutsch: 10 (47,6%) Bulgarisch: 8 (38,1%) Andere: 3 (14,3%)
Erfahrung mit VR-Technologien (Antworten aus Versuch 1)	Sehr große oder große: 12 (57,2%) Mittlere: 2 (9,5%) Kleine oder keine: 7 (33,3%)

Die Versuchspersonen wurden über einen Zeitraum von zwei Monaten durch gezielte persönliche Ansprache ausgewählt. Auf dieser Weise konnte fortlaufend der repräsentative Charakter der Testgruppe überprüft werden, so dass kein zweistufiger Auswahlprozess notwendig war. Der breit definierte Zielkundenkreis beinhaltet alle volljährigen Personen, die in Zukunft bei der Auswahl des Interieurs für einen Personenkraftwagen des Mittelpreis-Segmentes in der Rolle des Fahrers oder Mitfahrers beteiligt werden. Zur Vermeidung der Beeinflussung von Versuchspersonen wurden nur folgende verallgemeinerte und standardisierte Angaben über das Versuchsziel und den Versuchsinhalt gemacht:

„Ziel des Versuches ist das Testen einer neuartigen Methodologie für Kundeneinbindung in sehr frühen Phasen der Produktentwicklung, zu denen nur erste Entwürfe von zukünftigen

Produkten bestehen, am Beispiel eines Autocockpit-Konfigurators. Dabei wird eine 1:1 Darstellung in Virtueller Realität (CAVE mit Abmessungen 5m x 2,6m x 1,9m) benutzt. Im Versuch werden unter Anderem auch Messungen von peripheren physiologischen Größen durchgeführt. Gehirnströme werden nicht gemessen. Nähere Angaben über die Ziele des Versuches können Sie am Ende des zweiten Termins bekommen.“

Die Erfassung der Kundenerwartungen an den Versuch erfolgte durch mündliche Antworten auf offene Fragen während der persönlichen Ansprache. Die Persönlichkeitsmerkmale wurden im Rahmen des ersten Versuches schriftlich erfasst.

Den Versuchspersonen wurde je ein einstündiger Termin für die zwei Versuchsteile in den Kalenderwochen 11 und 12 des Jahres 2012 zugeteilt. Erinnerungs-E-Mails wurden drei Tage vor Versuch verschickt. Die Anwesenheitsquote betrug bei beiden Versuchen 100%. Die gespeicherten Kontaktdaten der Versuchspersonen wurden unmittelbar nach Ende des zweiten Versuchstermins gelöscht.

5.2.4. Versuchsumgebung

Die Auswahl der Interaktionskomponente der Versuchsumgebung orientierte sich an die Ergebnisse der Vorgängerstudie NICE (siehe Kapitel 5.1.5). Zur Reduktion des Umfangs an auszuwertendem Material wurde nur der visuelle Sinn der Versuchsperson angesprochen. Da die Immersion laut NICE-Studie durch die maßstabstreue, echtzeitfähige 1:1 Darstellung und mehrere Projektionswände erhöht wird, wurde nach Formulierung der daraus resultierenden technischen Anforderungen, der Identifikation der einsetzbaren Lösungen und ihrer wirtschaftlichen Analyse zur Visualisierung die Drei-Wände-Projektion vom LESC (**Abbildung 29**) im CAVE-Modus ausgewählt. Diese Lösung entspricht der besten untersuchten Visualisierungsalternative aus der Studie NICE, die in der Versuchstation VR (siehe Kapitel 5.1.4) eingesetzt war. Auf die Bodenprojektion wurde nach der Durchführung von Vorversuchen verzichtet.



Abbildung 29: Nutzung der Drei-Wände-Projektion im LESC als Visualisierungsumgebung im Rahmen der EMO VR-Studie

Wegen der Nicht-Eindeutigkeit der Ergebnisse aus der NICE-Studie hinsichtlich der aktiven Interaktion, wurden die zwei untersuchten Alternativen (Interaktion anhand gängiger Paradigmen aus der Spielindustrie und Interaktion mit Gesten) nochmals verfolgt, kritisch begutachtet, verbessert und im Rahmen von Voruntersuchungen nochmals überprüft. Die Menülogik für beide Alternativen wurde im Vergleich zur NICE-Studie wesentlich vereinfacht, indem bei einem rein bildlichen Menü als einzige Aktion „Selektieren“ implementiert wurde. Zur Auswahl standen im Menü nur mehrere Varianten des selektierten variablen Elementes und die Funktion „Abbruch“ (Piktogramm „X“ auf **Abbildung 29**) zur Verfügung. Zur Verfolgung der Position und der Orientierung des Nutzerkopfes wurde wieder das optoelektronische Tracking von A.R.T. (**Abbildung 30**) benutzt.

Als gängiges Interaktionsgerät wurde wieder Flystick2 gewählt; das Selektieren wurde über Betätigung des Triggers implementiert. Alternativ können auch kostengünstige Hardwarelösungen aus der Spielindustrie, wie die Wii™ Remote von Nintendo®, angewendet werden (Bac09a, vgl. S. 561-566). Statt einem Datenhandschuh wurde hier im Gegensatz zur NICE-Studie zur Erkennung von Gesten ein flexibles Band mit befestigten optischen Sensoren (siehe **Abbildung 30**) eingesetzt, das an der Hand befestigt oder in der Hand gehalten werden kann. Zum Selektieren wurde bei dieser Lösung eine einfache Geste mit der Hand nach vorne und zurück implementiert. Dem Nutzer wurde die Wirkung dieser Geste in der virtuellen Welt durch einen gelben Strahl veranschaulicht.

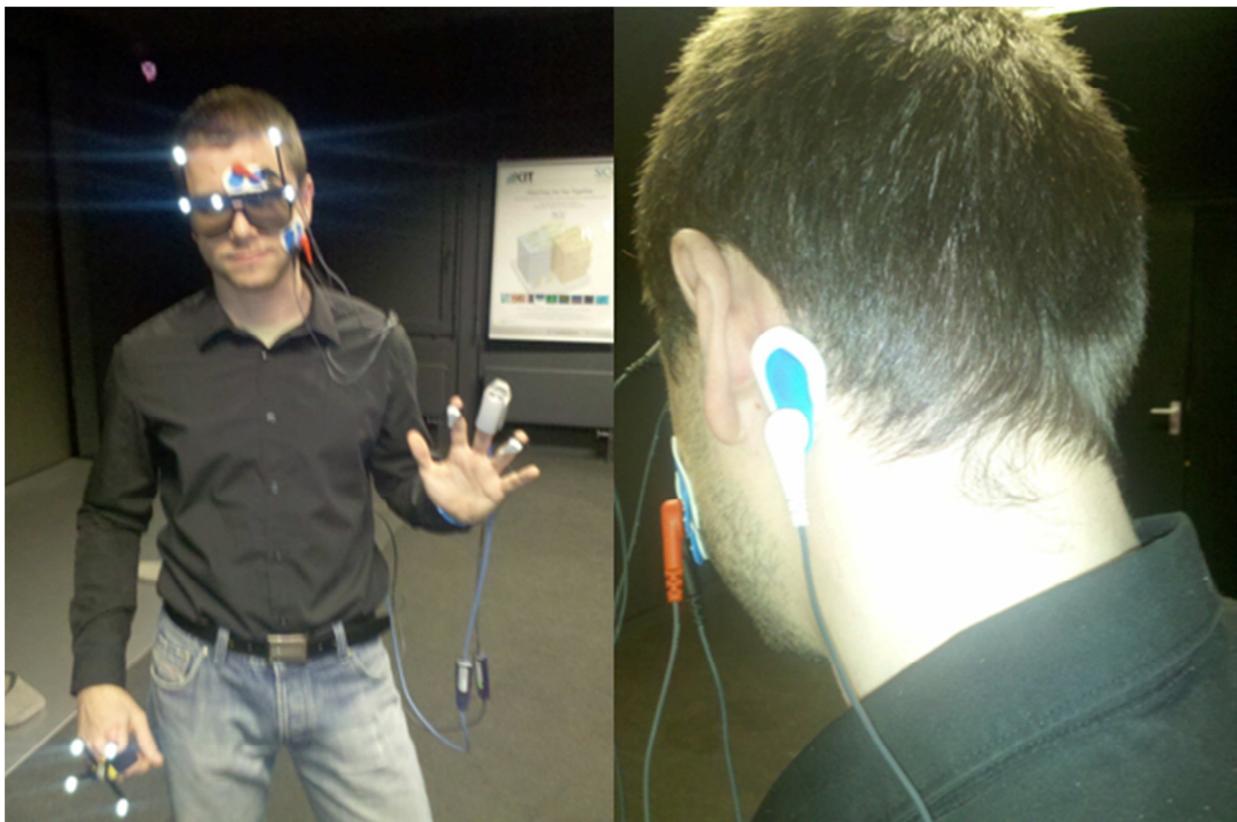


Abbildung 30: Versuchsausrüstung für die EMO VR-Studie: 3D-Brillen mit passiver Stereoprojektion und A.R.T. Tracking sowie Handband mit Sensoren zur Interaktion (links); EMG-Elektroden im Gesichtsbereich (links und rechts), EDA- und BVP-Sensoren an der nicht-aktiven Hand (links) und Erdung (rechts) zur Emotionserfassung

Die Beobachtungen von mehr als 20 Testpersonen im Rahmen von Vorversuchen zeigten, dass die Gewöhnung an die Interaktion mit Gesten im Allgemeinen schneller erfolgte. Aus diesem Grund wurde sie für den Versuch ausgewählt.

Zur Emotionserfassung wurde der parallele Einsatz von biologischen Messmethoden und Befragungsmethoden gewählt, um ihre Aussagekraft für den Anwendungsfall der emotionalen Beurteilung variantenreicher Produkte zu vergleichen. Von allen anwendbaren biologischen Messverfahren wurde im Hinblick auf die sehr gute Korrelation zu den Dimensionen des PA-Modells (siehe Kapitel 4.4.4.2), die Kompatibilität zu den Interaktionskomponenten (siehe Kapitel 4.4.4.3) und den relativ geringen Aufwand zur Messvorbereitung die Kombination aus den EMG-, BVP- und EDA-Größen gewählt. Zur Gewährleistung der Mobilität der Testperson bei möglichst geringer Anfälligkeit für Bewegungsartefakte wurde zur Messung das Gerät NeXus-32 der Firma Mind Media B.V. benutzt. Es kann von der Testperson in der Tasche oder auf dem Gürtel (**Abbildung 29**) getragen werden und ermöglicht eine kabellose Datenübertragung zum Rechner per Bluetooth. Für die EMG-Messungen werden auf der linken Gesichtshälfte der Versuchsperson je zwei Elektroden an der Lachmuskel und am Stirnrunzler angebracht; ihr gemeinsamer Ausgang wird in den Eingang Nr. 27/28 von NeXus-32 eingesteckt. Zur Gewährleistung einer robusten Haftung bei Bewegung der Testperson werden die vorgelierten Elektroden Ambu® Blue Sensor P angewendet. Eine baugleiche Elektrode wird zwecks Erdung auch auf dem linken Ohrknöchel der Versuchsperson befestigt und mit dem Eingang GND von NeXus-32 verbunden. Die EDA-Messungen erfolgen durch Befestigung von zwei Elektroden am Zeige- und Ringfinger der nicht-aktiven Hand der Versuchsperson (linke Hand bei Rechtshändlern bzw. rechte Hand bei Linkshändlern); ihr gemeinsamer Ausgang wird mit dem Eingang Nr. 29 von NeXus-32 verbunden. Am Mittelfinger der nicht-aktiven Hand der Testperson wird ein Sensor zur Messung des BVP befestigt, der in den Eingang Nr. 30 von NeXus-32 eingesteckt wird.

Das Logging der Interaktion und der Messgrößen wird im Kapitel 5.2.6 beschrieben.

Die Funktionsfähigkeit der Versuchsumgebung wurde im Rahmen eines technischen Vorversuches bestätigt. Nach der Einführung kleinerer Verbesserungen wurde die Gesamtumgebung für den Versuch freigegeben.

5.2.5. Versuchsdesign

Da die EMO VR-Studie einen Forschungscharakter hat und ein Hauptziel hierbei (laut Kapitel 5.2.4) die vergleichende Ermittlung der intersituationalen Zuverlässigkeit des emotionalen Kundenfeedbacks aufgrund von biologischen Messungen einerseits und von Befragungen andererseits darstellt, ist der Versuch für jede Testperson zweiteilig. Der erste und zweite Versuch finden an unterschiedlichen Tagen statt und verlaufen sehr ähnlich; die Unterschiede zwischen beiden Versuchsteilen werden in diesem Kapitel explizit beschrieben.

Der zweiteilige Versuch ermöglicht zudem eine genaue Festlegung des Lerneffektes bei der Interaktion mit Gesten.

Die zentrale Frage bezüglich der Anwendbarkeit der psychophysiologischen Messungen für Emotionserfassung in Virtueller Realität ist der emotionale Einfluss der Interaktion auf die Versuchsperson. Zur Abschätzung der Größe und der Möglichkeit des Herausfilterns dieses Einflusses wurden für den Kernversuch zwei komplementäre Szenarien definiert:

- **Aktiver Konfigurationsprozess** (charakterisiert durch große Dynamik, kurze untersuchte Zeitintervalle und aktive Nutzung der Interaktion mit Gesten) und
- **Passives Eintauchen in bestimmte Konfigurationen** (charakterisiert durch längere untersuchte Zeitintervalle und fehlende emotionale Störung seitens der Interaktion).

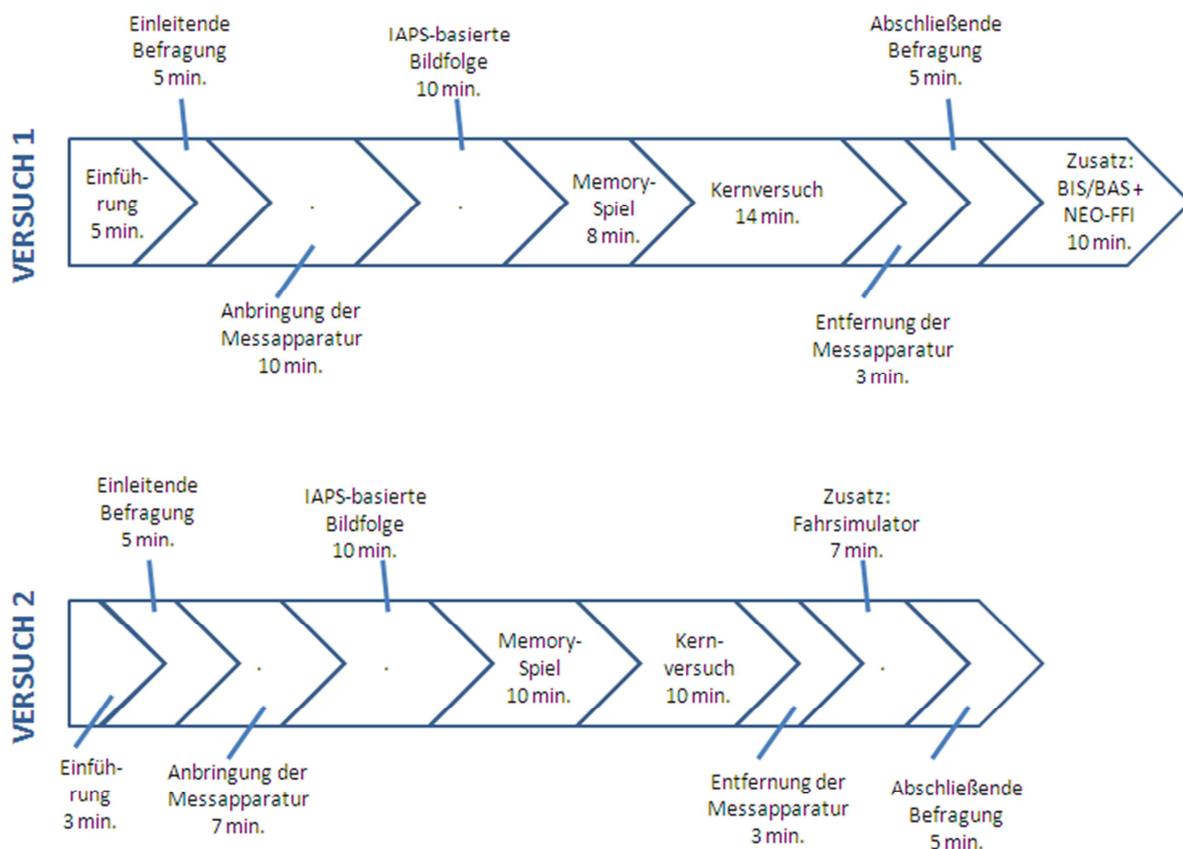


Abbildung 31: Versuchsablauf für die beiden Versuchsteile der EMO VR-Studie

Wegen des komplexen Versuchsverlaufes wurde neben dem hauptverantwortlichen Versuchsbetreuer auch die Rolle eines Versuchshelfers eingeführt. Während der Versuchsbetreuer für die Einhaltung des Versuchsablaufs und den standardisierten Dialog mit der Testperson zuständig ist, verantwortet der Versuchshelfer die technischen Aspekte des Versuches. Für diese beiden Rollen sowie für die Rolle der Empfangsperson wurden

einheitliche Verhaltensregeln definiert und umgesetzt. Der Versuchsbetreuer füllt während des Versuches einen standardisierten Fragebogen aus, der dem **Anhang I** zu entnehmen ist.

Das ausgewählte Versuchsdesign für einen Einzelversuch innerhalb der Studie EMO VR besteht im Kern aus den vorgeschlagenen vier Schritten im Kapitel 4.4.5.1. Diese Schritte werden hier nochmals im Hinblick auf den konkreten Versuch präzisiert und verfeinert. Den anhand von Vorversuchen geschätzten zeitlichen Ablauf der Studie für eine Person sowohl beim ersten als auch beim zweiten Versuch kann der **Abbildung 31** entnommen werden. Zwischen zwei Versuchspersonen wurde eine Pufferzeit von 15 Minuten eingebaut. Die Fragebögen für den ersten und den zweiten Versuchsteil entnimmt man entsprechend den **Anhängen G und H**.

- Einführung und einleitende Befragung:** Beim ersten Versuch zieht die Testperson einen Zettel mit Identifikationsnummer (Versuchsperson-ID), die für beide Versuchsteile benutzt wird. Zur Absicherung der Erinnerung an die ID im zweiten Versuch behält die Testperson den Zettel und trägt zudem in einer Liste neben ihrer ID ein Erinnerungswort. Somit wird die individuelle Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den zwei Versuchsteilen anonymisiert gewährleistet. In der einleitenden Befragung werden Angaben zu Geschlecht, Alter, Beruf oder Studienrichtung, Nationalität, aktivem PKW-Fahren und zur persönlichen Erfahrung mit Technologien der Virtuellen Realität einerseits sowie mit dem untersuchten Produkt andererseits gemacht. Ferner wird ein standardisierter Befindlichkeitsfragebogen nach Beltz-Test GmbH (Zer11) ausgefüllt, der die Stimmung der Versuchsperson (siehe Kapitel 2.3.1.2) zum Versuchsanfang aufnimmt. In beiden Versuchen werden zwei unterschiedliche Varianten des Befindlichkeitsfragebogens (BF-SR und BF-SR´) für dasselbe Messziel angewendet. Die Versuchsperson muss sich hierbei bei 28 Paaren von gegensätzlichen Adjektiven entscheiden, welches von den beiden Adjektiven ihrem aktuellen Zustand eher entspricht; die Antwort „weder-noch“ ist auch zulässig.

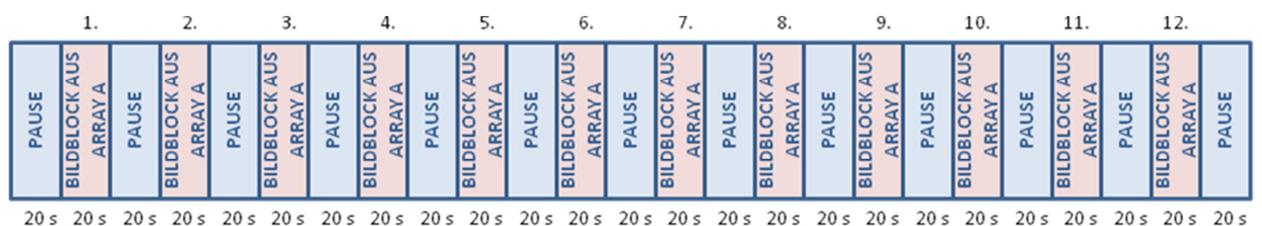


Abbildung 32: Verlauf der randomisierten IAPS-basierten Bildfolge

- Messvorbereitung:** Die Messvorbereitung lässt sich in drei Teilschritte untergliedern. Im **ersten Teilschritt** werden der Versuchsperson die Elektroden und Messsensoren laut Kapitel 5.2.4 angeordnet. Dabei werden die bekannten anatomischen, hygienischen und ergonomischen Bestimmungen berücksichtigt.

Der **zweite Teilschritt** dient zur emotionalen Kalibrierung der Versuchsperson für passive Eintauchszszenarien in der Virtuellen Realität. Hierbei werden der Versuchsperson, die alleine vor einem 24-Zoll-Bildschirm sitzt und nicht spricht, 12 Bildblöcke mit je 10 Bildern und Zwischenpausen in Form von schwarzer Bildschirmdarstellung in einer zufälligen Reihenfolge vorgespielt (**Abbildung 32**). Die zufällige Reihenfolge entsteht durch die zufällige Auswahl einer Bildblocks aus dem anfangs mit 12 Elementen vollen Array A; dieser Bildblock wird zum Zeitpunkt des Anfangs seines Vorspielens aus A entfernt und in ein weiteres Array B gespeichert. Diese Prozedur wird wiederholt, bis Array A leer ist und Array B mit 12 Elementen voll ist. Jedes Bild wird für zwei Sekunden vorgespielt, so dass die Länge jedes Bildblocks 20 Sekunden beträgt. Alle Pausen sind ebenfalls 20 Sekunden lang. Zehn der Bildblöcke wurden größtenteils aus den international anerkannten und weit verbreiteten IAPS (International Affective Picture System) Bildern (Lan05, vgl. S. 1-56) gebildet und in dieser Form bereits erfolgreich eingesetzt (Tan11, vgl. S. 1-8). Sie decken folgende Bereiche des PA-Modells laut **Abbildung 14** ab:

- Zwei Bildblöcke für den neutralen Bereich
- Zwei Bildblöcke für den (+A, +P) Bereich
- Zwei Bildblöcke für den (-A, +P) Bereich
- Zwei Bildblöcke für den (-A, -P) Bereich
- Zwei Bildblöcke für den (+A, -P) Bereich

Passend zum untersuchten Produkt PKW wurden zwei weitere Bildfolgen, eine mit positiven (Aufnahmen beliebter Autos) und eine mit negativen (Aufnahmen von Autos nach Unfällen) Anreizen, aus frei verfügbaren Bildern aus dem Internet gebildet und eingesetzt.

Im **dritten Teilschritt** erfolgt die Gewöhnung der Versuchsperson an die Interaktion mit Gesten sowie ihre emotionale Kalibrierung für den aktiven Konfigurationsprozess in Virtueller Realität. Zu diesem Zweck wurde ein Memory-Spiel (**Abbildung 33**) implementiert. Das Memory-Spielfeld besteht aus 16 anfangs gedeckten, zum Spielanfang immer neu vermischten Karten in einer (4 x 4)-Matrix. Auf diesen Karten werden acht unterschiedliche Autos je zweimal abgebildet. Die Testperson öffnet nacheinander mit der Selektionsgeste (siehe Kapitel 5.2.4) zwei Karten. Wenn die geöffneten Karten gleich sind, dann bleiben sie offen; wenn sie unterschiedlich sind, dann werden sie wieder zugedeckt. Ziel des Spieles ist alle acht Kartenpaare zu finden und somit die ganze (4 x 4)-Matrix zu öffnen. Zur Vermeidung der in diesem Versuch unerwünschten Erzeugung einer Stimmung bei der Testperson wird sie nicht unter Zeitdruck gesetzt. Das Spiel wird nur dann verloren, wenn die Testperson nach 64 Kartenöffnungen die Matrix nicht vollständig gelöst hat. Als positive Erlebnisse werden das erfolgreiche Öffnen zweier gleichen Karten (Match = 1) und das

erfolgreiche Lösen des Spieles (Meldung „You won!“, Game Status = 1) angenommen. Negative Erlebnisse sind dagegen das Öffnen zweier unterschiedlichen Karten (Match = 0), das erfolglose Spielen (Meldung „You lost!“, Game Status = 0) und das verfehlte Treffen einer Karte (Interaction 1 0). Alle diesen Aktionen werden entsprechend in der Interaktionslog-Datei ausgeschrieben (siehe **Abbildung 34**). Im ersten Versuchsteil wurde das Spiel zweimal und im zweiten Versuchsteil dreimal gespielt. Vor dem ersten Spiel im ersten Versuchsteil bekam die Testperson eine kurze Einführung in die Interaktion.

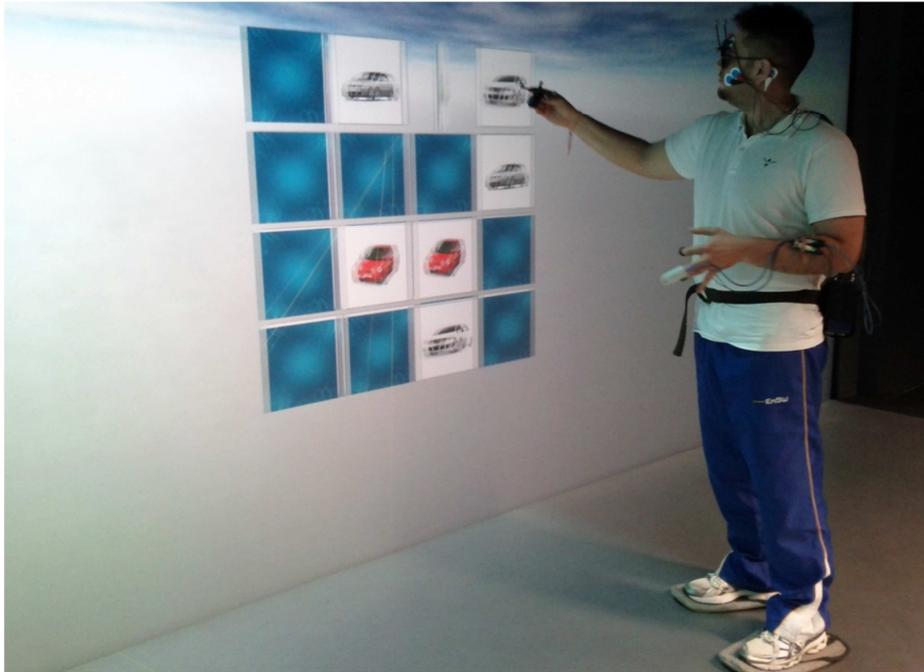


Abbildung 33: Memory-Spiel im Rahmen der Studie EMO VR

- **Kernversuch:** Im Kernversuch löst die Testperson vordefinierte Aufgaben mit dem implementierten Autocockpit-Konfigurator aus Kapitel 5.2.2, wobei sie die im Memory-Spiel geübte Interaktionsgeste nutzt (**Abbildung 29**). Im ersten Versuch geht die Versuchsperson nach Anleitung des Versuchsbetreuers zuerst alle Varianten für die einzelnen variablen Elemente nacheinander durch, um sie kennen zu lernen. Diese Aufgabe entfällt beim zweiten Versuch, bei dem die Versuchsperson nur kurz an die variablen Elemente erinnert wird. Als Nächstes wird die Versuchsperson gebeten, die für sie beste Konfiguration aus allen verfügbaren Varianten zu finden. Sobald dies erfolgt ist, versetzt sie sich für 30 Sekunden emotional in die Lage, das Produkt gekauft zu haben und gerade zu fahren. Nach Ablauf der Eintauchzeit von 30 Sekunden wird ein Kansei Engineering Ansatz (siehe Kapitel 3.1.1) in den Versuch integriert – die Versuchsperson soll die Wirkung dieser Variante mit eigenen Worten beschreiben; diese Worte werden vom Versuchshelfer notiert. Abschließend soll die Testperson die für sie schlechteste Konfiguration aus allen verfügbaren Varianten

finden, sich für 30 Sekunden emotional in die Lage versetzen, das Produkt gekauft zu haben und gerade zu fahren, und die Konfiguration mit eigenen Worten beschreiben.

Beim Kernversuch wird vorausgesetzt, dass sich die Testperson unmittelbar nach der Auswahl einer Variante für ein variables Element emotional genau mit dieser Komponente auseinandersetzt. Diese Annahme wurde nach Gesprächen mit Testpersonen aus Vorversuchen als hinreichend genau bewertet. Empirisch wurde eine durchschnittliche Beobachtungszeit von 3 Sekunden pro Variante festgestellt. Die Interaktion wurde allerdings, wie befürchtet, als potenzieller Störfaktor für die Emotionserfassung während des aktiven Konfigurationsprozesses identifiziert – aus diesem Grund wurde zusätzlich zur IAPS-basierten Bildfolge eine emotionale Kalibrierung bei ähnlichen Randbedingungen (identische Geste und vergleichbare Prozessdynamik) im Rahmen des Memory-Spiels durchgeführt. Die Messsignale aus der Erkundung der individuell besten und schlechtesten Konfiguration sind dagegen ein Maß für die holistische emotionale Beurteilung der Produktkonfiguration.

Im zweiten Versuchsteil wird nach dem Kernversuch eine kurze Zusatzaufgabe mit dem Fahrsimulator in Virtueller Realität in LESC gelöst. Da sie für die in dieser Arbeit behandelte Methodik irrelevant ist, wird sie hier nicht weiter behandelt.

- **Abschließende Befragung:** In der abschließenden Befragung beantwortet die Versuchsperson zuerst geschlossene Fragen über die angewendete Interaktion (hinsichtlich Effizienz, Benutzerfreundlichkeit, intuitiver und natürlicher Nutzung, leichter Erlernbarkeit und Bedienbarkeit, Akzeptanz, Spaßfaktor und Belastung) sowie über die Akzeptanz der eingesetzten Technik für periphere physiologische Messungen. Anschließend beurteilt sie anhand eines Erinnerungsbildes auf einer fünfstufigen Likert-Skala, wie jede einzelne Variante für jedes variable Element sie emotional anspricht.

Im ersten Versuchsteil wird danach der Gesamtversuch bewertet und kommentiert. Anschließend füllt die Testperson den standardisierten deutschsprachigen BIS/BAS-Fragebogen mit 24 Fragen des Instituts für Psychologie II der TU Dresden (Str01, vgl. S. 216-227) und den standardisierten deutschsprachigen NEO-FFI Inventar (siehe Kapitel 2.3.1.3 und 4.4.3.2) des Hogrefe Verlags (Bor08) mit 60 Fragen aus. Der BIS/BAS-Fragebogen sagt aus, wie eine Person auf positive und negative Anreize aus ihrer Umgebung reagiert, während der NEO-FFI Inventar die Persönlichkeit der Person beschreibt. Beide Fragebögen geben komplementär Auskunft über die personenspezifischen langfristigen affektiven Neigungen und eignen sich somit für die Profilierung der Testgruppe (Kapitel 4.4.3.2).

Beim zweiten Versuch wird der Gesamtversuch erst nach dem Durchlesen der schriftlichen Beschreibung der Versuchsziele (siehe **Anhang J**) bewertet und kommentiert. Abschließend wird der Unkostenbeitrag für die Versuchsteilnahme in Höhe von 20,00 € ausbezahlt.

Im Rahmen der Versuchskonzipierung zuvor wurden mehrere Probeversuche mit freiwilligen Testpersonen durchgeführt. Sie lieferten die Grundlage für eine umfangreiche Risikoanalyse bezüglich zeitlicher Engpässe und möglicher technologischen Probleme. Daraufhin wurden mehrere Verbesserungen des Versuchsdesigns vorgenommen.

5.2.6. Aufzeichnung und Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie

Die Interaktions- und Emotionschronologie weisen laut **Abbildung 15** vom Kapitel 4.4.6.1 unterschiedliche Natur auf – während die Interaktion durch bestimmte diskrete Ereignisse gekennzeichnet ist, müssen psychophysiologische Rohdaten quasi-kontinuierlich aufgenommen werden. Aus diesem Grund ist ratsam, die beiden Folgen in getrennten Log-Dateien aufzunehmen.

```
Synchronisation signal sent at Time : 1331656045
1331656170 UserInfo: -1.00442, 1.53177, 5.33724 -0.0859877, -0.509118, -0.856391 -1.04707, 1.27923, 4.91244
1331656170 Interaction: 1 1
1331656170 CardInfo: 1 0 7 1
1331656174 UserInfo: -0.993921, 1.54594, 5.35439 -0.0823416, -0.296254, -0.951553 -1.04117, 1.37594, 4.80834
1331656174 Interaction: 1 1
1331656174 CardInfo: 1 1 6 0
1331656174 Match: 0
.....
1331656689 UserInfo: -0.905834, 1.53619, 5.31791 -0.318378, -0.444977, -0.837037 -1.01323, 1.38608, 5.03555
1331656689 Interaction: 1 1
1331656689 CardInfo: 0 0 0 1
1331656693 UserInfo: -0.80824, 1.59945, 5.35959 0.244608, 0.189307, -0.950962 -0.687344, 1.69301, 4.88959
1331656693 Interaction: 1 1
1331656693 CardInfo: 2 3 0 0
1331656693 Match: 1
1331656693 Game status: 1
```

Abbildung 34: Auszug aus einer Interaktionslog-Datei beim Memory-Spiel mit Kennzeichnung aller wichtigsten Eintragsarten bei der Studie EMO VR

```
Sun Mar 25 16:27:17 2012
1332685637
Sek. P27 P28 P29 P30 P31 P32 P33 P34 P35 P36 P37 P38
1332685638 -6149.14 2734.02 156706 -21925.3 0 0 127 100 255 0 2 1
1332685638 -6149.86 2725.58 156708 -23075.4 0 0 127 100 255 0 2 3
1332685638 -6150.36 2723.65 156706 -24149.7 0 0 127 100 255 0 2 5
1332685638 -6148.71 2727.37 156708 -24936.5 0 0 127 100 255 0 2 7
1332685638 -6150.79 2729.94 156716 -25781.9 0 0 127 100 255 0 2 9
1332685639 -6150.93 2729.01 156723 -26573 0 0 127 100 255 0 2 11
1332685639 -6151.36 2724.22 156728 -26892 0 0 127 100 255 0 2 13
1332685639 -6151 2726.3 156727 -26760.4 0 0 127 100 255 0 2 15
1332685639 -6152 2731.16 156737 -26743.2 0 0 127 100 255 0 2 17
1332685639 -6153.08 2730.73 156740 -27085.1 0 0 127 100 255 0 2 19
1332685639 -6151.86 2731.8 156737 -27163.8 0 0 127 100 255 0 2 21
1332685639 -6152.5 2730.16 156741 -27016.4 0 0 127 100 255 0 2 23
1332685639 -6157.08 2727.8 156746 -26922 0 0 127 100 255 0 2 25
1332685639 -6153.58 2729.66 156750 -26783.3 0 0 127 100 255 0 2 27
1332685639 -6153.08 2728.15 156750 -26578.7 0 0 127 100 255 0 2 29
1332685639 -6153.29 2730.51 156761 -26532.9 0 0 127 100 255 0 2 31
1332685639 -6155.51 2733.52 156758 -26694.6 0 0 127 100 255 0 2 33
1332685639 -6150.72 2729.51 156761 -26467.1 0 0 127 100 255 0 2 35
1332685639 -6146.21 2730.37 156767 -25833.4 0 0 127 100 255 0 2 37
1332685639 -6152.72 2728.37 156779 -25281.2 0 0 127 100 255 0 2 39
1332685639 -6153.72 2731.59 156783 -25510.1 0 0 127 100 255 0 2 41
1332685639 -6150.93 2728.23 156784 -25780.5 0 0 127 100 255 0 2 43
1332685639 -6150.93 2728.23 156780 -26319.8 0 0 127 100 255 0 2 45
1332685639 -6148.93 2726.08 156780 -26756.1 0 0 127 100 255 0 2 47
```

Abbildung 35: Auszug aus einer Emotionslog-Datei beim Autocockpit-Konfigurator mit Kennzeichnung aller wichtigsten Eintragsarten bei der Studie EMO VR

Beim Memory-Spiel (**Abbildung 34**) und beim Autocockpit-Konfigurator enthält die Log-Datei der Interaktion für jede Aktion: die Zeitangabe, die eindeutige Beschreibung der jeweiligen Aktion sowie die Position und Orientierung der auf dem Nutzerkopf platzierten Sensoren der Trackingbrillen zu diesem Zeitpunkt. Bei der IAPS-basierten Bildfolge enthält die Interaktionsdatei nur die Startzeiten einzelner Bildblöcke und Bilder. Die Messsignale aus den Eingängen Nr. 27/28, 29 und 30 von NeXus-32 werden 50-mal pro Sekunde zusammen mit einer entsprechenden Zeitangabe in eine separate Log-Datei ausgeschrieben (**Abbildung 35**). Beide Log-Dateien enthalten in ihrem Namen die Versuchsperson-ID und werden entsprechend in den Ordnern für den Versuch 1 oder den Versuch 2 gespeichert.

Zum Zeitpunkt des Versuches war, ausgenommen der IAPS-basierten Bildfolge, unmöglich beide Log-Dateien auf demselben Rechner zu speichern. Der Grund dafür lag in der ausschließlichen Kompatibilität des NeXus-32 Gerätes mit 32-Bit-Rechnern und der Gewährleistung der gewünschten Darstellung und Interaktion in Virtueller Realität nur mit 64-Bit-Rechnern. Aus dieser Gegebenheit stellte sich die **Synchronisation** zwischen einem 32-Bit- und einem 64-Bit-Rechner als das wesentliche zu lösende Problem zur Gewährleistung einer zeitlich korrekten Gegenüberstellung der beiden Folgen heraus. Zur Synchronisation wurde neben der Anpassung der beiden Rechneruhren ein Ping-Signal des 64-Bit-Rechners beim Starten der jeweiligen Anwendung (Memory-Spiel oder Autocockpit-Konfigurator) über ein lokales Netzwerk an den 32-Bit-Rechner gesendet. Da die Latenzzeit der Netzwerkübertragung nur ca. 20 Millisekunden betrug, war die erzielte Güte der Synchronisation für den Zweck der EMO VR-Studie zufriedenstellend.

Die Aufbereitung der Rohdaten fängt mit einer Visualisierung der Kurven aus den Kanälen 27/28, 29 und 30 des NeXus-32 Gerätes an, beispielsweise im Programm MATHLAB oder in Microsoft Excel. Aus diesen Kurven werden mathematisch errechenbare aussagekräftige Parameter extrahiert. Da die absoluten Messwerte von der genauen Lage der Anbringung der Elektroden und Messsensoren abhängig und zudem noch interpersonell unterschiedlich sind, können Vergleiche zwischen zwei Versuchspersonen und zwischen zwei Versuchen mit derselben Versuchsperson nur auf Basis von relativen Angaben gezogen werden. Durch Gegenüberstellung der Interaktionsschritte auf der Basiszeit-Skala werden Zeitintervalle identifiziert, in denen die psychophysiologischen Messwerte die emotionale Reaktion auf bekannte Darstellungen bzw. Ereignisse beschreiben. Der wesentliche Teil der Störgrößen (Bewegungsartefakte, Artefakte vom Husten, einige interaktionsbezogene Einflüsse) kann visuell erkannt werden; gegebenenfalls werden die betroffenen Zeitintervalle von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die Zuordnung von Messwert-Sequenzen zu Emotionsdimensionen aus dem PA-Modell erfolgte auf drei unterschiedlichen Wegen:

- **Zuordnung anhand Mittelwerte der Aktivität für relevante Messwert-Sequenzen:** Bei diesem deterministischen Verfahren wurden für alle relevanten Messwert-Sequenzen Mittelwerte der Aktivität der Zygomaticus-Muskel und der Corrugator-Muskel sowie Mittelwerte von BVP und Hautwiderstand (SCL) gebildet. Die zu unterschiedlichen Anreizen zugehörigen Mittelwerte bei einer Person wurden

miteinander auf einer ordinalen Skala verglichen und laut Kapitel 3.1.3.2 wie folgt zu Dimensionen des PA-Modells korreliert:

- **Ein höherer Mittelwert der Zygomaticus** (Lachmuskel)-Aktivität deutet auf eine **positivere Valenz** hin.
 - **Höhere Mittelwerte der Corrugator** (Stirnrunzler)-Aktivität sind Zeichen für eine **negativere Valenz**.
 - **Ein höherer Mittelwert der Herzrate** deutet auf eine **höhere Erregung** hin.
 - **Höhere Mittelwerte für den Hautwiderstand** (SCL) sind Zeichen für **niedrigere Erregung**.
- **Zuordnung anhand visueller Auswertung der gegenübergestellten Folgen:** Diese aufwendige Methode ermöglicht die Erkennung von Emotionen durch Nutzung des Knowhows von Psychologen im Bereich der Erkennung typischer Muster.
 - **Zuordnung mittels Neuronaler Netze:** Ein Neuronales Netz stellt einen nicht-parametrischen Klassifizierungsalgorithmus dar (siehe Kapitel 3.2.1) und benötigt daher zur Erkennung eines emotionalen Zustandes eine zuverlässige Vergleichsbasis (Kalibrierung), anhand deren es für diese Aufgabe „trainiert“ wird.

Für die Auswertung von relevanten Messwert-Sequenzen aus dem aktiven Interaktionsprozess dienten als Trainingsdaten Messwert-Sequenzen aus dem Memory-Spiel. Besonders hinsichtlich Valenz können im Memory-Spiel aussagekräftige Sequenzen (als emotionale Antworten auf die im Kapitel 5.2.5 beschriebenen positiven und negativen Anreize) identifiziert werden, deren Muster die Erkennung positiver und negativer Emotionen für bestimmte Varianten beim Autocockpit-Konfigurator ermöglichen. Eventuelle emotionale Einflüsse der Interaktion sind in beiden Anwendungsfällen wegen der identischen eingesetzten Geste ähnlich und beeinflussen daher die Erkennung eher wenig. Die Dauer einzelner, zu bestimmten Aktionen der Versuchsperson zugeordneter Messwert-Sequenzen beläuft sich sowohl beim Memory-Spiel als auch beim Autocockpit-Konfigurator in der Regel auf einen Wert im Bereich von einer bis fünf Sekunden.

Passende Trainingsdaten für die Auswertung der relevanten Messwert-Sequenzen aus den passiven Eintauchphasen in die individuell beste und schlechteste Konfiguration lieferte die Kalibrierung mit der IAPS-basierten Bildfolge. Anhand der Bildblöcke können für einzelne 20-Sekunden-Intervalle zuverlässige personenbezogene Muster sowohl hinsichtlich Valenz als auch hinsichtlich Erregung gewonnen werden. Ähnliche Muster werden dann in den 30-Sekunden-Sequenzen aus der Beobachtung der beiden Konfigurationen gesucht.

Zur Weitergabe an die anderen Stakeholder eignen sich wegen der ansonsten schwierigen Vergleichbarkeit nur relative Angaben („Valenz/Erregung bei Variante X ist größer/kleiner als

bei Variante Y“) oder Klassenangaben („Variante X löst positive/negative Valenz aus“ bzw. „Variante Y löst hohe/niedrige Erregung aus“) über Emotionen, die über kürzere oder längere relevante Zeitintervalle gemittelt worden sind. Zur Extraktion relevanter kundensegmentspezifischer Ergebnisse und einer dementsprechenden Reduktion der Produktvarianten werden klassische statistische Methoden eingesetzt.

5.2.7. Ergebnisse

Im Rahmen der EMO VR-Studie erfolgte eine vollständige Validierung aller Schritte der im Kapitel 4 entwickelten Methodik (siehe Kapitel 5.2.2 für Schritt 1, Kapitel 5.2.3 für Schritt 2, Kapitel 5.2.4 für Schritt 3, Kapitel 5.2.5 für Schritt 4 sowie Kapitel 5.2.6 für Schritte 5 und 6).

Bei der Auswertung der gewonnenen Ergebnisse aus Befragungen und Messungen wurden statistische Methoden und qualitative Analysen angewendet. Die fünfstufige Likert-Skala aus den Fragebögen wird wie bei der NICE-Studie (siehe Kapitel 5.1.5) als äquidistant angenommen, so dass Korrelationsrechnungen nach Spearman zulässig sind. Zum Vergleich der Fragebögen mit den Messungen hinsichtlich Zuverlässigkeit der Ergebnisse wird zusätzlich dazu die prozentuelle Wiederholung derselben Bewertung im Versuch 1 und 2 (für jede Testperson sowie gemittelt) ermittelt. Sie wird der prozentuellen Erkennungsrate von Emotionen anhand psychophysiologischer Messungen gegenübergestellt. Hier werden zu allen untersuchten Fragen qualitative und, wenn möglich, quantitative Ergebnisse vorgestellt.

Dem **Anhang K** können die Spielzeiten des Memory-Spiels für jede Versuchsperson entnommen werden. Im **Anhang L** sind die Antworten der Fragen hinsichtlich der einzelnen Varianten der variablen Elemente aus beiden Versuchen zu finden; darüber hinaus werden die Raten identischer Antworten und die Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman für dieselben Fragen beim Versuch 1 und 2 angegeben. Dem **Anhang M** können die Ergebnisse der standardisierten BIS/BAS und NEO-FFI Fragebögen zur komplementären Beschreibung der Persönlichkeit der Versuchspersonen entnommen werden.

Die umfangreiche Auswertung lieferte folgende Hauptergebnisse:

- Der Versuch zeigte, dass die Zuverlässigkeit von Fragebögen zur Erfassung des emotionalen Kundenfeedbacks über die Wirkung unterschiedlicher Produktvarianten sehr gering ist. Der durchschnittliche Anteil identischer Antworten auf die gleichen Fragen über die emotionale Wirkung aller 20 implementierten Varianten (laut **Tabelle 14**) bei einer fünfstufigen Likert-Skala in den Versuchen 1 und 2 betrug lediglich 44%; die Verteilung der identischen und unterschiedlichen Antworten über die sechs variablen Elemente kann der **Abbildung 36** entnommen werden. Auch die Korrelation der Antworten auf dieselbe Frage, die zusätzlich die Tendenz ihrer Verteilung berücksichtigt, war in den meisten Fällen verhältnismäßig schwach – der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman war nur für sechs der 20 bewerteten Varianten höher als 0,7 (was als eine Grenze der starken Korrelation angenommen

werden kann) und bei einer Variante der Pedale betrug er sogar lediglich 0,18. Die Erkenntnis, dass mehr als die Hälfte der gleichen Fragen an zwei unterschiedlichen Tagen anders und dabei größtenteils sogar tendenziell anders beantwortet wurden, bestätigt deutlich die im Kapitel 3.1.2.1 beschriebene Tendenz zu willkürlichen und unehrlichen Antworten bei geschlossenen Fragen. Dies ist größtenteils auf die verfälschende kognitive Mediation bei der Beantwortung von rein emotionalen Fragen zurückzuführen. Im Vergleich dazu wurden die rein kognitiven Fragen bezüglich des aktiven PKW-Fahrens, der Vertrautheit mit aktuellem Interieur von Autos und der Erfahrung mit dem Kauf von Autos mit wesentlich höheren Raten identischer Antworten (90,5%, 71,4% und 71,4% entsprechend) aus beiden Versuchen beantwortet. Die Korrelationsrechnung nach Spearman zeigt für wiederholte Antworten auf kognitive Fragen ebenfalls sehr starke Korrelationen, wie beispielsweise 0,95 bei der Frage bezüglich des aktiven PKW-Fahrens.

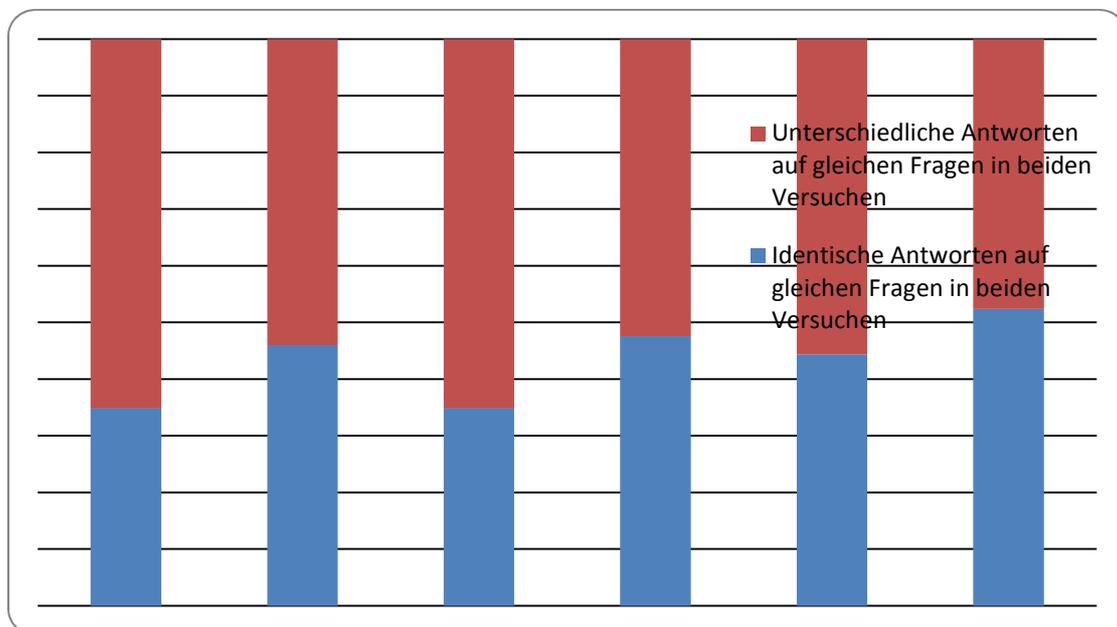


Abbildung 36: Anteil identischer Antworten auf gleichen Fragen bezüglich der emotionalen Wirkung der Varianten variabler Elemente (nach Kategorie) in den beiden Versuchen der EMO VR-Studie

- Die Versuchsergebnisse belegen die deutlich höhere Zuverlässigkeit von Messungen peripherer physiologischer Größen zur Erfassung von emotionalem Kundenfeedback im Vergleich zu Fragebögen, die bei Anwendung der passenden Parameter und Auswertungsmethoden ca. 70% beträgt.

Für kurze Messwert-Sequenzen aus dem aktiven Konfigurationsprozess konnten anhand des Mittelwertes der Lachmuskel-Aktivität zwei Varianten mit einer Erfolgsquote von 67% relativ zueinander nach Valenz bewertet werden (**Abbildung 37**); hierbei wurde als Referenz die Berücksichtigung der Varianten innerhalb der individuell besten und schlechtesten Konfiguration gewählt. Ähnliche Erfolgsquoten

bei der Erkennung positiver und negativer Valenz mit denselben Auswertungsmethoden und demselben Parameter wurden auch beim Memory-Spiel und bei der IAPS-basierten Bildfolge erzielt (**Abbildung 37**). Diese guten Erfolgsquoten, zusammen mit dem ermittelten Synchronisationsfehler zwischen den Aufnahmen der Interaktion und der peripheren physiologischen Größen von nur ca. 20 ms, bestätigen **These 7**. Bei der Bildfolge wurden die Lachmuskel-Aktivitäten bei den vier Bildblöcken für den Bereich positiver Valenz mit denen der vier Bildblöcke für den Bereich negativer Valenz (siehe Kapitel 5.2.5) verglichen. Im Memory-Spiel wurden die Messwert-Sequenzen unmittelbar nach Öffnung zwei gleicher Karten mit den Sequenzen nach Öffnung zwei unterschiedlicher Karten verglichen. Es ergibt sich allgemein eine deutlich höhere Aktivität der Lachmuskel bei positiven Anreizen (**Abbildung 38**).

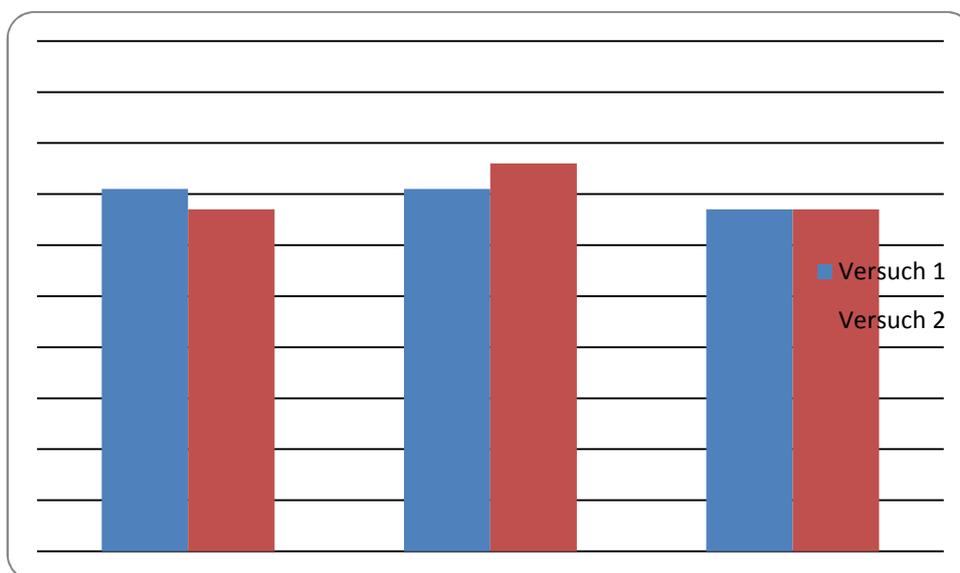


Abbildung 37: Erfolgsquoten bei der Erkennung der Wirkung einer Variante auf die Valenzdimension der Emotion, anhand der gemittelten Werte der Aktivität der Lachmuskel über relevante Zeiträume in der EMO VR-Studie

Beim längeren Eintauchen in die individuell beste und schlechteste Konfiguration konnten die beiden Konfigurationen anhand des Neuronalen Netzes, das mit den Daten aus der IAPS-Bildfolge trainiert wurde, bei jeder Testperson mit einer Wahrscheinlichkeit von 70 bis 80% erkannt werden. Das Neuronale Netz berücksichtigte alle gemessenen psychophysiologischen Größen. Für solche längere Messwert-Sequenzen zeigte sich dagegen die gemittelte Aktivität der Lachmuskel als unzuverlässiger Parameter (Erfolgsquote unter 50%).

Die Methode der visuellen Auswertung des zeitlichen Verlaufs der gemessenen Parameter zeigte sich als sehr effektiv für die Erkennung von Emotionen anhand Mikroausdrücke im Gesichtsbereich. Allerdings ist diese Methode sehr zeitaufwendig und erfordert hohes Knowhow.

Gemittelte Aktivität der Lachmuskel

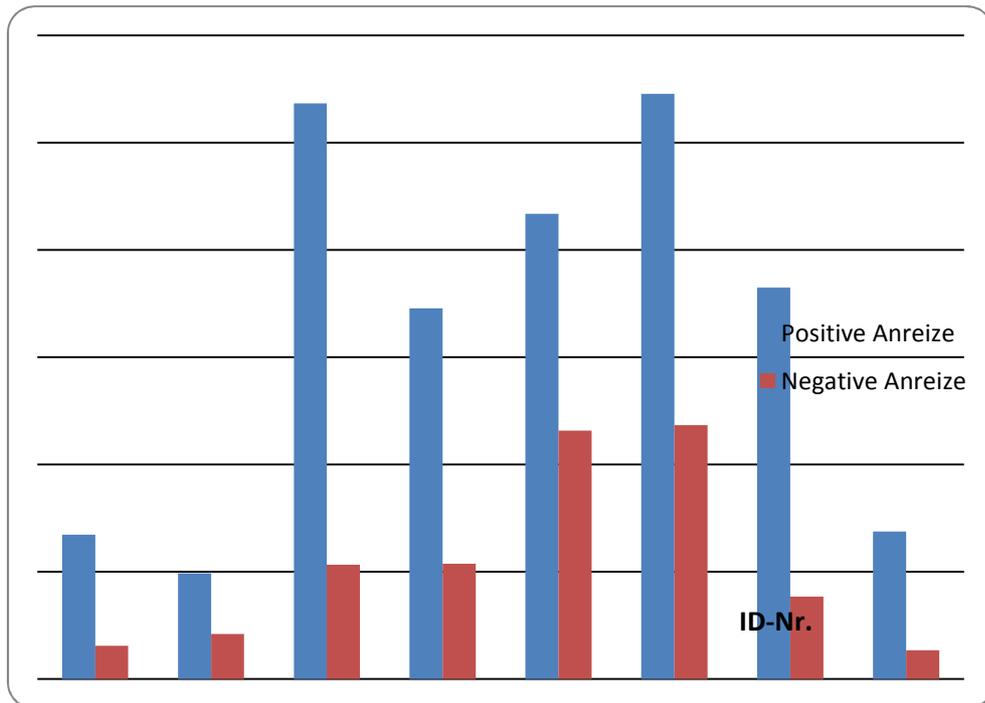


Abbildung 38: Absolute Werte der gemittelten Aktivität der Lachmuskel während des Prozesses der aktiven Konfiguration für ausgewählte Testpersonen (ID-Nummern auf horizontaler Achse) im Versuchsteil 1 der Studie EMO VR

- Die gemittelte Aktivität des Stirnrunzlers war mit einer Erfolgsquote von 67% lediglich bei der IAPS-basierten Bildfolge ein zuverlässiges Merkmal für die Erfassung der Valenzdimension. In allen anderen Aufgaben, bei denen die Versuchsperson 3D-Brillen trug und beweglich war, lag die Erfolgsquote deutlich unter 50%. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die Messungen der Aktivität der Corrugator-Muskel durch das Tragen von Brillen zum stereoskopischen Sehen stark beeinträchtigt werden.
- Da Änderungen des Pulses und des Hautleitwiderstands der Testperson erst einige Sekunden nach auslösendem Anreiz auftreten, sind die Ergebnisse dieser Messungen nur innerhalb längerer Messwert-Sequenzen relevant. Die Testpersonen zeigten bei der Erkundung der individuell besten Konfiguration im Allgemeinen eine höhere Erregung, die sich in über 60% der Fälle in höhere gemittelte BVP-Werte und in niedrigere gemittelte SCL-Werte widerspiegelte. Dies entspricht jedoch nicht der Erfolgsquote der Emotionserkennung, denn im Gegensatz zur Valenz ist die Korrelation der Erregung mit der affektiven Komponente der transaktionalen Zufriedenheit mit einem Produkt nicht eindeutig. Einige Testpersonen (wie ID-Nr. 01 und 09) gaben an, „beruhigend“ wirkende Autos vorzuziehen. Bei diesen Versuchspersonen entsprach der im Gegensatz zur Mehrheit der Testgruppe

niedrigere gemittelte BVP- Wert beim Erleben der individuell besten gegenüber der individuellen schlechtesten Konfiguration (bei 01: 0,651 im Vergleich zu 0,682; bei 09: 0,719 im Vergleich zu 0,751) ihrer mündlichen Beschreibung dieser Konfiguration.

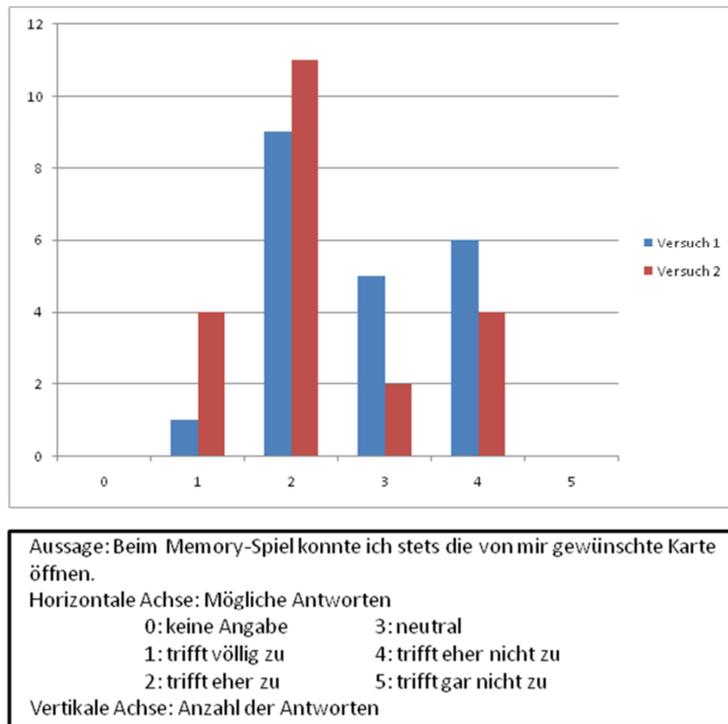


Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung der eigenen Abschätzungen der Versuchspersonen über die Präzision des Selektierens während des Memory-Spiels in beiden Versuchen der EMO VR-Studie

- Bei der Interaktion mit Gesten war ein großer Lerneffekt bemerkbar. Dieser Lerneffekt widerspiegelt sich sowohl in der erheblichen Kürzung der Zeiten für ein Memory-Spiel beim zweiten im Vergleich zum ersten Versuchsteil als auch in der subjektiven, kognitiv vermittelten Empfindung der Versuchspersonen. Laut **Anhang K** ist die durchschnittliche Zeit pro Spiel im zweiten Versuch für alle Testpersonen deutlich kürzer als die durchschnittliche Zeit im ersten Versuch; gemittelt über alle Testpersonen beträgt sie nur 53% der durchschnittlichen Zeit pro Spiel im ersten Versuch. Werden die Spielzeiten für das jeweils zweite Spiel in beiden Versuchen verglichen, so ergibt sich im zweiten Versuch eine Verkürzung auf ca. zwei Drittel (von 176,2 auf 117,7 Sekunden). Die Mittelwerte aus den drei Spielen vom zweiten Versuch sind annähernd gleich und bezüglich des Mittelwertes aus dem ersten Spiel vom ersten Versuch um mehr als die Hälfte kürzer, was die vollständige Erlernbarkeit der Interaktion mit Gesten nach nur einigen Probeversuchen beweist. Beim zweiten Versuch fanden die Testpersonen die Interaktion intuitiver (Mittelwert 2,0 im Vergleich zu 2,3 beim ersten Versuch), nutzerfreundlicher (Mittelwert 2,2 im Vergleich zu 2,6 beim ersten Versuch) und leichter zum Bedienen (Mittelwert 2,3 im Vergleich zu 2,6 beim ersten Versuch). Sie konnten laut eigener Abschätzung im zweiten Versuch die Selektion sowohl beim Memory-Spiel (**Abbildung 39**) als auch

beim Autocockpit-Konfigurator (**Abbildung 40**) deutlich präziser ausführen. Lediglich der Aspekt der Natürlichkeit (Ableitung aus realen Gesten) war nicht gut bewertet (Mittelwert von 2,8 beim ersten und von 2,7 beim zweiten Versuch) und oft schwer verstanden – einige Versuchspersonen konnten selbst nach Erläuterungen des abgefragten Sachverhaltes die Frage nur schwer beantworten. Die Auswahl einer anderen Geste würde jedoch nach ihren Kommentaren möglicherweise die empfundene Natürlichkeit steigern. Somit lässt sich **These 4** bis auf den Aspekt der Natürlichkeit beweisen.

- Für den erfolgreichen Umgang mit der Interaktion spielten das Alter, die Nationalität, das Geschlecht und der Beruf/die Ausbildung der Versuchsperson keine starke Rolle. Beispielsweise wiesen ein 58-jähriger Metzger (ID 17) und ein 43-jähriger Konstrukteur (ID 01) beide überdurchschnittliche Ergebnisse bei den Spielzeiten für das Memory-Spiel im zweiten Versuch auf. Die älteste Testperson, eine 71-jährige Pharmazeutin in Rente (ID 07), die nie mit Maus und Tastatur gearbeitet hat, schnitt nur knapp unter dem Durchschnitt ab. Drei der besten vier sowie die drei schlechtesten durchschnittlichen Spielzeiten im zweiten Versuch wurden von Frauen erzielt; hierbei gehört die zweitschlechteste Spielzeit der einzigen Linkshändlerin. Die in **These 3** postulierten Korrelationen stimmen also im Hinblick auf die Interaktion mit Gesten nur anteilig und zwar sehr schwach.
- Die im Versuch eingesetzte Technologie zur Erfassung psychophysiologischer Größen wird von fast allen Testpersonen gut akzeptiert. Im zweiten Versuchsteil hat nur je eine Testperson das Tragen des NeXus-32 Gerätes, der Elektroden im Gesichtsbereich und der Messsensoren an den Fingern als eher nicht komfortabel (Note „4“ oder „5“) empfunden. Der Mittelwert des empfundenen Tragekomforts beläuft sich in beiden Versuchsteilen bei allen Aspekten auf einen guten Wert (zwischen 1,7 und 2,0 beim zweiten Versuch, bzw. zwischen 2,1 und 2,3 beim ersten Versuch).
- Die Beschreibung der individuell besten Konfiguration mit schlagkräftigen Adjektiven zeigte, dass unterschiedliche Personen oft gegensätzliche Eigenschaften des Autocockpits als gut empfinden. Beispielsweise wurde im ersten Versuch einerseits das Adjektiv „altmodisch/klassisch“ fünfmal und andererseits das gegensätzliche Adjektiv „modern“ dreimal verwendet; beide Segmente sind sowohl bezüglich Geschlecht als auch bezüglich Alter über alle Kategorien gemischt, was nicht im Sinne der **These 3** ist. Während einige Versuchspersonen beruhigend wirkende Autocockpits vorzuziehen, befürworteten andere Testpersonen Autocockpits, die das Auto sportlich und schnell aussehen lassen – die Emotionsdimension Erregung ist daher bei der Auswahl eines Autocockpits grundsätzlich kein eindeutiges und zuverlässiges Merkmal. Dagegen lösen die individuell besten Konfigurationen eindeutig positive Valenz der Emotionen aus, die mit Adjektiven wie „positiv“ und „angenehm“ ausgedrückt wird. Sehr wichtiges emotionales Kriterium für ein Autocockpit scheint die funktionelle Eigenschaft „komfortabel/bequem“ mit

insgesamt zehn Nennungen in beiden Versuchen zu sein. Dies bestätigt nochmals die **These 2**, die den Einfluss des funktionellen Designs auf die Kundenemotionen postuliert. Auch der Bezug zum Preis und sozialen Status ist für viele Personen wichtig – Adjektive wie „edel“, „nobel“, „exklusiv“ und „erfolgreich“ bilden eine der am häufigsten angesprochenen Wortkategorie. Zu erwähnen ist auch der emotionale Bezug zur Sicherheit und Wärme (Adjektive „warm/sommerlich“ und „kühl“) bei mehreren Versuchspersonen. Die benutzten Worte beziehen sich im Allgemeinen sowohl auf das ästhetische (z.B. „schön“, „harmonisch“, „stylish“) als auch auf das funktionsbezogene (z.B. „bequem“, „praktisch“, „sauber“) Design.

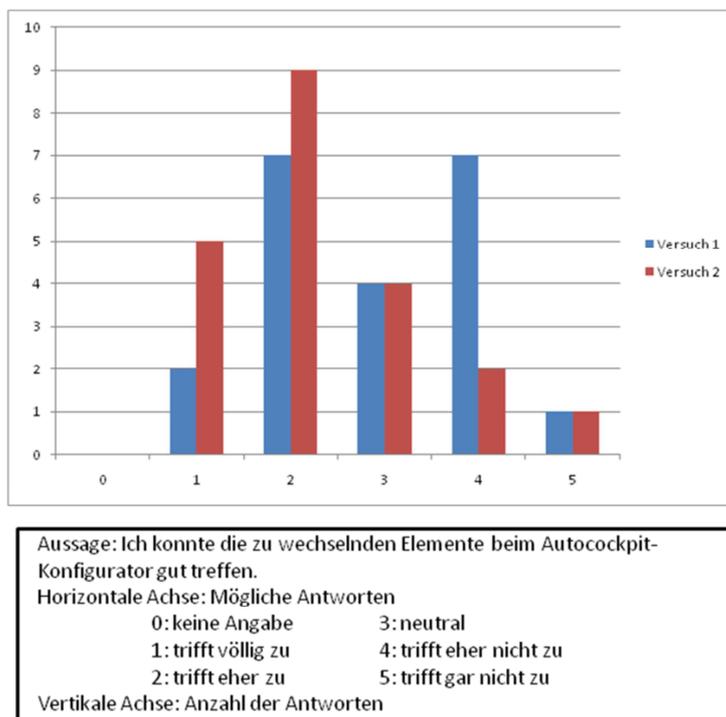


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der eigenen Abschätzungen der Versuchspersonen über die Präzision des Selektierens während des Autocockpit-Konfigurierens in beiden Versuchen der EMO VR-Studie

- Bei der Beschreibung der individuell schlechtesten Konfiguration haben fast alle Versuchspersonen die allgemeine Beschreibung „unpassend“ verwendet, was die Schwierigkeiten der verbalen Formulierung von affektiven Empfindungen verdeutlicht. Wie bei der individuell besten Konfiguration, werden manchmal gegensätzliche Eigenschaften als störend empfunden (z.B. „hell“ und „dunkel“).
- Die detaillierte statistische Auswertung der Ergebnisse zeigte schwache bis mittlere Korrelationen zwischen dem emotionalen Kundenfeedback über einzelne Varianten einerseits und personenbezogenen Merkmalen, wie Alter, Geschlecht und Persönlichkeitswerten aus den Fragebögen NEO-FFI und BIS/BAS andererseits. Somit

konnte, wie in der Studie NICE (siehe Kapitel 5.1.5), **These 3** nur teilweise bestätigt werden.

- Der Kernversuch der interaktiven Konfiguration in Virtueller Realität lieferte ausreichend Informationen über die individuellen, gruppenspezifischen und allgemeinen emotionalen Präferenzen von Produktvarianten, so dass einige Varianten eindeutig als „zu verfolgend“ (beispielsweise Variante 4 des Bodens laut **Tabelle 14** allgemein, oder Variante 1 des Lenkrads laut **Tabelle 14** für Fahrer, die klassische und beruhigend wirkende Autos vorziehen) und weitere Varianten wiederum als „zu verwerfend“ (beispielsweise Variante 1 des Bodens laut **Tabelle 14**) klassifiziert werden konnten. Dies beweist grundsätzlich **These 9**; abhängig von dem Variantenraum und der Zielgruppe müsste jedoch für jeden einzelnen Anwendungsfall das konkrete Versuchsdesign angepasst werden.
- Der Versuch wurde einstimmig als interessant und zukunftsorientiert (Note „1“ oder „2“) bewertet. Fast alle Testpersonen sind der Ansicht, dass die eingesetzte Technologie zukünftig in der Praxis Anwendung findet; nur zwei Versuchspersonen beim ersten Versuch (Noten „4“) und eine Versuchsperson beim zweiten Versuch (Note „3“) zeigten diesbezüglich Vorbehalte.

5.3. Nutzen und Aufwand der Methodik

Die im Kapitel 4 ausführlich vorgestellte und in den Kapiteln 5.1 und 5.2 erfolgreich validierte Methodik ermöglicht das Frontloading des emotionalen Kundenfeedbacks über variantenreiche virtuelle Produkte in die Konzeptphase der Produktentwicklung. Diese Methodik basiert auf Emotionserfassung mittels psychophysiologischer Messungen, die bei Gewährleistung der Mobilität der Versuchsperson in einer begehbaren immersiven Umgebung durchgeführt werden. Laut Kapitel 5.2.7 liefern die psychophysiologischen Messungen deutlich intersituational zuverlässigere Ergebnisse als der Einsatz klassischer Befragungsmethoden. Die Auswahl von Lösungskonzepten für zukünftige Produkte kann auf dieser Art und Weise kundenzentriert statt ausschließlich durch technisch-wirtschaftliche Analyse erfolgen; so wird der Bruch der Kundeneinbindung zwischen der Formulierung der Produktanforderungen und dem Testen erster physikalischen Prototypen vermieden. Die Methodik baut den Wissensvorsprung bei der kundenzentrierten Lösungsauswahl auf zahlreichen Synergien zwischen den Beteiligten mit unterschiedlichem Hintergrund (Ingenieure, Designer, Virtual Reality Experten, Marketingfachkräfte, Psychologen und Kunden) auf.

Nachteilig für den Einsatz der Methodik wirkt sich der benötigte Ressourcenaufwand aus. Dieser Aufwand ist für die Gewinnung relevanter und zuverlässiger Ergebnisse notwendig und wird bei mittleren und großen Unternehmen durch die anschließende Kosteneinsparung und die Marktvorteile aufgrund Kundenzentriertheit und Verkürzung der Produktentwicklungszeit kompensiert. Der Zusatzaufwand zur gewöhnlichen Produktentwicklung entsteht hauptsächlich durch die notwendigen Ressourcen für die

Bildung einer repräsentativen Testgruppe, für die Planung und Durchführung von komplexen Versuchen, an denen Experten unterschiedlicher Disziplinen mit den entsprechenden komplementären Sichten beteiligt sind, sowie für die Auswertung der Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie. Der Gesamtaufwand lässt sich durch genaue Festlegung der Versuchsziele und Fokussierung auf die Hauptmerkmale für die Untersuchung in sinnvollen Grenzen halten. Die Methodik soll daher angepasst an jeden einzelnen Anwendungsfall durchgeführt werden.

Die Zusammenfassung des Nutzens und des Aufwandes der in dieser Arbeit entwickelten Methodik kann der **Tabelle 16** entnommen werden.

Tabelle 16: Nutzen und Aufwand der entwickelten Methodik

Nutzen der Methodik	Aufwand der Methodik
Frontloading des emotionalen Kundenfeedbacks über variantenreiche virtuelle Produkte in die Konzeptphase der Produktentwicklung	Ressourcenaufwendige Bildung einer repräsentativen Testgruppe
Kundenzentrierte Auswahl von Lösungskonzepten	Relativ hoher Ressourcenaufwand wegen der notwendigen Komplexität des Versuchsdesigns
Hohe Zuverlässigkeit der psychophysiologischen Messergebnisse im Gegensatz zu Ergebnissen aus Befragungen	Relativ zeitaufwendige Auswertung der Ergebnisse aus psychophysiologischen Versuchen
Nutzung von Synergien zwischen allen Beteiligten in den Produktentwicklungsprozess	

6. Diskussion und Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurde im Kapitel 4 eine detaillierte interdisziplinäre Methodik zur Erfassung und Auswertung von emotionalem Kundenfeedback über variantenreiche virtuelle Produkte in der Konzeptphase ihrer Entwicklung ausgearbeitet. Diese Methodik wurde im Kapitel 5 vollständig validiert. Die wichtigsten Ergebnisse aus der Arbeit, die auf die Überprüfung der Gültigkeit der neun Thesen beruhen, die während der Ausarbeitung der Methodik formuliert worden sind, können der **Tabelle 17** entnommen werden. Neben der Nummer der These ist dabei in Klammern der zugehörige Schritt der Methodik vermerkt.

Die Virtuelle Realität wurde als passende Technologie für das Erleben von Konzepten für zukünftige Produkte identifiziert. Zwecks Verbesserung des Vorstellungsvermögens des potenziellen Kunden ist das gleichzeitige Ansprechen mehrerer menschlicher Sinne ratsam – neben der üblichen Visualisierung vermitteln beispielsweise realitätsnahe akustische und haptische Signale dem Kunden wichtige Informationen. Der Kunde empfindet neben dem ästhetischen auch das funktionale Design von Produkten emotional, so dass für die Gewinnung seines vollständigen emotionalen Feedbacks über ein Produkt die Darstellung von Funktionalitäten unentbehrlich ist. Im Hinblick auf die Visualisierung erwiesen sich stereoskopisches Sehen und die Darstellung in reeller Größe als vorteilhaft für das Eintauchen in die virtuelle Welt. CAVE-Umgebungen erhöhen daher das Vorstellungsvermögen des Kunden im Vergleich zu Ein-Wand-Projektionen. Die gängige Interaktion und die damit verbundene Ausführung von Konfigurationsaktionen wurden als Schwachstellen der immersiven Umgebungen identifiziert. Wegen der Vielfalt der Erfahrungen, persönlichen und beruflichen Hintergründe der potenziellen Kunden konnten bei der ersten Nutzung weder Lösungen aus der Spielindustrie noch Ansätze der Gestenerkennung von allen Testpersonen erfolgreich angewendet werden. Diese beiden Ansätze wurden im Laufe der Arbeit verbessert und weiterentwickelt. Der allgemeine Lerneffekt bei der Nutzung von Gesten war deutlich größer und schneller, so dass sie nach Überwindung eventueller Anfangsschwierigkeiten passend für die Interaktion zu Konfigurationszwecken in Virtueller Realität sind. Die Interaktion mit Gesten wird als intuitiv empfunden, während der Begriff der Natürlichkeit der Interaktion umstritten ist. Durch die jahrhundertelange Anpassung des Menschen an die Technik wurden sie für neue Interaktionsparadigmen sensibilisiert, so dass gelernte Interaktionsformen die ursprünglich angeborenen teilweise ersetzen und das Gefühl der Natürlichkeit somit unsauber ist.

Die Nutzung von psychophysiologischen Messungen zur Erfassung von Kundenemotionen für virtuelle Produkte zeigte sich deutlich zuverlässiger als die üblich angewendeten Fragebogentechniken. Kognitiv bewusst verarbeitete Bewertungen der eigenen Emotionen sind sehr oft schwierig oder willkürlich und somit stark verfälschend. Messungen peripherer physiologischer Größen sind hingegen kaum opportunistisch beeinflussbar. Die Reliabilität der Messungen wird durch sorgfältig ausgewählte Methoden zur emotionalen Kalibrierung gewährleistet – die Kalibrierung soll anhand geeigneter Szenarien in einer vergleichbaren Umgebung und mit derselben Interaktion wie beim Kernversuch durchgeführt werden.

Zuverlässige Ergebnisse über die Emotionsdimension Valenz können anhand von EMG-Messungen gewonnen werden. Ohne großen Aufwand sind auch EDA- und BVP-Messungen möglich, die wegen der Natur des Signals nur bei der Auswertung von Messwert-Sequenzen mit einer Länge von mindestens drei Sekunden zusätzlich berücksichtigt werden können. Auf EEG-Messungen soll sowohl wegen ethischer Bedenken bezüglich der Verletzung der Privatsphäre durch Untersuchung der Gehirnaktivität als auch wegen dem zu hohen Vorbereitungsaufwand (ca. 30 Minuten zur Anbringung der Elektroden) verzichtet werden.

Die Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie von Messungen ist technisch mit einer befriedigenden Güte der Synchronisierung (im Bereich einiger Hundertstel der Sekunde) realisierbar. Auf dieser Weise können auch für sehr kurze emotionale Mikroausdrücke kausale Zusammenhänge zu den Auslösern festgestellt werden. Diese Methode kann eine sehr große Anzahl von personenbezogenen Aussagen über Emotionen und ihre Auslöser liefern, die Auswertung benötigt aber einen dementsprechend hohen Zeitaufwand und großes Knowhow bei der Mustererkennung. Eine weitgehend vollständige Automatisierung ist wegen der Komplexität der Zusammenhänge derzeit unmöglich. Aus diesem Grund muss der Umfang der Untersuchung „so klein wie möglich und so groß wie nötig“ gehalten werden.

Der störende Einfluss der Interaktion auf die Messung von Emotionen für interaktiv erlebte virtuelle Produkte ist nur bei ungeübten Nutzern wesentlich. Denn kleine Probleme mit der Interaktion können durch entsprechende emotionale Kalibrierung im Versuchsdesign identifiziert und herausgefiltert werden. Größere Probleme mit der Interaktion können hingegen langfristig das untersuchte Produkt in der Rolle des tatsächlichen Emotionsauslösers ersetzen und die Stimmung des Kunden nachhaltig beeinflussen. Aus diesem Grund empfehlen sich bei ungeübten Nutzern vom Versuchsbetreuer eingeleitete längere Phasen der bewussten emotionalen Fokussierung auf bestimmte Konfigurationen (je ca. 30 Sekunden), währenddessen keine Interaktion mit der virtuellen Welt stattfindet (ausgenommen von Headtracking). Auch bei geübten Nutzern ist von hektischem Wechsel zwischen den Varianten abzuraten, denn relevante Messergebnisse können am besten anhand von Messwert-Sequenzen gewonnen werden, die eine Länge von mindestens einigen Sekunden aufweisen.

Als eindeutiges Merkmal für eine hohe wahrgenommene Produktqualität und für eine große subjektive transaktionsspezifische Kundenzufriedenheit mit dem Produkt fungiert die positive Valenz im PAD-Modell (siehe Kapitel 2.3.2.3). Ein ansprechendes Produkt erzeugt ausschließlich positive Emotionen beim Kunden. Die Erregungsdimension ist weniger aussagekräftig, denn es besteht keine eindeutige Korrelation zwischen dem Grad der Erregung und dem Grad der Zufriedenheit – einige Kunden empfinden Erregung und andere Ruhe als zufriedenheitsstiftend. Die Dominanzdimension spielt für die in dieser Arbeit beschriebene Anwendung eine sehr untergeordnete Rolle und kann zudem schwer erfasst werden, so dass sie nicht berücksichtigt werden soll.

Die Bildung einer repräsentativen Testgruppe ist eine aufwendige Herausforderung, die zur Vermeidung von Beeinflussungen am besten durch einheitliche direkte Ansprache erfolgen soll. Die Teilnahme an der Untersuchung sollte aus Datenschutzgründen freiwillig sein und die Testperson muss mit der Aufnahme der eigenen peripheren physiologischen Größen einverstanden sein. Dies ist aus den Erfahrungen mit der EMO VR-Studie nicht problematisch, denn es finden sich quer über alle Geschlechts-, Alters-, Nationalitäts- und Berufsgruppen interessierte potenzielle Kunden für die Teilnahme am Versuch. Viel herausfordernder dagegen ist die Gewährleistung der repräsentativen Natur der Untersuchung, da die Festlegung der Segmentierungskriterien und die genaue Definition von Klassen opportunistisch und unpassend erfolgen können. Diese Gefahr ist aber in der Marktforschung allgemeingültig und nicht nur für die hier vorgestellte Methodik vorhanden. Daher muss diesem Aspekt eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die Akzeptanz der eingesetzten Technologien für Erfassung peripherer physiologischer Parameter in der Studie EMO VR fiel überraschend hoch aus. Hinter der Nutzung allergenfreier, wenn möglich vorgelieferter Elektroden stecken bei Einhaltung der einfachen hygienischen Regeln kaum Risiken. Die Versuchsperson spürt während der Anbringung und Entfernung der Messapparatur keine Schmerzen. In Diskussionen nach den Versuchen haben fast alle Testpersonen dem Versuchsteam mitgeteilt, dass sie während der Versuche größtenteils das Tragen der Elektroden nicht mehr bewusst wahrgenommen haben. Das eingesetzte tragbare Messgerät erlaubte, wegen seiner relativ kleinen Abmessungen und der kabellosen Datenübertragung zum Rechner per Bluetooth, die fast uneingeschränkte Mobilität der Versuchsperson; hierbei waren die Bewegungsartefakte der Messergebnisse gering.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Emotionserkennung anhand peripherer physiologischer Messversuche in Virtueller Realität eine geeignete Methodik zur Erforschung der transaktionalen Kundenzufriedenheit in der Phase der ersten Begegnung mit dem virtuellen Produkt laut dem PPR-Lebenszyklusmodell (siehe Kapitel 2.5) darstellt. Damit die Kundenzufriedenheit ganzheitlich erforscht wird, soll diese Methodik komplementär mit Methoden der kognitiven Bewertung von Sachmerkmalen virtueller Produkte angewendet werden. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz ist die organisationale Akzeptanz der Methodik, die durch wandlungsfähige lernende Unternehmen und einer Projektstruktur begünstigt wird. Die Methodik erlaubt beliebig komplexe Untersuchungen, so dass im Rahmen des jeweiligen Projektes sinnvolle Rahmenbedingungen festzulegen sind. Im Hinblick auf den Aufwand ist die Methodik bei mittleren und großen Unternehmen effizient anwendbar; bezüglich der Produktart ist sie nur für begeisterungsfähige Gebrauchsgüter im Konsumbereich geeignet. Sie soll ausschließlich in den Konzeptphasen der Produktentwicklung zur kundenzentrierten Auswahl von Lösungskonzepten für zukünftige Produkte angewendet werden. Der Einsatz der biologischen Messmethoden als Teil dieser Methodik in der Vertriebsphase des Produktlebenszyklus wird hier als manipulativ angesehen und ausdrücklich nicht befürwortet.

Tabelle 17: Übersicht der wichtigsten Ergebnisse der Arbeit

Nr.	These	Studie zur Validierung	Ergebnis
1 (S1)	<i>Die multimodale Darstellung von Produktmerkmalen bringt für den Kunden einen Vorteil bei der emotionalen Beurteilung des virtuellen Produktes gegenüber der rein visuellen Darstellung.</i>	NICE	bestätigt
2 (S1)	<i>Die Produktfunktionen sind für den Kunden bei der emotionalen Beurteilung des virtuellen Produktes wichtig.</i>	NICE, EMO VR	bestätigt
3 (S2)	<i>Die demographischen Parameter und der Beruf / die Ausbildung der Versuchspersonen einerseits sowie die Erfahrung der Versuchspersonen mit dem untersuchten Produkt und der Versuchsumgebung andererseits, üben einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse aus und stellen somit relevante Segmentierungskriterien dar.</i>	NICE, EMO VR	teilweise bestätigt; Einfluss ist vorhanden, aber manchmal klein
4 (S3)	<i>Die Erkennung von Gesten stellt eine natürliche, intuitive und leicht erlernbare Modalität zur Interaktion mit virtuellen Produkten dar.</i>	NICE, EMO VR	generell bestätigt; Natürlichkeit abhängig von gewählten Gesten
5 (S3)	<i>Dreidimensionale Visualisierungen in immersiven Umgebungen erhöhen das Vorstellungsvermögen des Nutzers gegenüber zweidimensionalen Darstellungen und dreidimensionalen Darstellungen auf Powerwalls.</i>	NICE	bestätigt
6 (S3)	<i>Für unterschiedliche Testgruppensegmente lassen sich unterschiedliche passende Interaktionsgeräte und Konfigurationsmenüs für eine bestimmte Anwendung identifizieren.</i>	NICE	bestätigt
7 (S4)	<i>Die Aufzeichnung und Gegenüberstellung der Interaktions- und der Emotionschronologie bei psychophysiologischen Messungen in immersiver Umgebung kann mit hinreichender Genauigkeit durchgeführt werden, um eine zuverlässige eindeutige Identifizierung von auslösenden Aktionen für die einzelnen emotionalen Reaktionen zu ermöglichen.</i>	EMO VR	bestätigt
8 (S5)	<i>Das emotionale Kundenfeedback über individualisierte Gebrauchsgüter mit hohem potenziellem hedonistischem Nutzen lässt sich mittels biophysilogischer Größen zuverlässig erfassen.</i>	EMO VR	bestätigt
9 (S6)	<i>Repräsentative Kundengruppen können durch interaktive Konfiguration in VR anhand Konzeptmodelle den optimalen Variantenraum für das spätere Produkt bestimmen.</i>	EMO VR	generell bestätigt; Erfolg abhängig vom Versuchsdesign

7. Ausblick

Die vorliegende Arbeit ist ein Pionierbeitrag zur anwendungsgetriebenen Kombination des Wissens und des Knowhows mehrerer Disziplinen, um ein bekanntes Problem der kundenzentrierten Produktentwicklung kreativ und innovativ zu lösen. Sie bietet Antworten auf mehrere Fragen der Grundlagenforschung und zeigt erfolgreiche praxisnahe Anwendungen, ohne den Anspruch der Serienreife zu erfüllen.

Wie die Ergebnisse der beiden durchgeführten Studien NICE (Kapitel 5.1.5) und EMO VR (Kapitel 5.2.7) belegen, hat die in dieser Arbeit entwickelte Methodik eine klare zukunftsorientierte Ausrichtung. Zur Gewährleistung ihres effektiven, effizienten und dem Zeitgeist entsprechenden vorausschauenden Einsatzes wird an dieser Stelle auf folgende wichtige Aspekte aufmerksam gemacht:

- Der Aufwand bei der Auswertung der Ergebnisse aus der Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie lässt sich durch eine weitgehende Automatisierung der Prozedur deutlich reduzieren. Dies ist allerdings selbst ein aufwendiges und sehr ambitioniertes Vorhaben, das langjährig verfolgt sein muss. Diese Tatsache ist begründet durch die Komplexität der Mustererkennung, die zur Entfaltung des Gesamtpotenzials die Einbeziehung von interdisziplinärem Knowhow und sogar der menschlichen Intuition und Kreativität fordert. Langfristiges Ziel soll eine Auswertung in Echtzeit darstellen, die globaler betrachtet auch die Realisierung einer empathischen Mensch-Maschine-Interaktion ermöglichen würde.
- Bedingt durch die rasanten technologischen Entwicklungen, müssen die in dieser Arbeit gemachten konkreten Vorschläge für die Realisierung der Versuchsumgebung kontinuierlich aktualisiert werden, was im Schritt 3 der Methodik schon berücksichtigt ist. Diese Vorschläge können unter Umständen den Einsatz der Methodik wesentlich erleichtern und ihr Einsatzfeld erweitern. Beispielsweise würde eine technisch robust umsetzbare Kombination aus Emotionserkennung mittels mimischer Verhaltensausrücke (derzeit extrem kompliziert zum Berechnen und mit 3D-Brillen nicht vereinbar) und autostereoskopischer 3D-Projektion, die für Bewegungsartefakte nicht anfällig ist (derzeit unmöglich), die notwendigen technischen Voraussetzungen stark reduzieren und die Methodik auch für mobile Endgeräte anwendbar machen. Dies würde den Immersionsgrad zwar verringern, aber eine standortungebundene und kostensparende Massenanwendung ermöglichen, womit sie auch für kleine Unternehmen wirtschaftlich einsetzbar wäre. Darüber hinaus ist der Einsatz von integrierten Messsensoren für periphere physiologische Größen auf tragbaren Interaktionsgeräten vielversprechend. Zukunftsweisende Ansätze der Gestenerkennung können noch intuitivere und leichter erlernbare Interaktionsparadigmen zur Verfügung stellen.
- Die organisatorische Akzeptanz der vorgeschlagenen Methodik stellt eine komplexe Fragestellung für die Organisationspsychologie dar, die in einer separaten Arbeit

grundsätzlich erforscht werden soll. Eine solche Arbeit würde auf Basis der Berücksichtigung exogener Erfolgsfaktoren Richtlinien zur Umsetzung der Methodik und eventuelle Änderungen vorschlagen. So wäre die Methodik, die in dieser Arbeit unter kontrollierten Laborbedingungen validiert wurde, unter hochkomplexen Feldbedingungen wiederholbar und routiniert einsatzfähig.

8. Anhang

8.1. Anhang A: Fragebogen für Versuchspersonen in der Studie NICE



Feedbackbogen zum Versuch „NICE“: Variante A Teil 1 von 5

Versuchsperson-ID: _____

Geschlecht: m w

Alter: _____

Studierrichtung/Beruf: _____

Nationalität: _____

Selbsteinschätzung:	Info völlig zu	Info gar nicht zu
<ul style="list-style-type: none">• Ich bin mit modernen Technologien der Virtuellen Realität vertraut.• Ich bin geübt im Umgang mit 3D-Software.• Ich habe bereits Erfahrung mit dem Kauf von Küchen bzw. Kücheneinrichtung.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Feedbackbogen zum Versuch „NICE“: Variante A
Teil 2 von 5 (PC)

Versuchsperson-ID: _____

Interaktion:	Info folgt zu	Info gehört zu
<ul style="list-style-type: none"> • Ich finde diese Art der Interaktion am PC vorteilhaft. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Ich habe mich schnell an die Bedienung mit Maus und Tastatur gewöhnt. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Die Art der Visualisierung am Bildschirm hat meine Realitätsvorstellung unterstützt. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Ich denke, dass diese Art von Interaktion keinen Mehrwert schafft. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Konfigurator:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Ich finde die Auswahlmöglichkeiten über ein Drop-Down-Menü mit Preview-Funktionalität hilfreich für die Planung von Küchen. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Ich bin zufrieden mit der technischen Umsetzung des Auswahlmenüs. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Ich sehe durch das vorhandene Auswahlmenü keinen Mehrwert bei der Küchenplanung. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Feedbackbogen zum Versuch „NICE“: Variante A
Teil 3 von 5 (MR)

Versuchsperson-ID: _____

	stark zufrieden	zufrieden	neutral	unzufrieden	stark unzufrieden
Interaktion:					
• Ich finde diese Art der Interaktion an der Powerwall (Stereoskopie, Tracking, Flystick) vorteilhaft.	<input type="checkbox"/>				
• Ich habe mich schnell an die Bedienung des Flysticks gewöhnt.	<input type="checkbox"/>				
• Die Art der dreidimensionalen Visualisierung hat meine Realitätsvorstellungen unterstützt.	<input type="checkbox"/>				
• Ich denke, dass diese Art von Interaktion keinen Mehrwert schafft.	<input type="checkbox"/>				
Konfigurator:					
• Ich finde die Auswahlmöglichkeiten über ein reines Bildmenü hilfreich für die Planung von Küchen.	<input type="checkbox"/>				
• Ich bin zufrieden mit der technischen Umsetzung des Auswahlmenüs.	<input type="checkbox"/>				
• Ich sehe durch das vorhandene Auswahlmenü keinen Mehrwert bei der Küchenplanung.	<input type="checkbox"/>				

Feedbackbogen zum Versuch „NICE“: Variante A
Teil 4 von 5 (VR)

Versuchsperson-ID: _____

	sehr wichtig	sehr gering	sehr wichtig	sehr gering
Interaktion:				
• Ich finde diese Art der Interaktion in der CAVE (Stereoskopie, Tracking, Maßstabstreue, Drei-Seiten-Projektion, Datenhandschuh) vorteilhaft.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich habe mich schnell an die Bedienung des Datenhandschuhs gewöhnt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Art der virtuellen Realität hat meine Vorstellungen unterstützt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich denke, dass diese Art von Interaktion keinen Mehrwert schafft.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Konfigurator:				
• Ich finde die Auswahlmöglichkeiten über ein im Raum schwebendes Menü hilfreich für die Planung von Küchen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich bin zufrieden mit der technischen Umsetzung des schwebenden Menüs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich sehe durch das vorhandene Auswahlmenü keinen Mehrwert bei der Küchenplanung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Feedbackbogen zum Versuch „NICE“: Variante A
Teil 5 von 5

Versuchsperson-ID: _____

<p>Akustische Effekte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Präsenz von akustischen Effekten hat mich positiv gestimmt. • Ich war begeistert von der Realisierung der akustischen Effekte. • Die akustischen Effekte haben mich gestört. <p>Realistische Effekte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die realistischen Effekte (z.B. Rötung der Kochplatten) haben mir gefallen. • Die Umsetzung der realistischen Effekte war ansprechend. • Ich finde realistische Effekte überflüssig. <p>Überraschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ich habe die Überraschung mit dem laufenden Wasserhahn bemerkt. <p>Wenn Sie mit „ja“ geantwortet haben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Überraschungseffekt hat mir gefallen. • Meine Aufmerksamkeit wurde durch den Überraschungseffekt von der eigentlichen Küchenplanung abgelenkt. • Die technische Umsetzung des Überraschungseffektes war gut. • Ich beurteile den Überraschungseffekt als überflüssig. 	<p style="text-align: right;"><i>inftt</i> völlig zu <i>inftt</i> gar nicht zu</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>JA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NEIN</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>Gesamtbewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ich fand den Versuch zukunftsorientiert • Ich fand den Versuch interessant. 	<p style="text-align: right;"><i>inftt</i> völlig zu <i>inftt</i> gar nicht zu</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>Bitte beschreiben Sie Ihren Gesamteindruck von dem Versuch, inklusive Lob und Kritik!</p> <div style="border: 1px solid black; height: 50px; width: 100%;"></div>	

8.2. Anhang B: Fragebogen für Versuchsbetreuer in der Studie NICE



Feedbackbogen zum Versuch „NICE“ Versuchsbetreuer

PC MR VR

Versuchsperson-ID: _____

Bewertung des Versuchsteilnehmers:	nicht vollg zu	nicht gerade zu
• Der Versuchsteilnehmer ist motiviert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer ist begeistert von der angebotenen technologischen Lösung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer ist geübt im Umgang mit 3D-Spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer hat hohe Ansprüche an die fotorealistische Darstellung von Szenen und Objekten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer stellt viele Fragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer benötigt Hilfe bei der Interaktion mit der Szenerie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Versuchsteilnehmer hat offensichtliche Erfahrungen mit dem Kauf von Küchen bzw. Kücheneinrichtungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<u>Besondere Bemerkungen zum Versuchsteilnehmer oder zum Versuchsverlauf:</u>		

8.3. Anhang C: Korrelationskoeffizienten nach Spearman für ausgewählte Fragekombinationen aus der Studie NICE

	Selbst01	Selbst02	Selbst03	PC01	PC02	PC03	PC05	PC06	MR01	MR02	MR03	MR05	MR06	VR01	VR02	VR03	VR05	VR06	Akustik01	Akustik02	Real01	Real02
Selbst01	1,00	0,36	0,08	0,18	0,17	0,89	-0,09	0,04	0,20	0,31	-0,04	0,24	0,30	0,22	0,25	0,19	0,20	0,17	0,09	0,22	0,13	0,16
Selbst02		1,00	-0,11	0,02	0,09	-0,07	-0,02	0,05	0,18	0,12	-0,04	0,10	0,11	0,08	0,13	0,21	0,13	-0,09	0,00	-0,04	0,10	0,14
Selbst03			1,00	-0,09	-0,07	-0,09	-0,21	-0,29	-0,15	-0,00	-0,14	-0,21	-0,11	-0,04	-0,12	-0,14	-0,27	0,00	-0,09	0,03	0,03	0,17
PC01				1,00	0,49	0,43	0,31	0,46	0,35					0,10					0,32		0,15	
PC02					1,00	0,10	0,14	0,28		0,41					0,27					0,08		0,14
PC03						1,00	0,23	0,30			0,24					0,20				0,14		0,06
PC05							1,00	0,43				0,26					0,16					
PC06								1,00					0,29					0,11				
MR01									1,00	0,47	0,40	0,51	0,51	0,37					0,25		0,25	
MR02										1,00	0,32	0,27	0,50		0,36					0,31		0,13
MR03											1,00	0,36	0,40			0,36				0,23		0,30
MR05												1,00	0,49				0,29					
MR06													1,00					0,19				
VR01														1,00	0,63	0,57	0,53	0,39	0,24		0,29	
VR02															1,00	0,48	0,43	0,43		0,27		0,15
VR03																1,00	0,54	0,42		0,20		0,15
VR05																	1,00	0,43				
VR06																		1,00				
Akustik01																			1,00	0,59	0,46	0,31
Akustik02																				1,00	0,50	0,33
Real01																					1,00	0,52
Real02																						1,00

8.4. Anhang D: Ergebnisse der Kano-Methode in der Studie NICE

Interaktion bei der PC-Station		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	3	1	1	7	39	0
	2	1	1	9	17	8	0
	3	0	3	3	2	2	0
	4	0	1	3	0	0	0
	5	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Interaktion bei der MR-Station		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	3	1	4	4	22	0
	2	0	2	9	16	12	0
	3	0	0	9	6	0	0
	4	0	4	4	2	0	0
	5	0	2	0	1	1	0
	0	0	0	0	0	0	0

Interaktion bei der VR-Station		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	3	1	4	9	26	1
	2	0	2	4	26	5	0
	3	0	5	2	2	3	0
	4	1	5	1	0	1	0
	5	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Drop-Down Menü mit Preview-Funktionalität		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	2	4	2	9	30	0
	2	0	0	6	18	15	0
	3	0	1	4	6	0	0
	4	0	2	2	0	0	0
	5	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Reines Bildmenü		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	4	0	3	9	18	0
	2	3	2	10	13	16	0
	3	0	3	6	6	2	0
	4	0	3	1	2	0	0
	5	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Schwebendes 3D-Menü		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	1	2	6	11	20	0
	2	1	1	5	17	10	0
	3	0	3	2	6	3	0
	4	0	4	3	3	0	0
	5	2	0	0	2	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Akustische Effekte		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	1	1	0	6	40	0
	2	0	1	4	15	20	0
	3	0	4	2	3	1	0
	4	0	1	2	0	0	0
	5	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Realistische Effekte / Funktionen		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	0	1	2	12	45	0
	2	3	3	6	9	9	0
	3	1	4	2	0	2	0
	4	0	1	1	0	0	0
	5	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Überraschungseffekte		Negative Formulierung					
		1	2	3	4	5	0
Positive Formulierung	1	1	0	6	7	26	0
	2	1	1	5	10	7	0
	3	3	1	6	4	1	0
	4	2	4	1	1	0	0
	5	2	1	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

8.5. Anhang E: Ergebnisse für das Kano-Modell in der Studie NICE

Maus und Tastatur bei der PC-Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	1	4	5	41
	2	0	1	4	16	15
	3	0	1	4	3	2
	4	0	1	2	0	1
	5	0	1	0	0	0

Flystick bei der MR- Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	3	7	12	12
	2	1	3	10	20	5
	3	0	4	5	5	1
	4	0	5	4	1	0
	5	3	1	0	0	0

Datenhandschuh bei der VR-Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	0	7	17	20
	2	1	5	14	12	5
	3	1	3	6	2	0
	4	2	4	1	1	0
	5	1	0	0	0	0

Bildschirm bei der PC-Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	1	8	15	27
	2	0	1	8	18	9
	3	0	1	4	5	0
	4	1	2	0	1	0
	5	1	0	0	0	0

Powerwall bei der MR-Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	1	2	13	18
	2	0	0	10	17	12
	3	0	2	3	8	2
	4	0	1	5	3	1
	5	1	0	1	1	1

Drei-Wände-Projektion in CAVE-Modus bei der VR-Station		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	0	0	11	33
	2	0	2	6	17	12
	3	0	0	3	6	3
	4	0	2	3	3	0
	5	1	0	0	0	0

Drop-Down Menü mit Preview- Funktionalität		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	1	9	19	18
	2	0	6	11	16	6
	3	0	3	4	3	1
	4	0	2	1	1	0
	5	1	0	0	0	0

Reines Bildmenü		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	1	1	4	16	12
	2	1	8	15	15	5
	3	0	6	6	5	0
	4	0	3	2	1	0
	5	0	1	0	0	0

Schwebendes 3D- Menü		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	1	2	8	21	8
	2	2	8	7	16	1
	3	1	4	4	5	0
	4	4	1	5	0	0
	5	1	0	1	1	1

Akustische Effekte		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	0	5	24	19
	2	1	2	13	18	6
	3	2	4	3	1	0
	4	1	1	1	0	0
	5	1	0	0	0	0

Realistische Effekte / Funktionen		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	1	3	26	30
	2	1	1	10	14	3
	3	0	1	2	6	0
	4	0	1	1	0	0
	5	0	0	1	0	0

Überraschungseffekte		Qualität				
		5	4	3	2	1
Zufriedenheit	1	0	0	2	13	25
	2	0	1	6	11	6
	3	0	2	5	6	2
	4	0	2	2	3	1
	5	0	0	1	2	1

8.6. Anhang F: Anforderungsliste für die Produktvarianten in der Studie EMO VR



ANFORDERUNGSLISTE FÜR DAS VIRTUAL REALITY PRAKTIKUM IM WINTERSEMESTER 2011/2012

Aufgabe: Entwicklung eines Konfigurators für einen neuen Fahrzeugcockpit für den Fahrsimulator aus dem Sommersemester 2011

Begriffliche Festlegung: Beim Cockpit unterscheiden wir in unserer Aufgabenstellung laut *Abbildung 1*:

- Feste Elemente (Basis)
- Variable Elemente: Lenkrad, Schaltmechanismus und Pedale (gekennzeichnet mit „V“ auf *Abbildung 1*) sowie Elemente mit variablen Texturen



Abbildung 1: Cockpit eines Fahrzeugs

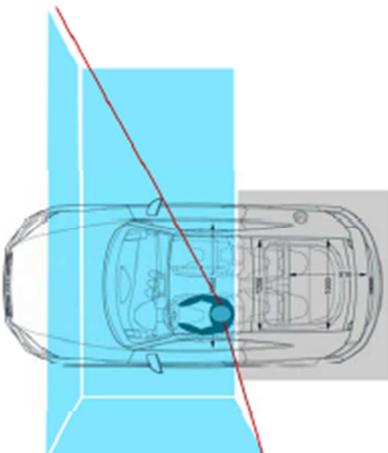
Abkürzungen:

FF – Festforderung; MF – Mindestforderung; W – Wunsch

Mach – Maschinenbauingenieur; Wing – Wirtschaftsingenieur; Inf – Informatiker; Math – Mathematiker

Praktikumsleiter: Jurica Katicic (Mach, Wing), Polina Stoyanova (Inf)

Projektleiter: [REDACTED] (Wing)

Allgemeine Anforderungen	FF/MF/W
<p>Der Konfigurator soll für Forschung von Kundenpräferenzen in sehr frühen Phasen der Produktentwicklung angewendet werden. Zur Vermeidung der unnötigen Einschränkung in diesen frühen kreativen Phasen soll auf Kostenbetrachtungen und Bauteilberechnungen völlig verzichtet werden.</p>	FF
<p>Das neue Cockpit soll sich hinsichtlich des Designs an den Stand der Technik der Fahrzeuge der Mittelklasse orientieren.</p>	FF
<p>Zu modellieren sind nur die Geometrie, die Farben und die Texturen der Elemente. Auf das Modellieren weiterer Eigenschaften ist zu verzichten.</p>	FF
<p>Das Modell soll realitätsnah sein.</p>	FF
<p>Die Vollständigkeit des Cockpits hat Priorität vor dem Detaillierungsgrad der Darstellung des Innenraums.</p>	FF
<p>Der Konfigurator muss auf der Drei-Wände-Projektion im VR-Labor vom LESC funktionsfähig sein.</p>	FF
<p>Es sind nur die vom Fahrersitz bei einem Sichtfeld von 180° sichtbaren Elemente des Fahrzeuges zu modellieren (siehe <i>Abbildung 2</i>). Die genaue Sicht muss durchgehend im VR-Labor vom LESC getestet, diskutiert und festgelegt sein.</p>	FF
<p>Die Anzahl elektronischer Elemente des Fahrzeugcockpits soll minimal gehalten werden.</p>	W
 <p style="text-align: center;">VR projection top view</p>	
<p>Abbildung 2: Sicht bei der Drei-Wände-Projektion in Virtueller Realität</p>	

Gruppe: Konstruktion Basis [Redacted] (Mach), [Redacted] (Mach), [Redacted] (Wing)	FF/MF/W
<p>Es ist eine gewünschte Identität für das Cockpit auf Basis von Befragungen junger Fahrerinnen und Fahrer zu definieren. Die Adjektive sind anhand von Beispielsbildern aus Fahrzeugcockpits zu ermitteln.</p>	FF
<p>Die Abmessungen des Cockpits sollen ergonomische Standarde aus der Fahrzeugindustrie im Maßstab 1:1 erfüllen.</p>	FF
<p>Die Basis soll unter Berücksichtigung der Schnittstelle zu den variablen Elementen in einem 3D-CAD-Programm als Einzelteil oder Assembly konstruiert und in ein entsprechendes Format für die Visualisierung in VR konvertiert werden.</p>	FF
<p>Anhand einer nach Alter (ca. 18 bis 60 Jahren) und Geschlecht (männlich, weiblich) gemischten Gruppe aus 10 Testpersonen sind die tatsächlichen beschreibenden Adjektive des modellierten Fahrzeugcockpits in einem Endversuch zu ermitteln.</p>	MF
<p>Der Endversuch soll in Virtueller Realität erfolgen.</p>	W
Gruppe: Konstruktion Variable Elemente [Redacted] (Mach), [Redacted] (Mach), [Redacted] (Wing)	FF/MF/W
<p>Es sind einfache Handskizzen des Designs mehrerer Varianten folgender drei Elemente zu erstellen: Lenkrad, Schaltmechanismus und Pedalen.</p>	FF
<p>Auf Basis von Befragungen junger Fahrerinnen und Fahrer sollten aus den konzipierten Varianten pro Element die zwei mit den besten Präferenzwerten und die Variante mit dem schlechtesten Präferenzwert zur Weiterverfolgung ausgewählt werden. Für die formale Beschreibung von Präferenzen sind plausible wissenschaftliche Ansätze zu nutzen.</p>	FF
<p>Die je drei ausgewählten Varianten des Lenkrads, des Schaltmechanismus und der Pedalen sollen in einem 3D-CAD-Programm konstruiert und in ein entsprechendes Format für die Visualisierung in VR konvertiert werden.</p>	FF
<p>Für das Cockpit ist eine geringe Anzahl von Bereichen mit einheitlicher variabler Textur auszuwählen. Für jeden Bereich sollen mindestens vier unterschiedliche Texturen auswählbar sein.</p>	MF
<p>Anhand einer nach Alter (ca. 18 bis 60 Jahren) und Geschlecht (männlich, weiblich) gemischten Gruppe aus 10 Testpersonen sind die modellierten Varianten und Texturen in einem Endversuch nach der Präferenz einzuordnen. Für die formale Beschreibung von Präferenzen sind plausible wissenschaftliche Ansätze zu nutzen.</p>	MF
<p>Der Endversuch soll in Virtueller Realität erfolgen.</p>	W

Visualisierung und Interaktion (Inf), (Math), (Wing)	FF/MF/W
<p>Es ist eine Entwicklungsumgebung für die virtuelle Szene zu wählen. Zur Verfügung stehen 3DVIA Virtools und das institutseigene openSG-basierte Framework „VRframework“. Für die Visualisierung auf der Drei-Wände-Projektion im LESC ist je nach ausgewählter Entwicklungsumgebung die Notwendigkeit der Distribution zu prüfen und gegebenenfalls zu implementieren.</p>	FF
<p>Für die Interaktion in Virtueller Realität ist ein Eingabegerät zu wählen. Zur Verfügung stehen Flystick2, Logitech G25, Wii Remote und Kinect.</p>	FF
<p>Das zur Verfügung stehende Head-Tracking von A.R.T. ist zu implementieren.</p>	FF
<p>Für die Konfiguration ist ein Menü zu konzipieren und zu implementieren. Das Menü soll mit den variablen Elementen und Texturen aufgefüllt werden.</p>	FF
<p>Zur Erfassung des Kontextes ist ein Streckenabschnitt aus dem Fahrsimulator aus Sommersemester 2011 zu implementieren.</p>	W
<p>Anhand einer nach Alter (ca. 18 bis 60 Jahren) und Geschlecht (männlich, weiblich) gemischten Gruppe aus 10 Testpersonen ist im Rahmen eines Versuches in Virtueller Realität die Bedienbarkeit des implementierten Menüs zu untersuchen. Zur Befragung soll die Kano-Methode mit bipolaren Fragen angewendet werden.</p>	MF

Eventuelle Unklarheiten bei der Anforderungsliste sind bis 3. November 2011 den Praktikumsleitern zu kommunizieren. Sie werden am 10. November 2011 im Gesamtteam besprochen und geklärt.

8.7. Anhang G: Fragebogen für Versuchspersonen im Teil 1 der Studie EMO VR



Fragebogen zum Versuch „EMO VR“ Seite 1 von 15: Vor dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____
Versuch: 1

Geschlecht: m w

Alter: _____

Beruf (bei Nicht-Studierenden): _____

Studienrichtung (bei Studierenden): _____

Nationalität: _____

Aktives Autofahren: oft gelegentlich selten gar nicht

Selbsteinschätzung:	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Neutral	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
• Ich bin mit modernen Technologien der Virtuellen Realität vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich bin mit aktuellem Interieur von Autos vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich habe bereits Erfahrung mit dem Kauf von Autos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 2 von 15: Vor dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

Im folgenden finden Sie eine Reihe von Eigenschaftspaaren. Bitte, entscheiden Sie - ohne lange zu überlegen - welche der beiden Eigenschaften Ihrem augenblicklichen Zustand am ehesten entspricht. Machen Sie in das Kästchen vor der eher zutreffenden Eigenschaft ein Kreuz. Nur wenn Sie sich gar nicht entscheiden können, machen Sie ein Kreuz in die Spalte "weder - noch". Lassen Sie keine Zeile aus.

Ich fühle mich jetzt:

	eher		eher		weder-noch
1.		frisch		matt	
2.		teilnahmslos		teilnahmsvoll	
3.		froh		schwermütig	
4.		erfolgreich		erfolglos	
5.		gereizt		friedlich	
6.		entschlusslos		entschlussfreudig	
7.		lustig		weinerlich	
8.		gutgelaunt		verstimmt	
9.		appetitlos		appetitfreudig	
10.		gesellig		zurückgezogen	
11.		minderwertig		vollwertig	
12.		entspannt		gespannt	
13.		glücklich		unglücklich	
14.		scheu		zugänglich	
15.		sündig		rein	
16.		sicher		bedroht	
17.		verlassen		umsorgt	
18.		ausgewogen		innerlich getrieben	
19.		selbstsicher		unsicher	
20.		elend		wohl	
21.		beweglich		starr	
22.		müde		ausgeruht	
23.		zögernd		bestimmt	
24.		ruhig		unruhig	
25.		schwunglos		schwungvoll	
26.		nutzlos		unentbehrlich	
27.		schwerfällig		lebhaft	
28.		überlegen		unterlegen	

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 3 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

Gesamtversuch:	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Neutral	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
• Das Tragen des Geräts ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Das Tragen der Elektroden im Gesichtsbereich ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Das Tragen der Messsensoren an Fingern ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist intuitiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist nutzerfreundlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist leicht erlernbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist leicht bedienbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten macht Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten machte mich müde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Interaktionsansatz leitet sich aus realen Gestiken ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion hat mich emotional beeinflusst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Beim Memory-Spiel konnte ich stets die von mir gewünschte Karte öffnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich konnte die zu wechselnden Elemente beim Autocockpit-Konfigurator gut treffen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 4 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

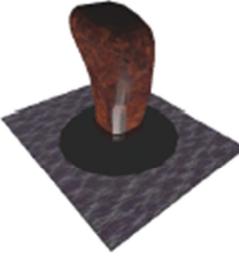
Versuch: 1

Lenkrad: Ich finde folgende Variante des Lenkrads ansprechend.														
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 5 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

Schaltmechanismus: Ich finde folgende Variante des Schaltmechanismus ansprechend.														
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedale: Ich finde folgende Variante der Pedale ansprechend.														
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 6 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

Texturen: Ich finde folgende Textur ansprechend.														
Holzelemente					Fußraum					Boden				
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu						Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 7 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

Gesamtversuch:	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
• Ich könnte mir vorstellen, dass diese Technologie in der Praxis Anwendung findet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich fand den Versuch interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich fand den Versuch zukunftsorientiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte beschreiben Sie Ihren Gesamteindruck von dem Versuch, inklusive Lob und Kritik!

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 8 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

BIS/BAS

Der folgende Fragebogen enthält eine Reihe von Feststellungen, mit denen man sich selbst beschreiben kann. Diese Feststellungen können *genau* auf Sie zutreffen, *eher zutreffen*, *eher nicht* oder *gar nicht* auf Sie zutreffen. Zur Beantwortung des Fragebogens setzen Sie ein Kreuz in den entsprechenden Kreis. Bitte beantworten Sie jede Feststellung, auch wenn Sie einmal nicht sicher sind, welche Antwort für Sie zutrifft. Kreuzen Sie dann diejenige Antwort an, die noch am ehesten auf Sie zutrifft.

	trifft für mich ...			
	gar nicht zu	eher nicht zu	eher zu	genau zu
1. Eine eigene Familie ist die wichtigste Sache im Leben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Sogar wenn mir etwas Schlimmes bevorsteht, bin ich selten nervös oder ängstlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Ich strenge mich besonders an, damit ich erreiche, was ich möchte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Wenn mir etwas gut gelingt, bleibe ich sehr gern bei der Sache.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Ich bin immer bereit, etwas Neues zu versuchen, wenn ich denke, dass es Spaß machen wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Es ist wichtig für mich, wie ich gekleidet bin.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Wenn ich erreiche, was ich will, bin ich voller Energie und Spannung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

BIS/BAS-Fragebogen – deutschsprachige Übersetzung aus dem Institut für Psychologie II, TU Dresden

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 9 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

	trifft für mich ...			
	gar nicht zu	eher nicht zu	eher zu	genau zu
8. Kritik und Beschimpfungen verletzen mich ziemlich stark.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Wenn ich etwas haben will, tue ich gewöhnlich alles, um es zu bekommen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Ich werde oft Dinge nur deshalb tun, weil sie Spaß machen könnten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Es ist schwierig für mich, Zeit für solche Dinge wie Friseurbesuche zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Wenn ich eine Chance sehe, etwas Erwünschtes zu bekommen, versuche ich sofort mein Glück.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Ich bin ziemlich besorgt oder verstimmt, wenn ich glaube oder weiß, dass jemand wütend auf mich ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Wenn ich eine Gelegenheit für etwas, das ich mag, sehe, bin ich sofort voller Spannung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Ich handle oft so, wie es mir gerade in den Sinn kommt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Wenn ich glaube, dass mir etwas Unangenehmes bevorsteht, bin ich gewöhnlich ziemlich unruhig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Ich wundere mich oft über das menschliche Verhalten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

BIS/BAS-Fragebogen – deutschsprachige Übersetzung aus dem Institut für Psychologie II, TU Dresden

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 10 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

	trifft für mich ...			
	gar nicht zu	eher nicht zu	eher zu	genau zu
18. Wenn mir etwas Schönes passiert, berührt mich das sehr stark.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Ich bin besorgt, wenn ich glaube, dass ich eine wichtige Sache schlecht gemacht habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Ich brauche Abwechslung und neue Erfahrungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Wenn ich etwas erreichen will, verfolge ich hartnäckig mein Ziel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Verglichen mit meinen Freunden habe ich sehr wenig Ängste.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Ich fände es sehr aufregend, einen Wettbewerb zu gewinnen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Ich habe Angst, Fehler zu machen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 11 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

NEO-FFI

Dieser Fragebogen umfasst 60 Aussagen, welche sich zur Beschreibung Ihrer eigenen Person eignen könnten. Lesen Sie bitte jede dieser Aussagen aufmerksam durch und überlegen Sie, ob diese Aussage auf Sie persönlich zutrifft oder nicht. Zur Bewertung jeder der 60 Aussagen steht Ihnen eine fünffach abgestufte Skala zur Verfügung. Kreuzen Sie bitte an:

- SA** (starke Ablehnung), wenn Sie der Aussage auf keinen Fall zustimmen oder sie für völlig unzutreffend halten.....SA A N Z SZ
- A** (Ablehnung), wenn Sie der Aussage eher nicht zustimmen oder sie für unzutreffend halten.....SA A N Z SZ
- N** (neutral), wenn die Aussage weder richtig noch falsch, also Weder zutreffend noch unzutreffend ist.....SA A N Z SZ
- Z** (Zustimmung), wenn Sie der Aussage eher zustimmen oder Sie für zutreffend halten.....SA A N Z SZ
- SZ** (starke Zustimmung), wenn Sie der Aussage nachdrücklich zustimmen oder sie für völlig zutreffend halten.....SA A N Z SZ

Es gibt bei diesem Fragebogen keine 'richtigen' oder 'falschen' Antworten, und Sie müssen kein Experte (keine Expertin sein), um den Fragebogen angemessen beantworten zu können. Sie erfüllen den Zweck der Befragung am besten, wenn Sie die Fragen so wahrheitsgemäß wie möglich beantworten.

Bitte lesen Sie jede Aussage genau durch und kreuzen Sie als Antwort die Kategorie an, die Ihre Sichtweise am besten ausdrückt. Falls Sie Ihre Meinung nach dem Ankreuzen einmal ändern sollten, streichen Sie Ihre erste Antwort bitte deutlich durch. Bitte bewerten Sie die 60 Aussagen zügig aber sorgfältig. **Lassen Sie keine Aussage aus.** Auch wenn Ihnen einmal die Entscheidung schwerfallen sollte, kreuzen Sie trotzdem immer eine Antwort an, und zwar die, welche noch am ehesten auf Sie zutrifft. Beginnen Sie bitte jetzt mit der Beantwortung!

Copyright by Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen
Urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigungen jeglicher Art, auch einzelner Teile oder Items, sowie die Speicherung auf Datenträgern oder die Wiedergabe durch optische oder akustische Medien, verboten.

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 12 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

1. Ich bin nicht leicht beunruhigt..... SA A N Z SZ
2. Ich habe gerne viele Leute um mich herum..... SA A N Z SZ
3. Ich mag meine Zeit nicht mit Tagträumereien verschwenden..... SA A N Z SZ
4. Ich versuche zu jedem, dem ich begegne, freundlich zu sein..... SA A N Z SZ
5. Ich halte meine Sachen ordentlich und sauber..... SA A N Z SZ
6. Ich fühle mich anderen oft unterlegen..... SA A N Z SZ
7. Ich bin leicht zum Lachen zu bringen..... SA A N Z SZ
8. Ich finde philosophische Diskussionen langweilig..... SA A N Z SZ
9. Ich bekomme häufiger Streit mit meiner Familie und
meinen Kollegen..... SA A N Z SZ
10. Ich kann mir meine Zeit recht gut einteilen, so dass ich meine
Angelegenheiten rechtzeitig beende..... SA A N Z SZ
11. Wenn ich unter starkem Stress stehe, fühle ich mich
manchmal, als ob ich zusammenbräche..... SA A N Z SZ
12. Ich halte mich nicht für besonders fröhlich..... SA A N Z SZ
13. Mich begeistern die Motive, die ich in der Kunst und in der
Natur finde..... SA A N Z SZ
14. Manche Leute halten mich für selbstsüchtig und selbstgefällig.. SA A N Z SZ
15. Ich bin kein sehr systematisch vorgehender Mensch..... SA A N Z SZ
16. Ich fühle mich selten einsam oder traurig..... SA A N Z SZ
17. Ich unterhalte mich wirklich gerne mit anderen Menschen..... SA A N Z SZ

Copyright by Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen
Urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigungen jeglicher Art, auch einzelner Teile oder Items,
sowie die Speicherung auf Datenträgern oder die Wiedergabe durch optische oder akustische Medien, verboten.

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 13 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

18. Ich glaube, dass es Schüler oft nur verwirrt und irreführt, wenn man sie Rednern zuhören lässt, die kontroverse Standpunkte vertreten.....SA A N Z SZ
19. Ich würde lieber mit anderen zusammenarbeiten, als mit ihnen zu wetteifern.....SA A N Z SZ
20. Ich versuche, alle mir übertragenen Aufgaben sehr gewissenhaft zu erledigen.....SA A N Z SZ
21. Ich fühle mich oft angespannt und nervös.....SA A N Z SZ
22. Ich bin gerne im Zentrum des Geschehens.....SA A N Z SZ
23. Poesie beeindruckt mich wenig oder gar nicht.....SA A N Z SZ
24. Im Hinblick auf die Absichten anderer bin ich eher zynisch und skeptisch.....SA A N Z SZ
25. Ich habe eine Reihe von klaren Zielen und arbeite systematisch auf sie zu.....SA A N Z SZ
26. Manchmal fühle ich mich völlig wertlos.....SA A N Z SZ
27. Ich ziehe es gewöhnlich vor, Dinge allein zu tun.....SA A N Z SZ
28. Ich probiere oft neue und fremde Speisen aus.....SA A N Z SZ
29. Ich glaube, dass man von den meisten Leuten ausgenutzt wird, wenn man es zulässt.....SA A N Z SZ
30. Ich vertrödele eine Menge Zeit, bevor ich mit einer Arbeit beginne.....SA A N Z SZ
31. Ich empfinde selten Furcht oder Angst.....SA A N Z SZ
32. Ich habe oft das Gefühl, vor Energie überzuschäumen.....SA A N Z SZ

Copyright by Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen
Urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigungen jeglicher Art, auch einzelner Teile oder Items,
sowie die Speicherung auf Datenträgern oder die Wiedergabe durch optische oder akustische Medien, verboten.

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 14 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

33. Ich nehme nur selten Notiz von den Stimmungen oder
Gefühlen, die verschiedene Umgebungen hervorrufen..... SA A N Z SZ
34. Die meisten Menschen, die ich kenne, mögen mich..... SA A N Z SZ
35. Ich arbeite hart, um meine Ziele zu erreichen..... SA A N Z SZ
36. Ich ärgere mich oft darüber, wie andere Leute mich behandeln SA A N Z SZ
37. Ich bin ein fröhlicher, gut gelaunter Mensch..... SA A N Z SZ
38. Ich glaube, dass wir bei ethischen Entscheidungen auf die
Ansichten unserer religiösen Autoritäten achten sollten..... SA A N Z SZ
39. Manche Leute halten mich für kalt und berechnend..... SA A N Z SZ
40. Wenn ich eine Verpflichtung eingehe, so kann man sich auf
mich bestimmt verlassen..... SA A N Z SZ
41. Zu häufig bin ich entmutigt und will aufgeben, wenn
etwas schiefgeht..... SA A N Z SZ
42. Ich bin kein gut gelaunter Optimist..... SA A N Z SZ
43. Wenn ich Literatur lese oder ein Kunstwerk betrachte,
empfinde ich manchmal ein Frösteln oder eine Welle
der Begeisterung..... SA A N Z SZ
44. In Bezug auf meine Einstellungen bin ich nüchtern
und unnachgiebig..... SA A N Z SZ
45. Manchmal bin ich nicht so verlässlich oder zuverlässig,
wie ich sein sollte..... SA A N Z SZ
46. Ich bin selten traurig oder deprimiert..... SA A N Z SZ
47. Ich führe ein hektisches Leben..... SA A N Z SZ

Copyright by Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen
Urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigungen jeglicher Art, auch einzelner Teile oder Items,
sowie die Speicherung auf Datenträgern oder die Wiedergabe durch optische oder akustische Medien, verboten.

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 15 von 15: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 1

48. Ich habe wenig Interesse, über die Natur des Universums
oder die Lage der Menschheit zu spekulieren.....SA A N Z SZ
49. Ich versuche stets rücksichtsvoll und sensibel zu handeln..... SA A N Z SZ
50. Ich bin eine tüchtige Person, die ihre Arbeit immer erledigt..... SA A N Z SZ
51. Ich fühle mich oft hilflos und wünsche mir eine Person,
die meine Probleme löst.....SA A N Z SZ
52. Ich bin ein sehr aktiver Mensch.....SA A N Z SZ
53. Ich bin sehr wissbegierig.....SA A N Z SZ
54. Wenn ich Menschen nicht mag, so zeige ich ihnen
das auch offen..... SA A N Z SZ
55. Ich werde wohl niemals fähig sein, Ordnung in
mein Leben zu bringen.....SA A N Z SZ
56. Manchmal war mir etwas so peinlich, dass ich mich
am liebsten versteckt hätte.....SA A N Z SZ
57. Lieber würde ich meine eigenen Wege gehen, als
eine Gruppe anzuführen.....SA A N Z SZ
58. Ich habe oft Spaß daran, mit Theorien oder abstrakten
Ideen zu spielen..... SA A N Z SZ
59. Um zu bekommen, was ich will, bin ich notfalls bereit,
Menschen zu manipulieren.....SA A N Z SZ
60. Bei allem, was ich tue, strebe ich nach Perfektion.....SA A N Z SZ

8.8. Anhang H: Fragebogen für Versuchspersonen im Teil 2 der Studie EMO VR



Fragebogen zum Versuch „EMO VR“ Seite 1 von 8: Vor dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____
Versuch: 2

Geschlecht: m w

Alter: _____

Beruf (bei Nicht-Studierenden): _____

Studienrichtung (bei Studierenden): _____

Nationalität: _____

Aktives Autofahren: oft gelegentlich selten gar nicht

Selbsteinschätzung:	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Neutral	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
• Ich bin mit modernen Technologien der Virtuellen Realität vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich bin mit aktuellem Interieur von Autos vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich habe bereits Erfahrung mit dem Kauf von Autos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 2 von 8: Vor dem Versuch**

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 2

Im folgenden finden Sie eine Reihe von Eigenschaftspaaren. Bitte, entscheiden Sie - ohne lange zu überlegen - welche der beiden Eigenschaften Ihrem augenblicklichen Zustand am ehesten entspricht. Machen Sie in das Kästchen vor der eher zutreffenden Eigenschaft ein Kreuz. Nur wenn Sie sich gar nicht entscheiden können, machen Sie ein Kreuz in die Spalte "weder - noch". Lassen Sie keine Zeile aus.

Ich fühle mich jetzt:

	eher		eher		weder-noch
1.	<input type="checkbox"/>	aufgeschlossen	<input type="checkbox"/>	gehemmt	<input type="checkbox"/>
2.	<input type="checkbox"/>	guter Dinge	<input type="checkbox"/>	trübsinnig	<input type="checkbox"/>
3.	<input type="checkbox"/>	antriebslos	<input type="checkbox"/>	betriebsam	<input type="checkbox"/>
4.	<input type="checkbox"/>	Anfällig	<input type="checkbox"/>	robust	<input type="checkbox"/>
5.	<input type="checkbox"/>	zielstrebig	<input type="checkbox"/>	ziellos	<input type="checkbox"/>
6.	<input type="checkbox"/>	ernst	<input type="checkbox"/>	heiter	<input type="checkbox"/>
7.	<input type="checkbox"/>	einfallsam	<input type="checkbox"/>	einfallsreich	<input type="checkbox"/>
8.	<input type="checkbox"/>	empfindlich	<input type="checkbox"/>	unempfindlich	<input type="checkbox"/>
9.	<input type="checkbox"/>	pessimistisch	<input type="checkbox"/>	optimistisch	<input type="checkbox"/>
10.	<input type="checkbox"/>	sorglos	<input type="checkbox"/>	grüblerisch	<input type="checkbox"/>
11.	<input type="checkbox"/>	zerschlagen	<input type="checkbox"/>	munter	<input type="checkbox"/>
12.	<input type="checkbox"/>	liebesfähig	<input type="checkbox"/>	liebesunfähig	<input type="checkbox"/>
13.	<input type="checkbox"/>	schuldig	<input type="checkbox"/>	unschuldig	<input type="checkbox"/>
14.	<input type="checkbox"/>	erschöpft	<input type="checkbox"/>	erholt	<input type="checkbox"/>
15.	<input type="checkbox"/>	lebensmüde	<input type="checkbox"/>	lebenslustig	<input type="checkbox"/>
16.	<input type="checkbox"/>	gut	<input type="checkbox"/>	böse	<input type="checkbox"/>
17.	<input type="checkbox"/>	fröhlich	<input type="checkbox"/>	traurig	<input type="checkbox"/>
18.	<input type="checkbox"/>	geliebt	<input type="checkbox"/>	ungeliebt	<input type="checkbox"/>
19.	<input type="checkbox"/>	träge	<input type="checkbox"/>	aktiv	<input type="checkbox"/>
20.	<input type="checkbox"/>	verschlossen	<input type="checkbox"/>	zugewandt	<input type="checkbox"/>
21.	<input type="checkbox"/>	lebendig	<input type="checkbox"/>	leblos	<input type="checkbox"/>
22.	<input type="checkbox"/>	temperamentvoll	<input type="checkbox"/>	lahm	<input type="checkbox"/>
23.	<input type="checkbox"/>	aufmerksam	<input type="checkbox"/>	zerstreut	<input type="checkbox"/>
24.	<input type="checkbox"/>	verzweifelt	<input type="checkbox"/>	hoffnungsvoll	<input type="checkbox"/>
25.	<input type="checkbox"/>	zufrieden	<input type="checkbox"/>	unzufrieden	<input type="checkbox"/>
26.	<input type="checkbox"/>	ängstlich	<input type="checkbox"/>	draufgängerisch	<input type="checkbox"/>
27.	<input type="checkbox"/>	kraftvoll	<input type="checkbox"/>	kraftlos	<input type="checkbox"/>
28.	<input type="checkbox"/>	ausgeglichen	<input type="checkbox"/>	rastlos	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 3 von 8: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 2

Gesamtversuch:	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Neutral	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
• Das Tragen des Geräts ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Das Tragen der Elektroden im Gesichtsbereich ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Das Tragen der Messsensoren an Fingern ist komfortabel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist intuitiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist nutzerfreundlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist leicht erlernbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten ist leicht bedienbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten macht Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion mit Gesten machte mich müde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Der Interaktionsansatz leitet sich aus realen Gestiken ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Die Interaktion hat mich emotional beeinflusst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Beim Memory-Spiel konnte ich stets die von mir gewünschte Karte öffnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich konnte die zu wechselnden Elemente beim Autocockpit-Konfigurator gut treffen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 4 von 8: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 2

Lenkrad:
Ich finde folgende Variante des Lenkrads ansprechend.

		
<p>Tritt völlig zu</p> <p>Tritt eher zu</p> <p>Neutral</p> <p>Tritt eher nicht zu</p> <p>Tritt gar nicht zu</p>	<p>Tritt völlig zu</p> <p>Tritt eher zu</p> <p>Neutral</p> <p>Tritt eher nicht zu</p> <p>Tritt gar nicht zu</p>	<p>Tritt völlig zu</p> <p>Tritt eher zu</p> <p>Neutral</p> <p>Tritt eher nicht zu</p> <p>Tritt gar nicht zu</p>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 5 von 8: Nach dem Versuch**

Versuchsperson-ID: _____

Versuch: 2

Schaltmechanismus: Ich finde folgende Variante des Schaltmechanismus ansprechend.														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedale: Ich finde folgende Variante der Pedale ansprechend.														
Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 6 von 8: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____
 Versuch: 2

Texturen: Ich finde folgende Textur ansprechend.														
Holzelemente					Fußraum					Boden				
Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu	Triff völlig zu	Triff eher zu	Neutral	Triff eher nicht zu	Triff gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 7 von 8: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____
Versuch: 2

Fahrsimulator:	Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<ul style="list-style-type: none"> Die Idee eines Fahrsimulators in Virtueller Realität ist interessant. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Der Fahrsimulator ist passend für Vermittlung von physikalischem und technischem Wissen. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Mit dem Fahrsimulator können Jugendliche Fahren und Parken üben. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Die Untersuchung des emotionalen Fahrerverhaltens mit derselben Apparatur wie in den anderen Versuchen ist eine sinnvolle wissenschaftliche Herausforderung. 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sie können uns in diesem Feld Vorschläge über die Weiterentwicklung des Fahrsimulators in Virtueller Realität geben!

Fragebogen zum Versuch „EMO VR“
Seite 8 von 8: Nach dem Versuch

Versuchsperson-ID: _____
Versuch: 2

Gesamtversuch:	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Neutral	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
• Ich könnte mir vorstellen, dass diese Technologie in der Praxis Anwendung findet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich fand den Versuch interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ich fand den Versuch zukunftsorientiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte beschreiben Sie Ihren Gesamteindruck von dem Versuch, inklusive Lob und Kritik!

8.9. Anhang I: Fragebogen für die Versuchsbetreuer in der Studie EMO VR



Fragebogen zum Versuch „EMO VR“ Versuchsbetreuer

Datum: _____ Versuchsperson-ID: _____
 Anfangszeit: _____ Endzeit: _____ Versuch: 1 2

Einschätzung des Versuchsteilnehmers:		Tritt völlig zu	Tritt eher zu	Neutral	Tritt eher nicht zu	Tritt gar nicht zu
<ul style="list-style-type: none"> Der Versuchsteilnehmer ist am Anfang des Versuches positiv gestimmt. 		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Der Versuchsteilnehmer ist am Anfang des Versuches erregt. 		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Der Versuchsteilnehmer kann selbständig gut mit der Interaktion umgehen. 		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Der Versuchsteilnehmer ist motiviert. 		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> Der Versuchsteilnehmer stellt viele Fragen. 		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Adjektive zur Bewertung: <u>beste Konfiguration</u>	Adjektive zur Bewertung: <u>schlechteste Konfiguration</u>					
<u>Besondere Bemerkungen zum Versuchsteilnehmer oder zum Versuchsverlauf:</u>						

8.10. Anhang J: Beschreibung der Ziele der Studie EMO VR für die Versuchspersonen



Information zur Studie „EMO VR“

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

mehr als 90% der generierten Produktkonzepte in der frühen Phase der Produktentwicklung werden verworfen, ohne dass sie den potenziellen Kunden überhaupt präsentiert werden. Um eine kundenorientierte statt einer rein technisch-wirtschaftlichen Lösungsauswahl zu ermöglichen, schlagen wir die Kundeneinbindung in frühe Phasen der Produktentwicklung vor, in denen nur virtuelle konzeptuelle Modelle möglicher Produktlösungen vorhanden und in Virtual Reality maßstabsgetreu darstellbar sind. Sehr wichtig hierbei ist die Untersuchung der emotionalen Wirkung dieser Produkte auf die Kunden. Die ausgewählten Kunden sollen mit der Teilnahme am Versuch einverstanden sein und einen repräsentativen Kundenkreis bilden.

Trotz des industriellen Bezugs hat diese Studie einen starken Grundlagenforschungscharakter. Ihr Ziel ist der Vergleich zwischen klassischen Fragebogenmethoden und Methoden zur Messung von psychophysiologischen Parametern bezüglich ihrer Eignung zur komparativen emotionalen Bewertung zahlreicher Produktalternativen. Der Versuch wurde zur Untersuchung folgender Fragen zweimal durchgeführt:

- Stabilität der Messergebnisse und der Fragebogenantworten in zwei unterschiedlichen Situationen sowie
- Lerneffekt bei der Interaktion.

Als individuelle Vergleichsbasis für die Messergebnisse aus dem Erleben der besten und schlechtesten Konfiguration dienen die Messergebnisse aus der Bilderfolge, denn beide Messungen stammen aus passiven Situationen. Dagegen liefern die Messergebnisse aus dem Memory-Spiel die Vergleichsbasis für den aktiven Konfigurationsprozess, da sich die beiden Anwendungsfälle mit derselben Interaktion und ähnlicher Dynamik charakterisieren.

Bei Fragen zur Studie steht Ihnen Herr Jurica Katicic zur Verfügung.

Ihr Versuchsteam

8.11. Anhang K: Spielzeiten für das Memory-Spiel innerhalb der Studie EMO VR

ID	Versuch 1			Versuch 2			
	Spiel 1	Spiel 2	Mittelwert	Spiel 1	Spiel 2	Spiel 3	Mittelwert
01	171	107	139,0	93	79	86	86,0
02	235	179	207,0	119	176	128	141,0
03	261	154	207,5	92	94	82	89,3
04	163	142	152,5	78	96	94	89,3
05	337	149	243,0	248	194	191	211,0
06	526	267	396,5	109	103	123	111,7
07	215	141	178,0	126	154	99	126,3
08	157	215	186,0	76	119	133	109,3
09	179	125	152,0	83	95	79	85,7
10	204	141	172,5	96	167	133	132,0
11	455	469	462,0	100	212	146	152,7
12	216	154	185,0	100	153	121	124,7
13	232	193	212,5	87	105	136	109,3
14	200	260	230,0	116	85	90	97,0
15	238	105	171,5	121	75	79	91,7
16	326	135	230,5	219	90	217	175,3
17	275	127	201,0	86	89	93	89,3
18	72	112	92,0	53	93	53	66,3
19	262	192	227,0	141	96	112	116,3
20	231	114	172,5	85	80	61	75,3
21	210	219	214,5	67	117	71	85,0
Mittelwert	246,0	176,2	211,1	109,3	117,7	110,8	112,6

8.12. Anhang L: Vergleich der emotionalen Bewertung der Produktvarianten aus den beiden Versuchen innerhalb der Studie EMO VR

ID-Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lenkrad01_V1	1	4	3	2	5	2	4	2	1	2	1	5	1	2	4	3	1	2	2	3	2
Lenkrad01_V2	1	5	2	2	4	3	4	2	2	1	2	5	2	3	5	3	1	2	4	4	3
Gleich? (ja=1, nein=0)	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Lenkrad02_V1	4	1	1	2	1	5	2	4	4	3	3	2	3	5	2	1	5	4	2	2	5
Lenkrad02_V2	4	3	1	2	3	1	2	4	4	5	4	3	4	4	1	4	5	4	2	2	4
Gleich? (ja=1, nein=0)	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
Lenkrad03_V1	3	1	5	3	5	3	5	3	4	5	4	2	4	4	2	5	4	2	3	4	5
Lenkrad03_V2	4	1	4	3	3	1	4	3	3	1	5	4	0	3	3	4	3	1	2	5	2
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schaltung01_V1	3	1	3	4	3	2	4	2	2	4	3	1	4	4	2	4	4	2	5	4	1
Schaltung01_V2	4	1	4	3	1	5	0	2	3	5	1	4	4	3	3	2	3	1	4	4	1
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	4
Schaltung02_V1	3	1	2	1	1	5	2	5	5	4	3	5	4	5	1	4	4	3	2	2	5
Schaltung02_V2	5	2	2	1	1	5	2	5	5	0	4	0	4	5	0	4	1	0	1	2	0
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Schaltung03_V1	1	0	3	1	5	3	4	2	1	1	2	5	2	2	4	4	1	3	2	3	5
Schaltung03_V2	2	4	3	1	5	1	3	2	2	1	2	5	3	3	0	1	1	2	0	3	5
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Pedale01_V1	2	1	2	3	2	2	1	4	3	2	3	3	4	3	2	1	4	2	1	3	3
Pedale01_V2	3	2	2	1	2	1	2	2	3	3	2	3	4	2	1	2	2	2	0	2	5
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Pedale02_V1	3	0	2	4	1	3	4	2	5	3	3	4	4	5	2	4	4	3	5	3	4
Pedale02_V2	4	3	3	1	1	3	4	4	3	5	3	4	2	5	3	2	4	3	4	0	5
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Pedale03_V1	3	1	3	2	0	3	5	3	1	1	2	2	2	1	2	0	4	3	0	2	1
Pedale03_V2	2	1	2	1	4	1	5	3	2	1	3	2	4	2	3	3	4	2	3	3	1
Gleich? (ja=1, nein=0)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1

ID-Nr.	TexturHolz01_V1	TexturHolz01_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturHolz 02_V1	TexturHolz 02_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturHolz 03_V1	TexturHolz 03_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturHolz 04_V1	TexturHolz 04_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturFussraum01_V1	TexturFussraum 01_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturFussraum 02_V1	TexturFussraum 02_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturFussraum03_V1	TexturFussraum03_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturBoden01_V1	TexturBoden01_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturBoden02_V1	TexturBoden02_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturBoden03_V1	TexturBoden03_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)	TexturBoden04_v1	TexturBoden04_V2	Gleich? (ja=1, nein=0)
01	4	4	1	2	3	0	3	3	1	3	4	0	4	4	1	2	2	1	3	3	1	3	4	0	3	4	0	2	2	1	1	2	0
02	4	4	1	5	3	0	2	2	1	1	2	0	2	5	0	1	1	1	0	4	0	5	4	0	2	5	0	5	2	0	1	1	1
03	3	2	0	4	4	1	3	4	0	3	4	0	2	3	0	3	3	1	4	4	1	3	2	0	1	2	0	2	2	1	3	3	1
04	2	1	0	2	4	0	2	2	1	1	3	0	2	1	0	3	1	0	3	4	0	5	4	0	3	2	0	5	5	1	2	2	1
05	5	5	1	5	5	1	3	2	0	2	1	0	1	1	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	1	1	1	2	2	1	3	3	1
06	5	4	0	2	3	0	3	3	1	3	3	1	3	4	0	3	4	0	2	4	0	2	4	0	3	1	0	3	3	1	2	1	0
07	4	4	1	3	2	0	2	3	0	4	3	0	4	2	0	4	5	0	2	4	0	4	4	1	5	5	1	2	2	1	5	5	1
08	4	2	0	3	1	0	2	3	0	4	4	1	4	3	0	2	2	1	5	4	0	5	5	1	5	4	0	5	5	1	1	1	1
09	5	3	0	4	3	0	2	3	0	2	2	1	5	4	0	2	1	0	5	2	0	3	3	1	4	2	0	2	1	0	2	1	0
10	1	3	0	1	1	1	2	5	0	5	5	1	2	3	0	4	5	0	3	1	0	3	3	1	4	4	1	4	5	0	1	1	1
11	4	4	1	1	1	1	3	3	1	2	3	0	3	4	0	3	2	0	2	2	1	2	2	1	4	4	1	3	4	0	4	2	0
12	3	3	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	3	3	1	1	2	0	3	2	0	5	5	1	5	3	0	5	5	1	2	1	0
13	2	2	1	4	4	1	4	4	1	4	4	1	2	2	1	4	4	1	4	4	1	4	4	1	2	2	1	4	4	1	2	4	0
14	3	5	0	3	3	1	3	2	0	3	3	1	3	2	0	3	3	1	5	5	1	5	5	1	3	2	0	3	5	0	3	3	1
15	2	2	1	4	2	0	2	2	1	2	4	0	4	2	0	2	2	1	3	2	0	4	5	0	3	4	0	3	5	0	2	2	1
16	4	5	0	3	2	0	3	2	0	1	2	0	1	1	1	4	3	0	5	5	1	5	5	1	1	2	0	3	4	0	4	4	1
17	4	3	0	1	1	1	4	3	0	4	2	0	1	2	0	4	3	0	4	3	0	4	5	0	1	0	0	4	0	0	4	3	0
18	1	1	1	2	2	1	3	3	1	3	4	0	4	2	0	1	1	1	5	4	0	3	3	1	2	2	1	5	4	0	1	1	1
19	1	2	0	5	3	0	3	5	0	4	5	0	1	1	1	4	4	1	5	4	0	3	2	0	1	1	1	2	1	0	3	4	0
20	2	2	1	2	3	0	3	3	1	4	4	1	2	2	1	2	2	1	4	4	1	4	4	1	2	2	1	2	3	0	2	2	1
21	2	2	1	5	5	1	4	5	0	5	5	1	2	3	0	2	2	1	5	5	1	5	5	1	2	3	0	5	5	1	2	2	1

Variante	Anteil identischer Antworten derselben Person bei beiden Versuchen	Korrelationskoeffizient nach Spearman für die Antworten aus beiden Versuchen
Lenkrad01	38 %	0,79
Lenkrad02	48%	0,57
Lenkrad03	19%	0,55
Schaltung01	38%	0,61
Schaltung02	52%	0,77
Schaltung03	48%	0,63
Pedale01	29%	0,18
Pedale02	33%	0,36
Pedale03	43%	0,63
TexturHolz01	52%	0,69
TexturHolz02	48%	0,65
TexturHolz03	48%	0,42
TexturHolz04	33%	0,71
TexturFussraum01	33%	0,49
TexturFussraum02	57%	0,83
TexturFussraum03	43%	0,48
TexturBoden01	62%	0,78
TexturBoden02	38%	0,62
TexturBoden03	48%	0,60
TexturBoden04	62%	0,76

8.13. Anhang M: Ergebnisse der Persönlichkeitsfragebögen in der Studie EMO VR

ID-Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
BAS Drive	2,6	3,2	3,5	3,0	3,2	3,3	3,6	3,1	3,2	3,7	2,8	3,4	2,8	3,6	3,1	3,5	3,1	3,7	3,3	3,5	3,3
BAS Fun Seeking	2,8	3,0	3,8	2,5	3,0	3,5	3,5	3,3	2,8	3,5	3,0	3,0	2,5	3,5	3,3	3,5	2,8	3,5	2,8	3,5	3,0
BAS Reward Responsiveness	2,3	3,0	3,0	3,3	3,0	3,0	3,5	3,0	3,3	3,8	2,5	3,3	3,0	3,5	3,3	3,3	2,8	4,0	3,3	3,8	3,3
BAS Total	2,8	3,6	3,6	3,2	3,6	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	2,8	3,8	2,8	3,8	2,8	3,6	3,6	3,6	3,8	3,4	3,6
BIS Total	2,4	3,1	3,0	1,9	3,6	2,4	2,9	2,3	3,4	1,7	2,6	3,4	2,9	4,0	2,0	2,7	3,0	2,1	3,9	2,3	3,1
Neurotizismus (p ₁)	1,5	2,8	1,7	0,8	1,5	1,9	1,3	1,5	2,1	0,7	1,3	1,8	1,6	3,6	1,6	1,7	2,1	1,8	3,2	1,2	1,9
Extraversion (p ₂)	2,5	2,7	2,7	2,8	2,4	2,2	3,1	2,5	2,9	3,3	2,4	2,3	2,5	2,7	2,1	2,8	2,0	2,8	1,9	3,3	3,0
Offenheit (p ₃)	1,8	2,7	2,3	2,0	3,1	1,8	3,4	2,4	3,1	3,2	2,4	2,8	2,8	2,3	1,9	2,4	2,0	2,5	2,7	2,5	2,8
Freundlichkeit (p ₄)	2,9	2,8	2,8	2,8	3,1	2,2	2,9	2,7	2,8	3,3	2,6	2,8	2,2	2,8	2,1	2,8	2,8	2,5	3,3	3,3	2,3
Gewissen (p ₅)	2,8	2,7	3,5	3,4	3,0	2,6	2,3	2,2	3,3	3,3	2,8	3,2	2,3	2,3	3,1	2,7	3,3	2,4	2,1	3,1	2,4

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Darstellung der wesentlichen Merkmale des Frontloading-Prozesses; eigene Darstellung nach (Ovt10, vgl. S. 64)

Abbildung 2: Das Realität-Virtualität-Kontinuum; nach (Mil94, vgl. S. 283)

Abbildung 3: Die „3 I’s“ der Virtuellen Realität; nach (Bur03, vgl. S. 1-3)

Abbildung 4: Der Hype-Zyklus nach Gartner; nach (Fen08)

Abbildung 5: Der Produktlebenszyklus aus informationstechnischer Sicht; nach (Ovt10, vgl. S. 117)

Abbildung 6: Aktivitäten der Marketingexperten, Designer und Ingenieure im Rahmen der Produktentwicklung; nach (Bor11, vgl. S. 67-68)

Abbildung 7: Das Ping-Pong-Modell; nach (Kah05, vgl. S. 290)

Abbildung 8: Das Circumplex Modell mit beispielhaften Platzierungen von diskreten Emotionen; eigene Darstellung in Anlehnung auf (Wat85, vgl. S. 219-235), (Lar92, vgl. S. 25-29) und (Rus97, vgl. S. 205-220)

Abbildung 9: Das PAD-Modell; eigene Darstellung

Abbildung 10: Das dreidimensionale Kano-Modell der Kundenzufriedenheit; eigene Darstellung

Abbildung 11: Das Citarasa-Modell; nach (Kha09, vgl. S. 8)

Abbildung 12: Vereinfachtes Flussdiagramm der Methodik; eigene Darstellung

Abbildung 13: Stakeholder-Phase-Matrix der Methodik; eigene Darstellung

Abbildung 14: Quadranten des PA-Modells; eigene Darstellung in Anlehnung auf (Wha07, vgl. S. 206-207)

Abbildung 15: Grundsätzliche graphische Form der Gegenüberstellung der Interaktions- und Emotionschronologie bei unterschiedlichen diskreten und quasi-kontinuierlichen Größen; eigene Darstellung

Abbildung 16: Synästhetische Darstellung der Innentemperatur des Kühlschranks von der NICE-Studie anhand Piktogramme und Farben; eigene Darstellung

Abbildung 17: Realitätsnahe Darstellung von Funktionen in der Küche bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 18: Die PC-Station bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 19: Die MR-Station bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 20: Die VR-Station bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 21: Verlauf eines einstündigen Versuchstermins bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 22: Reihenfolge der Stationen bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 23: Häufigkeitsverteilungen der wahrgenommenen Qualität der Visualisierungsart bei der Drei-Wände-Projektion im CAVE-Modus (links) und beim Powerwall (rechts) in der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Zufriedenheit von der Präsenz akustischer Effekte in der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Zufriedenheit von der Präsenz der Simulation realistischer Funktionalitäten in der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung des empfundenen Grades der Ablenkung durch Überraschungseffekte in der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 27: Visualisierung der Abhängigkeit der Gewöhnung an die Bedienung des Flysticks von dem kulturellen Hintergrund der Versuchsperson im Rahmen der NICE-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 28: Grundsätzliche Definition der Basiskonfiguration und der variablen Elemente nach Form (gekennzeichnet mit „V“) laut Anforderungsliste für die EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 29: Nutzung der Drei-Wände-Projektion im LESC als Visualisierungsumgebung im Rahmen der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 30: Versuchsapparatur für die EMO VR-Studie: 3D-Brillen mit passiver Stereoprojektion und A.R.T. Tracking sowie Handband mit Sensoren zur Interaktion (links); EMG-Elektroden im Gesichtsbereich (links und rechts), EDA- und BVP-Sensoren an der nicht-aktiven Hand (links) und Erdung (rechts) zur Emotionserfassung; eigene Darstellung

Abbildung 31: Versuchsablauf für die beiden Versuchsteile der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 32: Verlauf der randomisierten IAPS-basierten Bildfolge; eigene Darstellung

Abbildung 33: Memory-Spiel im Rahmen der Studie EMO VR; eigene Darstellung

Abbildung 34: Auszug aus einer Interaktionslog-Datei beim Memory-Spiel mit Kennzeichnung aller wichtigsten Eintragsarten bei der Studie EMO VR; eigene Darstellung

Abbildung 35: Auszug aus einer Emotionslog-Datei beim Autocockpit-Konfigurator mit Kennzeichnung aller wichtigsten Eintragsarten bei der Studie EMO VR; eigene Darstellung

Abbildung 36: Anteil identischer Antworten auf gleichen Fragen bezüglich der emotionalen Wirkung der Varianten variabler Elemente (nach Kategorie) in den beiden Versuchen der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 37: Erfolgsquoten bei der Erkennung der Wirkung einer Variante auf die Valenzdimension der Emotion, anhand der gemittelten Werte der Aktivität der Lachmuskel über relevante Zeiträume in der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 38: Absolute Werte der gemittelten Aktivität der Lachmuskel während des Prozesses der aktiven Konfiguration für ausgewählte Testpersonen (ID-Nummern auf horizontaler Achse) im Versuchsteil 1 der Studie EMO VR; eigene Darstellung

Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung der eigenen Abschätzungen der Versuchspersonen über die Präzision des Selektierens während des Memory-Spiels in beiden Versuchen der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der eigenen Abschätzungen der Versuchspersonen über die Präzision des Selektierens während des Autocockpit-Konfigurierens in beiden Versuchen der EMO VR-Studie; eigene Darstellung

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Eingabe-, Ausgabe- und Berechnungsgeräte für VR; eigene Darstellung in Anlehnung an (Bri09, vgl. S. 21-42)

Tabelle 2: Schichtenmodell der Virtual Reality Softwarelösungen; nach (Gro04, vgl. S. 14)

Tabelle 3: SWOT-Analyse der immersiven Umgebungen und der „Affordable“ VR Lösungen; eigene Darstellung

Tabelle 4: Klassifizierung der Zufriedenheitsfaktoren mittels bipolarer Fragen nach der Kano-Methode; eigene Darstellung

Tabelle 5: Schema zur Beschreibung des Anwendungskontextes von Ingenieurprodukten; eigene Darstellung

Tabelle 6: Attribute-Ausgabekanal-Matrix; eigene Darstellung

Tabelle 7: Kompatibilitätsmatrix für die am häufigsten angewendeten Technologien der Virtuellen Realität (in der Kopfzeile) und die häufigsten biologischen Emotionsmessgrößen (linke Spalte); eigene Darstellung

Tabelle 8: Möglichkeiten zur formalen Beschreibung der emotionalen Auswirkung einzelner Produktvarianten; eigene Darstellung

Tabelle 9: Passende Darstellungsformen der emotionalen Reaktion auf einzelne Produktvarianten für unterschiedliche Stakeholder; eigene Darstellung

Tabelle 10: Vereinfachter Ausschnitt aus dem Variantenbaum für die NICE-Studie; eigene Darstellung

Tabelle 11: Zusammensetzung der Testgruppe der NICE-Studie nach einzelnen Segmentierungskriterien bei Anwendung generalisierter Klassen; eigene Darstellung

Tabelle 12: Übersicht der drei Versuchsstationen bei der NICE-Studie; eigene Darstellung

Tabelle 13: Auszug aus der Übersicht der Mittelwerte für die Aussagen bei allen drei Varianten in der NICE-Studie; eigene Darstellung

Tabelle 14: Implementierter Variantenraum für den Autocockpit-Konfigurator im Rahmen der Studie EMO VR; eigene Darstellung

Tabelle 15: Zusammensetzung der Testgruppe der EMO VR-Studie nach einzelnen Segmentierungskriterien bei Anwendung generalisierter Klassen; eigene Darstellung

Tabelle 16: Nutzen und Aufwand der entwickelten Methodik; eigene Darstellung

Tabelle 17: Übersicht der wichtigsten Ergebnisse der Arbeit; eigene Darstellung

11. Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
A	Arousal
A	Aktueller Wert für Arousal
A	Begeisterungsanforderung im Kano-Modell
A	Antwortkombination in der Kano-Methode, die einer Begeisterungsanforderung entspricht
A	Anzahl von Antwortkombinationen in der Kano-Methode, die einer Begeisterungsanforderung entsprechen
A	Bezeichnung eines Arrays
a_{e1}, a_{e2}, \dots	aktuelle Werte der Emotionsmessgrößen e_1, e_2, \dots
a_{i1}, a_{i2}, \dots	aktuelle Werte der Interaktionsparameter i_1, i_2, \dots
a_k	Alter des Kunden
a_{kmax}	Höchstaltersgrenze für die Teilnahme am Versuch
a_{kmin}	Mindestaltersgrenze für die Teilnahme am Versuch
a_{m1}, a_{m2}, \dots	aktuelle Ausprägungen (Werte) der Produktmerkmale
a_p	Projektionsart
AIS	Acquired Incapacity Syndrome
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
AV	Augmented Virtuality
b_k	Beruf / Bildung des Kunden
b_p	Breite der Projektionsfläche
B	Bezeichnung eines Arrays
BE	Menge aus Basisemotionen
BEEV	Basic English Emotion Vocabulary
BIS/BAS	Behavioral Inhibition Scale / Behavioural Activation Scale
BVP	Blood Volume Pulse
C	Aktueller Zustand eines Eingangssignals
C/D	Confirmation/Diskonfirmation
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CO	Cardiac Output
CRM	Customer Relationship Management
CS^+	Koeffizient der Zufriedenheitsstiftung
CS^-	Koeffizient der Unzufriedenheitsstiftung
D	Dominance
DECA	Design Equation for Citarasa Analysis Method
DOF	Degrees of Freedom

E	Stärke des Eingangssignals
E(t)	Zeitabhängige Emotionsvariable
e. V.	eingetragener Verein
e_1, e_2, \dots	Bezeichnungen der Emotionsmessgrößen
e_{k1}, e_{k2}, \dots	Koordinatensysteme für die Emotionsmessgrößen i_1, i_2, \dots
e_{mg1}, e_{mg2}, \dots	Bezeichnungen der Emotionsmessgeräte
EDA	Elektrodermale Aktivität(-smessung)
EEG	Elektroenzephalographie
EKG	Elektrokardiographie
EMG	Elektromyographie
EMO VR	Studie „Emotion Recognition in Virtual Reality“
f()	Funktion aus
FB	Feedbackbogen
g_k	Geschlecht des Kunden
GND	Erdung/Ground
GPU	Graphics Processing Unit
h_k	Nationalität / Heimatsland des Kunden
h_p	Höhe der Projektionsfläche
HD	High Definition
HF	Human Factors
HMD	Head Mounted Display
HR	Heart Rate
HRTF	Head Related Transfer Function
Hz	Hertz
I	Indifferente Anforderung im Kano-Modell
I	Antwortkombination in der Kano-Methode, die einer indifferenten Anforderung entspricht
I	Anzahl von Antwortkombinationen in der Kano-Methode, die einer indifferenten Anforderung entsprechen
i	laufende natürliche Zahl
i_1, i_2, \dots	Bezeichnungen der Interaktionsparameter
i_{g1}, i_{g2}, \dots	Bezeichnungen der Interaktionsgeräte
i_{k1}, i_{k2}, \dots	Koordinatensysteme für die Interaktionsparameter i_1, i_2, \dots
IAPS	International Affective Picture System
IBI	Interbeat Interval
ID	Identifikationsnummer
IMI	Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen
ISO	International Organization for Standardization
ITQ	Immersive Tendencies Questionnaire
k_{1b}	Einschätzung der Erfahrung des Kunden mit dem Produkt seitens des Versuchsbetreibers
k_{1k}	Selbsteinschätzung der Erfahrung des Kunden mit dem Produkt

k_{2b}	Einschätzung der Erfahrung des Kunden mit der Versuchsumgebung seitens des Versuchsbetreuers
k_{2k}	Selbsteinschätzung der Erfahrung des Kunden mit der Versuchsumgebung
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KNN	k-nearest-Neighbour
l_p	Länge der Projektionsfläche
LESC	Lifecycle Engineering Solutions Center
M	Informationsmodell
M	Basisanforderung im Kano-Modell
M	Antwortkombination in der Kano-Methode, die einer Basisanforderung entspricht
M	Anzahl von Antwortkombinationen in der Kano-Methode, die einer Basisanforderung entsprechen
m	männlich
m	Meter
m_1, m_2, \dots	Bezeichnungen der aktuell aktivierten Produktmerkmale
MFCC	Mel Frequency Cepstral Coefficients
MIT	Massachusetts University of Technology
MR	Mixed Reality
MUI	Motivational User Interface
N	Menge der natürlichen Zahlen
N	Neutraler Zustand eines Eingangssignals
n	Anzahl von Teilnehmern in der Lead-User-Gruppe
n_k	Identifikationsnummer des Kunden
n_{marke}	Bezeichnung der untersuchten Marke
n_{mit}	Mitarbeiterzahl des Unternehmens
n_u	Name des Unternehmens
n_v	Bezeichnung der aktuellen Variante
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEO-FFI	Neurotizismus-Extraversion-Offenheit für Erfahrungen-Fünf-Faktoren-Inventar
NICE	Studie "Natural Interaction and Configuration Paradigms in Virtual Environments"
NoAE	Network of Automotive Excellence
O	Leistungsanforderung im Kano-Modell
O	Antwortkombination in der Kano-Methode, die einer Leistungsanforderung entspricht
O	Anzahl von Antwortkombinationen in der Kano-Methode, die einer Leistungsanforderung entsprechen
OpenGL	Open Graphics Library
P	Pleasure
P	Aktueller Wert für Pleasure
p_1	Persönlichkeitswert für emotionale Stabilität / Neurotizismus

p ₂	Persönlichkeitswert für Extraversion
p ₃	Persönlichkeitswert für Offenheit
p ₄	Persönlichkeitswert für Freundlichkeit
p ₅	Persönlichkeitswert für Gewissenhaftigkeit
p _{entsch}	Parameter des Entscheidungsprozesses
p _{entw}	Parameter des Entwicklungsprozesses
PA-Modell	Pleasure, Arousal-Modell
PAD-Modell	Pleasure, Arousal, Dominance-Modell
PC	Personal Computer
PDM	Product Data Management
peD	Personenbedingte emotionale Dispositionen
PKW	Personenkraftwagen
PPR	Person-Product-Relationship
Q	Logisch unvertretbare Antwortkombination bei der Kano-Methode
Q	Anzahl logisch unvertretbarer Antwortkombinationen bei der Kano-Methode
R	Antwortkombination in der Kano-Methode, die einer „Reverse“ (invertierten) Anforderung entspricht
R	Anzahl von Antwortkombinationen in der Kano-Methode, die einer „Reverse“ (invertierten) Anforderung entsprechen
RBI	Reality Based Interaction
RGB	Rot, Grün, Blau
s	Sekunde
s _k	Kundensegment
SCL	Skin Conductance Level
SCR	Skin Conductance Responses
SD	Semantic Differential
SEQUAM	Sensorial Quality Assessment Method
SKT	Skin Temperature
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire
SVM	Support Vector Machines
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
t	Zeit
TQM	Total Quality Management
TPR	Total Peripheral Resistance
u _{e1} , u _{e2} , ...	Bezeichnungen der beteiligten Unternehmenseinheiten
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VEQ	Virtual Environments Questionnaire
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modelling Language
w	weiblich
WIMP	Window, Icon, Menu, Pointing Device
X	Abbruchzeichen beim Menü

12. Literaturverzeichnis

- (Abe10) Shigeo Abe. Support Vector Machines for Pattern Classification: Advances in Pattern Recognition. Springer Verlag London Ltd, 2010.
- (Abe04) Peter Abell. Narrative Explanation: An Alternative to Variable-Centered Explanation?, In *Annual Review of Sociology*, vol. 30, no. 1, pp. 287-310, 2004.
- (Amd07) Angelos Amditis, Matthaïos Bimpas und Roland Blach. Towards Networked and Structured VR European Research Area: Intuition Network of Excellence and Future Research Challenges. In *MMI-Interaktiv*, no. 12, pp. 43-54, 2007.
- (Ave94) James R. Averill. In the Eyes of the Beholder. In *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press New York / Oxford, pp. 7-14, 1994.
- (Bac06) Angel G. Bachvarov und Ilia K. Boyadjiev. Anwendung des „Mass-Customization“-Konzepts für Projektierung von modularen Positioniersystemen. In *Wissenschaftliche Konferenz „15 Jahre FDIBA 2006“*, Sofia, pp. 14-19, 2006.
- (Bac09a) Angel Bachvarov, Stoyan Maleshkov, Jurica Katicic und Polina Stoyanova. Design-by-the-Customer through Virtual Reality. In *4th International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping (VRAP)*, Leiria, pp. 561-566, 2009.
- (Bac09b) Angel Bachvarov, Stoyan Maleshkov, Jurica Katicic und Polina Stoyanova. Product Individualization by the Customer through Virtual Reality Support. In *5th World Conference on Mass Customization and Personalization (MCPC 2009)*, Helsinki, pp. 134-144, 2009.
- (Bac09c) Angel Bachvarov und Jurica Katicic. Virtual Reality in Engineering Applications: State-of-the-Art and Challenges. In *Proceedings of the Scientific Conference „Technik und Wirtschaft in der globalen Krise“*, Sofia, pp. 89-98, 2009.
- (Bac10) Angel Bachvarov und Jurica Katicic. Ingenieurwendungen der Virtuellen Realität. In *Komplexe Automatisierung der diskreten Produktion*, Institut ADP der TU Sofia, pp. 349-366, 2010.
- (Bac99) Klaus Backhaus. Industriegütermarketing. Verlag Vahlen München, 1999.
- (Bai11) Andreas Baier, David Wittmann und Martin Ende. Object Selection in Virtual Environments Performance, Usability and Interaction with Spatial Abilities. In *Virtual and Mixed Reality, Part I, HCII 2011*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 135-143, 2011.
- (Bal00) Gene Ball und Jack Breese. Relating Personality and Behavior: Posture and Gestures. In *Affective Interactions: Towards a New Generation of Computer Interfaces*, Springer Berlin, pp. 196-203, 2000.
- (Bar03) Heiner Barz, Wilhelm Kampik, Thomas Singer und Stephan Teuber. Trendbibel für Marketing und Verkauf: Konsummotive in Wandel. Walhalla Fachverlag Regensburg, 2003.
- (Bat05a) Anton Batliner, Stefan Steidl, Christian Hacker, Elmar Nöth und Heinrich Niemann. Tales of Tuning – Prototyping for Automatic Classification of Emotional User States. In *Proceedings of Interspeech*, pp. 489-492, 2005.
- (Bat91) Rajeev Batra und Olli T. Ahtola. Measuring the Hedonic and Utilitarian Sources of Consumer Attitudes. In *Marketing Letters*, vol. 2, pp. 159-170, 1991.
- (Bat05b) Katja Battarbee und Simo Säde. Emotional Responses to Virtual Prototypes in the Design Evaluation of a Product Concept. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 237-246, 2005.

- (Bau00) Matthias Bauer. Kundenzufriedenheit in industriellen Geschäftsbeziehungen: Zufriedenheitsbildung und Zufriedenheitsdynamik. Wiesbaden, 2000.
- (Bau06) Hans H. Bauer, Gregor Stokburger und Maik Hammerschmidt. Marketing Performance. Messen – Analysieren – Optimieren. Wiesbaden, 2006.
- (Ben02) Gary Bente, Nicole C. Krämer und Anita Petersen. Virtuelle Realität als Gegenstand und Methode in der Psychologie. In *Virtuelle Realitäten*. Hogrefe Göttingen, pp. 1-26, 2002.
- (Ben99) Peter J. Bentley. Aspects of Evolutionary Design by Computers. In *Advances in Soft Computing – Engineering Design and Manufacturing*. Springer Verlag London, pp. 99-118, 1999.
- (Ber04) Ludwig Berekoven, Werner Eckert und Peter Ellenrieder. Marktforschung – Methodische Grundlagen und praktische Anwendung. 10. Auflage, Wiesbaden, 2004.
- (Ber93) Charles Berger, Robert Blauth, David Boger, Christopher Bolster, Gary Burchil, William DuMouchel, Fred Pouliot, Reinhart Richter, Allan Rubinoff, Diane Shen, Mike Timko und David Walden. Kano's Methods for Understanding Customer-Defined Quality. In *Center for Quality of Management Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 3-36, 1993.
- (Ber99) Kent C. Berridge. Pleasure, Pain, Desire and Dread: Hidden Core Processes of Emotion. In *Well-Being: The Foundations of Hedonic Psychology*. Russell Sage Foundation New York, pp. 525-557, 1999.
- (Beu06) Nikolas Beutin. Verfahren zur Messung der Kundenzufriedenheit im Überblick. In *Kundenzufriedenheit: Konzepte – Methoden – Erfahrungen*. 6. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 121-169, 2006.
- (Bey98) Hugh Beyer und Karen Holtzblatt. Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems. Morgan Kaufmann San Francisco, 1998.
- (Bha97) Sundar Bharadwaj und Anil Menon. Discussion. In *Quality Management Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 107-109, 1997.
- (Bid04) Sonja Bidmon. Kundenzufriedenheit im Investitionsgütermarketing. Wiesbaden, 2004.
- (Bie71) Hansjörg Biegert. Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip. Dissertation an der TH Karlsruhe, 1971.
- (Bit04) Andrea Bittelmeyer. Storytelling: Geschichten, die das Unternehmen schreibt. In: *managerSeminare*, vol. 78, no. 4, pp. 70-78, 2004.
- (Bon99) Lina Bonapace. The Ergonomics of Pleasure. In *Human Factors in Product Design. Current Practice and Future Trends*. Taylor & Francis London, pp. 234-248, 1999.
- (Bon05a) Lina Bonapace. Linking Product Properties to Pleasure: The Sensorial Quality Assessment Method – SEQUAM. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 184-211, 2005.
- (Bon05b) John V. H. Bonner und Mark J. Porter. Envisioning Future Needs: From Pragmatics to Pleasure. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 145-153, 2005.
- (Bor11) Monica Bordegoni. Exploitation of Designers' and Customers' Skills and Creativity in Product Design and Engineering. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 63-85, 2011.
- (Bor08) Peter Borkenau und Fritz Ostendorf. NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI). 2. Auflage, Hogrefe Verlag, Göttingen, 2008.

- (Bou09) Wolfram Boucsein. Psychophysiologische Maße als Werkzeuge biophysiologicaler Interfaces. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 48-49, 2009.
- (Bow05a) Nathan A. Bowling, Terry A. Beehr, Stephen H. Wagner und Terry M. Libkuman. Adaption-Level Theory, Opponent Process Theory, and Dispositions: An Integrated Approach to the Stability of Job Satisfaction. In *Journal of Applied Psychology*, vol. 90, no. 6, pp. 1044-1053, 2005.
- (Bow05b) Doug A. Bowman. 3D User Interfaces: Theory and Practice. Addison-Wesley, 2005.
- (Boy07) Guy A. Boy. Perceived Complexity and Cognitive Stability in Human-Centered Design. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 10-21, 2007.
- (Bra06) Hans-Hermann Braess und Ulrich Seiffert. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Vieweg Friedrich + Sohn Verlag, pp. 85-93, 2006.
- (Bri09) Manfred Brill. Virtuelle Realität. In *Informatik im Fokus*. Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- (Bru98) Manfred Bruhn und Britta Murmann. Nationale Kundenbarometer: Messung von Qualität und Zufriedenheit. Methodenvergleich und Entwurf eines Schweizer Kundenbarometers. Wiesbaden, 1998.
- (Bru03) Fabio Bruno, Maria L. Luchi, Maurizio Muzzupappa und Sergio Rizzuti. The Over-Sketching Technique for Free-Hand Shape Modelling in Virtual Reality. In *Proceedings of Virtual Concept 2003*, Biarritz, pp. 1-8, 2003.
- (Bur03) Grigore C. Burdea und Philippe Coiffet. Virtual Reality Technology. Wiley-Interscience New York, 2003.
- (Che09) Jian Chen und Doug A. Bowman. Domain Specific Design of 3D Interaction Techniques: An Approach for Designing Useful Virtual Environment Applications. In *Presence*, vol. 18, no. 5, pp. 370-386, 2009.
- (Chu11) Kee-Man Chuah, Chwen-Jen Chen und Chee-Siong Teh. Designing a Desktop Virtual Reality-Based Learning Environment with Emotional Consideration. In *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 6, no. 1, pp. 25-42, 2011.
- (Clo94) Gerald L. Clore. Why Emotions Require Cognition. In *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press New York / Oxford, pp. 181-191, 1994.
- (Coe05) Denis A. Coelho und Sven Dahlman. Comfort and Pleasure. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 313-324, 2005.
- (Coh04) Philip R. Cohen und David R. McGee. Tangible Multimodal Interfaces for Safety-Critical Applications. In *Communications of the ACM*, vol. 47, no. 1, pp. 41-46, 2004.
- (Coh05) Jeffrey F. Cohn und Paul Ekman. Measuring Facial Action. In *The New Handbook of Methods in Nonverbal Behaviour Research*. Oxford University Press New York, pp. 9-64, 2005.
- (Con11) John Conomikes, Zachary Pacheco, Salvador Barrera, Juan A. Cantu, Lucy B. Gomez, Christian de los Reyes, Juan M. Mendez-Villarreal, Takeo Shime, Yuki Kamiya, Hedeki Kawai, Kazuo Kunieda und Keiji Yamada. Remote Context Monitoring of Actions and Behaviors in a Location Through 3D Visualization in Real-Time. In *Virtual and Mixed Reality, Part I, HCII 2011*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 40-44, 2011.
- (Cop24) Melvin T. Copeland. Principles of Merchandising. Chicago / New York, 1924.
- (Cor01) James W. Cortada. 21st Century Business: Managing and Working in the New Digital Economy. Financial Times Prentice Hall PTR Upper Saddle River, 2001.

- (Cos92) Paul T. Costa und Robert R. McCrae. Revised NEO Personality Inventory (NEO PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI). In *Professional Manual. Psychological Assessment Resources*, Odessa, 1992.
- (Cra09) Alan B. Craig, William R. Sherman und Jeffrey D. Will. Developing Virtual Reality Applications. In *Foundations of Effective Design*. Elsevier, pp. 7-10, 2009.
- (Cra06) Merle C. Crawford und Anthony C. Di Benedetto. *New Products Management*. 8. Ausgabe, McGraw Hill New York, 2006.
- (Cre05) Marielle Creusen und Dirk Snelders. Product Appearance and Consumer Pleasure. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 67-73, 2005.
- (Cro92) Ayn E. Crowley, Eric R. Spangenberg und Kevin R. Hughes. Measuring the Hedonic and Utilitarian Dimensions of Attitudes Toward Product Categories. In *Marketing Letters*, vol. 3, no. 3, pp. 239-249, 1992.
- (Cut00) Bruce N. Cuthbert, Harald T. Schupp, Margaret M. Bradley, Niels Birbaumer und Peter J. Lang. Brain Potentials in Affective Picture Processing: Covariation with Autonomic Arousal and Affective Report. In *Biological Psychology*, vol. 52, pp. 96-111, 2000.
- (Cze77) John A. Czepiel und Larry J. Rosenberg. Consumer Satisfaction: Concept and Measurement. In *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 5, no. 1, pp. 15-28, 1977.
- (Dah00) Ely Dahan und Seenu V. Srinivasan. The Predictive Power of Internet-Based Product Concept Testing Using Visual Depiction and Animation. In *Journal of Product Innovation Management*, vol. 17, pp. 99-109, 2000.
- (Dan11) Nguyen-Thong Dang und Daniel Mestre. Effects of Menu Orientation on Pointing Behavior in Virtual Environments. In *Virtual and Mixed Reality, Part I, HCII 2011*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 144-153, 2011.
- (Dar05) Rudolph P. Darken und Richard Durost. Mixed-Dimension Interaction in Virtual Environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2005)*, Monterey, California, pp. 38-45, 2005.
- (Das10) Kaushik Das und Christoph W. Borst. An Evaluation of Menu Properties and Pointing Techniques in a Projection-Based VR Environment. In *IEEE 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 47-50, 2010.
- (Dav01) Ann L. Davidson, Janet W. Schofield und J. Stock. Professional Cultures and Collaborative Efforts: A Case Study of Technologists and Educators Working for Change. In *The Information Society*, vol. 17, pp. 21-32, 2001.
- (Dav05) Gary Davis. Prolonging the Pleasure. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 307-312, 2005.
- (Dem86) Edwards W. Deming. *Out of the Crisis*. Center for Advanced Engineering Study Cambridge, 1986.
- (Des99) Pieter M. A. Desmet, Paul P. M. Hekkert und Jan J. Jacobs. When a Car Makes You Smile: Development and Application of an Instrument to Measure Product Emotions. In *Advances in Consumer Research*, vol. 27. Pp. 111-117, 1999.
- (Des05) Pieter M. A. Desmet und Paul P. M. Hekkert. The Basis of Product Emotions, In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 58-66, 2005.
- (Dey01) Anind K. Dey. Understanding and Using Context. In *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, vol. 5, pp. 4-7, 2001.
- (Dou96) M. Douglas. *Thought Styles. Critical Essays on Good Taste*. SAGE Publications London / Thousand Oaks / New Delhi, pp. 95-104, 1996.

- (Dro08) Milena Droumeva und Ron Wakkary. Understanding Aural Fluency in Auditory Display Design for Ambient Intelligent Environments. In *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*, Paris, pp. 1-7, 2008.
- (Dun99) Anthony Dunne. *Hertzian Tales: Electronic Products, Aesthetic Experience and Critical Design*. RCA CRD Research Publications London, 1999.
- (Dut95) Alan F. Dutka. *AMA Handbook of Customer Satisfaction: A Guide to Research, Planning, and Implementation*. NTC Publishing Group Illinois, 1995.
- (Dza09) Jeronimo Dzaack. Gelfreie Elektroden zur Erfassung von Gehirnaktivität für den Einsatz in Brain-Computer Interfaces. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 1-5, 2009.
- (Ede08) Wolfgang E. Eder und Stanislav Hosnedl. *Design Engineering – A Manual for Enhanced Creativity*. CRC Press New York, 2008.
- (Ehr07) Klaus Ehrlenspiel. *Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 3. überarbeitete Auflage, Hanser Verlag München, 2007.
- (Eig09) Martin Eigner und Ralph Stelzer. *Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. 2. Auflage, Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- (Ekm78) Paul Ekman und Wallace V. Friesen. The Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. In *Consulting Psychologists Press*, 1978.
- (Ekm94) Paul Ekman. Moods, Emotions and Traits. In *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press New York / Oxford, pp. 56-58, 1994.
- (Ekm10) Paul Ekman. *Gefühle lesen: Wie Sie Emotionen erkennen und richtig interpretieren*. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2010.
- (Ell89) Stephen R. Ellis und Arthur J. Grunwald. Visions of Visualization Aids: Design Philosophy and Observations. In *Proceedings of the SPIE OE/LASE '89, Symposium on Three-Dimensional Visualization of Scientific Data*, pp. 220-227, 1989.
- (Eps94) Seymour Epstein. Integration of the Cognitive and Psychodynamic Unconscious. In *American Psychologists*, vol. 49, pp. 709-724, 1994.
- (Eul00) Harald A. Euler. Evolutionstheoretische Ansätze. In *Emotionspsychologie*. Psychologie Verlags-Union Beltz, pp. 45-63, 2000.
- (Fas07) Didier Fass. Integrative Physiological Design: A Theoretical and Experimental Approach on Human Systems Integration. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 52-61, 2007.
- (Fau07) Rita Faullant. *Psychologische Determinanten der Kundenzufriedenheit: Der Einfluss von Emotionen und Persönlichkeit*. Deutscher Universitäts-Verlag Wiesbaden, pp. 145-196, 2007.
- (Fen08) Jackie Fenn und Mark Raskino. *Gartners' Hype Cycle for 2010*, Gartner Inc., 2010.
- (Fen10) Jackie Fenn und Mark Raskino. *Mastering the Hype Cycle: How to Choose the Right Innovation at the Right Time*. Gartner Inc., Harvard Business Press, 2010.
- (Fir03) Norman L. Firchau. *Variantenoptimierende Produktgestaltung*. Cuvillier Göttingen, 2003.
- (Fol84) James D. Foley, Victor L. Wallace und Peggy Chan. The Human Factors of Computer Graphics Interaction Techniques. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 4, no. 11, pp. 13-48, 1984.

- (Fre09) Berit Frehse, Ernst Roidl, Michael Oehl, Janina Suhr, Hans-Rüdiger Pfister und Rainer Höger. Emotionale Interfaces in der Fahrzeugsteuerung – Ein psychonischer Ansatz. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 132-145, 2009.
- (Fri86) Nico H. Frijda. *The Emotions*. Cambridge University Press, 1986.
- (Fri93) Nico H. Frijda. Appraisal and Beyond. In *Cognition and Emotion*, vol. 7, no. 3-4, pp. 225-231, 1993.
- (Fuk11) Shiuchi Fukuda. Emotion: A Gateway to Wisdom Engineering. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 1-20, 2011.
- (Gao10) Peng Gaoliang, Wang Gongdong, Liu Wenjian und Yu Haiquan. A Desktop Virtual Reality-Based Interactive Modular Fixture Configuration Design System. In *Computer-Aided Design*, vol. 42, pp. 432-444, 2010.
- (Gar91) David A. Garvin. Competing on the Eight Dimensions of Quality. In *Unconditional Quality*, Harvard Business Review, Cambridge, pp.43-51, 1991.
- (Gau06) Jürgen Gausemeier und Klaus Feldmann (Hrsg.). *Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen*. Hanser Verlag München, 2006.
- (Gib79) James J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin, 1979.
- (Gie03) Herbert Gierl und Boris Bartikowski. Ermittlung von Satisfiers, Dissatisfiers und Criticals in der Zufriedenheitsforschung. In *Der Markt*, vol. 42, no. 164, pp. 14-34, 2003.
- (Gmy00) Piotr J. Gmytrasiewicz und Christine L. Lisetti. Using Decision Theory to Formalize Emotions for Multi-Agent System Applications: Preliminary Report. In *4th International Conference on Multi-Agent Systems*, Boston, pp. 391-392, 2000.
- (Gol90) Lewis R. Goldberg. An Alternative “Description of Personality”: The Big-Five Factor Structure. In *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 59, no. 6, pp. 1216-1229, 1990.
- (Göt06) Oliver Götz, Wayne D. Hoyer, Manfred Krafft und Werner J. Reinartz. Der Einsatz von Customer Relationship Management zur Steuerung von Kundenzufriedenheit. In *Kundenzufriedenheit: Konzepte – Methoden – Erfahrungen*. 6. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 409-430, 2006.
- (Gri02) Kai-Michael Griese. *Der Einfluss von Emotionen auf die Kundenzufriedenheit: Ansätze für ein erfolgreiches Consumer Relationship Marketing mit 18- bis 25-jährigen Bankkunden*. Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden, 2002.
- (Gri10) Evangelos Grigoroudis und Yannis Siskos. Customer Satisfaction Evaluation: Methods for Measuring and Implementing Service Quality. In *International Series in Operations Research & Management Science*, Springer Science+Business Media LLC New York, 2010.
- (Gro04) Helge C. Groß. *Architektur und Entwicklung von VR-Anwendungen (VR-Frameworks). Präsentation - Ausarbeitung zum Hauptseminar Virtual and Augmented Reality*, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2004.
- (Gru05) Thomas S. Gruca und Lopo L. Rego. Customer Satisfaction, Cash Flow, and Shareholder Value. In *Journal of Marketing*, vol. 69, pp. 115-130, 2005.
- (Haa04) Andreas Haag, Silke Goronzy, Peter Schaich und Jason Williams. Emotion Recognition Using Bio-Sensors: First Steps Towards an Automatic System. In *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3068, pp. 33-48, 2004.

- (Has05a) Marc Hassenzahl. Interaktive Produkte wahrnehmen, erleben, bewerten und gestalten. In *Knowledge Media Design – Grundlagen und Perspektiven einer neuen Gestaltungsdisziplin*. Oldenbourg München, pp. 151-171, 2005.
- (Has05b) Marc Hassenzahl. The Quality of Interactive Products: Hedonic Needs, Emotions and Experience. In *Encyclopedia of Human Computer Interaction*. Idea Group London, pp. 266-272, 2005.
- (Hat06) Yotara Hatamura. Decision-Making in Engineering Design: Theory and Practice. Springer-Verlag London Ltd, 2006.
- (Hau05) Anne-Lise Hauge-Nilsen und Margaret G. Flyte. Understanding Attributes that Contribute to Pleasure in Product Use. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 248-260, 2005.
- (Hau90) Douglas Hausknecht. Emotion Measures of Satisfaction/Dissatisfaction. In *Journal of Consumer Satisfaction, Dissatisfaction and Complaining Behaviour*, vol. 1, no. 1, pp. 25-33, 1990.
- (Heb49) Donald Hebb. The Organization of Behaviour. John Wiley and Sons New York, 1949.
- (Hec05) Heiko Hecht und Stefan Berti. Elektrophysiologie und virtuelle Realität als Mittel zur Untersuchung von Wahrnehmungsprozessen. In *Natur & Geist, Forschungsmagazin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz*, no. 1/2005, pp. 22-25, 2005.
- (Hen03) Jolijn A. Hendriks, Marco Perugini, Alois Angleitner, Fritz Ostendorf, J. A. Johnson, F. De Fruyt, M. Hrebickova, S. Kreitler, T. Murakami, D. Bratko, M. Conner, J. Nagy, A. Rodriguez-Fornelis und I. Ruisel. The Five-Factor Personality Inventory: Cross-Cultural Generalizability Across 13 Countries. In *European Journal of Personality*, vol. 17, pp. 347-373, 2003.
- (Hen97) Alexander Hennig. *Die andere Wirklichkeit*. 1. Audt. Edition, Addison-Wesley, 1997.
- (Hen95) Norbert Henrichs. Menschsein im Informationszeitalter. In *Informationsethik*. Universitätsverlag Konstanz GmbH, pp. 23-36, 1995.
- (Hen93) Joachim Hentze, Peter Brose und Andreas Kammel. Unternehmensplanung – eine Einführung. 2. Auflage, Verlag Paul Haupt Bern / Stuttgart / Wien, 1993.
- (Her06) Michael Herczeg. Interaktionsdesign: Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2006.
- (Her65) Frederick Herzberg. The New Industrial Psychology. In *Industrial and Labor Relations Review*, vol. 18, no. 3, pp. 364-376, 1965.
- (Hil03) Harold Hill, Yuri Jino und Alan Johnston. Comparing Solid-Body with Point-Light Animations. In *Perception*, vol. 32, pp. 561-566, 2003.
- (Hil06) Nigel Hill und Jim Alexander. Handbook of Customer Satisfaction and Loyalty Measurement. Gower Publishing Hampshire, 2006.
- (Hof91) Geert Hofstede. Cultures and Organisations: Software of the Mind. McGraw-Hill International Maidenhead, 1991.
- (Höl08) Jörg A. Hölzing. Die Kano-Theorie der Zufriedenheitsmessung: Eine theoretische und empirische Überprüfung. GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2008.
- (Hom95) Christian Homburg. Kundennähe von Industriegüterunternehmen. Wiesbaden, 1995.
- (Hom03) Christian Homburg und Harley Krohmer. Marketingmanagement. Strategie – Instrumente – Umsetzung – Unternehmensführung. Wiesbaden, 2003.

- (Hom06a) Christian Homburg und Matthias Bucerius. Kundenzufriedenheit als Managementtherausforderung. In *Kundenzufriedenheit: Konzepte – Methoden – Erfahrungen*. 6. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 53-90, 2006.
- (Hom06b) Christian Homburg, Nicole Koschate und Wayne D. Hoyer. The Role of Cognition and Affect in the Formation of Customer Satisfaction: A Dynamic Perspective. In *Journal of Marketing*, vol. 70, no.3, pp. 21-31, 2006.
- (Hom09) Christian Homburg und Harley Krohmer. Marketingmanagement Strategie – Instrumente – Umsetzung – Unternehmensführung. 3. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.
- (Hsi02) Shih-Wen Hsiao und Hung-Cheng Huang. A Neural Network Based Approach for Product Form Design. In *Design Studies*, vol. 23, no. 1, pp. 67-84, 2002.
- (Hsi06) Kun-An Hsiao und Lin-Lin Chen. Fundamental Dimensions of Affective Responses to Product Shapes. In *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 36, pp. 553-564, 2006.
- (Hud03) Eva Hudlicka. To Feel or not to Feel: The Role of Affect in Human-Computer Interaction. In *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 59, no. 1-2, pp. 1-32, 2003.
- (Ili10) Noah Ilinisky. On Beauty. In *Beautiful Visualization*. O'Reilly Media Sebastopol, pp. 1-14, 2010.
- (Isa00) Scott G. Isaksen, Brian K. Dorval und Dohn J. Treffinger. Creative Approaches to Problem Solving: A Framework for Change. Kendal Hunt, 2000.
- (ISO94) International Organization for Standardization. Quality Management and Quality Assurance – Vocabulary, 1994.
- (ISO05) International Organization for Standardization. Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, 2005.
- (Isr96) Johann-Habakuk Israel, Stefan Zachow und Kai Köchy. Virtual Reality: Grundlagen und Medizinische Anwendungen. Berichte des Fachbereiches 13 Informatik, Technische Universität Berlin, 1996.
- (Iza99) Carol E. Izard. Die Emotionen des Menschen: Eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie. Beltz Psychologie Verlags-Union Weinheim, 1999.
- (Jac08) Robert J. K. Jacob, Audrey Girouard, Leanne M. Hirshfield, Michael S. Horn, Orit Shaer, Erin T. Solovey und Jamie Zigelbaum. Reality-Based Interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, Firenze, Italy, pp. 201-210, 2008.
- (Jai05) Alejandro Jaimes und Nicu Sebe. Multimodal Human Computer Interaction: A Survey. In *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision in Human-Computer Interaction (ICCV 2005)*, Beijing, pp. 116-134, 2005.
- (Jas58) Herbert H. Jasper. The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. In *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. vol. 10, pp. 371-375, 1958.
- (Jev05) Birgit H. Jevnaker. Understanding People and Pleasure-Based Human Factors. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 274-287, 2005.
- (Jor96) Patrick W. Jordan, Bruce Thomasn und Ian L. McClelland. Issues for Usability Evaluation in Industry: Seminar Discussions. In *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis London, pp. 237-244, 1996.
- (Jor05) Patrick W. Jordan. The Personalities of Products. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 17-46, 2005.

- (Jur88) Joseph M. Juran. *Juran on Planning for Quality*. The Free Press New York, 1998.
- (Kaa09) Taina Kaapu, Tarja Tiainen und Asko Ellman. Virtual Prototyping in Product Development: Users' Context Related Understanding. In *The Proceedings of the 16th International Product Development Management Conference*, Twente, pp. 18-35, 2009.
- (Kah05) Roel Kahmann und Lilian Henze. Mapping the User-Product Relationship (in Product Design). In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 289-297, 2005.
- (Kai02) Marc-Oliver Kaiser. *Erfolgsfaktor Kundenzufriedenheit: Dimensionen und Messmöglichkeiten*. Innsbruck, 2002.
- (Käl05) Mirja Kälviäinen. Product Design for Consumer Taste. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 75-93 , 2005.
- (Kan01) Noriaki Kano. Life Cycle and Creation of Attractive Quality. In *4th International QMD Conference on Quality Management and Organisational Development*, Linköping, 2001.
- (Kat10) Jurica Katicic. *Marketinganwendungen der Virtuellen Realität*. Masterarbeit an der Technischen Universität Sofia, 2010.
- (Kat11) Jurica Katicic, Angel Bachvarov, Steffen Walter und David Hrabal. Emotional Customer Feedback on Virtual Products in Immersive Environment. In *XX Scientific and Technical Conference with International Participation „ADP-2011“*, Sozopol, pp. 665-675, 2011.
- (Keh06) Roland Kehl und Luc Van Gool. Markerless Tracking of Complex Human Motions from Multiple Views. In *Journal of Computer Vision and Image Understanding*. Elsevier Science New York, vol. 104, no. 2, pp. 190-209, 2006.
- (Ker97) Mikko Kerttula, Marko Salmela und Marko Heikkinen. Virtual Reality Prototyping – A Framework for the Development of Electronics and Telecommunication Products. In *Proceedings of the 8th IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping*, pp. 2-11, 1997.
- (Kes08) Henrik Kessler, Alexander Festini, Harald C. Traue, Suzanne Filipic, Michael Weber und Holger Hoffmann. SIMPLEX – Simulation of Personal Emotion Experience. In *Affective Computing: Emotion Modelling, Synthesis and Recognition*. I-Tech Education and Publishing Vienna, pp. 255-271, 2008.
- (Kha07) Halimahtun M. Khalid. Citarasa Framework for Affective Design and Evaluation - Präsentation. In *CATER Workshop From “a” Vehicle to “my” Vehicle*, Stuttgart, 2007.
- (Kha09) Halimahtun M. Khalid. Citarasa Engineering for Identifying and Evaluating Affective Design - Präsentation. In *CATER Workshop on Mass Customization of Vehicles*, Kuala Lumpur, 2009.
- (Kim11) Y. S. Kim, J. Y. Yeong, M. K. Kim, S. W. Lee und M. Kim. Personal Cognitive Characteristics in Affordance Perception: Case Study in a Lobby. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd. London, pp. 179-206, 2011.
- (Kip09) Michael Kipp und Jean-Claude Martin. Gesture and Emotion: Can Basic Gestural Form Features Discriminate Emotions? In *Proceedings of the International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII-09)*. IEEE Press, pp. 1-8, 2009.
- (Kit09) Christian Kittl. *Kundenakzeptanz und Geschäftsrelevanz: Erfolgsfaktoren für Geschäftsmodelle in der digitalen Wirtschaft*. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.
- (Kja08) Uffe B. Kjaerulff und Anders L. Madsen. *Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis*. Springer Science + Business Media LLC New York, 2008.

- (Kle09) Wilhelm Kleppmann. Taschenbuch Versuchsplanung: Produkte und Prozesse optimieren. 6. überarbeitete Auflage, Carl Hansen Verlag München / Wien, 2009.
- (Kos80) Barbara J. Kostrewski und Charles Oppenheim. Ethics in Information Science. In *Journal of Information Science*, vol. 1, pp. 277-283, 1980.
- (Kow07) Yong M. Kow, Angela Tan und Martin Helander. What Stories Inform Us About the Users? In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 89-97, 2007.
- (Kra99) Manfred Krafft. Der Kunde im Fokus: Kundennähe, Kundenzufriedenheit, Kundenbindung – und Kundenwert?. In *Die Betriebswirtschaft*, vol. 59, no. 4, pp. 511-530, 1999.
- (Kra09a) Jarek Krajewski. Speech Emotion Recognition – Acoustic Measurement of User States in Human-Computer Interaction (HCI). In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 94-108, 2009.
- (Kra09b) Hardy Krappe. Erweiterte virtuelle Umgebungen zur interaktiven, immersiven Verwendung von Funktionsmodellen. Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH), 2009.
- (Kre08) Ralf T. Kreuzer und Wolfgang Merkle. Die Notwendigkeit zur Neuausrichtung des Marketing. In *Die Neue Macht des Marketing*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 13-17, 2008.
- (Kro99) Werner Kroeber-Riel und Peter Weinberg. Konsumentenverhalten. 8. Auflage, Verlag Vahlen München, 1999.
- (Kup09) Stefan Kupschick und Astrid Oehme. Online-Emotionsklassifizierung auf Basis eines Valenz-Arousal-Modells. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 83-93, 2009.
- (Kur95) Masaaki Kurosu und Kaori Kashimura. Apparent Usability Versus Inherent Usability: Experimental Analysis on the Determinants of the Apparent Usability. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, Denver, Colorado, pp. 292-293, 1995.
- (Lan05) Peter G. Lang, Margaret M. Bradley und Bruce N. Cuthbert. International Affective Picture System (IAPS): Instruction Manual and Affective Ratings. University of Florida, 2005.
- (Lan08) Alexander Lang und Susanne Reich. „Outside in“ – Die erfolgreiche Integration von Endkunden in den Innovationsprozess. In *Die Neue Macht des Marketing*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 131-147, 2008.
- (Lar92) Randy J. Larsen und Edward Diener. Promises and Problems with the Circumplex Model of Emotion. In *Review of Personality and Social Psychology*. Sage, Newbury Park, vol. 13, pp. 25-29, 1992.
- (Lar03) Jeff T. Larsen, Catherine J. Norris und John T. Cacioppo. Effects of Positive and Negative Affect on Electromyographic Activity over Zygomaticus Major and Corrugator Supercilli. In *Psychophysiology*, vol. 40, pp. 776-785, 2003.
- (Laz94) Richard S. Lazarus. The Stable and the Unstable in Emotion. In *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press New York / Oxford, pp. 79-85, 1994.
- (Laz97) Richard S. Lazarus. Fifty Years of the Research and Theory of R. S. Lazarus. Lawrence Erlbaum Associates Inc. Mahwah / New Jersey, 1991.
- (Lee05) Seunghee Lee, Akira Harada und Pieter J. Stappers. Design Based on Kansei. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 212-222, 2005.

- (Lee06) Dai G. Lee und Nam P. Suh. *Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures*. Oxford University Press New York, 2006.
- (Li10) Ling Li und James Campbell. Emotion Modelling and Interaction of NPCs in Virtual Simulation and Games. In *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, no. 4, pp. 1-6, 2010.
- (Lil06) Johan Lilja und Hakan Wiklund. Obstacles to the Creation of Attractive Quality. In *The TQM Magazine*, vol. 18, no. 1, pp. 55-66, 2006.
- (Lin11) Yingzi Lin. Affective Driving. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 263-274, 2011.
- (Lit97) Heinrich Litzenroth. Dem Verbraucher auf der Spur. In *Marketing Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 242-244, 1997.
- (Liu05) Zhen Liu und Zhi Geng Pan. An Emotion Model of 3D Virtual Characters in Intelligent Virtual Environment. In *Proceedings of the 1st International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII 2005)*, Beijing, China, pp. 629-636, 2005.
- (Mac98) Alastair S. Macdonald. Developing a Qualitative Sense. In *Human Factors in Consumer Products*. Taylor & Francis Ltd, pp. 175-192, 1998.
- (Mac05) Alastair S. Macdonald. The Scenario of Sensory Encounter: Cultural Factors in Sensory-Aesthetic Experience. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 109-119, 2005.
- (Mai99) Klaus Mainzer. *Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft*. Springer Berlin / Heidelberg, 1999.
- (Man07) Petri Mannonen und Mika P. Nieminen. Design Perspectives: Sampling User Research for Concept Development. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 108-117, 2007.
- (Man93) Haim Mano und Richard L. Oliver. Assessing the Dimensionality and Structure of the Consumption Experience: Evaluation, Feeling, and Satisfaction. In *Journal of Consumer Research*, vol. 20, pp. 451-466, 1993.
- (Mao05) Yi-Je Mao, Karel Vredenburg, Paul W. Smith und Tom Carey. The State of User-Centered Design Practice. In *Communications of the ACM*, vol. 48, no. 3, pp. 105-110, 2005.
- (Mar81) Ference Marton. Phenomenography – Describing Conceptions of the World Around Us. In *Instructional Science*, vol. 10, pp. 177-200, 1981.
- (Mar04) Winfried Marotzki. Interaktivität und virtuelle Communities. In *Interaktivität: ein transdisziplinärer Schlüsselbegriff*. Campus Verlag Frankfurt, pp. 118-131, 2004.
- (Mas07) Malia F. Mason, Michael I. Norton, John D. Van Horn, Daniel M. Wegner, Scott T. Grafton and Neil C. Macrae. Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought. In *Science*, vol. 315, pp. 393-395, 2007.
- (Mat05) Kurt Matzler, Matthias Fuchs, Hans Jörg Binder und Helmut Leih. Asymmetrische Effekte bei der Entstehung von Kundenzufriedenheit. Konsequenzen für die Importance-Performance-Analyse. In *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, vol. 75, no. 3, pp. 299-318, 2005.
- (Mau05) Iris B. Mauss, Robert W. Levenson, Loren McCarter, Frank H. Wilhelm und James J. Gross. The Tie that Binds? Coherence Among Emotion Experience, Behaviour, and Physiology. In *Emotion*, vol. 5, no. 2, pp. 175-190, 2005.

- (McC03) Robert R. McCrae und Paul T. Costa. Personality in Adulthood: A Five-Factor Theory Perspective. 2. Ausgabe, Guilford Press, 2003.
- (Mee02) Michael Meehan, Brent Insko, Mary Whitton und Frederick P. Brooks. Physiological Measures of Presence in Stressful Virtual Environments. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21, no. 3, pp. 645-652, 2002.
- (Mer08) Wolfgang Merkle und Ralf T. Kreuzer. Emotion, Leidenschaft und Begeisterung – Ein (noch immer) unterschätzter Erfolgsfaktor in Marketing. In *Die Neue Macht des Marketing*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 21-48, 2008.
- (Mey01) Wulf-Uwe Meyer, Rainer Reisenzein und Achim Schützwohl. Einführung in die Emotionspsychologie. Band 1: Die Emotionstheorien von Watson, James und Schachter. Hans Huber Verlag Bern / Göttingen, 2001.
- (Mey07) Christopher Meyer und Andre Schwager. Understanding Customer Experience. In *Harvard Business Review*, Harvard Business School Publishing Corporation Boston, vol. 85, no. 2, pp. 117-126, 2007.
- (Mil94) Paul Milgram, Harno Takemura, Akira Utsumi und Fumio Kishino. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In *Proceedings of Telem manipulator and Telepresence Technologies*, vol. 2351, pp. 282-292, 1994.
- (Mil99) Nicola Millard, Toby Coe, Michael Gardner, Andrew Gower, Linda Hole und Simon Crowle. The Future of Customer Contact. In *British Telecom Technology Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 51-52, 1999.
- (Mil98) Daniel Miller. Material Cultures: Why Some Things Matter. UCL Press London, 1998.
- (Moh06) Carsten Mohs, Jörn Hurtienne, D. Scholz und M. Rötting. Intuitivität – definierbar, beeinflussbar, überprüfbar. In *Useware 2006*, VDI-Bericht Nr. 1946, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 215-224, 2006.
- (Mor05) Jacquelyn F. Morie, Josh Williams, Aimee Dozois und Donat-Pierre Luigi. The Fidelity of „Feel“: Emotional Affordance in Virtual Environments. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2005)*, pp. 1-10, 2005.
- (Mos09) Gordon B Moskowitz und Heidi Grant (Hrsg.). The Psychology of Goals. The Guilford Press New York, 2009.
- (Mot95) Motorola. Customer Satisfaction Assessment Guide. Motorola University Press, 1995.
- (Muf95) Moreno Muffato und Roberto Panizzolo. A Process-Based View for Customer Satisfaction. In *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 12, no. 9, pp. 154-169, 1995.
- (Nak06) Fumitaka Nakaizumi, Yasuyuki Yanagida, Haruo Noma und Kenichi Hosaka. SpotScents: A Novel Method of Natural Scent Delivery Using Multiple Scent Projectors. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2006*. Alexandria, Virginia, pp. 207-212, 2006.
- (Nar96) Bonnie A. Nardi. Studying Context: A Comparison of Activity Theory, Situated Action Models and Distributed Cognition. In *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-Computer Interaction*. The MIT Press Cambridge, pp. 69-102, 1996.
- (Nau07) Anja Naumann, Jörn Hurtienne, Johann H. Israel, Carsten Mohs, Martin C. Kindsmüller, Herbert A. Meyer, Steffi Hußlein. Intuitive Use of User Interfaces: Defining a Vague Concept. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 128-136, 2007.
- (Nav09) David Navarre, Philippe Palanque, Jean-Francois Ladry und Eric Barboni. ICOs: A Model-Based User Interface Description Technique Dedicated to Interactive Systems Addressing Usability, Reliability and Scalability. In *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 16, no. 4, pp. 18:1-18:56, 2009.

- (Neu89) Oswald Neuberger. Organisationstheorien. In *Organisationspsychologie*, Göttingen, vol. 3, pp. 205-250, 1989.
- (Neu01) Serina A. Neumann und Shari R. Waldstein. Similar Patterns of Cardiovascular Response during Emotional Activation as a Function of Affective Valence and Arousal and Gender. In *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 50, pp. 245-253, 2001.
- (Non95) Ikujiro Nonaka und Hirotaka Takeuchi. *The Knowledge Creating Company*. Oxford University Press New York, 1995.
- (Nor67) Warren T. Norman. *2.800 Personality Trait Descriptors: Normative Operating Characteristics for a University Population*. Ann Arbor, 1967.
- (Nor86) Donald A. Norman. *Cognitive Engineering*. In *Issues in User-Centered System Design*. Lawrence Erlbaum Associates Hillsdale, 1986.
- (Nor04) Donald A. Norman. *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. Basic Books New York, 2004.
- (Nor07) Catherine J. Norris, Jeff T. Larsen und John T. Cacioppo. Neuroticism is Associated with Larger and More Prolonged Electrodermal Responses to Emotionally Evocative Pictures. In *Psychophysiology*, vol. 44, no. 5, pp. 823-826, 2007.
- (Oeh09) Martin Oehler, Mischa Siekmann, Gabriel Curio und Meinhard Schilling. Anwendung eines kapazitiven Helmsystems für ein SSVEP-basiertes Brain-Computer Interface. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 6-11, 2009.
- (Ogi11) Tetsuro Ogi. Emotional Design in the Virtual Environment. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 103-117, 2011.
- (Oh04) Hyunjoo Oh, So-Yeon Yoon und Jana Hawley. What Virtual Reality Can Offer to the Furniture Industry. In *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, vol. 4, no. 1, pp. 1-17, 2004.
- (Ohk11) Michiko Ohkura, Masahide Hamano, Hiroyuki Watanabe und Tetsuro Aoto. Measurement of Wakuwaku Feeling of Interactive Systems Using Biological Signals. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 327-343, 2011.
- (Oku97) Masashi Okubo und Tomio Watanabe. Sensory Evaluation of the Preference of 3D Shape in Virtual and Real Environments. In *Proceedings of the Sixth IEEE International Workshop on Robot and Human Communications*, pp. 460-464, 1997.
- (Oli77) Richard L. Oliver. Effect of Expectation and Disconfirmation on Postexposure Product Evaluations: An Alternative Interpretation. In *Journal of Applied Psychology*, vol. 62, no. 4, pp. 480-486, 1977.
- (Oli93) Richard L. Oliver. Cognitive, Affective and Attribute Bases of the Satisfaction Response. In *Journal of Consumer Research*, vol. 20, pp. 418-430, 1993.
- (Oli97) Richard L. Oliver. *Satisfaction – A Behavioral Perspective on the Customer*. McGraw-Hill New York, 1997.
- (Ols03) L. L. Olsen und M. D. Johnson. Service Equity, Satisfaction, and Loyalty: From Transaction-Specific to Cumulative Evaluations. In *Journal of Service Research*, vol. 5, no. 3, pp. 184-197, 2003.
- (Omm06) Miriam Ommeln. *Die Technologie der Virtuellen Realität: Technikphilosophisch nachgedacht*. Peter Lang Verlag Frankfurt, 2006.
- (Omm08) Miriam Ommeln. Erkenntnistheorie im Virtuellen. In *Geschichte, Affekte, Medien*. Akademie Verlag Berlin, pp. 95-113, 2008.

- (Omm09) Miriam Ommeln. Die Verschränkung von ethischen und ästhetischen Aspekten am technologischen Produkt des Ingenieurs: Design-techno-logik. In *Verantwortung in Technik und Ökonomie*. Universitätsverlag Karlsruhe, pp. 143-169, 2009.
- (Ort88) Andrew Ortony, Gerald L. Clore und Allan Collins. *The Cognitive Structure of Emotions*. University Press New York / Cambridge, 1988.
- (Ott02) Stig Ottosson. Virtual Reality in the Product Development Process. In *Journal of Engineering Design*, vol. 13, no. 2, pp. 159-172, 2002.
- (Ove05) Kees Overbeeke, Tom Djadjadiningrat, Caroline Hummels und Stephan Wensveen. Beauty in Usability: Forget about Ease of Use!, In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 7-16, 2005.
- (Ovt10) Jivka Ovtcharova. Präsentation - Vorlesungen im Fach Virtual Engineering 1 für das Wintersemester 2010/2011 am Karlsruher Institut für Technologie, 2011.
- (Ovt11) Jivka Ovtcharova und Jurica Katicic. Kundeneinbindung in die virtuelle Produktgestaltung. In *Jahresbericht 2010/2011 der Gesellschaft zur Förderung des Forschungstransfers e.V.*, Bad Vilbel, pp. 21-22, 2011.
- (Pac01) Randall Packer und Ken Jordan. *Multimedia from Wagner to Virtual Reality*. Norton & Company New York, 2001.
- (Pah07) Gerhard Pahl. *Konstruktionslehre*. 7. Ausgabe, Springer, 2007.
- (Pal09) Marc Pallot. Engaging Users into Research and Innovation: The Living Lab Approach as a User Centred Open Innovation Ecosystem. Webergence Blog, 2009.
- (Pel08) Nuria Pelechano, Jan Allbeck und Norman Badler. *Virtual Crowds: Methods, Simulation and Control*. 2008.
- (Phi02) Diane M. Phillips und Hans Baumgartner. The Role of Consumption Emotions in the Satisfaction Response. In *Journal of Consumer Psychology*, vol. 12, no. 3, pp. 242-252, 2002.
- (Pic97) Rosalind W. Picard. *Affective Computing*. The MIT Press, 1997.
- (Pic01) Rosalind W. Picard, Elias Vyzas und Jennifer Healey. Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, pp. 1175-1191, 2001.
- (Pil06) Frank T. Piller. *Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden, 2006.
- (Pla09) Markus Plank, Hermann J. Müller, Scott Makeig, J. Onton und Klaus Gramann. VR as Promising Tool for Experimental Research on Human Spatial Navigation. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 50-62, 2009.
- (Plu60) Robert Plutchik. The Multifactor-Analytic Theory of Emotion. In *Journal of Psychology*, vol. 50, pp. 153-171, 1960.
- (Pon08) Josef Ponn und Udo Lindemann. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: optimierte Produkte*. Springer Berlin / Heidelberg, 2008.
- (Pop05) Vesna Popovic. Activity and Designing Pleasurable Interaction with Everyday Artifacts. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 357-366, 2005.
- (Ras05) Marc Raschke. Mittendrin. In *Brand eins*, vol. 8, pp. 68-74, 2005.

- (Red10) Redorbit News. Virtual Reality Used to Test Human Emotions. <http://www.redorbit.com/news/display/?id=1907017>, 2010.
- (Ren07) Ingo Renner. Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil. Produktentwicklung München, Band 68, 2007.
- (Rin09) Gerhard Rinkenauer. Brain-Computer-Interfaces zwischen Videogame und Fahrerabsichtserkennung. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 14-19, 2009.
- (Rog95) Everett M. Rogers. Diffusion of Innovations. 4th edition, The Free Press New York, 1995.
- (Rop79) Günther Ropohl. Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik. München / Wien, 1979.
- (Rus84) James A. Russell und U. F. Lanius. Adaptation Level and the Affective Appraisal of Environments. In *Journal of Environmental Psychology*, vol. 4, pp. 119-135, 1984.
- (Rus97) James A. Russell, How Shall an Emotion be Called?. In *Circumplex Models of Personality and Emotions*. American Psychological Association, pp. 205-220, 1997.
- (Rus95) Roland T. Rust, Anthony J. Zahornik und Timothy L. Keiningham. Return on Quality (ROQ): Making Service Quality Financially Accountable. In *Journal of Marketing*, vol. 59, pp. 58-70, 1995.
- (Rut05) Steve Rutherford. Cooking up Pleasurable Products: Understanding Designers. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis, London / New York, pp. 298-306, 2005.
- (Sal05) Antti Salovaara und Petri Mannonen. Use of Future-Oriented Information in User-Centered Product Concept Ideation. In *INTERACT 2005*, Springer Heidelberg, vol. 3585, pp. 727-740, 2005.
- (San07) Karl W. Sandberg und Yan Pan. The Role of Human Factors in Design and Implementation of Electronic Public Information Systems. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 164-173, 2007.
- (San08) Christoph Santner und Holger Kuhfuss. Marketing in der Kreationsgesellschaft – „Ich bin mein eigenes Geschöpf“. In *Die Neue Macht des Marketing*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 201-228, 2008.
- (Sau00) Elmer Sauerwein. Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. Reliabilität und Validität einer Methode zur Klassifizierung von Produkteigenschaften. Wiesbaden, 2000.
- (Sch09) Kristina Schaaff und Tanja Schultz. EEG-Based Emotion Recognition Using Support Vector Machines. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 72-77, 2009.
- (Sch98) Rainer Schandry. Lehrbuch der Psychophysiologie. Psychologie Verlags Union München, 1998.
- (Sch08) Christian Scheier. Neuromarketing – Über den Mehrwert der Hirnforschung für das Marketing. In *Die Neue Macht des Marketing*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, pp. 305-323, 2008.
- (Sch10) Christian Scheier, Dirk Bayas-Linke und Johannes Schneide. Codes. Die Geheime Sprache der Produkte. Haufe-Lexware GmbH & Co. KG Freiburg, 2010.
- (Sch81) Klaus R. Scherer. Speech and Emotional States. In *Speech Evaluation in Psychiatry*, Grune and Stratton New York, pp. 189-220, 1981.
- (Sch00) Klaus R. Scherer. Psychological Models of Emotion. In *The Neuropsychology of Emotion*. Oxford University Press New York, pp. 137-162, 2000.

- (Sch03) Klaus R. Scherer, Tom Johnstone und Gudrun Klasmeyer. Vocal Expression of Emotion. In *Handbook of Affective Sciences*, Oxford University Press, pp. 433-456, 2003.
- (Sch05a) Klaus R. Scherer. What are Emotions? And How Can they be Measured? In *Social Science Information*, vol. 44, no. 4, pp. 695-729, 2005.
- (Sch07a) Fritz Scheuch. Marketing. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 2007.
- (Sch09b) Ludger Schmidt und Michael Domhardt. Untersuchung des Neural Impulse Actuators als Brain-Computer-Interface. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 21-28, 2009.
- (Sch09c) Martin Schmidt-Daffy. Ziele und Probleme der Erkennung emotionaler Nutzerzustände anhand peripherphysiologischer und sprachbezogener Daten. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 78-82, 2009.
- (Sch05b) Martin Schreier. Wertzuwachs durch Selbstdesign: Die erhöhte Zahlungsbereitschaft beim Einsatz von „Toolkits for User Innovation and Design“. Gabler DUV Wiesbaden, 2005.
- (Sch01) Günther Schuh und Urs Schwenk. Produktkomplexität managen. Strategien – Methoden – Tools. Hanser Verlag München, 2001.
- (Sch07b) Rilda Schütte und Simon Schütte. Affective Impact on Warning-Signs – A Study Utilizing Kansei Engineering Methodology. In *10th QMOD Conference*, vol. 26, no. 90, p. 1-8, 2007.
- (Seb04) Nicu Sebe, Ira Cohen und Thomas S. Huang. Multimodal Emotion Recognition. In *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*. World Scientific, pp.387-410, 2004.
- (Sei05) Matthias Seidel. Methodische Produktplanung – Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. Universitätsverlag Karlsruhe, 2005.
- (Sen09) Ulrich Sandler. Das PLM-Kompendium: Referenzbuch des Produkt-Lebenszyklus-Managements. Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- (She03) William R. Sherman und Alan B. Craig. Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design. Morgan Kaufmann San Francisco, 2003.
- (Shu11) Masaki Shuzo und Ichiro Yamada. SHOJI: A Communication Terminal for Sending and Receiving Ambient Information. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 21-38, 2011.
- (Sla85) Keith Slater. Human Comfort. Thomas Books Springfield, 1985.
- (Sne95) Dirk Snelders. Subjectivity in the Consumer's Judgement of Products. Dissertation at the Delft University of Technology, 1995.
- (Sne01) Dirk Snelders und Jan Schoormans. The Relation between Concrete and Abstract Attributes. In *European Marketing Academy 30th Conference Proceedings*, Bergen, pp. 1-6, 2001.
- (Son11) Neeraj Sonalkar, Malte Jung und Ade Mabogunje. Emotion in Engineering Design Teams. In *Emotional Design: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 311-326, 2011.
- (Spr05) Richard Spreng, Linda Shi und Thomas Page. Perceived Service Quality, Customer Satisfaction, and Intentions. In *Advances in Consumer Research*, vol. 32, no. 1, pp. 358-359, 2005.
- (Spu97) Günter Spur und Frank-Lothar Krause. Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik. Carl Hanser Verlag München / Wien, 1997.

- (Sta99) Bernd Stauss. Kundenzufriedenheit. In *Marketing ZFP*, vol. 21, no. 1, pp. 5-24, 1999.
- (Ste04) Gerhard Stemmler. Physiological Processes During Emotion. In *The Regulation of Emotion*, Erlbaum Mahwah, pp. 33-70, 2004.
- (Ste99) Paul Stewart und Pietro Buttolo. Putting People Power into Virtual Reality. In *Mechanical Engineering Design*, The American Society of Mechanical Engineers, vol. 1, no. 1, pp. 18-22, 1999.
- (Sto04) Jürgen Stockmar. Variantenmanagement: Varianten vermeiden, beherrschen, reduzieren, finanzieren. Ergebnisse einer Umfrage 2004. In *6. Internationales Automobil-Forum, Graz*. Landsberg/Lech Moderne Industrie, pp. 1-25, 2004.
- (Str01) Alexander Strobel, André Beauducel, Stefan Debener und Burkhard Brocke. Eine deutschsprachige Version des BIS/BAS-Fragebogens von Carver und White. In *Zeitschrift für differentielle und diagnostische Psychologie*, Verlag Hans Huber, vol. 22, no. 3, pp. 216-227, 2001.
- (Sur05) Jane F. Suri. Designing Experience: Whether to Measure Pleasure or Just Tune In? In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 155-169, 2005.
- (Tan11) Jun-Wen Tan, Steffen Walter, Andreas Scheck, David Hrabal, Holger Hoffmann, Henrik Kessler und Harald C. Traue. Repeatability of Facial Electromyography (EMG) Activity over Corrugator Supercilli and Zygomaticus Major on Differentiating Various Emotions. In *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp.1-8, 2011.
- (Tay98) Steven J. Taylor und Robert Bogdan. Introduction to Qualitative Research: A Guidebook and Resource. 3rd edition, Wiley New York, 1998.
- (Tay99) A. J. Taylor, P. H. Roberts und M. J. D. Hall. Understanding Person Product Relationships – a Design Perspective. In *Human Factors in Product Design. Current Practice and Future Trends*. Taylor & Francis London, pp. 218-228, 1999.
- (Tay05) Kate Taylor, Martin Bontoft und Margaret G. Flyte. Using Video Ethnography to Inform and Inspire User-Centred Design. In *Pleasure With Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis London / New York, pp. 170-183, 2005.
- (Tia08) Tarja Tiainen, Asko Ellman und A.-L. Syrälä. Interactive Evolutionary Design for Recognizing Customer Needs and Wishes. In *Proceedings of the International Design Conference DESIGN 2008*, Dubrovnik, pp. 705-712, 2008.
- (Tig92) Lionel Tiger. The Pursuit of Pleasure. Little Brown and Company Boston, pp. 52-60, 1992.
- (Tin02) Shueh-Chin Ting und Cheng-Nan Chen. The Assymetrical and Non-Linear Effects of Store Quality Attributes on Customer Satisfaction. In *Total Quality Management*, vol. 13, no. 4, pp. 547-569, 2002.
- (Tou11) Hideaki Touyama. Towards Noninvasive Brain-Computer Interfaces during Standing for VR Interactions. In *Virtual and Mixed Reality, Part 1, HCII 2011*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 290-294, 2011.
- (Tra00) Noam Tractinsky, Shoval-Katz Adi und Dror Ikar. What is Beautiful is Usable. In *Interacting with Computers*, vol. 13, no. 2, pp. 127-145, 2000.
- (Tro07) Boris Trouvian und Christopher M. Schlick. A Comparative Study of Multimodal Displays for Multirobot Supervisory Control. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 184-193, 2007.
- (Tud09) Boris Tudjarov, Angel Bachvarov und Ilia Boyadjiev. Web Virtual Reality for Product Customization. In *Advances in Production Engineering and Management*, vol. 4, no. 1, pp. 25-34, 2009.

- (Ulj91) Michael Uljens. Phenomenography – A Qualitative Approach in Educational Research. In *Qualitative Approaches to Educational Research*, University of Oulu, no. 39, pp. 80-107, 1991.
- (Van01) Willemijn van Dolen, Jos Lemmink, J. Mattsson und I. Rhoen. Affective Consumer Responses in Service Encounters: The Emotional Content in Narratives of Critical Incidents. In *Journal of Economic Psychology*, vol. 22, pp. 359-376, 2001.
- (Vav97) Terry G. Vavra. Improving Your Measurement of Customer Satisfaction. A Guide to Creating, Conducting, Analyzing, and Reporting Customer Satisfaction Measurement Programs. ASQC Quality Press Milwaukee, 1997.
- (Vic11) Jack Vice, Anna Skinner, Chris Berka, Lauren Reinerman-Jones, Daniel Barber, Nicholas Pojman, Veasna Tan, Marc Sebrechts und Corinna Lathan. Use of Neurophysiological Metrics Within a Real and Virtual Perceptual Skills Task to Determine Optimal Simulation Fidelity Requirements. In *Virtual and Mixed Reality, Part I, HCII 2011*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 387-399, 2011.
- (VDI93) Verein Deutscher Ingenieure. Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Verlag Düsseldorf, 1993.
- (Vyz99) Elias Vyzas und Rosalind W. Picard. Offline and Online Recognition of Emotion Expression from Physiological Data. In *Workshop on Emotion-Based Agent Architectures, Third International Conference on Autonomous Agents*, Seattle, pp. 135-142, 1999.
- (Was04) Donald A. Washburn und Lauriann M. Jones. Could Olfactory Displays Improve Data Visualization? In *Computing in Science and Engineering*, vol. 06, no. 6, pp. 80-83, 2004.
- (Wat85) David Watson und A. Tellegen. Toward a Consensual Structure of Mood. In *Psychological Bulletin*, vol. 98, no. 2, pp. 219-235, 1985.
- (Wat03) Gregory H. Watson. Customer Focus and Competitiveness. In *Six Sigma and Related Studies in the Quality Disciplines*. ASQ Quality Press Milwaukee, 2003.
- (Web09) Debora Weber-Wulff, Christina Class, Wolfgang Coy, Constanze Kurz und David Zellhöfer. Gewissensbisse. Ethische Probleme der Informatik. Biometrie – Datenschutz – geistiges Eigentum, transcript Bielefeld, 2009.
- (Weh00) Thomas Wehrle und Susanne Kaiser. Emotion and Facial Expression. In *Affective Interactions: Towards a New Generation of Computer Interfaces*, Springer Berlin, pp. 49-63, 2000.
- (Wes87) Robert A. Westbrook. Product/Consumption-Based Affective Responses and Postpurchase Processes. In *Journal of Marketing Research*, vol. 18, pp. 84-91, 1987.
- (Wes91) Robert A. Westbrook und Richard L. Oliver. The Dimensionality of Consumption Emotion Patterns and Customer Satisfaction. In *Journal of Consumer Research*, vol. 18, no. 11, pp. 84-91, 1991.
- (Wes93) Roy Westbrook und Peter Williamson. Mass Customization. In *European Management Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 38-45, 1993.
- (Wha07) Min C. Whang, Joa S. Lim, Kang R. Park, Youngjoo Cho und Wolfram Boucsein. Are Computers Capable of Understanding Our Emotional States?, In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 204-211, 2007.
- (Wil00) Gillian M. Wilson und Angela M. Sasse. Listen to Your Heart Rate: Counting the Cost of Media Quality. In *Affective Interactions: Towards a New Generation of Computer Interfaces*, Springer Berlin, pp. 9-20, 2000.

- (Wir99) Jochen Wirtz und John E. G. Bateson. Consumer Satisfaction with Services: Integrating the Environment Perspective in Services Marketing into the Traditional Disconfirmation Paradigm. In *Journal of Business Research*, vol. 44, no. 1, pp. 55-66, 1999.
- (Wol06) Jeremy M. Wolfe, Keith R. Kluender, Dennis M. Levi, Linda M. Bartoshuk, Rachel S. Herz, Roberta L. Klatzky, Susan J. Ledermann und Daniel M. Merfeld. Sensation and Perception. Sinauer Associates Sunderland, 2006.
- (Woo96) Robert B. Woodruff und Sarah F. Gardial. Know Your Customer: New Approaches to Understanding Customer Value and Satisfaction. Blackwell Publishers Oxford, 1996.
- (Wu10) Dongrui Wu, Christopher G. Courtney, Brent J. Lance, Shrikanth S. Narayanan, Michael E. Dawson, Kelvin S. Ole und Thomas D. Parsons. Optimal Arousal Identification and Classification for Affective Computing Using Physiological Signals: Virtual Reality Stroop Task. In *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 1, no. 2, 109-118, 2010.
- (Wüp03) Josef Wüpping. Praxiserfahrungen Variantenmanagement und Produktkonfiguration. In *Industrie Management*, vol. 19, pp. 49-52, 2003.
- (Wyb11) Tim Wybitul. Handbuch Datenschutz im Unternehmen. Verlag Recht und Wirtschaft GmbH Frankfurt am Main, 2011.
- (Yan11) Hideyoshi Yanagisawa. Kansei Quality in Product Design. In *Emotional Engineering: Service Development*. Springer Verlag Ltd London, pp. 289-310, 2011.
- (Yan07) Haiyan Yang, Cuixia Ma, Dongxing Teng, Guozhong Dai und Hongan Wang. Adaptive User Interactive Sketching for Teaching Based on Pen Gesture. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 7th International Conference EPCE*, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 232-240, 2007.
- (Ye03) Jilin Ye und R. I. Campbell. A New Virtual Reality Based Conceptual Design System. In *Proceedings of the EVEN International Conference on Virtual Engineering Applications and Product Development*, Dublin, pp. 52-63, 2003.
- (Ye07) Jilin Ye, Saurin Badiyani, Vinesh Raja und Thomas Schlegel. Applications of Virtual Reality in Product Design Evaluation. In *Human-Computer-Interaction, Part IV, HCI 2007*, pp. 1190-1199, 2007.
- (Yi91) Youjae Yi. A Critical Review of Consumer Satisfaction. In *Review of Marketing 1989*, American Marketing Association Chicago, pp. 68-123, 1991.
- (Zai87) Judith L. Zaichkowsky. The Emotional Affect of Product Involvement. In *Advances in Consumer Research*, vol. 14, pp. 32-35, 1987.
- (Zaj80) Robert B. Zajonc. Feeling and Thinking: Preferences Need no Inferences. In *American Psychologist*, vol. 35, pp. 151-175, 1980.
- (Zaj94) Robert B. Zajonc. Evidence for Nonconscious Emotions. In *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford University Press New York / Oxford, pp. 293-297, 1994.
- (Zan09) Thorsten O. Zander, Jessika Reissland und Sabine Jatzev. Erkennung versteckter Nutzerzustände mit einem passiven Brain-Computer-Interface. In *Biophysiological Interfaces in der Mensch-Maschine-Interaktion*, VDI-Verlag Düsseldorf, pp. 63-68, 2009.
- (Zer11) Detlev von Zerssen und Franz Petermann. Die Befindlichkeits-Skala: Bf-SR und Bf-SR', Beltz Test GmbH, 2011.
- (Zha09) Qin-Ping Zhao. A Survey on Virtual Reality. In *Science in China Press*, Springer, vol. 52, no. 3, pp. 348-400, 2009.

(Zot04) Dmitry Zotkin, Ramani Duraiswami und Larry S. Davis. Rendering Localized Spatial Audio in a Virtual Auditory Space. In *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 6, no. 4, pp. 553-564, 2004.

13. Lebenslauf

Vorname	Jurica
Familienname	Katičić
Geburtsdatum	19.05.1984
Geburtsort	Strumica, Mazedonien
Staatsangehörigkeiten	Kroatisch, Mazedonisch
Geschlecht	männlich
Familienstand	ledig

Universitäre und schulische Ausbildung

September 2006-Dezember 2010	Studium im deutschsprachigen Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der FDIBA der TU Sofia: Abschluss Diplom Wirtschaftsingenieur mit Note „sehr gut“ der Universität Braunschweig und der TU Sofia
September 2002-März 2008	Studium im deutschsprachigen Studiengang Allgemeiner Maschinenbau an der Fakultät für deutsche Ingenieur- und Betriebswirtschaftsausbildung (FDIBA) der TU Sofia: Abschluss Diplom Ingenieur mit Note „sehr gut“ der Universität Karlsruhe und der TU Sofia
September 1998-Juli 2002	Gymnasium “Rade Jovčevski-Korčagin”, Skopje (Pilotprojekt PEKSNAS in Mazedonien)

Bisherige Berufstätigkeit

seit April 2008	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
Oktober 2006- Juli 2007	Entwicklungsmitarbeiter (Teilzeit) in der Abteilung Technische Berechnung der Firma RAP-Systems, Sofia, Bulgarien

Praktikum

März 2006-August 2006	Pflichtbetriebspraktikum als Entwicklungsmitarbeiter in der Abteilung Technische Berechnung- Grundlagen (TBG) der Firma INA Schaeffler KG, Herzogenaurach
------------------------------	---

Weiterbildung

Juni 2009-August 2011	Hochschuldidaktische Ausbildung: Abschluss Hochschuldidaktisches Zertifikat des Landes Baden-Württemberg
------------------------------	--

Sprachkenntnisse

Mazedonisch	Muttersprache
Kroatisch	Muttersprache
Deutsch	Fließend in Wort und Schrift
Englisch	Fließend in Wort und Schrift
Bulgarisch	Fließend in Wort und Schrift
Serbisch	Fließend in Wort und Schrift