

**VR-Informationssystem zur Bestimmung der
benutzerorientierten Anforderungen für VR-Systeme im Kontext
der virtuellen Produktentwicklung**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt der
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

von Dipl.-Ing. Andreas Liebal

1. Gutachterin: Univ.-Prof. Dr. phil. Heidi Krömker
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
3. Gutachter: Dr.-Ing. Stephan Hörold

Tag der Einreichung: 09.04.2021

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 03.05.2022

DOI: 10.22032/dbt.51998

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022000158

Danksagung

Diese Dissertation ist das Ergebnis der Forschung, die während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Medienproduktion an der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt wurde. Diese Forschungsstelle wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unter den Förderkennzeichen KR 3297/3-1 bzw. KR 3297/3-3 finanziert.

Mein Dank gilt dabei insbesondere Frau Prof. Dr. phil. Heidi Krömker für die Betreuung meiner Arbeit. Sie führte mich während der Orientierungsphase zu Beginn der Arbeit, unterstützte mich durchgehend voller Zuversicht mit konstruktivem Feedback und stand jederzeit für wertvolle wissenschaftliche Diskussionen zur Verfügung. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber und Dr.-Ing. Stephan Hörold für ihr Feedback und die Begutachtung meiner Arbeit.

Mein tiefster Dank gilt auch meiner Familie, insbesondere meiner Frau Dipl.-Ing. Janine Liebal und meinen Kindern für ihr Vertrauen in mich und ihre Geduld während langer Arbeitsabende.

Ein besonders großer Dank geht darüber hinaus an Dr.-Ing. Atif Mahboob, Dr.-Ing. Nadja Huntemann und Dr.-Ing. Regina Koreng für deren wertvolle Ideen und Diskussionen. B. Sc. Christopher-Alain Walter und M. Sc. Erik Hübner danke ich für die Unterstützung bei der technischen Realisierung des VR-Informationssystems.

Schließlich möchte ich mich auch bei allen ProbandInnn bedanken, die mich bei den empirischen Untersuchungen unterstützt haben.

Kurzfassung

Neue technologische Softwaresysteme müssen nutzerorientiert, profitabel, flexibel und gleichzeitig performant entwickelt werden. Durch den rasanten Fortschritt innovativer Technologien führt dies oftmals zu einem Defizit im Informations- oder Kommunikationsfluss zwischen beteiligten Stakeholdern. Im Kontext von Virtual Reality (VR)-Anwendungen kommt erschwerend hinzu, dass diese innovative Technologie und deren Funktionsumfang noch unzureichend beschrieben ist. Dies führt einerseits dazu, dass VR-KundInnen ihre Wünsche und Visionen bezüglich eines VR-Systems nicht entsprechend der aktuellen technischen Möglichkeiten ausrichten und formulieren können. Andererseits haben VR-EntwicklerInnen die Herausforderungen, kundenorientiert zu konzipieren und zu kommunizieren und dabei das volle Potenzial auszuschöpfen, das mit VR-Technologien erbracht werden kann. Es fehlt an einem strukturierten Hilfsmittel, mit dem VR-KundInnen sowohl bei einer ersten Konfiguration eines gewünschten VR-Systems assistiert werden und relevante Informationen bereitgestellt bekommen als auch VR-EntwicklerInnen eine Übersicht für eine optimale Erstgesprächsvorbereitung sowie eine unmittelbare Entscheidungsgrundlage für eine Auftragsannahme erhalten.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Unterstützung des frühzeitigen Informationsaustausches zwischen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen. Hierzu erfolgt die Entwicklung eines VR-Informationssystems, dessen Einsatz der VR-Systemrealisierung vorgelagert ist und das gewünschte VR-System spezifiziert. Durch die Bereitstellung aller VR-Spezifikationen und zugehöriger Metainformationen soll es VR-KundInnen möglich sein, Wissen über VR zu erwerben, ein gewünschtes VR-System zu konfigurieren und Schwerpunkte zu priorisieren. VR-EntwicklerInnen sollen im Sinne einer kundenorientierten VR-Systementwicklung das volle Potenzial von VR ausschöpfen können und im gesamten Softwareentwicklungsprozess unterstützt werden. Dabei wird der Rahmen des VR-Informationssystems auf den Einsatz von VR in der Produktentwicklung begrenzt.

Abstract

New technological software systems shall be developed in a user-oriented, profitable, flexible and, at the same time, in a high-performance manner. However, due to the rapid progress of innovative technologies, this often leads to a deficit in the information flow or the communication between the stakeholders involved in the early development. In the context of Virtual Reality (VR) applications, an additional challenge is that these innovative technologies and their range of functions are yet described insufficiently. On the one hand, this means that VR customers cannot streamline and formulate their wishes and visions from the VR system keeping in view the current technical possibilities. On the other hand, VR developers face the challenge of designing and communicating in a customer-oriented manner and thereby exploiting the full potential that can be offered from VR technologies. Currently, there is no structured tool available with which VR customers can be assisted with the initial configuration of the desired VR system and the acquisition of relevant information as well as the VR developers can be assisted with an overview for optimal preparation for an initial meeting and an immediate basis for decision making about accepting a development order.

The goal of this work is to support the early exchange of information between VR customers and VR developers. For this purpose, a VR information system is developed with upstream use in the VR system implementation and it specifies the desired VR system. By providing all VR specifications and associated meta-information, VR customers shall be able to acquire knowledge about VR, configure the desired VR system and prioritize areas of focus. VR developers should be able to exploit the full potential of VR to develop a customer-oriented VR system and be supported in the entire software development process. The scope of the developed VR information system is limited to the use of VR in product development.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
1.1	Motivation und Ausgangssituation	9
1.2	Zielsetzung	12
1.3	Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit	15
2	Stand der Forschung	23
2.1	Forschungsrelevante Themenbereiche.....	23
2.2	Produktentwicklung	24
2.2.1	Klassische Produktentwicklung	24
2.2.2	Virtuelle Produktentwicklung	28
2.2.3	Aufgabenbereiche mit Virtual Reality.....	33
2.2.4	VR-Systemplanung	36
2.2.5	Zwischenfazit	41
2.3	Virtual Reality	42
2.3.1	Begriffsdefinition.....	42
2.3.2	Stand der Technik	45
2.3.3	Zwischenfazit	51
2.4	Analysemethoden	52
2.4.1	Definition von Anforderungen	53
2.4.2	Beschreibung von Anforderungen.....	56
2.4.3	Beschreibung von Zielgruppen.....	65
2.4.4	Requirements Engineering.....	67
2.4.5	Zwischenfazit	73
2.5	Forschungsfragen	74
2.6	Fazit	76
3	Erheben der Anforderungen.....	79
3.1	Vorgehen für das Erheben von Anforderungen	79
3.2	Analyse bestehender Informationssysteme	80
3.3	Klassifizierung der BenutzerInnen des VR-Informationssystems.....	89
3.4	Anforderungen der Benutzenden.....	101
3.5	Anforderungen aus VR-Entwicklungsmodellen	103
3.6	Anforderungen aus VR-Technologien	108
3.7	Zusammenfassung der Anforderungen an das VR-Informationssystem	109
3.8	Fazit	114
4	Realisierung des VR-Informationssystems	117

4.1	Formale Beschreibung der Anforderungen an das VR-Informationssystem....	117
4.2	Aufbau des VR-Informationssystems	120
4.2.1	Frontend.....	122
4.2.2	Backend.....	132
4.3	Content des VR-Informationssystems	134
4.3.1	Frontend.....	134
4.3.2	Backend.....	152
4.4	Evaluation des Aufbaus und Content des VR-Informationssystems	154
4.5	Visualisierung des VR-Informationssystems	158
4.6	Prototyp des VR-Informationssystems.....	165
4.7	Fazit.....	170
5	Evaluation des VR-Informationssystems.....	173
5.1	Evaluationsdesign	173
5.2	Validierung der realisierten technischen Anforderungen an das VR- Informationssystem	177
5.3	Durchführung der Evaluation	178
5.3.1	VR-KundInnen als ProbandInnen.....	180
5.3.2	VR-EntwicklerInnen als ProbandInnen.....	182
5.4	Auswertung der Evaluation	184
5.5	Fazit.....	194
6	Zusammenfassung	197
6.1	Fazit und Diskussion.....	197
6.2	Einschränkungen und Ausblick	203
	Literaturverzeichnis	207
	Abkürzungsverzeichnis.....	227
	Abbildungsverzeichnis	229
	Tabellenverzeichnis.....	233
	Glossar.....	235
	Anhang A.....	239
	Anhang B	249
	Anhang C	255
	Anhang D.....	269
	Anhang E.....	273
	Anhang F.....	282

1 Einleitung

>> Pyramids, cathedrals, and rockets exist not because of geometry or thermodynamics, but because they were first a picture in the minds of those who built them. <<

Eugene S. Ferguson, Engineering and the Mind's Eye

1.1 Motivation und Ausgangssituation

Nach ersten Anlaufschwierigkeiten in den 90er Jahren erschließen sich Technologien der virtuellen Realität (VR)¹ mittlerweile unaufhaltsam den Zugang sowohl zum Consumer- als auch zum Industriemarkt. Unter Virtual Reality werden als ein visuelles und physikalisches Abbild der Realität erzeugte 3D-Szenen verstanden, in die ein Mensch eintauchen und mit den dargestellten 3D-Objekten in Echtzeit interagieren kann (Burdea und Coiffet 2003, S. 3). Mit sinkenden Preisen bei gleichzeitig kontinuierlich steigender Qualität, Performance und vor allem Akzeptanz werden VR-Hardware und VR-Software stetig in neuen Anwendungsgebieten eingesetzt. Für die derzeitig bevorzugte Verwendung von VR in Unternehmen – dem Marketing – wird eine Erweiterung auf die gesamte Wertschöpfungskette, insbesondere in der virtuellen Produktentwicklung, prognostiziert (Ebert et al. 2016, S. 7–9). Durch die ebenfalls vielfach prognostizierte Steigerung des Individualisierungsgrads von Produkten nimmt die Bedeutung der virtuellen Produktentwicklung, also der frühzeitigen Simulation von Produkteigenschaften, gravierend zu (Kellner et al. 2018, S. 275–283). Wird dabei der seit 2017 weltweit stetig wachsende Umsatz mit VR berücksichtigt (Statista 2018), kann von einer enormen technologischen Entwicklung der Geräte und einer Vielzahl von Anwendungen ausgegangen werden. Die technologischen Möglichkeiten im schnelllebigen IT-Markt werden sich folglich rasant verändern, sodass der Überblick über Funktionen und deren Nutzen im Anwendungskontext kaum zu behalten ist. Ebert (Ebert et al. 2016, S. 64–65) beispielsweise sagt für 2025 eine massentaugliche Gedankensteuerung von Geräten voraus. Dies wird einerseits zu neuen Funktionalitäten

¹ Fachbezogene Begriffe, die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet werden, können im Glossar nachgeschlagen werden.

und Interaktionsmethoden führen, andererseits zu neuen Herausforderungen in der Konzeption und Kommunikation neuer VR-Systeme mit innovativen Lösungen zwischen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen. Allerdings fehlt auf beiden Seiten oftmals nicht nur das Verständnis bezüglich der VR-Technologie für eine VR-Anwendung. Es fehlt auch ein Überblick über die verfügbaren Funktionalitäten und Gestaltungsmöglichkeiten, deren Vielfalt weiterhin zunehmen wird. Zusätzlich fehlt es an der Möglichkeit, eine Vision in eine Spezifikation eines VR-Systems so präzise, vollständig und zielorientiert wie möglich zu überführen. Erst mit der zunehmenden Konkretisierung und der Präsentation von ersten Konfigurationsentwürfen werden sich KundInnen ihrer eigentlichen Bedürfnisse bewusst (Herzwurm 2000, S. 175). Ein Erstgespräch mit der Entwicklungsabteilung oder einem Entwicklungsdienstleister ist dabei von grundlegender Bedeutung. Hierbei empfiehlt sich ein systematisches Vorgehen bereits vor der Phase der Konkretisierung, was jedoch spezifische Anforderungen an beide Seiten stellt (Herzwurm 2000, S. 172). Es bedarf eines tiefgehenden Verständnisses über die aktuellen technologischen Realisierungsmöglichkeiten und potenziellen Zukunftstrends. Zusätzlich müssen diese mit den Anforderungen, die aus der spezifischen Produktentwicklung und den individuellen Terminologien der KundInnen kommen, in Einklang gebracht werden. Abbildung 1 verdeutlicht die Problemstellung, dass sich beim Austausch von inhaltlichen, technischen und organisatorischen Informationen KundInnen und EntwicklerInnen frühzeitig auf einer gleichen Kommunikationsebene treffen müssen.

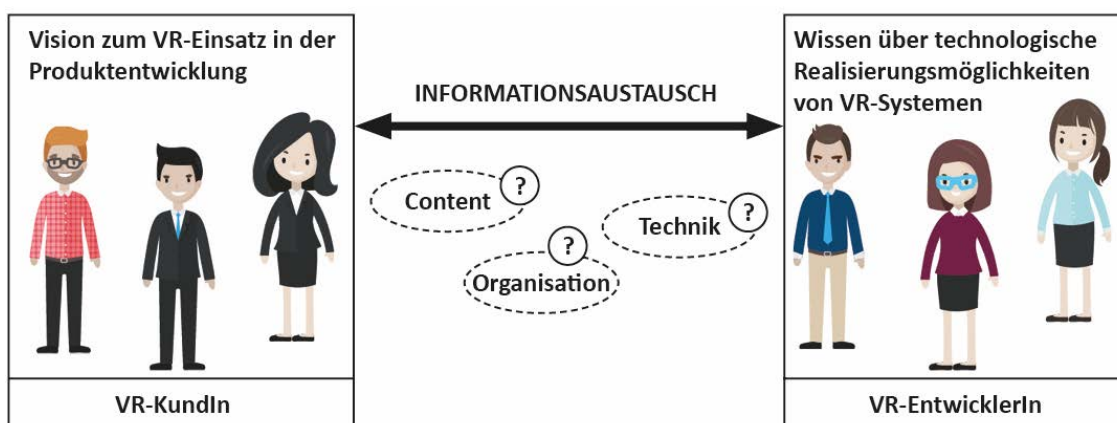


Abbildung 1: Herausforderungen beim Informationsaustausch im VR-BenutzerIn-VR-EntwicklerIn-Dialog (eigene Darstellung)

Da verschiedene Wissensbereiche miteinander verknüpft werden müssen, hat der Einsatz von VR innerhalb der virtuellen Produktentwicklung eine hohe Komplexität. Nach Ebert (Ebert et al. 2016, S. 6–19) wird diese beispielsweise beeinflusst durch:

- interdisziplinäre Stakeholder²,
- kontextabhängigen Realitätsgrad der virtuellen Produkte,
- stetige Weiterentwicklung von VR-Technologien und
- Veränderung virtueller Produktentwicklungsprozesse.

Der wesentliche Vorteil von VR, ein Produkt und sein Verhalten bereits in der Konzeptionsphase in seinen späteren Lebensphasen beurteilen zu können, ist nicht nur von der realitätsgetreuen Darstellung des Produkts selbst, sondern auch in hohem Maße von einem möglichst realitätsgetreuen Kontext des Produkts abhängig. Der Kontext des Produkts besteht aus seiner Umgebung und seiner interagierenden AkteurInnen³ während des Produktentwicklungsprozesses und in der Nutzung (Krömker et al. 2016; Weber et al. 2016). Diese vielfältigen Beziehungen zwischen dem Produkt, seiner Umgebung und den AkteurInnen erfordern eine möglichst genaue Definition der Anforderungen der späteren VR-BenutzerInnen an das VR-System. Insbesondere dann, wenn sehr flexibel für bestimmte Produktlebensphasen Szenarien mit dem Produkt bzw. Produktvarianten, deren Umgebung und deren AkteurInnen generiert werden sollen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen sowohl die VR-BenutzerInnen als auch die VR-EntwicklerInnen in der Definition der Anforderungen an ein VR-System unterstützt werden. Dabei stützt sich die Arbeit auf Modelle und Theorien aus den folgenden Fachdisziplinen:

- Maschinenbau
- IT (VR-Technologien)
- Requirements Engineering
- Usability Engineering

² Als Stakeholder wird jede Gruppe oder Einzelperson definiert, die die Erreichung der Ziele des Unternehmens beeinflussen kann oder davon betroffen ist (Freeman 1984, S. 46).

³ Als AkteurIn wird hier eine Person verstanden, die Bestandteil der VR-Szene ist und eine spezifische Rolle in einer Produktlebensphase hat (z. B. FertigungstechnikerIn, MontageplanerIn oder KundIn im Sinne der eigentlichen BenutzerInnen des Produktes).

1.2 Zielsetzung

Der Prozess der VR-Entwicklung beginnt bereits zum Zeitpunkt der initialen Interessensbekundung an ein VR-System (Pratama und Dossick 2019, S. 304). Unter einem VR-System werden in dieser Arbeit sowohl ein Gesamtkonstrukt aus VR-Hardware und VR-Software als auch nur VR-Software verstanden. Das konkrete Ziel dieser Arbeit ist es, ein Informationssystem zu entwickeln, das den Kommunikationsprozess zwischen KundIn und EntwicklerIn eines VR-Systems zielführend strukturiert. Informationssysteme erfassen, speichern, übertragen und/oder verarbeiten Informationen mit dem Ziel, NutzerInnen gewünschte Informationen zur Verfügung zu stellen (Pohl 2010, S. 5). Damit auf VR-Entwicklungsseite ein VR-System exakt definiert und kalkuliert werden kann, um den technischen, inhaltlichen, organisatorischen und vor allem finanziellen Anforderungen der VR-KundInnen gerecht zu werden, muss die Kommunikation von Beginn an möglichst effektiv und effizient gestaltet sein. Das in Abbildung 2 gezeigte Resultat dieser Kommunikation ist das gemeinsame Finden einer kundenspezifischen VR-System-Spezifikation, die das volle Potenzial von VR für den spezifischen Produktentwicklungsprozess der VR-KundInnen ausschöpft. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der virtuellen Produktentwicklung, der ein wissensintensiver Prozess zugrunde liegt. Derzeit gibt es keine Systematiken, die diesen Informationsaustausch umfassend und kontextualisiert unterstützen. (Turki 2014, S. 37–39). Das Informationssystem im Sinne der vorliegenden Arbeit strukturiert die Spezifikation eines VR-Systems aus Sicht der VR-KundInnen und der VR-EntwicklerInnen. Dies bedeutet, dass VR-KundInnen ihre Anforderungen formulieren und VR-EntwicklerInnen die technischen Rahmenbedingungen einbringen können.

Im Kontext dieser Arbeit müssen die Begriffe VR-KundIn bzw. VR-BenutzerIn sowie VR-EntwicklerIn spezifiziert werden.

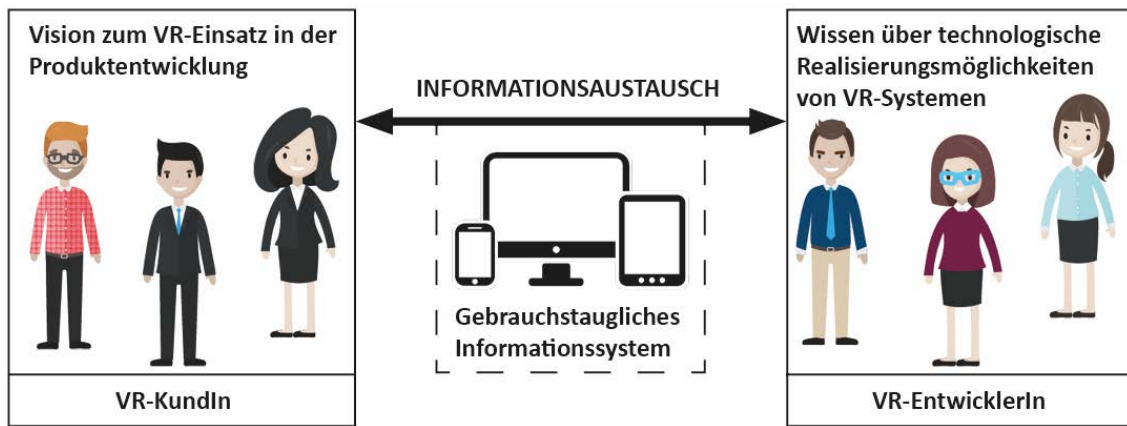


Abbildung 2: Zielerstellung – Gemeinsame Basis zum Verständnis der VR-Projektvision (eigene Darstellung)

VR-KundIn

Der IEEE Standard 830 „IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications“ definiert KundInnen als die Personen, die für ein Produkt bezahlen und üblicherweise, aber nicht notwendigerweise, die Anforderungen bestimmen. Als BenutzerInnen werden die Personen verstanden, die ein Anwendungsprodukt direkt verwenden bzw. damit interagieren. Dabei sind laut Definition KundInnen und BenutzerInnen oft nicht dieselben Personen (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 3). Im Kontext dieser Arbeit wird der Terminus „VR-KundIn“ verwendet. VR-KundInnen können sowohl die späteren VR-BenutzerInnen als auch Personen sein, die lediglich mit der Einführung eines VR-Systems betraut sind, wie z. B. ProduktmanagerInnen oder GeschäftsführerInnen eines Unternehmens.

VR-EntwicklerIn

„VR-EntwicklerInnen“ sind sowohl EntwicklerInnen aus internen als auch externen IT-Organisationseinheiten. Das Ziel der VR-EntwicklerInnen ist es, im Dialog mit den VR-KundInnen ein kundenspezifisches VR-System zu realisieren.

Im Sinne eines nutzerorientierten und nachhaltigen VR-Systems müssen die Ideen in vollständige funktionale und nichtfunktionale Anforderungen überführt werden. Die Qualität der Anforderungen hängt dabei maßgeblich vom gegenseitigen Verständnis der Fachterminologie aus den Bereichen Produktentwicklung und VR-Systeme, dem Mitteilen und Verstehen der Vision und dem beiderseitigen Verständnis der technischen und inhaltlichen Basis ab. Darauf basierend erfolgt von VR-EntwicklerInnenseite eine

Aufwands- und Kosteneinschätzung.

Empirische Studien mit VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen haben gezeigt, dass eine Unterstützung zur Konzeption eines spezifischen VR-Systems notwendig ist (Liebal et al. 2019, S. 54–58). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher ein VR-Informationssystem erarbeitet, das den Planungsprozess von VR-Systemen ganzheitlich unterstützt. Es soll sicherstellen, dass alle Potenziale des VR-Systems für den kundenspezifischen Entwicklungsprozess ausgeschöpft werden und das finale VR-System bei VR-KundInnen maximalen Nutzen erzeugt. Dieses VR-Informationssystem, das in einem funktionalen Prototyp abgebildet wird, hat die folgenden Eigenschaften:

Unabhängigkeit von spezifischen VR-Technologien

Das VR-Informationssystem ist nicht auf eine VR-Technologie spezialisiert, sondern enthält die generischen Eigenschaften von VR-Technologien. Die Struktur des VR-Informationssystems ermöglicht eine einfache Integration von Eigenschaften neuer zukünftiger VR-Technologien. Das Ergebnis ist ein Set an Spezifikationen, die eine Auswahl konkreter VR-Technologien zur Realisierung der VR-KundInnen-Vision unterstützen.

Beschreibung der Funktionalität des VR-Systems für VR-KundInnen

Die Anforderungen an das VR-System werden vollständig und verständlich beschrieben, sodass VR-KundInnen sie auch ohne VR-spezifisches Wissen verstehen und diese leicht in technische Spezifikationen eines VR-Systems überführt werden können.

Berücksichtigung der individuellen Entwicklungserfahrung von VR-EntwicklerInnen

Jede Anforderung in dem VR-Informationssystem kann mit einem spezifischen Entwicklungsaufwand verknüpft werden. Das VR-Informationssystem liefert so eine Aufwandsabschätzung des spezifizierten VR-Systems, die die individuelle Entwicklungserfahrung der VR-EntwicklerInnen berücksichtigt.

Zusammengefasst besteht das Ziel dieser Arbeit darin, den Informationsaustausch zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn frühzeitig effektiv und effizient zu gestalten. Dies soll mit Hilfe eines VR-Informationssystems geschehen, das zu Beginn der VR-System-Entwicklung das volle Potenzial einer zukünftigen VR-Anwendung für die

kundenspezifische Produktentwicklung definiert. Der Einsatz des VR-Informationssystems ist der VR-Systemrealisierung vorgelagert und spezifiziert das gewünschte VR-System. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wird auf die Realisierung der VR-Spezifikationen in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

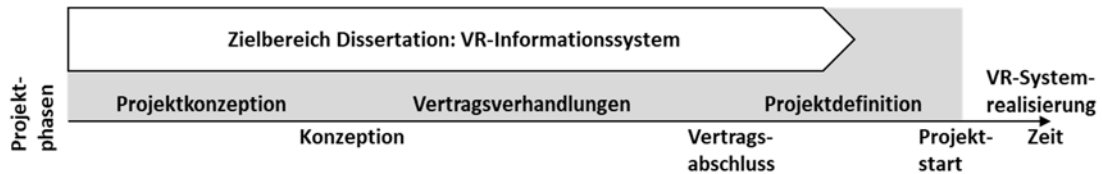


Abbildung 3: Zielbereiche der Dissertation (Ebert 2019, S. 349)

1.3 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Um spezifische Anforderungen der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen im Kontext der Entwicklung eines VR-Informationssystems berücksichtigen zu können (Abbildung 4), erfolgt ein nutzerzentrierter Ansatz unter Verwendung eines entsprechenden Vorgehensmodells. Hierfür wurde das Prozessmodell nach Sarodnick und Brau (Sarodnick und Brau 2011, S. 91) verwendet und wie in Abbildung 5 dargestellt entsprechend angepasst. Dieses Modell eignet sich in besonderem Maße durch die nutzerzentrierte Evaluation, die in jeder Phase Eingang findet. Im Rahmen dieser Arbeit besteht die Einführungsphase aus einer konzentrierten Abschlussevaluation, um den Piloteinsatz in Unternehmen zu bewerten.

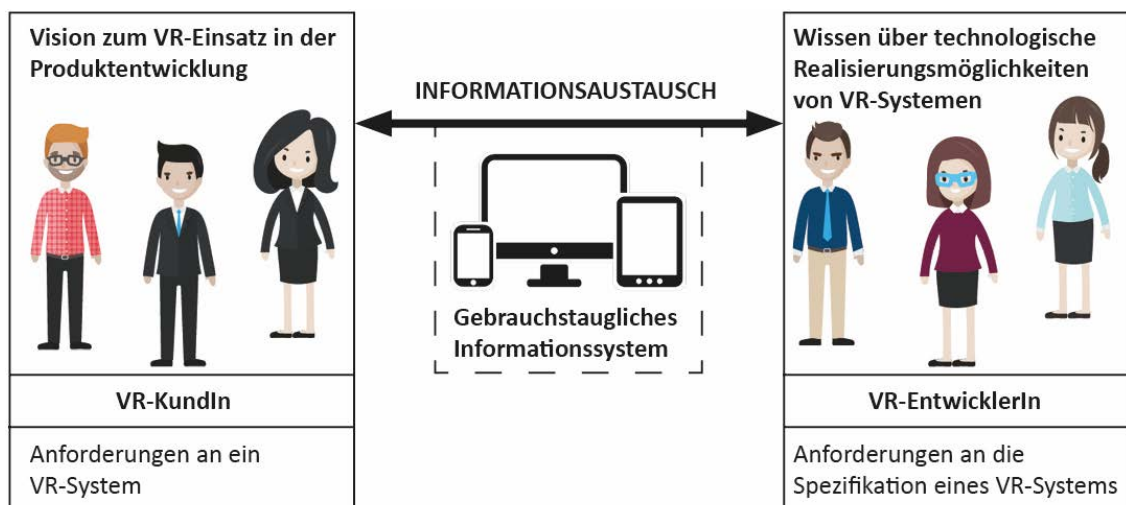


Abbildung 4: Zieldarstellung und Gegenüberstellung der zielgruppenspezifischen Anforderungen (eigene Darstellung)

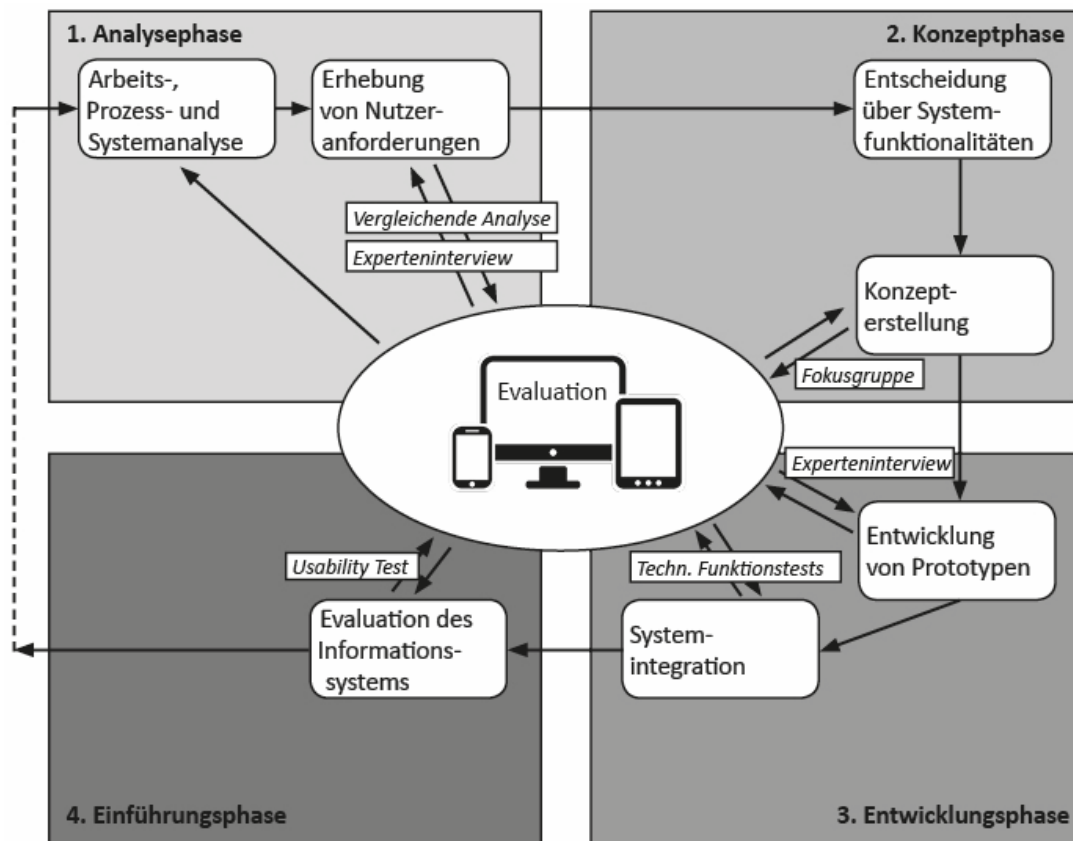


Abbildung 5: Modifiziertes Vorgehensmodell nach Sarodnick und Brau (Sarodnick und Brau 2011, S. 91)

Der nutzerzentrierte Gestaltungsprozess eines Systems sieht vor, dass im Rahmen einer Analysephase zunächst eine Arbeits-, Prozess- und Systemanalyse sowie eine Erhebung von Nutzeranforderungen durchgeführt werden. Die daraus extrahierten Nutzeranforderungen sind in der Konzeptphase die Grundlage für das Erarbeiten von Systemfunktionalitäten und prototypischen Gestaltungslösungen. Die Evaluationsiterationen sichern während der Entwicklung von Prototypen, dass sämtliche Anforderungen erfüllt sind und in eine Systemintegration überführt werden können.

Für eine Arbeits-, Prozess- und Systemanalyse werden die in Abbildung 6 abgebildeten Wissensfelder von VR-KundIn und VR-EntwicklerIn analysiert. Für diese Wissensfelder werden die theoretischen Grundlagen in Kapitel 2 *Stand der Forschung* sowie durch eigene Erhebungen in Kapitel 3 ergänzt.

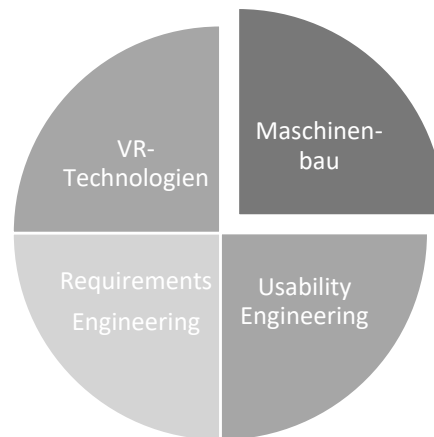


Abbildung 6: Zu betrachtende Disziplinen innerhalb der Dissertation (eigene Darstellung)

Das hier betrachtete VR-Informationssystem bedient die Prozesse aus der Produktentwicklung. Für die Strukturierung des gesamten Produktentwicklungsprozesses wird auf Modelle aus der Disziplin des *Maschinenbaus* zurückgegriffen.

Für die Systematisierung des VR-Systems wird auf *VR-Technologiemodelle* aus der IT zurückgegriffen.

Für die Analyse des Zusammenspiels von VR-Technologie und VR-BenutzerInnen wird auf das *Requirements Engineering* als Teilbereich des Softwareengineerings zurückgegriffen.

Für die nutzerzentrierte Entwicklung des VR-Informationssystems, d. h. für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen, werden Methoden des *Usability Engineerings* verwendet.

Die genannten Disziplinen liefern die Inhalte bzw. Themenfelder der Phasen des gewählten Vorgehensmodells (Abbildung 5). Dazu wird sowohl auf empirische als auch auf analytische Studien zurückgegriffen, wie Abbildung 7 präsentiert.

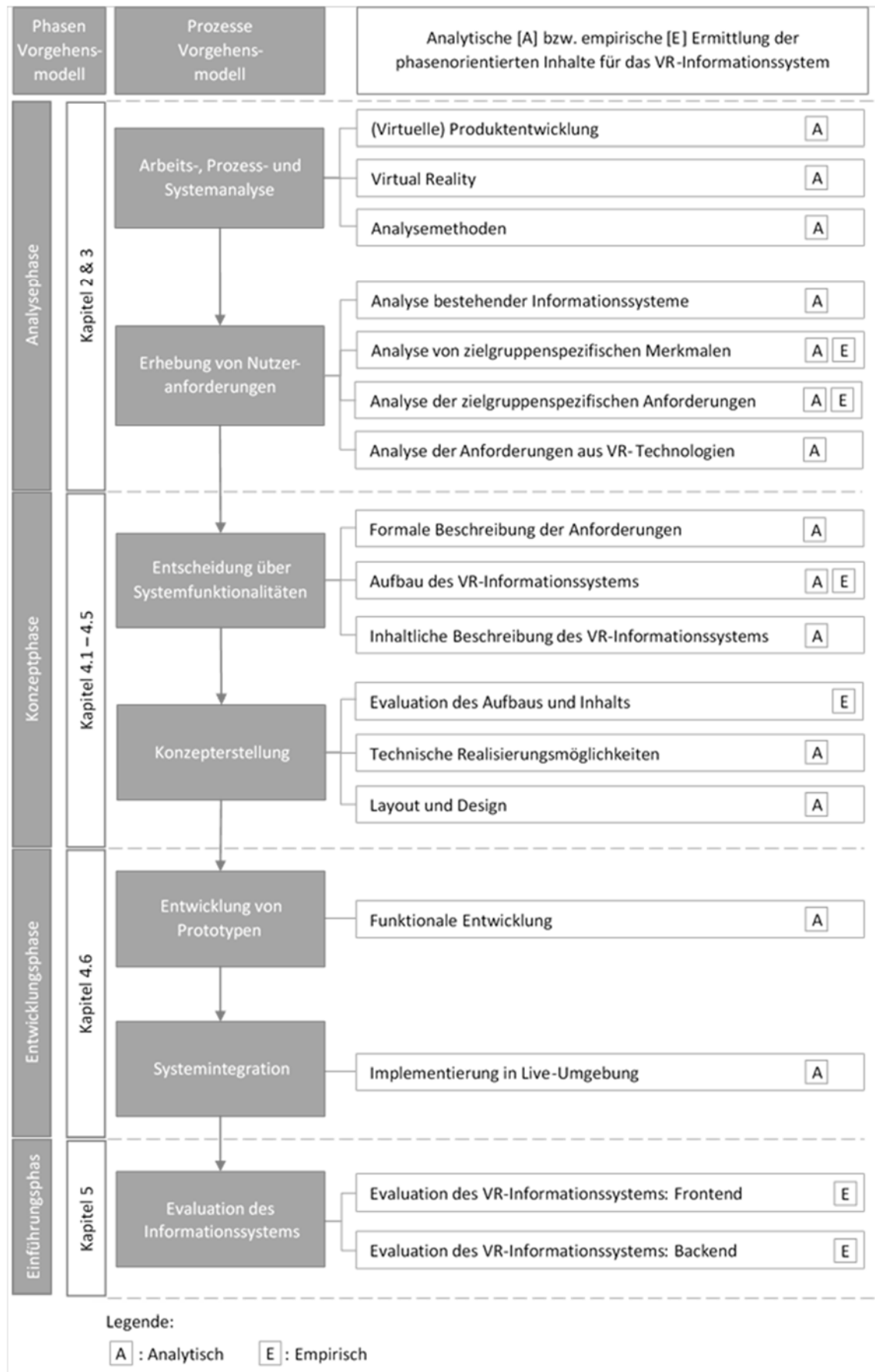


Abbildung 7: Aufbau der Arbeit

Analysephase:**1. Arbeits-, Prozess- und Systemanalyse**

Der Produktentwicklungsprozess ist der Einsatzkontext von VR-Systemen im Rahmen dieser Arbeit und legt damit maßgeblich die Merkmale eines VR-Systems fest. In diesem Zusammenhang erfolgt im ersten Teil der Arbeit eine Literaturanalyse zu den folgenden Themenfeldern:

(Virtuelle) Produktentwicklung

Auf Basis der klassischen Produktentwicklung wird die Relevanz der virtuellen Produktentwicklung hergeleitet und unter Zuhilfenahme geeigneter Modelle aus der Produktentwicklung der Grundstein für eine sinnvolle Gliederung des VR-Informationssystems gelegt. Ergänzend erfolgen eine Analyse der Aufgabenbereiche bei der Verwendung von VR innerhalb der virtuellen Produktentwicklung sowie eine allgemeingültige Schlussfolgerung typischer Herausforderungen in der Planung von VR-Systemen im Produktentwicklungskontext.

Virtual Reality

Für eine aufgabenorientierte Gestaltung eines VR-Informationssystems zur Bestimmung von Anforderungen im Kontext von VR-Systemen erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem aktuellen und zukünftigen Stand der VR-Technologien und deren Komponenten. Diese Analyse ist der Kern für eine technologieübergreifende Beschreibung des VR-Informationssystems sowie dessen langfristige Aktualität.

Analysemethoden

Für eine nutzerorientierte Analyse der Anforderungen und Bedürfnisse der VR-AnwenderInnen sowie Spezifikationen, Dokumentationen und Validierungen werden Methoden des Requirements Engineering untersucht.

2. Erhebung von Nutzeranforderungen

Für das Erheben der Nutzeranforderungen werden auf Basis von analytischen und empirischen Studien die Zielgruppen und deren Kontextbedingungen festgelegt:

Analyse von VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen und ihrer Aufgaben im Kontext von VR-Systemen.

Hier werden die Zielgruppen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn sowie ihre Aufgaben beim Einsatz bzw. bei der Entwicklung des VR-Systems analysiert. Die Ergebnisse werden nach der Persona-Methode⁴ beschrieben. Auf dieser Basis werden inhaltliche und technische Anforderungen an VR-Systeme abgeleitet.

Analyse der Anforderungen der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen an ein VR-Informationssystem.

Das VR-Informationssystem soll sowohl VR-Kundinnen als auch VR-Entwicklerinnen bei der Spezifikation des VR-Systems unterstützen. Hierfür werden Anforderungen an die Funktionalität und die Bedienbarkeit des VR-Informationssystems definiert. Die Beschreibung des Funktionalitätsspektrums wird durch eine vergleichende Analyse von Informationssystemen, die in Bezug auf Informationsdarstellung oder Funktionalität im Kontext von VR relevant sind, unterstützt.

Konzeptphase:

1. Entscheidung über Systemfunktionalitäten

In der Konzeptphase werden die Merkmale des VR-Informationssystems bestimmt, die aus Sicht der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen wesentlich sind:

Allgemeingültige Strukturierung der Funktionalitäten

Aus dem Einsatz von VR-Systemen im Entwicklungsprozess ergeben sich spezifische Kategorien, wie z. B. Produktmodell, Umgebungsmodell oder das User Interface des VR-

⁴ *Personas* sind konstruierte Benutzerbeschreibungen, die auf dem Verhalten und der Motivation realer BenutzerInnen basieren. Cooper et al. 2007, S. 75–89.

Systems mit eigenständigen Unterkategorien (z. B. Produktelemente, Interaktionselemente oder Raumpositionierungen). Diese Kategorien müssen in eine geeignete Anforderungsstruktur eingepasst werden.

Inhaltliche Beschreibung der Funktionalitäten

Auf Basis der Kategorisierung werden die für die Spezifikation erforderlichen Inhalte und ihr Detailgrad ermittelt. Dabei spielen sowohl eine Beschreibung der Funktionalitäten als auch beispielsweise Bezüge zu Quellen eine Rolle, in denen EntwicklerInnen Unterstützung bei der Umsetzung der entsprechenden Funktionalität geboten wird (z. B. Guidelines, wissenschaftliche Abhandlungen oder Fachliteratur).

Im Sinne des gewählten Vorgehensmodells findet eine empirische Evaluation der Strukturierung mit den späteren VR-BenutzerInnen und VR-EntwicklerInnen der Systemfunktionalitäten statt, bevor diese anschließend in ein einfaches visuelles Modell überführt werden. Ergänzend erfolgt eine vergleichende Analyse von Informationssystemen, die inhaltlich oder funktional für das VR-Informationssystem von Relevanz sind.

2. Konzepterstellung

Basierend auf der inhaltlichen Bestimmung werden technische und visuelle Rahmenbedingungen entwickelt:

Technische Realisierungsmöglichkeiten

Die definierten Inhalte werden logisch miteinander in Verbindung gebracht und bilden die Grundlage für die technische Infrastruktur zur einfachen Weiterverwendung des VR-Informationssystems.

Layout und Design

Aufbauend auf definierten Kategorien und Inhalten wird die visuelle Gestaltung eines VR-Informationssystems in Form von Wireframes durchgeführt. Bevor daraus in der Entwicklungsphase eine technische und visuelle Realisierung des Prototyps abgeleitet

werden kann, erfolgt in der Konzeptphase zusätzlich eine empirische Untersuchung, um die festgelegte Struktur sowie die Vollständigkeit der Inhalte abschließend zu evaluieren.

Entwicklungsphase:

1. Entwicklung von Prototypen

Die Ergebnisse der vorangegangenen Phasen fließen in die funktionale Entwicklung des Prototyps ein. Bei der Entwicklung wird eine geräteunabhängige Anwendung angestrebt.

Für eine geräteunabhängige Anwendung erfolgt im ersten Arbeitsschritt der Entwicklungsphase die Konzeption und Umsetzung eines visuellen Layouts anhand von einfachen Grafiken und Mockups.

2. Systemintegration

Der entwickelte Prototyp wird für eine abschließende Evaluation in eine geeignete Live-Umgebung migriert. Eine Gewährleistung der Systemfunktionalitäten wurde mit ProbandInnen erreicht.

Einführungsphase:

Evaluation des VR-Informationssystems

Die Nützlichkeit und Bedienbarkeit des VR-Informationssystems wird im Arbeitsschritt „Evaluation des VR-Informationssystems“ mit empirischen Methoden des Usability Testings sowie mit standardisierten Fragebögen separiert nach VR-KundIn und VR-EntwicklerIn untersucht.

2 Stand der Forschung

2.1 Forschungsrelevante Themenbereiche

Im Folgenden wird der Stand der Forschung zu den im vorherigen Kapitel beschriebenen Bereichen betrachtet. Folgende Kernfragen sollen dabei beantwortet werden:

- In welchen Produktentwicklungsprozessen denken VR-KundInnen?
- In welchen VR-Systemstrukturen denken VR-EntwicklerInnen?
- In welchen VR-Entwicklungsprozessen denken VR-EntwicklerInnen?
- In welchen Anforderungsstrukturen denken VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen?

Zunächst erfolgt daher eine Auseinandersetzung mit der klassischen Produktentwicklung zur Klärung des allgemeinen Begriffsverständnisses. Darauf aufbauend werden die virtuelle Produktentwicklung und bisherigen Aufgabenbereiche von VR näher betrachtet, um deren Relevanz im Kontext virtueller Methoden verstehen und bereits eine Basis für eine spätere sinnvolle Strukturierung des VR-Informationssystems aufbauen zu können. Weiterführend werden die aktuellen Herausforderungen und Schwierigkeiten analysiert, die im Rahmen der Entwicklung von VR-Systemen im Produktentwicklungskontext auftreten. Auf deren Basis sollen Schwerpunkte innerhalb des VR-Informationssystems herauskristallisiert werden. Der zweite Teil des Kapitels widmet sich der VR-Technologie. Der Begriff *Virtual Reality* wird definiert und der gegenwärtige Stand der Technik beschrieben. Der dritte Teil des Kapitels widmet sich der Erhebung von Nutzungsanforderungen, um ein VR-Informationssystem nutzerzentriert entwickeln zu können. Im Hinblick der Gebrauchstauglichkeit des VR-Informationssystems erfolgt darüber hinaus eine Analyse des Themas Nutzungskontext. Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten drei Kapitel erfolgt am Ende die Definition von Forschungsfragen.

2.2 Produktentwicklung

2.2.1 Klassische Produktentwicklung

Ziel der Produktentwicklung ist das Generieren von produzierbaren und funktionsfähigen technischen⁵ Produkten (Ponn und Lindemann 2008, S. 14). Der Produktentwicklungsprozess gliedert sich dabei in den Produkterstellungsprozess ein und beinhaltet das eigentliche Entwickeln und Konstruieren des Produkts (Bender und Gericke 2016, S. 402). Die Produkterstellung⁶ beschreibt den gesamten systematischen Prozess, den ein industrielles Produkt von der Produktplanung bis zur Auslieferung an die KundInnen durchläuft (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 162). Die hierzu relevanten, allgemeinen Anforderungen, die grundsätzlich an die Produktentwicklung gestellt werden, wurden von Eigner und Stelzer sowie von Gausemeier beschrieben und von Schilling, wie in Abbildung 8 dargestellt, zusammengefasst.

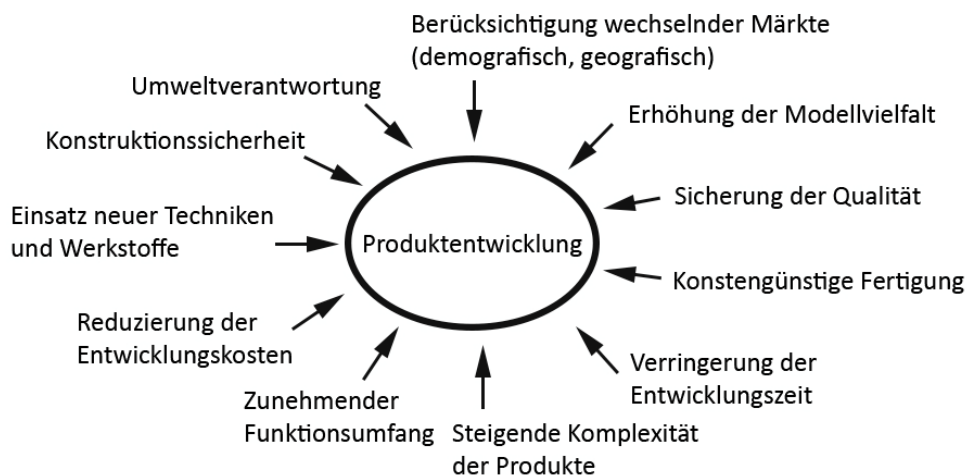


Abbildung 8: Anforderungen an die Produktentwicklung (Schilling et al. 2008, S. 24) nach (Gausemeier et al. 2001) und (Eigner und Stelzer 2001)

Die Entwicklung des Produktes erfolgt systematisch in einzelnen Lebensphasen, die den gesamten Lebenslauf eines technischen Produktes bilden (Abbildung 9). Tabelle 1

⁵ Nach (Ponn und Lindemann 2008, 12-13,403) ist ein technisches Produkt ein künstlich hergestellter Gegenstand aus einer Anzahl von Bauteilen, Baugruppen oder Modulen, der in einer bestimmten Umgebung einen bestimmten Zweck erfüllt.

⁶ In der Literatur werden die Begriffe *Produkterstellung* und *Produktentstehung* äquivalent verwendet. In dieser Arbeit findet der nach (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 162) gebräuchlichere Begriff *Produkterstellung* Anwendung.

vergleicht auf Basis einschlägiger Literatur aus der Konstruktionsmethodik die Benennung und Einordnung der Lebensphasen. Die VDI-Richtlinie 2221 von 1993 (VDI2221 1993) gilt dabei als weltweit anerkannte Grundlage mit hoher Allgemeinverbindlichkeit, die von (Vajna et al. 2009) angepasst worden ist. Daher wird diese Einordnung der Lebensphasen technischer Produkte als Grundlage für diese Arbeit genommen. Auslöser für die Entwicklung eines Produktes sind demnach überwiegend der Markt (Kundenanfragen oder Marktlücken) oder Unternehmensvorgaben (Potenziale und Ziele). Bereits während der Produktentwicklung müssen alle nachgelagerten Lebensphasen berücksichtigt werden. Das Vorziehen der notwendigen Informationen aus diesen Lebensphasen wird in Abbildung 9 (grafische Abbildung der Lebensphasen nach (Vajna et al. 2009)) durch die rückwärtsgerichteten Pfeile symbolisiert. Diese bilden die Grundlage für die *Gerechtheiten*. Damit sind zusammengefasste Gestaltungsregeln gemeint, die unter der Bezeichnung *Design for X (DfX)* eine beispielsweise fertigungsgerechte, montagegerechte oder instandhaltungsgerechte Produktentwicklung ermöglichen sollen (Vajna et al. 2009, S. 24). Das „Vorausdenken“ von lebensphasenspezifischen Informationen und die Visualisierung der Produkteigenschaften in späteren Lebensphasen bietet relevante Ansatzpunkte für die virtuelle Produktentwicklung (siehe Kapitel 2.1.2).

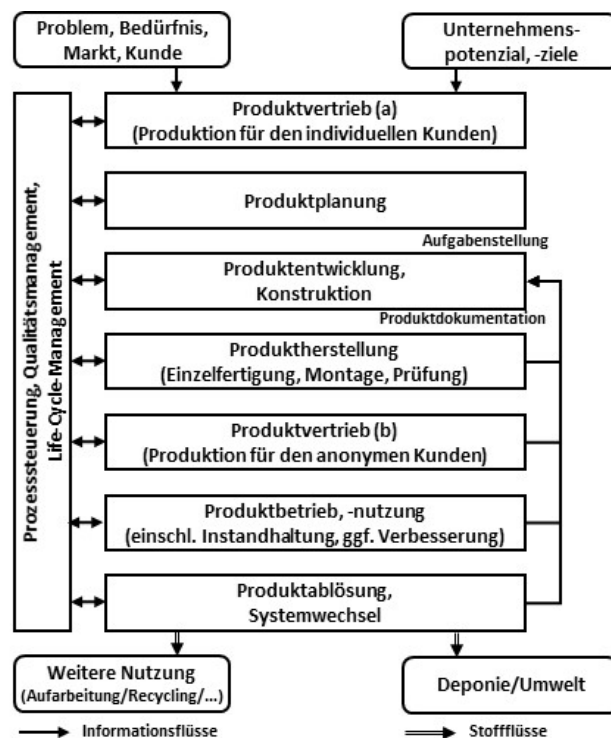


Abbildung 9: Lebensphasen technischer Produkte (angelehnt an VDI2221 (1993) durch Vajna et al. 2009, S. 22)

Für die Beschreibung und Definition des Produkterstellungsprozesses wurden diverse Modelle entwickelt. Die VDI-Richtlinie 2221 (VDI2221 1993) sowie das Werk der Konstruktionslehre von Pahl und Beitz (Pahl et al. 2013) bilden dazu weltweit anerkannte Grundlagen. Rechnerbasierte Methoden und Werkzeuge müssen dabei einer besonderen Betrachtung unterzogen werden, da sie in heutigen Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen eine maßgebliche Rolle spielen (Vajna et al. 2009, S. 25). Im nachfolgenden Kapitel werden einerseits die Zeit- und Kosteneinsparung bei der Produktentwicklung mithilfe virtueller Methoden nachgewiesen, andererseits aber auch große Herausforderungen bei der virtuellen Produktentwicklung analysiert.

Die bereits vorgestellte Tabelle 1 dient dabei nicht nur als Grundlage für die Einordnung der Produktlebensphasen, sondern im weiteren Verlauf der Arbeit als Hilfestellung für eine präzisere und praxistaugliche Strukturierung des zu entwickelnden VR-Informationssystems (z. B. mit der Gliederung der Verteilung in Transport, Lagerung und Vertrieb nach Roth (Roth 2000, S. 72–73)).

Tabelle 1: Vergleich der Benennung und Einordnung von Lebensphasen technischer Produkte

Quelle	Ehrlenspiel (Ehrlenspiel 2009, S. 51)	Spur (Spur und Krause 1997, S. 4)	Koller (Koller 1994, S. 7)	Pahl/Beitz (Pahl et al. 2013, S. 23)	Roth (Roth 2000, S. 72–73)	VDI2221 (1993) (VDI2221 1993)	Vajna nach VDI2221 (Vajna et al. 2009, S. 22)
		Forschung				Markt/ Bedürfnis/ Problem Unternehmenspotenzial/ -ziele	Problem, Bedürfnis, Markt, Kunde Unternehmenspotenzial/ -ziele
			Marktanalyse				Produktvertrieb (a)
	Produktplanung	Planung	Produktplanung	Planung	Produktplanung, Entwicklung, Konstruktion	Produktplanung, Aufgabenstellung	Produktplanung
	Entwicklung, Konstruktion	Konstruktion	Konstruktion/ Entwicklung	Entwicklung		Entwicklung/ Konstruktion	Produktentwicklung, Konstruktion
				Konzeptentwicklung			
				Konzeptkonstruktion			
				Gestaltung			
				Dokumentation			
		Erprobung			Arbeitsvorbereitung und Teilefertigung		
	Fertigung, Montage, Versuch, Materialwirtschaft	Herstellung	Fertigung, Montage	Herstellung	Montage	Fertigung/Montage/ Prüfung	Produktherstellung
			Lagerung, Transport, Vertrieb		Transport		
					Lagerung		
	Vertrieb	Distribution			Vertrieb	Vertrieb/ Beratung/ Verkauf	Produktvertrieb (b)
	Inbetriebnahme						
	Nutzung des Produkts, Instandhaltung, Umbau	Gebrauch	Gebrauch (Betrieb)	Nutzung	Betrieb und Stillstand	Gebrauch/ Verbrauch/ Instandhaltung	Produktbetrieb, -nutzung
			Wartung, Reparatur		Wartung		
					Reparatur		
	Außerbetriebnahme			Deproduktion			Produktablösung, Systemwechsel
	Beseitigung, Recycling	Abwicklung	Recycling oder Beseitigung		Recycling	Recycling	Weitere Nutzung (Aufarbeitung, Recycling) oder Deponie/Umwelt (Beseitigung)
						Weitere Nutzung	
						Umwelt/ Deponie	
	Produktlebensphasen						

2.2.2 Virtuelle Produktentwicklung

Die Herstellung von Prototypen, also „voll funktionsfähigen Einzelstücken eines für die Serienfertigung vorgesehenen Produktes“ (Gausemeier et al. 2001, S. 383), ist üblicherweise sehr zeit- und kostenintensiv. Dieser Zeit- und Kostendruck kann zu Mängeln am Produkt führen, die gegebenenfalls erst in späteren Entwicklungsphasen erkannt werden (Badke-Schaub et al. 2011, S. 183). Dadurch ist es von größter Wichtigkeit, Schwachstellen und Fehler gleich in den ersten Phasen der Produktentwicklung zu erkennen und zu beheben. Nach Ehrlenspiel (Ehrlenspiel 2009, S. 141–142) werden „80% der Produktfehler [...] in der Entwicklungsphase früh erzeugt, aber leider erst zu 70% in der Montage und im Versuch spät entdeckt.“. Auch Frankenberger beschreibt, dass eine frühzeitige Verfügbarkeit von Informationen im Entwicklungsprozess einen entscheidenden Einfluss auf erfolgreiches Konstruieren hat (Frankenberger 1997, S. 192–196). Es lässt sich nachweisen, dass mit Hilfe virtueller Techniken 100prozentiges Produktwissen in der Produktionsreife früher zur Verfügung gestellt werden kann, wie Abbildung 10 darstellt. Dies führt zu einer verkürzten Produktentwicklungszeit, unabhängig von den verwendeten Prozessmodellen⁷.

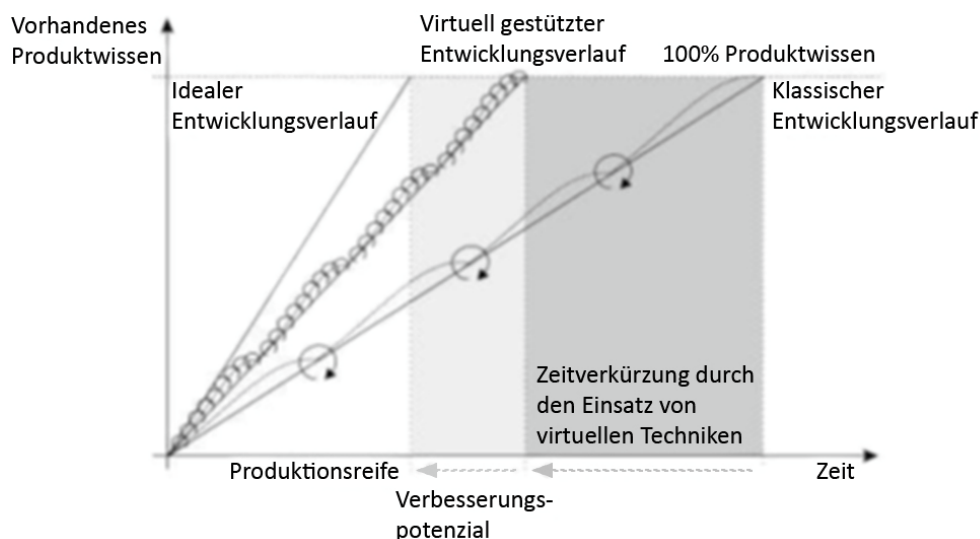


Abbildung 10: Auswirkungen virtueller Techniken auf das Produktwissen (Schilling et al. 2008, S. 31; Ovtcharova 2018)

⁷ Prozessmodelle sind Hilfsmittel für die „erfolgreiche Koordination komplexer Entwicklungsprozesse, der daran beteiligter Personen, vernetzter Aktivitäten, von Informationsflüssen und Ressourcen“ (Bender und Gericke 2016, S. 404).

Abbildung 11 zeigt, dass digitale Produktmodelle aufgrund einer immer geringeren Anzahl zur Verfügung stehender Hardware-Prototypen bei gleichzeitiger verkürzter Produktentwicklungszeit von immenser Bedeutung sind. Bereits sehr frühzeitig können beispielsweise Demontageuntersuchungen durchgeführt werden. Im Sinne der Kundendienstuntersuchungen kann z. B. die Servicefreundlichkeit eines Fahrzeugs untersucht werden und Feedback schnell in den Produktentstehungsprozess einfließen, was wiederum die Entwicklungszeit verkürzt (Braess und Seiffert 2007, S. 850–851).

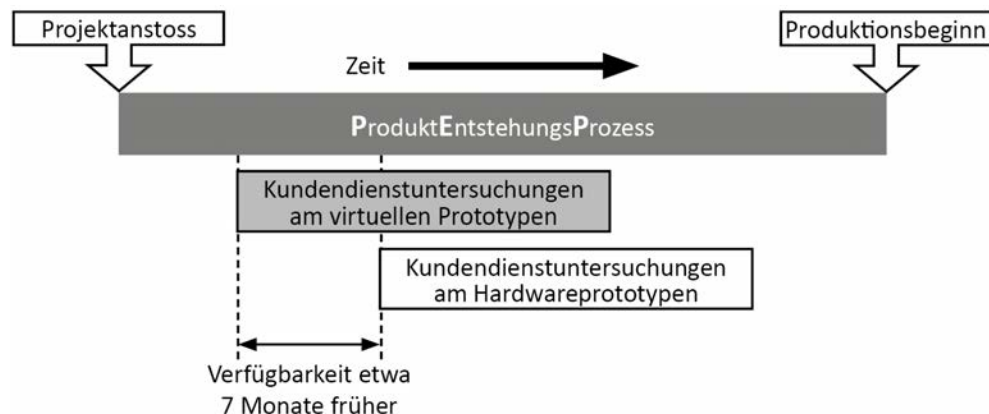


Abbildung 11: Zeitersparnis bei Kundendienstuntersuchungen durch virtuelle Techniken (Braess und Seiffert 2007, S. 851)

Gleichzeitig ermöglichen virtuelle Techniken auch in späteren Phasen der Produktentwicklung einen schnelleren Anlauf der Produktion oder bessere Qualifikation der MitarbeiterInnen durch VR-basiertes Training (Schenk et al. 2004, S. 381). Darüber hinaus müssen Unternehmen im Sinne einer wettbewerbsfähigen Produktentwicklung dynamisch auf Trends der Industrie reagieren (Spur und Krause 1997). Gerade vor dem Hintergrund von Industrie 4.0⁸ stellen höhere Produktkomplexitäten und -funktionalitäten, noch im Herstellungsprozess individualisierbare Produkte, stärker dezentralisierte Wertschöpfungsketten und Zeiteinsparungen bis zur Markteinführung große Herausforderungen dar. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass je höher der Individualisierungsgrad der Produkte ist, umso wichtiger wird die virtuelle Produktentwicklung.

⁸ Industrie 4.0 bezeichnet u. a. die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie unter Zuhilfenahme von Informations- und Kommunikationstechnologien. Kernaspekte sind flexible Produktion, wandelbare Fabriken, optimierte Logistik, intelligente Verwendung von Daten oder kundInnenzentrierte Lösungen. (Granig et al. 2018, S. 3)

Bereits 1997 wurde die Voraus-Simulation aller relevanten Eigenschaften eines in der Entwicklung stehenden Produktes als „virtuelle Produktentwicklung“ beschrieben (Spur und Krause 1997, S. 45–48). Für die Optimierung von Produktentwicklungsprozessen nehmen Methoden der virtuellen Produktentwicklung oder das *Virtual Prototyping* also eine bedeutsame Rolle ein (Zorriassatine et al. 2005). Das *Virtual Prototyping* oder auch *Virtual Prototyping & Simulation* soll durch Simulation und Untersuchungen von Systemen mit Hilfe rechnerinterner Datenmodelle das Design sowie das Funktionsverhalten von Produkten virtuell optimieren. In der Konsequenz entspricht dies dem *Virtual Engineering* in der Produktentstehung (Beutner et al. 2013, S. 16). Basierend auf den Anforderungen und Zielen lassen sich fünf verschiedene Kategorien von Virtual Prototyping Methoden nach Zorriassatine et al. (Zorriassatine et al. 2005, S. 516) klassifizieren.

Visualisierung

Die reine Visualisierung virtueller Produktmodelle findet üblicherweise Anwendung in der Untersuchung geometrischer Produktgestalt oder der ästhetischen Wirkung. Die BenutzerInnen sind dabei sehr vielfältig: Marketingverantwortliche, KundInnen, EntscheidungsträgerInnen, Entwicklungsteams oder auch WartungstechnikerInnen. Die Anwendungsbeispiele reichen dabei von der Präsentation des Produktes im Betrieb zu Marketing- oder Vertriebszwecken bis hin zur Reihenfolge des Zusammenbaus von Komponenten zum finalen Produkt. Elementares Ziel ist grundsätzlich die frühzeitige Informationsbereitstellung über das fertige Produkt, um möglichst zu Beginn des Produktentwicklungsprozesses noch Einfluss auf die Produktentwicklung nehmen zu können.

Passungsuntersuchung

Um eine exakte Montage zu gewährleisten, muss die Passung von Baugruppen oder Bauteilen mit anderen Produktbauteilen bewertet werden können. Mit Hilfe dreidimensionaler virtueller Modelle können Fehlertoleranzen visualisiert werden, was zu einer Reduktion von Ausschuss und Nacharbeit und somit zur Reduktion von Mehrkosten führt.

Funktions- und Leistungsanalysen

Mittels geeigneter Verfahren kann das Verhalten von bestimmten Funktionen, Systemen oder Teilsystemen eines Produktes simuliert und analysiert werden. Ein anerkanntes und weit verbreitetes Verfahren ist beispielsweise die Finite Elemente Methode (FEM), die Berechnungen von Verformungen bis hin zu Wechselwirkungen von Festkörpern und Fluiden unter physikalischen Einflüssen durchführen kann. Mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) können speziell Strömungsdynamiken simuliert werden. Je nach Anwendungsfall gibt es weitere entsprechende Simulationssysteme.

Fertigungsuntersuchung

In der virtuellen Produktentwicklung ist die Analyse der Produktfertigung inklusive der Fertigungsprozesse und der Produktionsplanung entscheidend. Durch VR können Aspekte wie Montierbarkeit, Raumbedarf bzw. Zugänglichkeiten für die Montage, Bewegungsabläufe oder Montagesicherheit im Bereich der Verbauuntersuchungen berücksichtigt werden. Die Risiken bei der Umstellung zur finalen Produktion werden dadurch erheblich gemindert.

Human Factor Analyse

Einen nicht zu vernachlässigenden Schwerpunkt in der Produktentwicklung bildet der Faktor Mensch. In der Montage, Produkthandhabung oder Verpackung müssen beispielsweise ergonomische Rahmenbedingungen oder körperliche Belastungen berücksichtigt werden. Auch die frühzeitige Beurteilung von Sicherheitsrisiken durch unerwartetes oder falsches Benutzerverhalten kann Fehlentwicklungen verhindern.

Diese beschriebene Klassifizierung kann herangezogen werden, um allgemeine Schwerpunkte für die Einsatzmöglichkeiten und Tendenzen von VR in Unternehmen zu evaluieren (siehe Kapitel 3.3). Für eine differenziertere Zuordnung konkreter Schwerpunkte bei der Verwendung von VR müssen die Aufgabenbereiche granularer abgegrenzt werden (siehe Kapitel 2.1.3). Rademacher (Rademacher 2014, S. 16) bezeichnet, basierend auf den beschriebenen Definitionen, VR als eine spezielle Methode der virtuellen Produktentwicklung. Haben sich die Aufgabenbereiche von VR anfangs auf die reine Visualisierung von Entwicklungsständen oder Eigenschaftssimulationen beschränkt, wird gegenwärtig eine Verknüpfung zu sämtlichen Werkzeugen des Product Lifecycle Managements (PLM) angestrebt. Dazu gehören

Autorensysteme zum Erzeugen oder Ändern der im Produktlebenszyklus verwendeten Nutzdaten (z. B. CAD, CAE, CAM) ebenso wie Systeme des PLM Backbones, der alle Produktdaten und Engineeringprozesse enthält (z. B. ERP, SCM, CRM) (Ernst 2016, S. 29–30).

Trotz der erheblichen Vorteile von VR müssen jedoch auch die Herausforderungen bei der Entwicklung von VR-Modellen berücksichtigt werden. Die Programmierung ganzer VR-Szenen ist sehr aufwändig, was eine Realisierung im industriellen Kontext erschwert. Hierfür konnten bisher folgende Gründe extrahiert und evaluiert werden (Mahboob et al. 2017b, S. 285–286):

- Zeit und Aufwand zur Erstellung geeigneter virtueller Modelle sind sehr hoch,
- die Modelle und Modellteile sind begrenzt in Bezug auf ihre Wiederverwendbarkeit,
- nach der Erstellung sind nur wenige Modifikationen/Erweiterungen möglich, weshalb oftmals eine vollständige Neuentwicklung notwendig wird.

Wird weiterhin der Aufbau von VR-Szenen betrachtet, so ist die überwiegend isolierte Betrachtung der Produkte in VR-Szenen auffällig. Dabei spielt ihr lebensphasenspezifischer Kontext wie interagierende AkteurInnen und Umgebungen eine bedeutende Rolle (Metag et al. 2008, S. 5). Stark et al. (Stark et al. 2010) haben bereits Defizite in vorhandenen Softwarelösungen analysiert und fünf Dimensionen aufgeschlüsselt, die für eine vollständige Beschreibung des Kontextes in der Produktentwicklung notwendig sind. Diese beziehen sich auf Domäne, das Produkt selbst, Werkzeuge, Arbeitsprozesse und Personen im Arbeitskontext. Weber et al. (Weber et al. 2016, S. 239–241) greifen den Einbezug des Kontextes in VR-Systemen auf und beschreiben ein Modell für die virtuelle Produktentwicklung, das sich in die drei Teilmodelle Produkt, AkteurIn und Umgebung gliedert. Mahboob et al. (Mahboob et al. 2017a) beschreiben, dass mit der Trennung eines VR-Gesamtmodells in drei separate VR-Teilmodelle ein flexibles, wiederverwendbares und effizient weiterentwickelbares VR-System ermöglicht wird. Insbesondere die Wiederverwendbarkeit kann den möglichen Aufbereitungsaufwand reduzieren, indem die VR-Modelle oder deren Inhalte für zukünftige Anwendungen wiederverwendet werden können. Dieser Ansatz bildet die Grundlage für die Strukturierung des Informationssystems, dessen Aufbau eine

effiziente VR-Systementwicklung ermöglichen soll. In Kapitel 3 wird ein Konfigurationsprozess dargestellt, der für jede Form von VR-Systemen geeignet ist und ganz im Sinne der virtuellen Produktentwicklung sämtliche Aufgabenbereiche mit Hilfe von VR-Systemen flexibel visualisieren kann. Da die Ausgestaltung von Aufgaben innerhalb des zukünftigen VR-Systems und somit auch im VR-Informationssystem eine tragende Rolle spielt, definiert das nachfolgende Kapitel die typischen Aufgabenbereiche in der Produktentwicklung, die mit VR-Systemen bearbeitet werden.

2.2.3 Aufgabenbereiche mit Virtual Reality

Um ein VR-Informationssystem für die Bestimmung von benutzerorientierten Anforderungen an VR-Systeme realisieren zu können, muss bereits im Vorfeld untersucht werden, für welche Branchen und damit verbundene Aufgabenbereiche VR Nutzen bringt. Der Zusammenhang zwischen Branchen, Produktlebensphasen, Aufgabenbereichen und Aufgaben ist in Abbildung 12 visualisiert. Im gesamten Produktentwicklungsprozess kann es für VR relevante Aufgabenbereiche geben, die in unterschiedlichen Produktlebensphasen Anwendung finden. So kann beispielsweise eine Ergonomieuntersuchung mit VR bereits in der Konstruktion hilfreich sein, aber auch im späteren Training im Nutzungskontext. Dabei können sich die jeweiligen, spezifischen Aufgaben bei der Ergonomieuntersuchung auch unterscheiden.

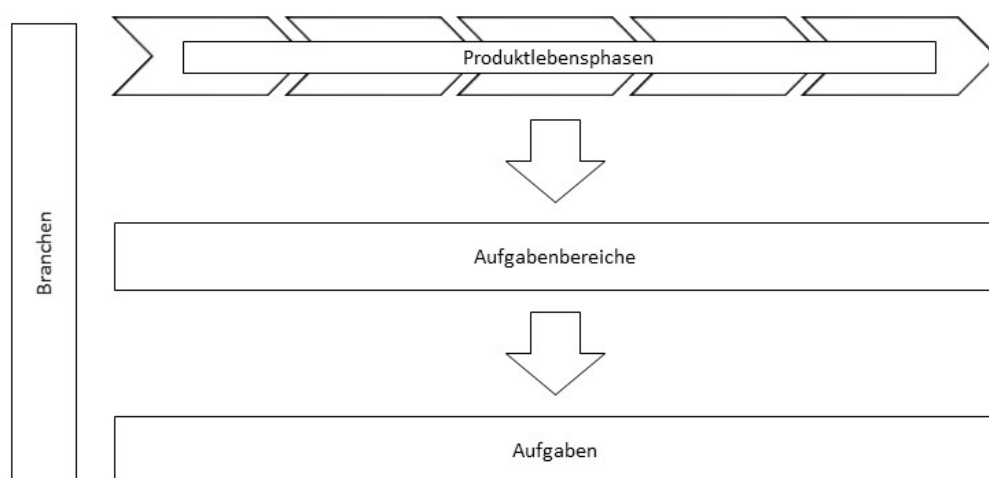


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Unternehmensbereichen, Aufgabenbereichen und Aufgaben (eigene Darstellung)

Bereits 2003 haben Burdea und Coiffet (Burdea und Coiffet 2003, S. 349) die Medizin, (Aus-) und Weiterbildung, Kunst/Visualisierung, Unterhaltung und Militär, aber auch den Öl- und Gas-Sektor, Telekommunikationssektor, den Automobilbereich bzw. das Ingenieurwesen selbst als VR-relevante Unternehmensbereiche beschrieben. Eine Studie der KPMG AG (Ebert et al. 2016) beschreibt, in welchen Unternehmensbereichen VR- und AR-Anwendungen 2016 bereits eingesetzt worden sind. Während Marketing und Vertrieb sowie Nutzung/ Informationsvermittlung zu Produkten und Services mit 70 Prozent bisher überwiegend als Unternehmensbereiche vertreten waren, rücken (Projekt-)Management und Verwaltung, Personalwesen sowie Produktion bzw. Produktentwicklung zunehmend in den Fokus. Bezogen auf den Produktentwicklungskontext haben Burdea und Coiffet (Burdea und Coiffet 2003, S. 350) das Design Review, Ergonomieuntersuchungen sowie Montage- und Verbauuntersuchungen als konkrete Aufgabenbereiche von VR identifiziert. Stelzer (Stelzer et al. 2011, S. 30) ergänzt diese Aufgabenbereiche um Ein-/ Ausbau- und Wartungsuntersuchungen sowie Bewegungssimulationen. Ovtcharova (Ovtcharova 2010, S. 1268) erweitert die Aufgabenbereiche von VR im Produktentwicklungskontext um Verkabelungs-, Funktions- und Ergonomie-simulationen. Rademacher (Rademacher 2014, S. 17) fügt den Aufgabenbereichen für VR im Produktentwicklungsprozess im Kontext der Automobilindustrie zusätzlich die Absicherung der Anmutung und der Qualität des finalen Fahrzeugs hinzu. Schenk et. al (Schenk et al. 2004, S. 387) setzen bei den Aufgabenbereichen für VR entlang der Prozesskette einen starken Fokus auf Produkttests mit Simulationen, Funktions- und Machbarkeitstests oder Post-Processing von Simulationsergebnissen. Hinzu kommen Aufgabenbereiche in der Prozessplanung und Produktion, wie z. B. Gestaltung des Fabriklayouts, Materialflussplanung oder Montageplanung (zusammengefasst als Produktionssystementwicklung (Lindemann 2016, S. 15)) oder am Ende der Prozesskette im Recycling mit Planung, Simulation und Visualisierung der Demontage. In Abbildung 13 findet auf Basis der vorangestellten Quellen eine Zusammenfassung der Aufgabenbereiche für VR im gesamten Produktentwicklungskontext statt. Die Aufgabenbereiche wurden den Lebensphasen anhand Abbildung 9 zugeordnet.

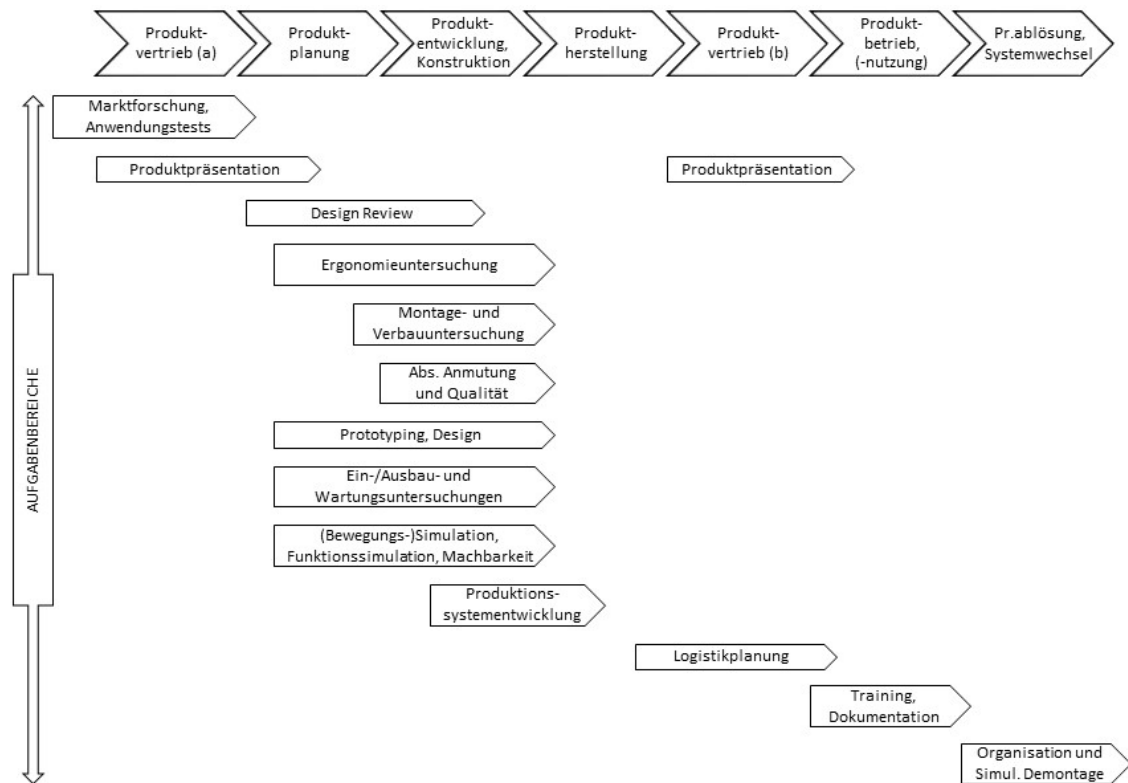


Abbildung 13: Zusammengefasste Aufgabenbereiche aus der Literatur für VR (eigene Darstellung)

Um eine hohe Praxisnähe sicherzustellen, wurden die Herausforderungen bei der Planung von VR-Systemen aus analytischen und empirischen Studien extrahiert. Im Sinne eines allgemeingültigen und aktuellen VR-Informationssystems, das branchenübergreifend nutzbar sein soll, werden diese Erkenntnisse in Kapitel 3 um eigene Untersuchungen in ausgewählten Branchen ergänzt.

2.2.4 VR-Systemplanung

Laut einer Untersuchung der Standish Group (Clancy 2014) wurden 2014 13,1 Prozent der Softwareprojekte aufgrund unvollständiger Anforderungen abgebrochen. 12,4 Prozent resultierten aus einem Mangel, KundInnen in den Prozess miteinzubeziehen und 9,9 Prozent basierten auf unrealistischen Erwartungen. Sich im Projektverlauf ändernde Anforderungen und Erwartungen führten bei 8,7 Prozent und durch einen Mangel an Technologiewissen bei 4,3 Prozent zum Abbruch. Daraus wird die Relevanz von KundInnenmitwirkung und die Notwendigkeit einer klaren Anforderungsermittlung sehr deutlich. Bei der Verwendung von virtuellen Technologien zählen der Know-How-Abfluss, die Sicherheit von IT-Systemumgebungen, die schnelle Fehlerfortpflanzung sowie gesundheitliche Risiken als besondere Risikofaktoren (Beutner et al. 2013, S. 36). Im Kontext von VR-Systemen kommen darüber hinaus sehr spezifische Herausforderungen an eine erfolgreiche Umsetzung zum Tragen. Eastgate et al. (Eastgate et al. 2015, S. 355) gliedern diese Herausforderungen in Technik, Anwendung, Usability und Evaluation. Stefani und Bullinger (Stefani und Bullinger 2015, S. 22) unterteilen Anwendung überdies in Funktionalität und Prozessintegration. Tabelle 2 fasst konkrete Herausforderungen zusammen, die dieser Untergliederung zugeordnet wurden.

Möglichkeiten, Unterschiede und Qualitäten potenzieller Technologien und Funktionalitäten müssen VR-EntwicklerInnen frühzeitig und in geeigneter Form zur Verfügung stehen, vor allem in Hinblick auf kurzfristig initiierte VR-Projekte und EntwicklerInnen mit geringer oder mangelnder Erfahrung (Pratama und Dossick 2019, S. 302). Diese sehr unterschiedlichen Faktoren, die sich gegenseitig stark beeinflussen, stellen einige der großen Herausforderungen in der VR-Systemplanung dar. Mangelndes Wissen über technologische Möglichkeiten oder Restriktionen gepaart mit einem unzureichenden Kommunikationsprozess zwischen KundIn und EntwicklerIn führt zu nicht langfristig einsetzbaren Insellösungen von Anwendungen oder Systemen. Gleichmaßen können neue, auf Echtzeitsimulation basierte Anwendungen, wie z. B. digitale Menschmodelle oder Physik- und Verhaltenssimulationen, die Anwendungsfelder erweitern und deren Usability verbessern (Stefani und Bullinger 2015, S. 25).

Tabelle 2: Herausforderungen der VR-Systemplanung

Kategorie	Herausforderung	Beschreibung	Quellen
Technik	Funktionalität	Eine weit verbreitete Anwendung von VR ist das Design Review von digitalen Prototypen. Mit Passungs-, Fertigungs- oder Ergonomieuntersuchungen wird die Baubarkeit oder Wartungsfähigkeit von zu fertigenden Produkten analysiert und bewertet. Hierzu ist zunehmend realistisches Verhalten (Kollision, Flexibilität, etc.) vonnöten. Die Gewährleistungen entsprechender Funktionalitäten hat dann seine Herausforderungen in leistungsfähiger Hardware und schnellen Systemgeschwindigkeiten aber auch komplexen Verhaltenssimulationen.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 22) (Rademacher 2014, S. 80)
	Qualität	Auch der Bedarf an visuell realistischen Modellen (Reflexionen, Schatten, etc.) vor allem für das Design Review führt zu Anforderungen an leistungsfähige Hardware und schnelle Systemgeschwindigkeiten. Als Herausforderung kommen aber auch die Verzerrung dargestellter Inhalte, unnatürliche Perspektiven, erschwerte Größenwahrnehmung oder überproportionale Vergrößerungen bei VR-Projektionen hinzu.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 22)
	Prozessintegration	Einige wesentliche Anforderungen, insbesondere bei der CAD-Daten- und Designprüfung während des Entwicklungsprozesses virtueller Prototypen, sind schnelle, aber qualitativ hochwertige Tessellierung und Vereinfachung, vollständige und genaue Darstellung der Geometrie und Zuordnung einfacher Erscheinungsparameter. Um Zugriff auf zusätzliche Objekteigenschaften zu erhalten, ist der Online-Zugriff auf relevante Objekteigenschaften wie Einschränkungen, Verhalten, physikalische Parameter, Kosten, etc. erforderlich. Allerdings gibt es zur Verwaltung virtueller Objekte und virtueller Welten keine standardisierten Schnittstellen, um einen Online-Zugriff auf ein PDM-System direkt aus einer beliebigen VR-Anwendung zu ermöglichen.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 22)
	Echtzeitfähigkeit	Bei virtuellen Welten wird der Gewährleistung der Echtzeitfähigkeit ein hoher Wert beigemessen. Das bedeutet, dass VR-Kunden durch minimale Latenz keinen Unterschied zwischen virtueller und realer Welt in Bezug auf dessen zeitliches Verhalten bemerken. Eine Voraussetzung hierfür ist eine entsprechend schnelle kabelgebundene sowie kabellose Übertragung hoher Datenmengen.	<ul style="list-style-type: none"> (Jung und Vitzthum 2013, S. 66) (Bastug et al. 2017, S. 110–111)
	Realismus	Der Grad des visuellen Realismus ist einerseits sehr stark vom Aufgabenbereich abhängig, der sich im Nachhinein nur mit großem Aufwand verändern lässt. Andererseits bietet die jeweilige VR-Technologie an sich unter Umständen nicht die notwendige Immersion, um eine ausreichende Präsenz zu schaffen.	<ul style="list-style-type: none"> (Jung und Vitzthum 2013, S. 66) (Rademacher 2014, S. 76)
	Technologievelfalt	Für unterschiedliche Bereiche und Aufgaben in Unternehmen kann der Einsatz von unterschiedlicher VR-Hardware sinnvoll sein. Die Bereitstellung einer VR-Anwendung auf unterschiedlichen VR-Systemen kann jedoch sehr schwierig und zeitaufwändig sein. VR-Software aus dem Spieleentwicklungsbereich (z. B. Unity ⁹ oder Unreal Engine ¹⁰) bietet keinen Support für CAVE- oder Powerwall-Systeme, wohingegen VR-Software für Industrieanwendungen (z. B. IC.Ido ¹¹ oder RTT Deltagen ¹²) keine Smartphones unterstützt.	<ul style="list-style-type: none"> (Mahboob et al. 2019b, S. 2023)

⁹ Unity, <https://unity.com/> [letzter Zugriff: 18.11.2020]

¹⁰ Unreal Engine, <https://www.unrealengine.com/en-US/> [letzter Zugriff: 18.11.2020]

¹¹ IC.Ido, <https://www.esi-group.com/products/virtual-reality> [letzter Zugriff: 18.11.2020]

¹² RTT Deltagen, <https://www.3dexcite.com/de/3dexcite-deltagen/deltagen/> [letzter Zugriff: 18.11.2020]

Kategorie	Herausforderung	Beschreibung	Quellen
Anwendung	Sicherheit von IT-Systemumgebungen	Die steigende Verwendung virtueller Arbeitsmethoden führt zu immer komplexer werdenden IT-Systemen und Übertragungswegen. Damit steigen zwangsläufig die Risiken interner und externer Angriffe (z. B. Abhören oder Manipulation von Informationen) sowie unbeabsichtigter Fehler und Ereignisse (z. B. technische Fehler oder Verschleiß).	<ul style="list-style-type: none"> (Beutner et al. 2013, S. 36)
	Schnelle Fehlerfortpflanzung	Gerade im Rahmen solcher Vorteile von VR wie beispielsweise ortsunabhängige Teilnahme an kollaborativen Produktbewertungen erlangen eine einheitliche Datenbasis und weitgehend vernetzte Computer- und Kommunikationsstrukturen eine enorme Bedeutung. Eine schnelle Kommunikation und Kooperation sind das Ziel innovativer Anwendungen. Gleichzeitig bedeutet	<ul style="list-style-type: none"> (Beutner et al. 2013, S. 36)
	Fehlende Patterns	Aufgrund der noch geringen Verbreitung von VR-Anwendungen wurde bisher keine umfangreiche Evaluation durchgeführt, um entsprechende Patterns oder Guidelines für „gute“ VR-Anwendungen zu entwickeln. Aus dem geförderten Forschungsprojekt „3D-Guide“ wurden zwar erste Patterns für die Entwicklung von VR- und Augmented Reality (AR)-Anwendungen entwickelt und öffentlich zur Verfügung gestellt. Allerdings beschreiben diese Patterns derzeit nur Kernmechaniken in der Interaktion mit 3D-Anwendungen und lassen noch große Lücken offen. So werden große Herausforderungen für die Konzeption und Entwicklung adaptiver oder gedankengesteuerter	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 24)
	Interaktivität	Interaktivität bezieht sich auf die Bewegung im virtuellen Raum und die Beeinflussung des Verhaltens der virtuellen Objekte. Gerade bei VR-Anwendungen ist auch hier eine verzögerungsfreie Interaktivität von immenser Bedeutung.	<ul style="list-style-type: none"> (Jung und Vitzthum 2013, S. 66)
Usability	Wiederverwendbarkeit	Die Entwicklung von VR-Szenen ist zeitintensiv und aufwendig. Sind diese VR-Szenen erstellt, sind in der Regel limitierte Modifikationen oder Erweiterungen ohne größeren Aufwand mehr möglich. Eine Wiederverwendbarkeit der Gesamtmodelle oder Teilmodelle ist ebenfalls in der Regel nicht gegeben.	<ul style="list-style-type: none"> (Mahboob et al. 2017b, S. 285–286)
	Akzeptanz	Eine hohe Rechen- und Grafikleistung ist trotz der zunehmenden Entwicklung von Hardware für einige Anwendungen immer noch nicht zufriedenstellend und führt zu einer verminderten Benutzungssakzeptanz. Die Herausforderung liegt hier darin, mit ergänzenden Möglichkeiten die Benutzungssakzeptanz bestmöglich zu optimieren.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 22)

Kategorie	Herausforderung	Beschreibung	Quellen
Usability	Kurze Einarbeitungszeit	VR soll nicht nur VR-Spezialistinnen sondern Mitarbeiterinnen aus sämtlichen Lebensphasen des Produktentwicklungsprozesses zugänglich sein. Allerdings ist die Verwendung von VR als durchgängiges Arbeitsmedium in der Regel noch nicht in die Arbeitsprozesse integriert. Aus diesem Grund besteht ein großer Lernaufwand in Bezug auf die Verwendung des gesamten VR-Systems, der VR-Interaktionsgeräte und insbesondere der VR-Software. Um jedoch den Arbeitsprozess zu unterstützen und nicht zu behindern, muss die Einarbeitungszeit so gering wie möglich sein. In Situationen wie schnellen Designentscheidungen durch Führungskräfte, die nur sporadisch und sehr kurz mit der Technologie/Anwendung in Berührung kommen, ist die Berücksichtigung des Faktors Einarbeitungszeit eine elementare Herausforderung.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 21)
	Intuitive Bedienung	Eine intuitive Bedienung wird erreicht, wenn die Leistung des Systems den Erwartungen der VR-KundInnen entspricht. Die Verwendung virtueller Prototypen beeinflusst die Erwartung an reale Prototypen. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, dass insbesondere grundlegende Interaktionen (z. B. das Greifen von Geräten) den entsprechenden Aktionen in der Realität ähnlich sind. In Abhängigkeit von zur Verfügung stehender Hardware oder dem Grad der Präzision kann es hier zu großen Herausforderungen kommen.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 21–22)
	Aufgabenorientiere Funktionalitäten	Der Funktionsbereich muss der Aufgabe angemessen sein. CAD-Reviews sollten daher Funktionen wie Messen, Dokumentation, Navigation, Schneiden und Konstruktion/Zeichnung haben.	<ul style="list-style-type: none"> (Stefani und Bullinger 2015, S. 22)
Evaluation	Usability-Methoden	Als eine Herausforderung wird bereits der Nachweis eines zusätzlichen Nutzens für VR-Anwendung gesehen. Auch die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit von VR-Anwendungen birgt einige Hürden. Der Einsatz bisheriger Usability-Engineering-Methoden ist für VR-Anwendungen oft weder geeignet noch effektiv, da sich VR-Benutzeroberflächen sehr stark von anderen unterscheiden. Zur Gestaltung solcher Oberflächen sind nur wenige Prinzipien vorhanden, die nur selten empirisch abgeleitet oder validiert sind. Auch gibt es noch keinen etablierten Mechanismus zur Aufzeichnung der Benutzungsinteraktion.	<ul style="list-style-type: none"> (Eastgate et al. 2015, S. 355) (Gabbard 2015, S. 722–723) (Harms 2019, S. 6)
Umfeld	Know-How-Abfluss	Der Informations- und Wissensgehalt der Produktmodelle (z. B. Modellhistorie, Toleranzen, Integration von CAE-Ergebnissen) nimmt stetig zu und führt folglich auch zu einem steigenden Entwicklungs-Know-How direkt im Modell-Bereich. Bei einem Datenaustausch wird gleichzeitig internes intellektuelles Wissen an Dritte bzw. WettbewerberInnen weitergegeben. So führen auch eine einheitliche Datenbasis, global verteilte Arbeit und eine steigende Anzahl an (global agierenden) PartnerInnen zu einem verstärkten Risiko des unerlaubten Zugriffs auf vertrauliche Informationen und der unbedachten Weitergabe von (Produkt-)Daten.	<ul style="list-style-type: none"> (Beutner et al. 2013, S. 36)

Kategorie	Herausforderung	Beschreibung	Quellen
Umfeld	Gesundheitliche Risiken	Auf VR-EntwicklerInnenseite muss berücksichtigt werden, dass die Arbeitsplätze der Beschäftigten nach bestimmten Richtlinien optimal eingerichtet sind. So spielt beispielsweise die Raumbeleuchtung bei der Entwicklung im Kontext einer CAVE eine besondere Rolle, wenn ein Großteil der Arbeitszeit dort verbracht wird. Auf Benutzungsseite sollte wiederum die Gefahr der Cybersickness berücksichtigt werden. Dabei sind die Möglichkeiten zur Reduktion bis hin zur Vermeidung von Cybersickness (beispielsweise durch die Beeinflussung der Temperatur) bis heute nur unzureichend geklärt.	<ul style="list-style-type: none"> • (Beutner et al. 2013, S. 36) • (Burdea und Coiffet 2003, S. 269; Arnold et al. 2019, S. 19)
	Terminologie	Die von den Unternehmen verwendeten Fachbegriffe sind oft mehrdeutig oder unvollständig definiert. Es werden verschiedene Fachbegriffe verwendet, die einen gleichen Sachverhalt beschreiben. Um einen erfolgreichen Wissensaustausch zu ermöglichen, müssen Faktoren wie gleiche Sprache und Verwendung einer äquivalenten Terminologie berücksichtigt werden.	<ul style="list-style-type: none"> • (Hellmuth 1997, S. 2) • (Heiss 2010, S. 10)
	Erfahrungsmangel	Je mehr Erfahrung VR-KundInnen mit der VR-Technologie besitzen, desto größer ist ihr Vertrauen in ihre eigene Urteilssicherheit. Dem gegenüber stehen Untersuchungen, die eine bislang recht geringe Nutzungserfahrung bestätigen. Dies birgt vor allem Schwierigkeiten in VR-Anwendungen, bei denen es darauf ankommt, schnell Entscheidungen zu treffen bzw. sich nicht lange einarbeiten zu können.	<ul style="list-style-type: none"> • (Rademacher 2014, S. 79) • (Karl et al. 2018, S. 17)
	Fehlbeurteilung	Fehlbeurteilungen in VR – auch durch erfahrene VR-KundInnen – führen zu einer generellen Verunsicherung im weiteren Nutzungsverlauf.	<ul style="list-style-type: none"> • (Rademacher 2014, S. 80)
	Projektdauer	Das Risiko des Scheiterns eines Softwareprojekts steigt mit zunehmender Projektgröße und Projektdauer exponentiell an. Da es gerade bei VR-Projekten viele Unbekannte und eine sehr rasante Technologieentwicklung gibt, ist das Risiko in größeren VR-Projekten besonders hoch.	<ul style="list-style-type: none"> • (Jerald 2016, S. 387) • (Rasmusson 2011, S. 68)

2.2.5 Zwischenfazit

Mit Hilfe von VR können bereits in sehr frühen Phasen der Produktentwicklung virtuelle Prototypen in verschiedenen Kontexten generiert werden. Je nach Produkt, Datenbestand und Unternehmensprozess können real anmutende Produkte, die nur einen Teil der Zeit und Kosten von realen Prototypen in Anspruch nehmen, allen AkteurlInnen im Entwicklungsprozess zur Verfügung gestellt werden. Der Anspruch von VR, innovative und qualitativ hochwertige Produkte bei geringerer Entwicklungszeit garantieren zu können, setzt gleichzeitig eine optimale VR-Systementwicklung voraus, die auf die Belange der Produktentwicklung abgestimmt ist. In Kapitel 2.2.1, dem Grundlagenkapitel zur klassischen Produktentwicklung, wurden die Produktlebensphasen technischer Produkte bestimmt und anhand einschlägiger Literatur miteinander verglichen. Damit wurde eine erste Grundlage für eine geeignete Strukturierung eines unterstützenden VR-Informationssystems für die VR-Systementwicklung geschaffen. So werden nicht nur Lebensphasen aus der VDI 2221 berücksichtigt, sondern beispielsweise auch granularere Einstufungen wie Transport, Lagerung und Vertrieb nach Roth (Roth 2000, S. 72–73). Kapitel 2.2.2 beweist die Notwendigkeit der virtuellen Produktentwicklung im Allgemeinen und begründet damit auch die Notwendigkeit eines unterstützenden Informationssystems für die Entwicklung von VR-Systemen im Kontext der virtuellen Produktentwicklung. In diesem Zusammenhang fand eine Betrachtung der Herausforderungen bei der Entwicklung von VR-Szenen statt. Gerade die isolierte Betrachtung von Produktmodellen in komplexen VR-Szenen oder die begrenzte Wiederverwendbarkeit von VR-Modellen muss in einer allgemeingültigen Konzeption und nutzbringenden Umsetzung eines VR-Informationssystems besonders berücksichtigt werden. Um die Reichweite des VR-Informationssystems bewerten zu können, wurden in Kapitel 2.2.3 die Unternehmensbereiche und ihre Aufgaben untersucht, für die VR im Produktentwicklungskontext grundsätzlich einen Mehrwert birgt. Diese reichen von der heutzutage vielfach genutzten Produktpräsentation über Montage- und Verbauuntersuchungen bis hin zu Trainings oder simulierten Demontageuntersuchungen. Ergänzend zu den Herausforderungen in Bezug auf VR-Modelle wurden in Kapitel 2.2.4 die Herausforderungen und Schwierigkeiten bei der Planung von vollständigen VR-Systemen analysiert und kategorisiert. Die Kernergebnisse der Herausforderungen liegen dabei auf den Ebenen Technik (z. B. Echtzeitfähigkeit),

Anwendung (z. B. fehlende Patterns), Usability (z. B. aufgabenorientierte Funktionalitäten), Evaluation (VR-geeignete Usability-Methoden) und Umfeld (z. B. heterogene Terminologie). Um mit den daraus folgenden Ergebnissen ein nutzerorientiertes VR-Informationssystem für die VR-Systemplanung entwickeln zu können, ist jedoch ebenso ein Verständnis über die VR-Technologie an sich notwendig. Aufgrund dessen befasst sich das nachfolgende Kapitel mit der Begriffsdefinition von Virtual Reality und einem Überblick über dessen aktuellen Stand der Technik.

2.3 Virtual Reality

Das in dieser Arbeit vorgestellte VR-Informationssystem dient der Entwicklung von VR-Anwendungen und stellt die wichtigsten funktionalen Möglichkeiten dar. Zum besseren Verständnis werden in diesem Kapitel ein Grundverständnis für den Begriff Virtual Reality erzeugt und die VR-Technologie im Grundaufbau beschrieben. Es wird weiterhin ein Auszug an derzeit verfügbaren VR-Technologien bzw. VR-Komponenten präsentiert.

2.3.1 Begriffsdefinition

Virtual Reality, oft auch mit Virtual Environment gleichgesetzt (Blade und Padgett 2015, S. 33), beschreibt ein simuliertes Abbild der Realität, mit der ein Mensch interagieren kann. Burdea und Coiffet (Burdea und Coiffet 2003, S. 3) definieren VR wie folgt:

„Virtual reality is a high-end user-computer interface that involves real-time simulation and interactions through multiple sensorial channels. These sensorial modalities are visual, auditory, tactile, smell and taste.“

Aufbauend auf dieser Definition zeigt Abbildung 14 eine durch Burdea und Coiffet (Burdea und Coiffet 2003, S. 4) erfolgte Beschreibung von VR durch die „3 I“: *Interaction*, *Immersion* und *Imagination*.

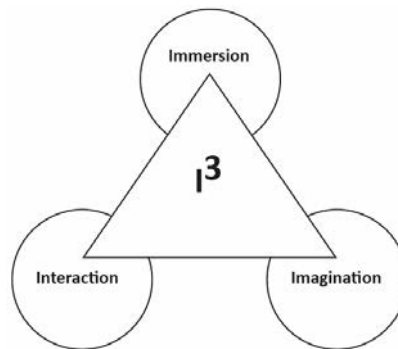


Abbildung 14: Die 3 "I" der VR: Immersion, Interaction, Imagination (Burdea und Coiffet 2003, S. 4)

Interaction ist dabei die Möglichkeit der Interaktion innerhalb der virtuellen Realität durch VR-KundInnen des Systems. *Imagination* ist die Vorstellungskraft der VR-KundInnen, nichtexistente Dinge wahrzunehmen und sich in die virtuelle Realität hineinzusetzen. Der Begriff der *Immersion* muss genauer beleuchtet werden, da er mit dem Begriff der *Präsenz* einhergeht. Die nachfolgende Definition der Präsenz orientiert sich maßgeblich an Slater (Slater 2009, S. 3551), der Präsenz primär mit dem Gefühl des „being there“ gleichsetzt. Damit ist das subjektive Gefühl gemeint, sich innerhalb einer virtuellen Umgebung zu befinden, die von einem immersiven VR-System visualisiert wird. Befinden sich VR-KundInnen bewusst in der virtuellen Welt und verhalten sich analog zur realen Welt, so ist eine vollständige Präsenz erreicht (Dörner et al. 2013, S. 46). Die Immersion ist der Grad des Eingebunden-sein in einer virtuellen Welt, die VR-KundInnen durch objektive bzw. technische Rahmenbedingungen erfahren (Burdea und Coiffet 2003, S. 3). Dies ist jedoch nur einer der gravierenden Unterschiede zur konventionellen Computergrafik. Eine Gegenüberstellung durch Dörner (Dörner et al. 2013, S. 14) in Tabelle 3 macht die grundsätzlichen Unterschiede deutlich.

Tabelle 3: Merkmale von VR im Vergleich zu konventioneller Computergrafik (Dörner et al. 2013, S. 14)

3D-Computergraphik	Virtuelle Realität
Reine visuelle Präsentation	Multimodale Präsentation: visuell, akustisch, haptisch
Präsentation nicht notwendigerweise zeitkritisch	Echtzeitdarstellung
Betrachterunabhängige Präsentation (exozentrische Perspektive)	Betrachterabhängige Präsentation (egozentrische Perspektive)
Statische Szene oder vorberechnete Animation	Echtzeitinteraktion und -simulation
2D-Interaktion (Maus, Tastatur)	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- und Körpergestik) + Spracheingabe
Nicht-immersive Präsentation	Immersive Präsentation

Die Echtzeitfähigkeit, die Interaktivität und die Immersion werden im Allgemeinen als die wesentlichen Charakteristika von VR herangezogen. Um VR-Systeme mit diesen Eigenschaften aber entwickeln zu können, bedarf es ganz unterschiedlicher technischer Komponenten. Die Aufgabe eines VR-Systems ist dabei, die Anwendungsinhalte VR-KundInnen in einer Weise effektiv zu kommunizieren, als würde es sich um ein reales System handeln (Jerald 2016, S. 30). Abbildung 15 veranschaulicht diesen Kommunikationskreislauf. Die Bewegung und Interaktion der VR-KundInnen mit Hilfe von geeigneten Eingabegeräten (Input) wird dabei durch ein Tracking wahrgenommen und innerhalb der VR-Anwendung verarbeitet. Die Eingaben der VR-KundInnen werden in der 3D-Software gerendert und mit einer entsprechenden VR-Darstellungstechnologie (z. B. CAVE oder Head-Mounted-Display (HMD)) präsentiert (Output). Dazu können sowohl die visuelle als auch die akustische, haptische oder sogar die olfaktorische Präsentation gehören.

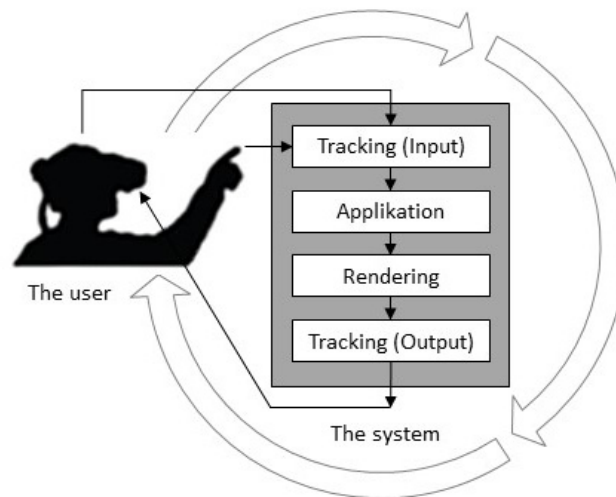


Abbildung 15: Primäre Komponenten eines VR-Systems (Jerald 2016, S. 31)

Das nachfolgende Kapitel soll die primären Komponenten eines VR-Systems etwas konkretisieren und einen kleinen Einblick über derzeit übliche Hardware und Software geben.

2.3.2 Stand der Technik

Um ein VR-System bzw. eine VR-Anwendung in seiner Ganzheit beschreiben zu können, ist eine Betrachtung aller Teilsysteme notwendig. Der von Burdea und Coiffet (Burdea und Coiffet 2003, S. 16) beschriebene Aufbau einer VR-System-Architektur ist dabei sehr allgemein. Eine detailliertere Darstellung erfolgte, wie in Abbildung 16 zu sehen, durch Dörner (Dörner et al. 2013, S. 24).

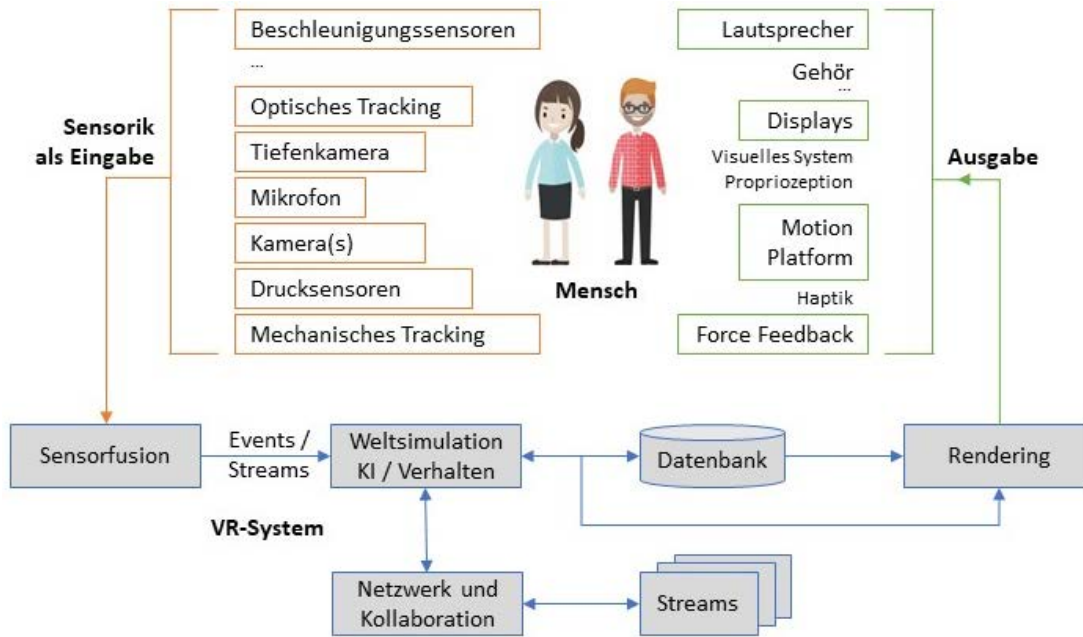


Abbildung 16: Überblick über die Teilsysteme eines VR-Systems (Dörner et al. 2013, S. 24)

Das VR-System gliedert sich hierbei in Eingabegeräte (Orange), Ausgabegeräte (Grün) und übrige Teilsysteme des VR-Systems (Blau). Jegliche Komponenten sind sehr vielfältig und werden im Folgenden nur in ihren Ansätzen beschrieben, um das Verständnis zum Forschungsgegenstand VR-System zu fördern. Insbesondere Sprachein- und -ausgaben sowie haptische Ausgabegeräte werden in der vorliegenden Arbeit zum Stand der Forschung nicht vertieft beschrieben, gleichwohl sie in das VR-Informationssystem eingebracht worden sind.

Eingabegeräte

VR-Systeme verfügen über unterschiedliche Eingabegeräte, die Informationen der VR-KundInnen an die VR-Anwendung übersetzen und die Möglichkeit zur Interaktion innerhalb der virtuellen Realität schaffen sollen. Dabei werden Signale an das VR-System gesendet und die Auswirkung über ein Ausgabegerät in Echtzeit wiedergegeben. Für die Wahl der Eingabegeräte muss die Aufgabe analysiert werden, die mit Hilfe eines VR-Systems erfüllt werden soll. Dabei reichen die Möglichkeiten von mechanischen Eingabegeräten, wie Controller oder Datenhandschuhe über optische Verfahren (Gestenerkennung) bis hin zu akustischen Verfahren (Spracheingabe). Tabelle 4 gliedert die Eingabegeräte in Hand- und Nicht-Hand-Eingabe, angelehnt an Jerald (Jerald 2016, S. 312).

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Hand- und Nicht-Hand-Eingabegeräten

Geräte-Klasse	Geräte	Beispiel
Hand-Eingabegeräte	Liegende Geräte	z. B. Maus oder Tastatur als klassische Eingabegeräte.
	Nicht getrackte Hand-Held-Controller	z. B. Joystick oder Gamepad. Ermöglichen eine Interaktion im virtuellen Raum, werden aber nicht direkt verortet.
	Blanke Hände	Interaktion erfolgt direkt mit blanken Händen, die mit Hilfe optischer Sensoren getrackt werden. z. B. Leap Motion.
	Getrackte Hand-Held-Controller	Controller mit 6 Freiheitsgraden, z. B. HTC VIVE. D. h. es erfolgt ein Erfassen und Positionieren der Controller innerhalb des Raumes, sodass sie den Händen im virtuellen Raum entsprechen können.
	Handgetragene Geräte	Mit Hilfe eines Datenhandschuhs oder angelegten Handsensoren können die Hände und Finger direkt mit Objekten interagieren.
Nicht- Hand-Eingabegeräte	Kopf-Tracking	Auswahl durch Blickrichtung, die entweder mit einem Hand-Eingabegerät oder über eine zeitliche Komponente ausgelöst wird.
	Eye-Tracking	In der Regel in Kombination mit multimodaler Eingabe. Eye-Tracking kann für spezielle Aufgaben und subtile Interaktionen effektiver sein, wie z. B. wie ein Charakter reagiert, wenn er angeschaut wird.
	Mikrofon	Aktuell vorwiegend auf mobile Devices verwendet, bietet Sprachsteuerung eine natürliche Weise der Interaktion innerhalb einer immersiven Umgebung.
	Full-Body Tracking	Motion-Capture-Anzug mit elektromagnetischen Sensoren, reflektierenden Markern oder Trägheitssensoren. Bietet die Möglichkeit, die Illusion einer vollständigen sozialen Präsenz zu erzeugen.
	Laufband	Zur Erzeugung eines echten Laufgefühls, das endloses Laufen in jede beliebige Richtung simulieren soll.

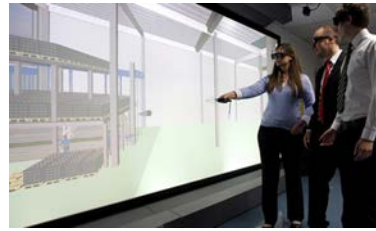
VR-System

Werden verschiedene Eingabegeräte verwendet (z. B. getrackte Controller ergänzt durch eine Spracheingabe), so müssen die Sensordaten zu einem plausiblen und widerspruchsfreien Datenstrom zusammengefasst werden (Dörner et al. 2013, S. 22). Diese Daten aus der in Abbildung 16 genannten *Sensorfusion* beeinflussen die *Weltsimulation*. Die Weltsimulation ist ein Computersystem, das ein passendes Modell einer virtuellen Welt generiert. Bestandteile dieses Systems können physikalische Simulationsmodelle oder KI-gestützte Modelle sein, die letztendlich das Verhalten der virtuellen Welt bestimmen. Die eigentlichen virtuellen Modelle liegen in Form von aufbereiteten CAD-Daten oder direkt erstellten 3D-Daten in einer Datenbank vor. Die Visualisierung wird durch eine entsprechende VR-Software durchgeführt, die das Rendering übernimmt. Bei komplexen Simulationen oder kollaborativen Systemen kann die Einbindung von Netzwerken sinnvoll sein, um das Rendering auf weitere Computer zu verteilen oder verschiedene Ausgabegeräte ansteuern zu können.

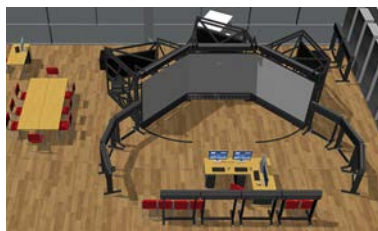
Ausgabegeräte

Ausgabegeräte dienen dazu, den VR-KundInnen eine virtuelle Welt primär visuell darzustellen. Dazu wird vor den Augen der VR-KundInnen ein stereoskopisches Bild erzeugt (Spur und Krause 1997, S. 108). Die am häufigsten genannten Ausgabegeräte sind derzeit Head-Mounted-Displays (HMD) sowie Ein- bzw.- Mehr-Seiten-Projektionseinrichtungen (Powerwall/CAVE) ((Mallaro et al. 2017, S. 1–2; Mestre 2017, S. 31–35; Anthes et al. 2016, S. 1–6)). Im Rahmen dieser Arbeit ist für das Grundverständnis von VR-Systemen eine strukturierte Beschreibung von Darstellungstechnologien notwendig. Nachfolgend sind unter Zuhilfenahme einer Unterteilung nach LaViola (LaViola et al. 2017, S. 131) VR-Darstellungstechnologien beispielhaft beschrieben.

- **Ein-Bildschirm-Displays** sind konventionelle Monitore, hochauflösende Fernseher sowie Front- oder Rückprojektionssysteme (Powerwall), aber auch Smartphones bzw. Tablets. Mit Hilfe von entsprechenden Stereo-Brillen oder Zusatzbrillen zum Einklinken eines Smartphones können Stereopräsentationen erzeugt werden (LaViola et al. 2017, S. 131–133; Veas und Kruijff 2010, S. 1–2; Burdea und Coiffet 2003, S. 70–81).
-

Monitor¹³Powerwall¹⁴

- **Surround-Screen- und Multiscreen-Displays** sind Mehr-Seiten-Projektions-systeme bzw. gebogene Systeme, mit denen bis zu 6-Seiten-Projektionen mit Decke und Boden erreicht werden. Die stereoskopische Darstellung wird mit Polarisations- oder Shutterbrillen erzeugt. Externe Trackingkameras erfassen anhand der Brille die Kopfbewegungen sowie die Bewegungen der Interaktions-geräte. Die Berechnungen und Visualisierungen erfolgen über eigenständige Computer. (LaViola et al. 2017, S. 134–137; Mestre 2017, S. 31–32)

CAVE¹⁵Hemisphärisches Display¹⁶

- **Tischdisplays** sind Ausgabegeräte, die ihre Projektionsfläche in einem Tisch oder Pult integriert haben. (LaViola et al. 2017, S. 139–141; Kruger et al. 1995, S. 42–48)

Projektionstisch¹⁷

¹³ LaViola et al. 2017, S. 131

¹⁴ https://vetc.esb-business-school.de/fileadmin/user_upload/ESB_VETC/Beratung/Lagerplanung_2011_11_10.jpg [letzter Zugriff: 18.08.2019]

¹⁵ https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/_migrated/pics/Totalansicht_FASP_20141024.png [letzter Zugriff: 19.08.2019]

¹⁶ <https://wonder-vision.co.jp/wp-content/uploads/2017/12/BL317404.jpg> [letzter Zugriff: 19.08.2019]

¹⁷ http://whatisvirtualreality.weebly.com/uploads/2/0/0/4/2004153/8613981_orig.png [letzter Zugriff: 12.09.2019]

- **Kopfgetragene Displays** (Head Mounted Displays, HMDs) sind auf dem Kopf angebrachte, geschlossene Helme oder Datenbrillen, die Bilder auf ein augennahes Display oder direkt auf die Netzhaut projizieren. Sie bestehen aus einem sensorischen System, das von Trackingkameras erfasst werden kann, sowie einem oder mehreren Controllern. (LaViola et al. 2017, S. 141–148)

HMD¹⁸Smartphone¹⁹

- **Beliebige Oberflächenanzeigen** realisieren die Projektion von Bildern auf beliebige Oberflächen in jeglicher Form oder Größe. Durch die Verwendung realer Objekte wird eine maximale Tiefe erreicht. (LaViola et al. 2017, S. 148–149; Bimber und Raskar 2005, 2005, S. 83–90)

Erweiterte Oberflächenvisualisierung auf physischem 3D-Objekt²⁰

- Bei **autostereoskopischen Anzeigen** werden 3D-Bilder ohne die Verwendung von speziellen Shutter- oder Polarisationsbrillen erzeugt. Die Displays verwenden linsenförmige, volumetrische oder holografische Technologien. (LaViola et al. 2017, S. 150–151)

Volumetrisches Display²¹

¹⁸ Eigene Darstellung

¹⁹ Eigene Darstellung

²⁰ Bimber und Raskar 2005, S. 225

²¹ <http://heraldwriter24.com/wp-content/uploads/2019/09/Volumetric-Display.png>
[letzter Zugriff: 28.09.2019]

Aus dieser Auflistung ist zu entnehmen, welche Typen von Ausgabegeräten vorhanden sind und wie vielseitig die Planung einer VR-Anwendung sein kann. Hinzu kommt, dass alle Ausgabegeräte über Spezifika verfügen, nach denen sie individuell strukturiert werden können (Grimm et al. 2013, S. 128):

- Anwendungssicht (z. B. Unterteilung nach Field of View, Größe des Aktionsradius)
- Technische Sicht (z. B. Auflösung, Wiedergabeart, Stereofähigkeit)
- Mobilität (z. B. stationär oder mobil, kabelgebunden oder kabellos)
- VR-System-Sicht (z. B. einzelnes Ausgabegerät oder zusammenschaltete Geräte)

Dieser Überblick über die Technologie der Virtual Reality bildet einen essentiellen Grundpfeiler sowohl für die Strukturierung als auch die inhaltliche Ausgestaltung des VR-Informationssystems. Im Sinne eines nutzerorientierten Systems fehlt jedoch eine umfangreiche Analyse der spezifischen Anforderungen von VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen, womit sich Kapitel 3 beschäftigt.

2.3.3 Zwischenfazit

VR-Systemen können ganz spezifische Charakteristika wie Echtzeitfähigkeit, Interaktivität oder Immersion zugeordnet werden. Um VR-Systeme mit diesen Eigenschaften aber entwickeln zu können, bedarf es ganz unterschiedlicher technischer Komponenten. In diesem Kapitel wurde der allgemeine Aufbau näher beleuchtet und grundsätzlich in Eingabegeräte (z. B. Kameras oder Mikrofone), Ausgabegeräte (z. B. HMDs oder Powerwalls) und übrige Teilsysteme (z. B. Sensorfusion oder Rendering) untergliedert. Die einzelnen Komponenten, insbesondere die der Teilsysteme (z. B. für Simulationen oder Verhaltensmodellierungen), können dabei sehr vielfältig und komplex sein. Um mit dem in diesem Kapitel gelieferten Technologieüberblick und den aus Kapitel 2.2 resultierenden Ergebnissen ein nutzerorientiertes VR-Informationssystem für die VR-Systemplanung entwickeln zu können, ist jedoch ebenso die nutzerorientierte Ermittlung der Anforderungen an ein VR-Informationssystem notwendig. Die Grundlagen der Anforderungsermittlung, insbesondere im Kontext VR, werden im nachfolgenden Kapitel behandelt.

2.4 Analysemethoden

Der Erfolg einer Softwareanwendung wird dadurch bestimmt, inwieweit die Visionen und Erwartungen der KundInnen erfüllt werden können. Die Zufriedenheit bei der Benutzung mit dem Software- und Hardwaresystem wird dabei als Kriterium zur Feststellung der Systemqualität herangezogen, weshalb das richtige Verständnis für die Anforderungen und Bedürfnisse der VR-KundInnen, deren Spezifikationen, Dokumentation und Validierung von großer Bedeutung sind (Winter 2000, S. 16). Pohl und Clancy (Pohl 2010, S. 7; Clancy 2014) stellen deutlich heraus, dass Ressourcenüberschreitungen oder funktionale Einschränkungen bei Softwareprojekten zu 12,3 Prozent auf unvollständige Anforderungen und zu 11,8 Prozent auf sich ändernde Anforderungen zurückzuführen sind. Auch die von ihm dargestellten Schwierigkeiten durch unrealistische Erwartungen oder neue Technologien lassen sich mittels vollständiger bzw. gut definierter Anforderungen sowie den Einbezug von KundInnen im Softwareentwicklungsprozess verhindern. Nach Ebert (Ebert 2019, S. 5) reduziert unzureichendes Requirements Engineering (siehe Kapitel 2.3.2) den Projekterfolg und weist, wie in Abbildung 17 dargestellt, ebenfalls auf unzureichende Anforderungen als Hauptursache hin.

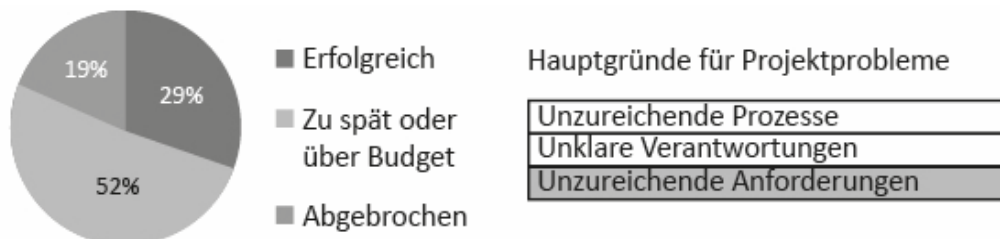


Abbildung 17: Unzureichendes Requirements Engineering reduziert den Projekterfolg (Ebert 2019, S. 5)

Im Kontext dieser Arbeit gilt es daher zu untersuchen, wie Anforderungen für ein VR-System ermittelt und nutzerorientiert in einem VR-Informationssystem zur Verfügung gestellt werden können. In Kapitel 2.4.1 wird zunächst der Terminus der *Anforderung* hergeleitet und definiert. Darauf aufbauend erfolgt im Kapitel 2.4.2 die allgemeine Beschreibung von Anforderungen im Sinne einer Strukturierung und Klassifizierung, um sie wieder- und weiterverwendbar gestalten zu können. Für die Festlegung von Anforderungen wird der Nutzungskontext als wesentliche Informationsquelle

beschrieben und in Kapitel 2.4.3 beleuchtet. Die Einordnung der Erhebung von nutzerzentrierten Anforderungen im Kontext des Requirements Engineering wird abschließend im Kapitel 2.4.4 beschrieben.

2.4.1 Definition von Anforderungen

Bevor eine Auseinandersetzung mit den Anforderungen von VR-KundInnen bzw. VR-EntwicklerInnen an ein VR-Informationssystem und allgemein an VR-Systeme stattfindet, muss der Terminus *Anforderung* an sich definiert werden. Im IEEE Standard 610.12 von 1990 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1990, S. 62; Pohl 2010, S. 13) wird eine Anforderung wie folgt definiert:

- (1) „Eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System oder eine Person benötigt, um ein Problem zu lösen oder ein Ziel zu erreichen.
- (2) Eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System oder eine Systemkomponente aufweisen muss, um einen Vertrag zu erfüllen oder einem Standard, einer Spezifikation oder einem anderen formell auferlegten Dokument zu genügen.
- (3) Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Eigenschaft wie in (1) oder (2) definiert.“

Im Kontext der Produktentwicklung wird eine Anforderung von Lindemann (Lindemann 2007, S. 327) definiert als:

- (1) *„Festlegung der qualitativen und quantitativen Eigenschaften eines Produktes aus der Sicht des Auftraggebers*
- (2) *Eigenschaft, die das zu entwickelnde System (Produkt, Dienstleistung, Prozess etc.) erfüllen muss*
- (3) *geforderte Ausprägung eines Merkmals“*

Dabei muss klar zwischen Anforderung und Lösung unterschieden werden. Das zu erreichende Bedürfnis oder der Nutzen, die erreicht werden sollen, werden durch eine Anforderung beschrieben. Die Realisierung dieses Nutzens wird hingegen durch die Lösung beschrieben (Ebert 2019, S. 23). Anforderungen vermitteln das gegenseitige Verständnis zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn sowie allen anderen beteiligten

Parteien. Zur strukturierten Ermittlung und Spezifikation von Anforderungen können diese auf Basis des IEEE Standards 830-1998 „IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications“ (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998) klassifiziert und beschrieben werden. Speziell im Kontext von VR-Systemen wurde diese Klassifizierung von Anforderungen durch Jerald (Jerald 2016, S. 395) wie folgt angepasst:

- Funktionale Anforderungen
- Qualitätsanforderungen, oft als non-funktionale Anforderungen bezeichnet
- Universelle VR-Anforderungen

Funktionale Anforderungen spezifizieren die Funktionalität, die das System seinen BenutzerInnen (Personen oder anderen Systemen) bereitstellen soll (Pohl 2010, S. 17). Sie beinhalten oft eine Menge an Eingaben, Verhalten und Ausgaben (Jerald 2016, S. 398). Als Beispiel für eine funktionale Anwendung beschreibt Jerald: alle als selektierbar markierten Objekte können von BenutzerInnen direkt durch Überschneiden der Handgeometrie mit der Objektgeometrie und Drücken der Greifertaste ausgewählt werden. Ferrise (Ferrise et al. 2013, S. 518) ergänzt, dass virtuelle Prototypen auf funktionalen Modellen mit realem Verhalten basieren sollten, um Produkte realistisch evaluieren und testen zu können.

Konkret lassen sich nach Ferrise (Ferrise et al. 2013, S. 518) und Schenk (Schenk et al. 2005, S. 411) folgende funktionale Anforderungen definieren:

- Interaktive Beeinflussung der laufenden Simulation (z. B. Zuweisung von Aufgaben oder Ändern von Bearbeitungszeiten)
- Möglichkeit des interaktiven Modifizierens von Modellen (Dauerhafte Änderungen wie z. B. Bauteilmodellierung)
- Übernahme von virtuellen Avataren zur eigenständigen Durchführung kontextbasierter Aufgaben
- Kontextsensitivität (bei Änderung von Modellen Reaktion auf alle Teilmodelle)

Qualitätsanforderungen definieren Qualitätsmerkmale des zu entwickelnden Systems. Neben systembeschränkenden Qualitätsanforderungen wie Ästhetik, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wartbarkeit beinhalten laut Jerald (Jerald 2016, S. 396) allgemeine

Qualitätsanforderungen Systemanforderungen (Genauigkeit, Präzision, Zuverlässigkeit, Latenzzeit und Renderzeit), Anforderungen an die Aufgabenerfüllung (Zeit zur Aufgabenbeendigung, Richtigkeit, Genauigkeit und Trainingstransfer) und Anforderungen an die Usability (Grad der Erlernbarkeit, Grad der Nutzung, Zufriedenheit).

Wieggers (Wieggers 2003, S. 217) unterteilt dabei die Qualitätsanforderungen nach „Primär relevant für BenutzerInnen“ und „Primär relevant für EntwicklerInnen“ mit in Tabelle 5 dargestellten Attributen. Die Qualitätsanforderungen für BenutzerInnen wurden anhand der Klassifizierung von Jerald strukturiert, wohingegen die Qualitätsanforderungen für EntwicklerInnen phasenbezogen geordnet wurden.

Tabelle 5: Attribute von Qualitätsanforderungen (Wieggers 2003, S. 217)

Primär relevant für BenutzerInnen	Primär relevant für EntwicklerInnen
<i>Systembezogen</i>	<i>Nutzungsphase</i>
Integrität	Testbarkeit
Interoperabilität	Wartbarkeit
Robustheit	<i>Weiterentwicklungsphase</i>
Zuverlässigkeit	Portierbarkeit
<i>Aufgabenbezogen</i>	Wiederverwendbarkeit
Effizienz	
Flexibilität	
<i>Nutzungsbezogen</i>	
Usability	

Universelle VR Anforderungen für alle voll-immersiven VR-Anwendungen sollten so frühzeitig wie möglich im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Beispielsweise kann die spätere Reduzierung der Komplexität einer VR-Szene zu erheblichem Mehraufwand führen. Eine umfassende Auflistung von universellen Anforderungen an VR ist derzeit nicht vorhanden, wobei Jerald beispielhaft einige definiert (Jerald 2016, S. 398):

- Die Systemverzögerung von End-to-End soll nicht über 30 ms liegen.
- Die minimale Bildrate ist die Aktualisierungsrate der HMD.
- Der Bildschirm wird ausgeblendet, wenn die Kopfverfolgung verloren geht.
- Jede Kamera-/Blickwinkel-Bewegung, die nicht von VR-BenutzerInnen gesteuert wird, enthält keine Beschleunigungen für Zeiträume von mehr als einer Sekunde.
- Die Eingabegeräte bieten eine Zuverlässigkeit von 99,99 Prozent oder mehr.

Basierend auf der Definition von Anforderungen erfolgt im nächsten Kapitel eine Auseinandersetzung mit dem Aufbau und der Spezifikation von Anforderungen.

2.4.2 Beschreibung von Anforderungen

Die frühzeitige Identifikation von Anforderungen und deren Dokumentation muss für eine nachhaltige Wieder- und Weiterverwendung in einer Form passieren, die sich in den regulären RE-Prozess einfügt. Für die Spezifikation von Anforderungen an Software sind im Standard IEEE830:1998 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 3) die folgenden Kernpunkte definiert worden:

- **Funktionalität:**
Was soll die Software leisten können?
- **Externe Schnittstellen:**
Wie interagiert die Software mit Menschen, der Systemhardware, externer Hardware und anderer Software?
- **Leistungsfähigkeit:**
Wie ist die Systemgeschwindigkeit, Verfügbarkeit, Antwortzeit, usw.?
- **Attribute:**
Was sind die Überlegungen zur Portabilität, Richtigkeit, Wartbarkeit, Sicherheit usw.?
- **Designbeschränkungen, die einer Implementierung auferlegt werden:**
Bestehen Richtlinien oder Standards auf die zurückgegriffen werden kann?

Zur Strukturierung von Anforderungen auf oberster Ebene kann der Ansatz von Pohl (Pohl 2010, S. 39–42) herangezogen werden, der sich stark am Kontext eines Softwaresystems orientiert und sich aus einer Vielzahl an Komponenten zusammensetzt.

Die Kategorisierung gliedert sich in:

- **Gegenstandsfacette:**
Gegenstände und Ereignisse aus der Umgebung, die in einem Softwaresystem abgebildet werden
 - **Nutzungsfacette:**
Menschzentrierte Systemnutzung
-

- IT-Systemumgebung:
Integrierte Software- und Hardwarekomponenten und deren gegenseitige Interaktion
- Entwicklungsprozessaspekte:
Aspekte, die mit der Entwicklung des Gesamtsystems zusammenhängen (z. B. Entwicklungswerkzeuge, Sicherheit, Zuverlässigkeit)

Um die Kernpunkte beschreiben zu können, ist im Standard IEEE1233.1996 (IEEE Computer Society et al. 1996) eine für KundenInnen und EntwicklerInnen geeignete Struktur festgelegt worden (IEEE Computer Society et al. 1996, S. 11):

- Anforderungen identifizieren, die sich aus anderen Anforderungen ergeben,
- Organisation von Anforderungen unterschiedlicher Detailstufen in die entsprechenden Ebenen,
- Überprüfung der Vollständigkeit des Anforderungssatzes,
- Identifikation von Inkonsistenzen zwischen den Anforderungen,
- Identifikation von Fähigkeiten, Bedingungen und Einschränkungen für jede Anforderung,
- Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses mit den KundInnen über den Zweck und die Ziele des Sets von Anforderungen,
- Identifikation von Anforderungen, die das Gesamtset von Anforderungen vervollständigen werden.

Besonders relevant für ein vorangestelltes VR-Informationssystem und dessen Konzeption in Kapitel 4 sind hieraus folgende Aspekte.

Erstens muss das VR-Informationssystem die Möglichkeit berücksichtigen, Abhängigkeiten von Anforderungen umzusetzen und zu kommunizieren. Für die Entwicklung eines VR-Systems, das z. B. auf dem Außengelände einer Messe eingesetzt werden soll, können festinstallierte VR-Technologien ausgeschlossen werden. Im Messeumfeld müssen aber womöglich konkurrierende Trackingsysteme berücksichtigt werden, die das eigene System beeinflussen können. Baumgart (Baumgart 2016, S. 430) verdeutlicht in Abbildung 18 die Abhängigkeiten von Anforderungen zueinander, die sich gegenseitig unterstützen, ausschließen oder zueinander konkurrieren können.

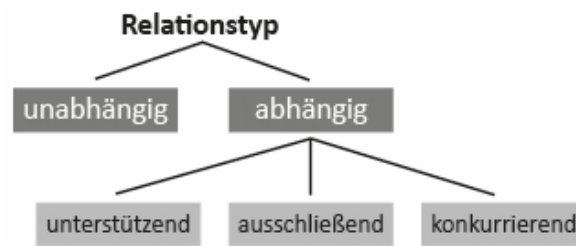


Abbildung 18: Abhängigkeiten zwischen Anforderungen
(Baumgart 2016, S. 430); nach (Kläger 1993, S. 124)

Zweitens sollen Anforderungen keine Design- oder Implementierungsdetails enthalten, sondern vielmehr die Verständlichkeit und Akzeptanz auf Seiten der jeweiligen BenutzerInnen fördern. Um die Qualität der Anforderungsinhalte zur besseren Verständlichkeit oder Akzeptanz zu erhöhen, wurden im IEEE Standard 830:1998 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 10) Qualitätskriterien definiert. Dieser Standard fordert von Anforderungen die folgenden Eigenschaften (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 10):

- Richtigkeit
- Eindeutigkeit
- Vollständigkeit
- Konsistenz
- Priorisierung
- Nachweisbarkeit
- Modifizierbarkeit
- Rückverfolgbarkeit

Speziell für die Priorisierung von Anforderungen müssen entsprechende Techniken auf ihre Eignung hin analysiert werden. Als Grundlage stellt Pohl (Pohl 2010, S. 532) eine übersichtliche Bewertung und Auswahl von Priorisierungstechniken dar, die in Abbildung 19 dargestellt und gleichzeitig im Hinblick auf die eigene Arbeit ausgewertet wurde.

Eignung der Technik	Große Zahl von Anforderungen / hohe Komplexität der Priorisierung					
	Geringe Zahl von Anforderungen / hohe Komplexität der Priorisierung					
	Große Zahl von Anforderungen / geringe Komplexität der Priorisierung					
	Geringe Zahl von Anforderungen / geringe Komplexität der Priorisierung					
	Technik	Aufwand				
	Ranking	gering	★★★	★★★	★★	★
	Top Ten	sehr gering	★★★	★★★	★★	★
	Ein-Kriterien-Klassifikation	gering	★★★	★★	★★	★
	Kano-Klassifikation	gering	★★	★★	★★★★	★★
	Wiegers'sche Priorisierungsmatrix	mittel	★	★	★★★★	★★
	Kosten-Wert-Analyse	hoch	★	★	★★★★	★★

Abbildung 19: Bewertung und Auswahl von Priorisierungstechniken (Pohl 2010, S. 532)

Für das Bewerten der Eignung muss berücksichtigt werden, dass das VR-Informationssystem sowohl über eine große Auswahl an Anforderungen als auch über eine hohe Komplexität verfügen wird. Letztere kann bereits durch den hohen Grad des geforderten inhaltlichen Verständnisses als komplex eingestuft werden. Da das VR-Informationssystem der schnellen Ersterfassung möglicher VR-Systemspezifikationen zur Realisierung der Produktvision dienen und weder eine tiefergehende Auseinandersetzung mit inhaltlichen Zusammenhängen noch mit Kostenstrukturen stattfinden soll, können die Priorisierungstechniken *Wiegers'sche Priorisierungsmatrix* sowie die *Kosten-Wert-Analyse* vernachlässigt werden. Für die effektive Priorisierung von Anforderungen kann somit auf die im Kano-Modell (Kano et al. 1984) definierte Bewertungs- und Klassifikationstechnik zurückgegriffen werden (Pohl 2010, S. 534). Da das VR-Informationssystem aufgabenbereichsübergreifend einsetzbar sein wird, können drei Merkmalsklassen des Kano-Modells, wie in Abbildung 20 dargestellt, gut für eine sofortige Priorisierung je Anforderung eingesetzt werden.

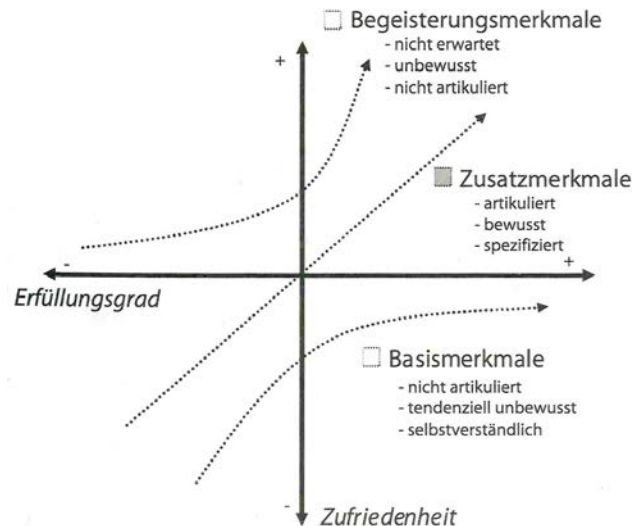


Abbildung 20: Erfüllungsgrad von Systemmerkmalen - Kano-Modell
(Pohl 2010, S. 534; Walden 1993, S. 4–5)

Die Klassifikation in Basismerkmale, Zusatzmerkmale und Begeisterungsmerkmale basiert primär auf einer Notation im Kontext der Marktwirkung. Die Notation im IEEE Standard 830:1998 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 7) lässt sich inhaltlich übertragen und ist für ein aufgabenbereichsübergreifendes VR-Informationssystem allgemeingültiger, beispielsweise für die Bewertung von Anforderungen für die interne Konstruktionsphase. Tabelle 6 stellt die beiden Notationen gegenüber.

Tabelle 6: Notationen für Systemmerkmale

Kano	IEEE830.1998	Beschreibung
Basismerkmal	Essential	Für den Erfolg des Systems unbedingt umzusetzende Anforderungen
Zusatzmerkmal	Conditional	Wichtige und verbessernde, für den Erfolg des Systems aber nicht zwingend erforderliche Anforderungen
Begeisterungsmerkmal	Optional	Nicht systemgefährdende Anforderungen, die keinen primär relevanten Mehrwert erzielen

Diese vielfältigen Informationen, die während des Requirements Engineering-Prozesses anfallen und strukturiert dokumentiert werden, müssen auch im Rahmen des VR-Informationssystems in einem adaptierbaren Schema zur Definition der jeweiligen VR-Spezifikationen festgehalten werden. Hierbei wird zwischen einem Attributierungsschema unterschieden, das Eigenschaften von Anforderungen wie Status,

Aufwand und Priorität beinhaltet, und einer inhaltlichen Anforderungsbeschreibung (Bühne und Herrmann 2015, S. 32). Gleichwohl kann in einem VR-Informationssystem eine gemeinsame Verwendung von Attributen für Anforderungen stattfinden, solange eine spätere Zuordnung möglich ist. Als Attribute werden dabei charakteristische Eigenschaften einer Einheit verstanden (Glinz 2014, S. 9). Die Verwendung von Attributen kann je nach Unternehmen und Prozess variieren, wobei eine nachträgliche Änderung mit großem Aufwand verbunden sein kann (Bühne und Herrmann 2015, S. 33). Bühne und Herrmann haben in Anlehnung an Pohl und Rupp (Pohl und Rupp 2011, S. 127–128) und den Standard ISO/IEC/IEEE29148:2011 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2011, S. 13) häufig verwendete Attribute zusammengefasst, die als Basis für die Konzeption des VR-Informationssystems in Kapitel 4 dienen sollen (Bühne und Herrmann 2015, S. 33–34). Tabelle 7 stellt diese Attribute tabellarisch dar und zeigt gleichzeitig, welche Attribute durch Ebert (Ebert 2019, S. 116–117) nach dem Standard IEE830:1998 ergänzt werden. Damit wird eine Basis für die Kategorisierung der VR-Systemspezifikationen des VR-Informationssystems geschaffen, auf die in Kapitel 4.1 zurückgegriffen wird. Attribute, die ausschließlich entwicklungsprozessrelevant sind (beispielsweise Status-Attribute), besitzen für das VR-Informationssystem keine Relevanz und werden ausgegraut dargestellt.

Um die Konzeption und Strukturierung nutzerzentriert zu gestalten, gilt es zuvor noch zu evaluieren, auf welcher Basis die relevanten Anforderungen festgelegt werden. Hierzu erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Begriff des Nutzungskontextes im nachfolgenden Kapitel.

Tabelle 7: Häufig verwendete Attribute nach (Bühne und Herrmann 2015) und Gegenüberstellung des Aufbaus von Anforderungen durch Ebert (Ebert 2019) nach Standard IEEE830:1998

(Bühne und Herrmann 2015, S. 33–34) (Pohl und Rupp 2011, S. 127–128) (ISO/IEC/IEEE29148:2011)		(Ebert 2019, S. 116–117) (IEEE830:1998)	
Attribut	Bedeutung	Attribut	Bedeutung
Identifikator	Kurze, eindeutige Identifikation einer spezifischen Anforderung in der Menge der betrachteten Gesamtanforderungen.	Anforderungsnummer	
Name	Eindeutiger, charakteristischer Name.	Anforderungstitel	
Beschreibung	Beschreibt in komprimierter Form den Inhalt der Anforderungen	Beschreibung	
		Erläuterung	Präzise, verständlich, mit Projektbezug. Können auf weitere externe Dokumente referenzieren. Für Referenzen sollen Textdokumentationssysteme eingesetzt werden, um online und im Intranet darauf zugreifen zu können. Solche kritischen Dokumente sollen in einem zukunftssicheren Format archiviert sein (z. B. PDF).
Version	Aktueller Versionsstand der Anforderung.		
Autor	Benennt die AutorInnen der Anforderung.		
Quelle	Benennt die Quelle bzw. Quellen der Anforderung.	Quelle	
Begründung	Beschreibt, weshalb diese Anforderung für das geplante System von Bedeutung ist.		
Stabilität	Benennt die voraussichtliche Stabilität der Anforderung. Stabilität ist dabei der Umfang, in dem künftig noch Veränderungen bzgl. dieser Anforderung erwartet werden. Mögliche Unterscheidung: „fest“, „gefestigt“, „volatil“.		
Kritikalität	Im Sinne einer Abschätzung der Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit.		

(Bühne und Herrmann 2015, S. 33–34) (Pohl und Rupp 2011, S. 127–128) (ISO/IEC/IEEE29148:2011)		(Ebert 2019, S. 116–117) (IEEE830:1998)	
Attribut	Bedeutung	Attribut	Bedeutung
Priorität	Benennt die Priorität der Anforderung hinsichtlich der gewählten Merkmale zur Priorisierung, z.B. „Bedeutung für die Akzeptanz am Markt“, „Reihenfolge der Umsetzung“, „Schaden bzw. Opportunitätskosten durch Nichtrealisierung“.	Priorität	
Verantwortlichkeit	Benennt die Person, Stakeholdergruppe bzw. Organisation(seinheit), die für diese Anforderung inhaltlich verantwortlich ist.		
Anforderungsart	Benennt abhängig vom eingesetzten Differenzierungsschema den Typ der Anforderung (z. B. „funktionale Anforderung“, „Qualitätsanforderung“ oder „Randbedingung“).		
		Nutzen	Ausreichend, nicht pauschal. Die Begründung muss den Nutzen aus Kunden- oder Marktsicht wiedergeben. Sie können hier auf Quellen (bestimmte Märkte, Kunden oder Anspruchssträger) verweisen oder auf eine projektspezifische Wirtschaftlichkeitsrechnung.
Status bzgl. des Inhalts	Benennt den aktuellen Status des Inhalts der Anforderung, z. B. „Idee“, „Konzept“, „detaillierter Inhalt“.	Status	
Status bzgl. der Überprüfung	Benennt den aktuellen Status der Validierung, z. B. „ungeprüft“, „in Prüfung“, „überprüft“, „fehlerhaft“, „in Korrektur“.		
Status bzgl. der Einigung	Benennt den aktuellen Status der Abstimmung, z. B. „nicht abgestimmt“, „abgestimmt“, „konfliktär“.		
Aufwand	Prognostizierter / tatsächlicher Umsetzungsaufwand dieser Anforderung.	Aufwand	

(Bühne und Herrmann 2015, S. 33–34) (Pohl und Rupp 2011, S. 127–128) (ISO/IEC/IEEE29148:2011)		(Ebert 2019, S. 116–117) (IEEE830:1998)	
Attribut	Bedeutung	Attribut	Bedeutung
Release	Name und/ oder Nummer des Releases, in dem die Anforderung umgesetzt werden soll.		
Juristische Verbindlichkeit	Gibt den Grad der juristischen Verbindlichkeit der Anforderung an, z. B. „muss“, „soll“ und „kann“.		
Querbezüge	Benennt die Beziehungen zu anderen Anforderungen. Zum Beispiel wenn bekannt ist, dass die Realisierung dieser Anforderung die vorherige Realisierung einer anderen Anforderung voraussetzt.	Querbezüge	
		Einflüsse	Systemkomponenten, Funktionen, Hardware, die Einfluss auf die Realisierung dieser Anforderung haben können.
Allgemeine Informationen	In diesem Attribut können beliebige, für relevant erachtete Informationen zu dieser Anforderung dokumentiert werden. Zum Beispiel wenn die Abstimmung dieser Anforderung auf dem nächsten Treffen mit dem Auftraggeber vorgesehen ist.	Randbedingungen, Kommentare	
		Referenzen	Standards, Normen, Kundendokumente, interne Dokumentation, Abnahmebedingungen.
		Akzeptanzkriterien	Testfälle, quantitative Vorgaben in messbarer Form

2.4.3 Beschreibung von Zielgruppen

Der Nutzungskontext wird in der ISO 9241-210 (DIN EN ISO 9241-210, S. 10) als „eine wesentliche Informationsquelle für die Festlegung von Anforderungen“ beschrieben und als wesentlich für den Gestaltungsprozess eingestuft. Dabei ist es wichtig, „die Benutzergruppen und die für die Gebrauchstauglichkeit relevanten Merkmale der Benutzer eindeutig zu identifizieren“ (DIN EN ISO 9241-11, S. 24). Als Komponenten des Nutzungskontextes werden in derselben Norm BenutzerInnen, Ziele, Aufgaben, Ressourcen und Umgebung genannt. Als wertvolle Wissensquelle für die Gestaltung und Entwicklung wird das aktive Einbeziehen späterer BenutzerInnen im gesamten Produktentwicklungsprozess empfohlen. Um bereits frühzeitig ein Verständnis für die Bedürfnisse von BenutzerInnen in bestimmten Kontexten zu erlangen, kann auf den Einsatz von Personas zurückgegriffen werden. *Personas* sind auf dem Verhalten und der Motivation realer BenutzerInnen basierende, konstruierte Benutzerbeschreibungen (Cooper et al. 2007, S. 75–89). Diese hypothetischen Archetypen sollen vor allem typisch und glaubhaft sein. Drei bis Fünf *Personas* pro Benutzergruppe werden als ausreichend angesehen (Pruitt und Adlin 2006, S. 24). *Personas* werden aus Mustern abgeleitet, die bei Interviews und Beobachtungen von BenutzerInnen und potenziellen BenutzerInnen eines Produkts beobachtet bzw. durch ergänzende Forschungsarbeiten oder adäquater Literatur ergänzt wurden. Das Ziel der Entwicklung von *Personas* ist es, die Vielfalt der beobachteten Motivationen, Verhaltensweisen, Einstellungen, Fähigkeiten, mentalen Modellen, Arbeits- oder Aktivitätsabläufe, Umgebungen und Frustrationen mit aktuellen Produkten oder Systemen abzubilden (Cooper et al. 2007, S. 97). Da *Personas* textlich beschrieben und zumeist visuell angereichert werden, ist es möglich, sich die zukünftigen BenutzerInnen konkret vorzustellen und sich in diese hineinzusetzen. *„Personas geben dem Benutzer ein Gesicht - ein einprägsames, einnehmendes und umsetzbares Bild, das als Designziel dient“* (Pruitt und Adlin 2006, S. 11). Generell bestehen die geläufigsten Vorgehensmodelle für *Personas* aus den drei Schlüsselstufen „Variablen und Werte identifizieren“, „Muster identifizieren“ und „*Personas* beschreiben“ (Mayas et al. 2012, S. 823). Alle Ansätze von Cooper et al. (Cooper et al. 2007), Pruitt und Adlin (Pruitt und Adlin 2006) oder Baumann (Baumann 2010) erfordern die Angabe von Grundkategorien oder Verhaltensvariablen, auf denen die Identifikation

von Mustern basiert. Für diese Identifizierung werden verschiedene Verfahren zur Verfügung gestellt, die mehrere Schritte der Synthese und Auswertung beinhalten (Mayas et al. 2012, S. 823). Letztendlich werden die Beschreibungen der Personas erstellt und priorisiert. Um Personas zu generieren, die sich durch ihre Verhaltensmuster am deutlichsten unterscheiden, werden in dieser Arbeit die folgenden Variablen zur Beschreibung herangezogen (Cooper et al. 2007, S. 98):

- Aktivitäten: Das Handeln der BenutzerInnen in Häufigkeit und Ausmaß
- Einstellungen: Was BenutzerInnen über die Produktdomäne und die Technologie denken
- Eignung: Ausbildung und Schulung der BenutzerInnen; Lernfähigkeit
- Motivationen: Warum sich die BenutzerInnen im Produktbereich engagieren
- Fähigkeiten: Wissen und Kompetenzen der BenutzerInnen in Bezug auf die Produktdomäne und Technologie

Unter Zuhilfenahme von Personas für VR-EntwicklerInnen und VR-BenutzerInnen kann damit ein VR-Informationssystem entworfen werden, das gezielt die Anforderungen der beiden Benutzergruppen abdeckt. Zur praktischen Umsetzung verweist die ISO 9241-210 (DIN EN ISO 9241-210, S. 19) auf die Berücksichtigung der menschenzentrierten Gestaltung, d. h. das Einhalten der folgenden Grundsätze zur Gestaltung interaktiver Systeme, bezugnehmend auf die ISO 9241-110 (DIN EN ISO 9241-110, S. 7):

- Aufgabenangemessenheit;
- Selbstbeschreibungsfähigkeit;
- Erwartungskonformität;
- Lernförderlichkeit;
- Steuerbarkeit;
- Fehlertoleranz;
- Individualisierbarkeit.

Die Erhebung von nutzerzentrierten Anforderungen und somit der Schwerpunkt dieser Arbeit ist dabei nur ein Teilbereich aus der Domäne des Requirements Engineerings (RE). Die Einordnung der Anforderungserhebung in das RE wird im nachfolgenden Kapitel behandelt.

2.4.4 Requirements Engineering

Requirements Engineering (RE) oder Anforderungsmanagement kann als domänenneutrale Disziplin für die Entwicklung von Hardware, Software, mechatronischer Produkte oder Dienstleistungen eingesetzt werden (Berenbach 2009, S. 8). Nach Pohl (Pohl 2010, S. 43) wird RE als ein „kooperativer, iterativer, inkrementeller Prozess“ verstanden mit dem Ziels, dass

- (1) „alle relevanten Anforderungen bekannt und in dem erforderlichen Detaillierungsgrad verstanden sind,
- (2) die involvierten Stakeholder eine ausreichende Übereinstimmung über die bekannten Anforderungen erzielen,
- (3) alle Anforderungen konform zu den Dokumentationsvorschriften dokumentiert bzw. konform zu den Spezifikationsvorschriften spezifiziert sind.“ (Pohl 2010, S. 43)

Zur Umsetzung der Anforderungen von BenutzerInnen innerhalb eines Softwareprodukts werden unterschiedliche Softwareentwicklungsprozesse und Vorgehensmodelle eingesetzt. Grundsätzlich müssen alle Anforderungen vor ihrer Umsetzung zuerst ermittelt und analysiert werden. Die Anforderungen bestimmen dabei das Vorgehensmodell wie in Abbildung 21 veranschaulicht (Ebert 2019, S. 346).

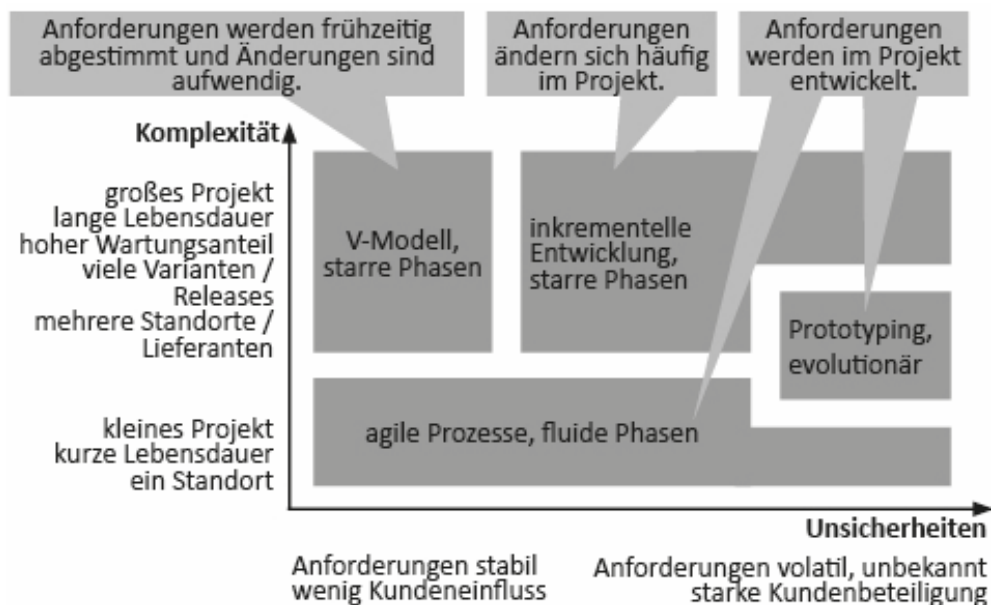


Abbildung 21: Anforderungen bestimmen das Vorgehensmodell (Ebert 2019, S. 346)

In Prozessmodellen mit starren Phasen, wie dem V-Modell oder dem Wasserfall-Modell, wird das RE als eine einzelne Phase in der Softwareentwicklung betrachtet (Pohl 2010, S. 30). Die Anforderungsspezifikation findet ausschließlich in dieser einen Phase statt und muss vollständig erarbeitet werden. Im Gegensatz dazu steht das kontinuierliche RE, das bei agilen Prozessen als eine phasen- und projektübergreifende Aktivität verstanden wird (Pohl 2010, S. 34). Anforderungen werden hierbei oft iterativ ermittelt und auch priorisiert behandelt. Die nachfolgende Auflistung veranschaulicht zum besseren Verständnis die in Abbildung 21 erwähnten Prozessmodelle anhand geläufiger Beispiele. Anforderungen bzw. für die Anforderungsermittlung relevante Bereiche sind dabei rot hervorgehoben. Dadurch wird deutlich, dass Anforderungen zwar in verschiedenen Phasen eine Rolle spielen, in allen Modellen aber elementarer Bestandteil sind.

- **V-Modell** - Sequenzieller Prozess mit starren Phasen

Das V-Modell entspricht einem um Qualitätsmaßnahmen erweiterten Modell auf Basis des Wasserfall-Modells. Der Entwurfsfortschritt wird anhand des spezifizierten Lösungskonzepts und der Anforderungen fortlaufend überprüft. (VDI2206 2004, S. 29–31)

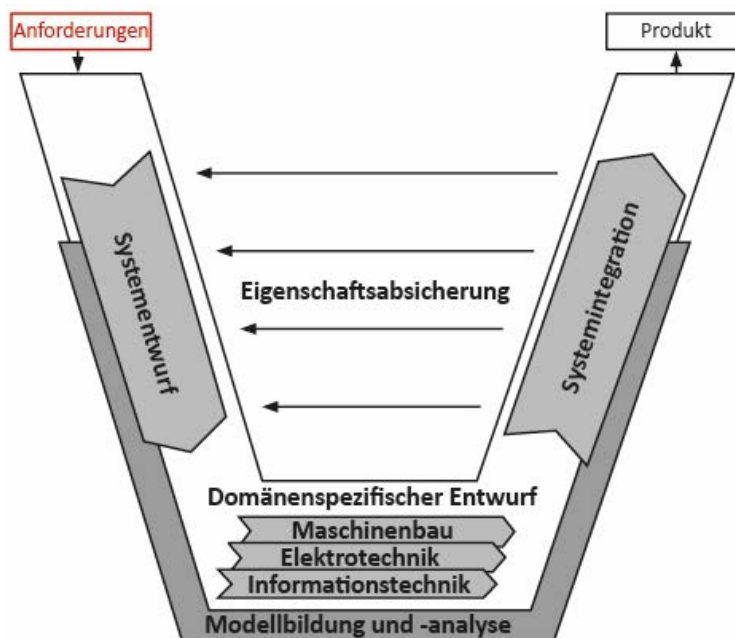


Abbildung 22: V-Modell (VDI2206 2004, S. 29)

- **Wasserfallmodell** - Sequenzieller Prozess mit starren Phasen

Mit Hilfe des Wasserfallmodells erfolgt eine sequenzielle und stufenweise Entwicklung eines am Ende des Prozesses funktionalen und fertigen Produktes. Jede Aktivität bzw. Phase setzt voraus, dass die vorangegangene abgeschlossen ist. Rückkopplungen erfolgen bei aufeinander folgenden Phasen. Die Bestimmung der Anforderungen wird einmalig am Prozessbeginn durchgeführt. (Pomberger und Pree 2004, S. 17–18)

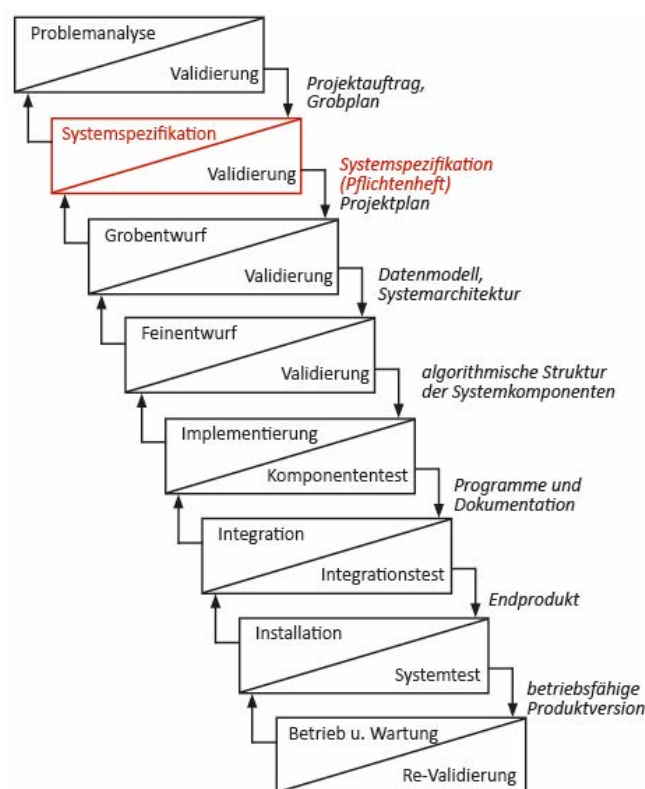


Abbildung 23: Wasserfallmodell (Pomberger und Pree 2004, S. 18)

- **Scrum** - Agiler Prozess mit fluiden Phasen

Agile Verfahren eignen sich laut agilem Manifest besonders gut für Projekte mit wenig ausformulierten Anforderungen (Beck et al. 2001). Bei Scrum wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen zum Projektbeginn noch unbekannt sind und im Projektverlauf mit den KundInnen ermittelt werden. Das System wird iterativ mit Teilanforderungen in kleinen funktionierenden Teilen umgesetzt und priorisiert zu einem nützlichen Gesamtsystem aufgebaut. Die KundInnen haben permanenten Einfluss auf die Systementwicklung. (Beck et al. 2001; Goll und Hommel 2015, S. 76–77)

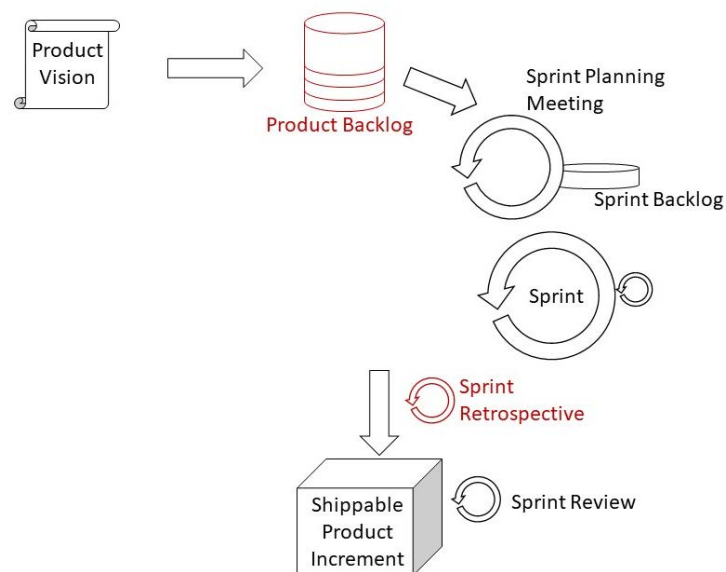


Abbildung 24: Scrum (Goll und Hommel 2015, S. 87)

- **Unified Process** - Iterativer und inkrementeller Prozess mit starren Phasen b

Die inkrementelle Entwicklung ist ein strategisches Vorgehensmodell innerhalb der agilen Software-Entwicklung. Dabei wird zunächst das Gesamtsystem geplant, das einem modularen Aufbau folgt. Die Realisierung des Projektes erfolgt anschließend in mehreren Stufen. Die Anforderungen und Leistungsmerkmale werden in Form von Use Cases, also typischen Anwendungsfällen beschrieben. Der Entwicklungsprozess wird somit von den Anwendungsfällen beschrieben. (Pomberger und Pree 2004, S. 39–41)

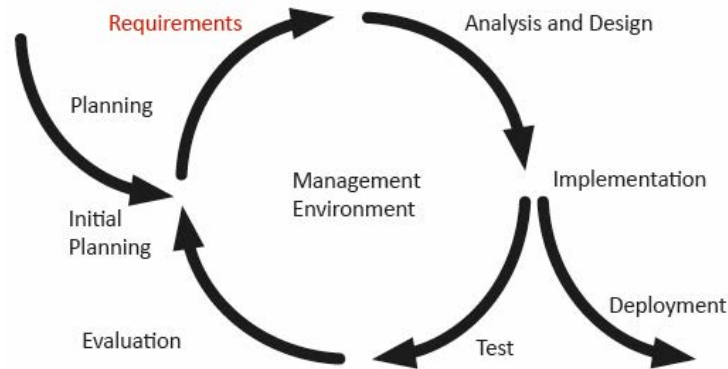


Abbildung 25: Unified Process (Pomberger und Pree 2004, S. 41)

- **Prototyping** - Evolutionärer Prozess

Beim evolutionären Prototyping werden ausführbare Software-Prototypen nach und nach erweitert. Dabei werden vor allem die Rückmeldungen der zukünftigen NutzerInnen bzw. der AuftraggeberInnen genutzt. Somit werden bei jedem Inkrement neue Benutzeranforderungen integriert. Der Prototyp wird stets lauffähig gehalten und bis zur Produktreife kontinuierlich weiterentwickelt. (Pomberger und Pree 2004, S. 28–29)

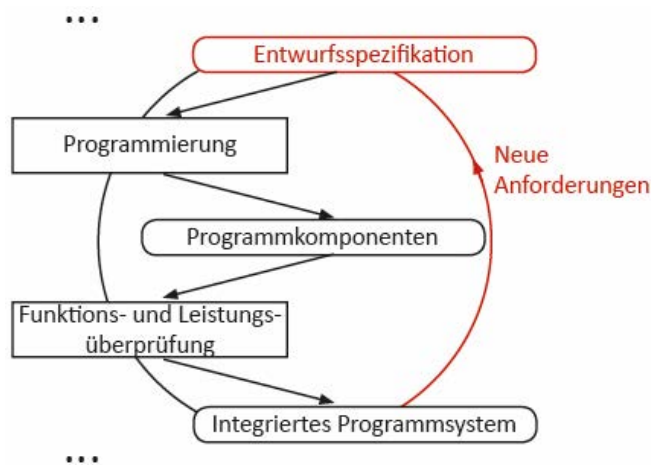


Abbildung 26: Prototyping (Floyd et al. 2001, S. 9)

Das VR-Informationssystem als Ziel dieser Arbeit gliedert sich in Zusammenhang zu den Vorgehensmodellen noch vor der ersten produktiven Phase und vor der Definition des Pflichtenheftes innerhalb der Konzeptionsphase ein. Der Einsatz des VR-Informationssystems kann als Basis für die Erstellung eines internen Lastenheftes oder auch unabhängig von einem internen Dokument zur ersten Kontaktaufnahme dienen. Dies entspricht dem „Zielbereich Dissertation“ in Abbildung 27.

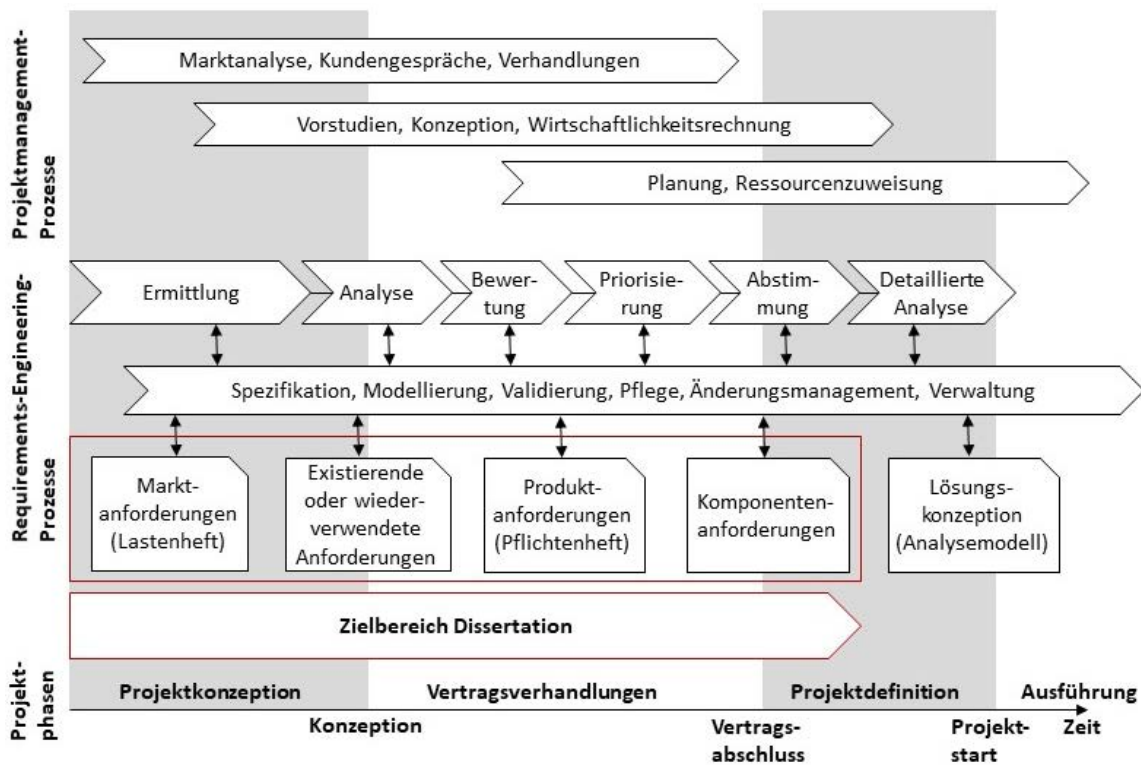


Abbildung 27: Einordnung der Arbeit im RE- und Projektmanagementprozess einer VR-Entwicklung (Ebert 2019, S. 349)

Die aus dem VR-Informationssystem analysierten Anforderungen sollen in die Vertragsverhandlungen einfließen bzw. auf Projektmanagementebene des VR-Entwicklungsunternehmens die Vorstudien, Konzeption und Vertragsverhandlungen vorbereiten. Dies bedeutet gleichzeitig, dass diese Vorarbeiten in den nachfolgenden, regulären Projektablauf unabhängig vom gewählten Vorgehensmodell eingepasst werden müssen. Dabei gilt es drei Kernaktivitäten des REs zu berücksichtigen (Pohl 2010, S. 44–45):

Dokumentation der Anforderungen

Der Aktivität der *Dokumentation* liegt das Dokumentieren und Spezifizieren der Anforderungen zugrunde. Bestandteile sind dabei auch Begründungen, Entscheidungen und weitere wichtige Informationen.

Gewinnung von neuen Anforderungen

Die Aktivität der *Gewinnung* beinhaltet eine „Verbesserung des inhaltlichen Verständnisses über die Anforderungen an das geplante System“ (Pohl 2010, S. 44). Im

Rahmen des regulären Requirements Engineering-Prozesses erfolgt eine Gewinnung dieser Informationen durch eine Vielzahl an möglichen Kreativitätstechniken wie z. B. dem Interview mit relevanten Stakeholdern oder der Entwicklung von Prototypen sowie Mindmaps.

Übereinstimmung der von VR-KundInnen gewünschten mit den von VR-EntwicklerInnen definierten Anforderungen

Übereinstimmung entspricht der Akzeptanz aller Bedürfnisse und Wünsche in Form von Anforderungen durch alle Stakeholder auf Seiten der VR-KundInnen. Diese Aktivität ist Bestandteil des regulären Requirements Engineering Prozesses.

Essenziell ist, dass sich die Anforderungen sowohl bezüglich ihrer formalen Struktur als auch ihrer Eigenschaften in Dokumentationsformate des späteren Entwicklungsprozesses einfügen müssen.

2.4.5 Zwischenfazit

Für die Konzeption und Entwicklung eines allgemeingültigen VR-Informationssystems zur Bestimmung der benutzerorientierten Anforderungen für VR-Systeme ist eine vorangehende Auseinandersetzung entsprechender Termini und Prozesse unabdingbar. In Kapitel 2.4.1 wurde einleitend eine Anforderung zusammenfassend als eine Bedingung oder Eigenschaft herausgestellt, die von einem System oder einer Person zur Problemlösung oder Zielerreichung benötigt wird. Im Kern sollen Anforderungen das gegenseitige Verständnis zwischen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen fördern. Für eine strukturierte Ermittlung der Anforderungen müssen diese insbesondere für VR entsprechend klassifiziert und beschrieben werden. Eine allgemeine Klassifizierung in funktionale Anforderungen und universelle Anforderungen wurde durch universelle VR-Anforderungen ergänzt. Eine Untersuchung der Spezifikationen von Anforderungen auf Basis von Fachliteratur und entsprechenden Normen erfolgte darauf aufbauend in Kapitel 2.4.2. Zusätzlich zur Analyse anwendbarer Strukturen und der Qualität der Anforderungsinhalte haben sich elementare Voraussetzungen an das VR-Informationssystem ergeben. So müssen in der späteren Konzeption insbesondere Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und Priorisierungsmöglichkeiten für

Anforderungen berücksichtigt werden. Weiterhin muss eine Vollständigkeit des VR-Informationssystems angestrebt werden, wobei ein Schwerpunkt auf Verständlichkeit und Akzeptanz auf Seiten der jeweiligen Nutzer gelegt werden soll und nicht auf die Integration von Design- oder Implementierungsdetails. Darüber hinaus ist eine menschenzentrierte Gestaltung des VR-Informationssystems zu gewährleisten, weshalb in Kapitel 2.4.3 der Nutzungskontext untersucht wurde. Dieser befasst sich primär mit der Frage, wie nutzerspezifische Anforderungen identifiziert werden können. Hierzu wurden die Vorteile und die Entwicklung von Personas herausgestellt. Unter Zuhilfenahme konstruierter Benutzerbeschreibungen auf Basis realer BenutzerInnen kann ein VR-Informationssystem geschaffen werden, das die Anforderungen der gewünschten Zielgruppen gezielt abdeckt. In Kapitel 2.4.4 wurde im Rahmen des Requirements Engineerings abschließend nachgewiesen, dass insbesondere in der Phase der Projektkonzeption und somit zumeist noch vor dem Erstkontakt zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn der größte Unterstützungsbedarf besteht. Gleichzeitig stellt dieses Kapitel heraus, dass sich erhobene Anforderungen noch vor dem Einsatz entsprechender Softwareentwicklungsprozesse und Vorgehensmodelle in deren späteres Requirements Engineering einpassen lassen müssen.

In Verbindung mit den Untersuchungen zum gegenwärtigen Stand der Forschung und Stand der Technik in den Bereichen Produktentwicklung (Kapitel 2.2) und Virtual Reality (Kapitel 2.3) können nun im nachfolgenden Kapitel die Forschungslücken definiert werden, die den Gegenstand der vorliegenden Arbeit bilden.

2.5 Forschungsfragen

Sich stets verändernde Technologien und eine hohe Anzahl an komplexen Funktionalitäten im Bereich der VR-Systeme und VR-Anwendungen führt zu immer größeren Kommunikations- und Planungsherausforderungen bei den VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen. Mit dem aktuellen Stand von Forschung und Praxis lässt sich nachweisen, dass dem eigentlichen Anforderungsermittlungsprozess in der Phase des Erstkontaktes eine zunehmend größere Rolle beigemessen werden muss. Die Relevanz

eines Instrumentariums zur kundenorientierten Softwareproduktentwicklung wird bereits von Herzwurm empfohlen (Herzwurm 2000, S. 183). Dabei fehlt es an Werkzeugen, die aktuell und zukünftig in der Lage sind,

- einen Überblick über die Potenziale von VR zu verschaffen sowie
- die Qualität der Erstkommunikation zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn zu steigern.

Auf dieser Grundlage ist das übergeordnete Ziel dieser Arbeit die Entwicklung eines VR-Informationssystems zur

- Evaluation und Strukturierung von VR-KundInnen-Anforderungen,
- Transformation von VR-KundInnen-Anforderungen in VR-Systemanforderungen für VR-EntwicklerInnen
- Nutzung des gesamten Spektrums von VR-Funktionalitäten.

Als Kern der Arbeit ergibt sich daraus folgende Forschungsfrage:

Wie kann ein VR-Informationssystem den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn bei der Spezifikation eines VR-System unterstützen?

Da es sich dabei um einen allgemeingültigen Kommunikationsprozess für jede Branche und jede Art der VR-Systementwicklung handeln soll, sind sowohl die Entwicklungsprozesse als auch die Technologien soweit wie möglich generisch gehalten. In Ergänzung zur primären Forschungsfrage ergeben sich demnach sekundäre Forschungsfragen, die in dieser Arbeit zusätzlich beantwortet werden sollen:

- Wie kann die konzeptionelle Planung von VR-Anwendungen benutzerorientiert, aber allgemeingültig aufbereitet werden?
 - Wie kann eine VR-Anwendung technologieunabhängig und performant erstellt werden?
-

2.6 Fazit

Bis heute liegt der Fokus von Forschung und Entwicklung auf der Weiterentwicklung und Optimierung von VR-Technologien und deren Anwendungen. In Kapitel 2.2 wurde gezeigt, wie wichtig virtuelle Methoden und Technologien speziell für die Produktentwicklung sind und wie sie in immer weitere Bereiche im gesamten Produktentwicklungsprozess vordringen. Insbesondere der Bereich der Virtual Reality konnte als zukünftig sehr bedeutsam hervorgehoben werden. Doch bergen die vielen Möglichkeiten, Unterschiede und Qualitäten von VR-Technologien und VR-Funktionalitäten ein großes Risiko, VR-Systeme effektiv und effizient zu planen und umzusetzen. Es wurden deswegen geeignete Arbeitsbereiche und Tätigkeiten sowohl für VR in der Produktentwicklung analysiert (z. B. Design Review, Ergonomieuntersuchungen oder Montage- und Verbauuntersuchungen) als auch allgemeine Herausforderungen in der VR-Systemplanung (z. B. erschwerte Prozessintegration durch fehlende standardisierte Schnittstellen, keine Wiederverwendbarkeit von VR-Modellen oder mangelnde Erfahrung mit VR-technologien gepaart mit divergenter Terminologie) untersucht. Diese Informationen legen den Grundstein für die Konzeption eines VR-Informationssystems für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen. Gleichzeitig müssen die Rahmenbedingungen analysiert werden, die sich auf die technologischen Aspekte von VR beziehen. Damit zusammenhängend erfolgte in Kapitel 2.3 eine allgemeine Betrachtung des aktuellen Technikstands sowie eine Untersuchung des generischen Aufbaus von VR bzw. deren Teilsysteme. Daraus können für die Struktur und inhaltliche Ausgestaltung des VR-Informationssystems VR-Spezifikationen extrahiert werden wie z. B. die Verhaltenssimulation von Teilmodellen, Kollaborationsmöglichkeiten oder der Einsatz haptischer Ausgangssignale. Um mit den bis dahin ermittelten Ergebnissen ein VR-Informationssystem konzipieren zu können, das generisch und menschenzentriert aufgebaut ist und sich nahtlos in weitere Prozesse einfügt, erfolgte in Kapitel 2.4 eine Auseinandersetzung mit der Anforderungserhebung aus dem Teilbereich des Requirements Engineerings. Durch die nachgewiesene prozessübergreifende Relevanz von Anforderungen wurde eine Untersuchung der Spezifikation von Anforderungen, anwendbarer Strukturierungen sowie von Attributen (z. B. Erläuterung, Priorität oder Aufwand) zur Klassifizierung eines universell Einsetzbaren VR-Informationssystems für VR durchgeführt. Eine allgemeine Klassifizierung in funktionale Anforderungen und

universelle Anforderungen wurde dabei durch universelle VR-Anforderungen ergänzt. Der Anspruch der menschenzentrierten Gestaltung des VR-Informationssystems führte darüber hinaus zur Untersuchung des Nutzungskontextes mit dem Ziel der Identifikation nutzerspezifischer Anforderungen. Hierzu wurden die Vorteile und die Entwicklung von Personas herausgestellt, die im nachfolgenden Kapitel 3 erarbeitet werden. Abbildung 28 stellt die Kernbereiche der theoretischen Grundlagen nochmals zusammenfassend dar.

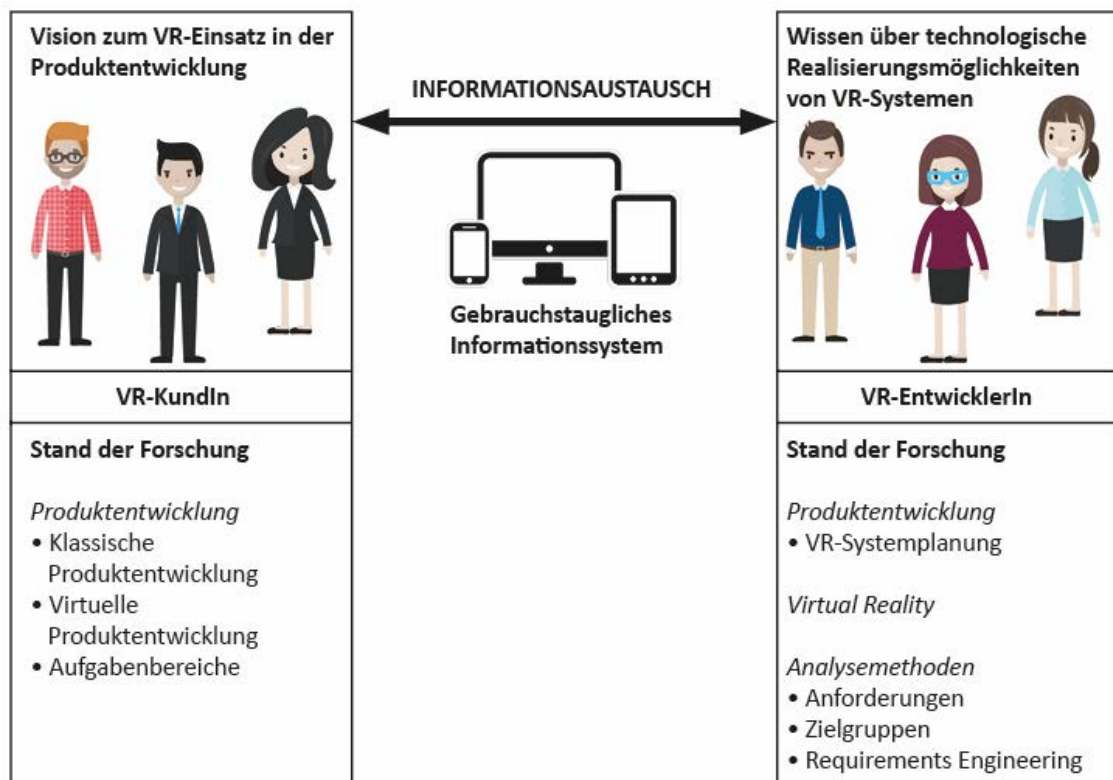


Abbildung 28: Zielgruppenbezogene Gegenüberstellung der Untersuchungsschwerpunkte (eigene Darstellung)

Auf Basis der daraus resultierenden Erkenntnisse wurden in Kapitel 2.5 letztendlich die Forschungsfragen entwickelt, die den Kern der Arbeit bilden und sich primär mit der Frage beschäftigen, wie der Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn bezüglich der Anforderungen und Möglichkeiten optimiert werden kann. Resultierend aus den Ergebnissen in Kapitel 2 kann im nachfolgenden Kapitel 3 eine Analyse der BenutzerInnen des VR-Informationssystems zur Bestimmung der benutzerorientierten Anforderungen für VR-Systeme im Kontext der virtuellen Produktentwicklung durchgeführt werden, um in Kapitel 4 das VR-Informationssystem menschenzentriert zu konzipieren.

3 Erheben der Anforderungen

3.1 Vorgehen für das Erheben von Anforderungen

Im vorangegangenen Kapitel wurden die für das VR-Informationssystem notwendigen Bereiche der Produktentwicklung, der VR-Technologien und der Anforderungsermittlung analytisch untersucht. Um das VR-Informationssystem aufgaben- und nutzerorientiert entwickeln zu können, müssen darüber hinaus weitere Faktoren untersucht werden, die Einfluss auf das VR-Informationssystem nehmen. Abbildung 29 zeigt die Zusammenhänge der einzelnen folgenden Unterkapitel und stellt gleichzeitig dar, wie unterschiedlich die Bedürfnisse sowie die verfügbaren Informationen der beiden Zielgruppen sind. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel sowohl die Merkmale der tatsächlichen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen als auch deren Anforderungen an das VR-Informationssystem an sich untersucht. Eine wesentliche Rolle spielen dabei Spezifikationselemente. Diese können als die inhaltlichen Bestandteile definiert werden, aus deren Grundmenge die kundenspezifische Spezifikation eines VR-System generiert wird.

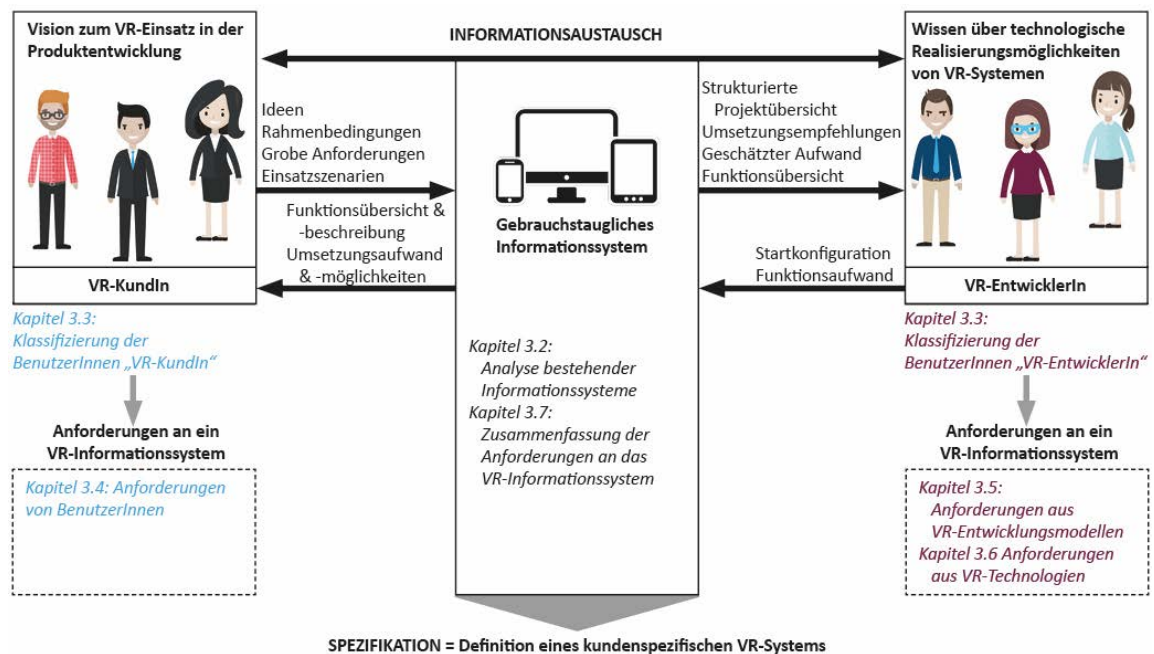


Abbildung 29: Lösungsdarstellung - Informationsaustausch über ein gemeinsames VR-Informationssystem

In Vorbereitung auf die eigentliche Konzeption des VR-Informationssystems in Kapitel 4 erfolgen in diesem Kapitel eigene Untersuchungen, die wie folgt beschrieben werden:

- In Kapitel 3.2 werden die Ergebnisse einer komparativen Analyse bestehender Informationssysteme mit zehn Probanden präsentiert. Der Vergleich hat das Ziel, Funktionalitäten sowie Stärken und Schwächen bestehender Informationssysteme zu analysieren und relevante Schwerpunkte für das zu konzipierende VR-Informationssystem zu eruieren.
- In Kapitel 3.3 werden mit einer empirischen Analyse von 50 repräsentativen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen deren Merkmale extrahiert und sechs Personas abgeleitet.
- In Kapitel 3.4 werden die Anforderungen der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen an ein VR-Informationssystem mit empirischen Analysen und einer Expertenbefragung untersucht.
- In Kapitel 3.5 und Kapitel 3.6 werden mit einer analytischen Analyse die Anforderungen aus VR-Entwicklungsmodellen und VR-Technologien bestimmt.

3.2 Analyse bestehender Informationssysteme

In den Kapiteln 1.2 und 2.4 wurden Verbesserungspotenziale einer strukturierten Informationsbereitstellung für eine VR-Systemplanung analysiert. Um bestehende Erfahrungen mit Informationssystemen für die Unterstützung von Spezifikationen von IT-Systemen einfließen zu lassen, wird eine komparative Analyse dieser Systeme durchgeführt. Anhand festgelegter Kriterien werden die Stärken und Schwächen analysiert und miteinander verglichen (Moser 2012, S. 40–41). Die Kriterien sollten dabei den Produktmerkmalen entsprechen, welche auch von den VR-KundInnen zur Differenzierung von IT-Systemen wahrgenommen werden (Moser 2012, S. 40–41). Derzeit existiert noch kein Informationssystem, das eine vergleichbare Komplexität und inhaltliche Struktur aufweist. Deswegen werden vereinfachte Informationssysteme untersucht, die dem zu konzipierenden VR-Informationssystem entsprechen. Diese müssen auf geeignete Kriterien hin untersucht, miteinander verglichen und bewertet werden, um eine zielführende Basis für das VR-Informationssystem zu schaffen.

Zur Identifikation von Schwachstellen sowie Stärken eines IT-Systems kann die ISO 9241-110 (DIN EN ISO 9241-110) herangezogen werden, die eine Anwendung in Bezug auf die Erfüllung der sieben Gestaltungsanforderungen Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit hin untersucht und damit die Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung unterstützt (DIN EN ISO 9241-110, S. 22). Im Hinblick auf die Ergebnisse in Kapitel 2.4 werden differenziertere Kriterien zur vergleichenden Bewertung der Informationssysteme notwendig. Hierzu wird auf die vierzehn erweiterten Usability Heuristiken von Pribeanu (Pribeanu 2017, S. 34) zurückgegriffen, die auf den zehn von Nielsen (Nielsen 1994) entwickelten allgemeinen Prinzipien für gutes Interaktionsdesign basieren. Das erste Set an Heuristiken wird unter *Benutzerführung* zusammengefasst und bewertet das Informieren und Anleiten der BenutzerInnen bei der Interaktion mit dem System mit dem Ziel der leichten Bedienbarkeit. Das zweite Set wird unter dem *Benutzungsaufwand* zusammengefasst und richtet sich an den physikalischen und kognitiven Aufwand, um die effektive Bedienung des Systems zu erlernen. Das Set unter *Benutzerkontrolle und -aufwand* fasst die verfügbaren Mittel zusammen, um das System flexibel anzupassen und zu steuern im Hinblick auf eine effiziente Benutzung. Das vierte Set fokussiert die technische Unterstützung bei der Verwendung des Systems. Ergänzt werden diese Heuristiken durch die im spezifischen Kontext dieser Arbeit relevanten Bewertung von mobiler Darstellung und mobiler Interaktion sowie der Priorisierung und Abhängigkeiten. Tabelle 8 fasst die erweiterten Heuristiken zusammen, nach denen im Nachfolgenden eine vergleichende Analyse durchgeführt wird.

Tabelle 8: Erweiterte Usability Heuristiken

Benutzerführung	
1	Benutzungsinformation
2	Feedback
3	Informationsarchitektur
4	Gruppierung / Abgrenzung
Benutzungsaufwand	
5	Konsistenz
6	Arbeitsbelastung
7	Minimale Aktionen
Benutzerkontrolle und -aufwand	
8	Benutzeraktionen
9	Kontrolle
10	Flexibilität
Benutzerunterstützung	
11	Kompatibilität
12	Anleitung
13	Fehlermanagement
14	Hilfe und Dokumentation
Mobilität	
15	Mobile Darstellung
16	Mobile Interaktion
Anwendungsspezifische Kriterien	
17	Priorisierung
18	Abhängigkeiten

Für die Bewertung der dargestellten Heuristiken erfolgt ein Usability-Test mit zehn ProbandInnen, die sowohl aus der Zielgruppe VR-KundIn sowie VR-EntwicklerIn kommen. Im Gegensatz zur Analyse der BenutzerInnen des VR-Informationssystems müssen die ProbandInnen keinen direkten Bezug zu dem VR-Informationssystem besitzen. Kern ist die allgemeingültige Evaluation von Stärken und Schwächen der nachfolgenden vier Web-Informationssysteme. Tabelle 9 bis Tabelle 12 beschreiben die jeweiligen Web-Informationssysteme sowohl in Bezug auf ihren Nutzungskontext als auch auf ihre funktionalen und visuellen Merkmale. Diese gliedern sich dabei wie folgt:

- Informationszugang
- Benutzerführung
- Layout
- Ergebnispräsentation

Screenshots der Web-Informationssysteme sind im Anhang A zu finden.

Tabelle 9: Web-Informationssystem 1 der vergleichenden Analyse

Web-Informationssystem 1	
Name	Smart Glasses Guide
Zugang	https://smartglasses.guide/de/datenbrillen-industrielle-anwendungen/ [letzter Zugriff: 20.07.2020]
Beschreibung	Auswahl-Tool zur Unterstützung bei der Identifikation einer AR-Datenbrille für spezifische Anwendungsfälle. Ergebnis der Forschungsaktivitäten von Fraunhofer VENTURE, Fraunhofer IPT und oculavis GmbH.
Merkmale	<p>Informationszugang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Responsive Darstellung • Single-Page <p>Benutzerführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mobile-Web-Menü • Auswahlmöglichkeiten über Slider <p>Layout</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schlichtes Design in Grautönen mit Farbakzenten • Headerbereich oben, Menübereich links, Contentbereich rechts, Footerbereich unten <p>Ergebnispräsentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Informationen zu den einzelnen, anwählbaren Werten erfolgen am unteren Bildschirmrand nur in eingeloggtem Zustand • Darstellung des technischen und organisatorischen Implementierungsaufwands mit Hilfe einer stufenlosen Farbskala (grün, gelb, rot) • Ergebnisseite stellt auf Basis der Antworten geeignete AR-Brillen dar • Priorisierung erfolgt über ein 5-Sterne-Ranking • Verlinkungen führen zu entsprechenden Brillen-Detailseiten mit Informationen zu Preis, Gewicht, Auflösung, Technologie, Besonderheiten und Limitierungen

Tabelle 10: Web-Informationssystem 2 der vergleichenden Analyse

Web-Informationssystem 2	
Name	Service-Management Tool-Vergleich
Quelle	(servicemanagement.tools) [letzter Zugriff: 20.07.2020]
Beschreibung	Auswahlmöglichkeiten von Servicemanagement-Prozessen, für die ein Tool benötigt wird. Es werden Anforderungen für die jeweiligen Prozesse abgefragt, die für konkrete Situationen von den BenutzerInnen bewertet werden. Das Ergebnis ist eine Zusammenstellung von Tools von Herstellern, die die ausgewerteten Erwartungen am besten erfüllen. Anbieter des Tool-Vergleichs ist die Michael Thissen & Robert Sieber GbR.
Merkmale	<p>Informationszugang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Responsive Darstellung • Zusatzinformationen werden als Mouseover dargestellt <p>Benutzerführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Toolvergleich erfolgt in drei Schritten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Einer Prozessauswahl ○ Einer Priorisierung von Anforderungen an die Prozesse mittels muss-kann-soll-irrelevant als Auswahl ○ Einer Ergebnisdarstellung mit Produktempfehlungen, Punktesystem, Kontaktformular, Sortierung nach Muss-Kann-Anforderungen • Eine Fortschrittsanzeige stellt eindeutig mit (x/3) den aktuellen Fortschritt an <p>Layout</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kein abgestimmtes Layout-Konzept • Darstellung der Tool-Auswahl im Contentbereich der Unternehmenswebseite mit kontextunabhängigem Header und Footer <p>Ergebnispräsentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Login zum Speichern der Fragebögen • Tabellarische Ergebnisdarstellung, Auswertung über ein Scoring. Auf der Ergebnisseite wird mit Hilfe einer stufenlosen Farbskale (grün, gelb, rot) der geschätzte technische Implementierungsaufwand sowie der geschätzte organisatorische Aufwand dargestellt

Tabelle 11: Web-Informationssystem 3 der vergleichenden Analyse

Web-Informationssystem 3	
Name	ERP Führer
Quelle	(erpfuehrer.de) [letzter Zugriff: 20.07.2020]
Beschreibung	Auswahltool zur Filterung der vielen Anbieter von ERP-Software mit speziellen Spezialisierungen. Anhand von Suchkriterien werden unter den ganzen Optionen die passendsten ERP-Software-Produkte herausgestellt. Im Durchschnitt können laut des Anbieters Business Software Führer - Leadmachine B.V. mehr als 97 Prozent der Anbieter ausgeschlossen werden.
Merkmale	<p>Informationszugang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Responsive Darstellung • Direkter Einstieg über Landing-Page <p>Benutzerführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Toolvergleich erfolgt in acht Schritten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Auswahl der Branche ○ Auswahl der Fertigungsart ○ Weitere Fragen zu Prozessen und Struktur der Organisation(en) • Fragen können übersprungen werden • Explizite Bestätigung zum Überspringen der Fragen und Hinweis auf das Verwerfen bereits eingetragener Informationen zu dieser Frage • Dauerhafte Einblendung, dass die Gesamtdauer der Fragen 5 Minuten beträgt • Eindeutige Fehlerhinweise • Auf jeder Seite eine statische Infobox mit Begründung der jeweils gestellten Fragen <p>Layout</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konsistentes Layout <p>Ergebnispräsentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Ergebnisse erfolgt nach Eingabe von Kontaktinformationen per E-Mail

Tabelle 12: Web-Informationssystem 4 der vergleichenden Analyse

Web-Informationssystem 4	
Name	KTR Online-Tools
Quelle	(KTR Online-Tools) [letzter Zugriff: 20.07.2020]
Beschreibung	Das untersuchte „Auslegungstool“ ist eines der KTR Online-Tools zum Finden von passenden Bauformen und Baugrößen für Antriebstechnik, Hydraulik oder Kühlsysteme der KTR Systems GmbH. Nach Eingabe der relevanten Parameter sucht das Auslegungstool das passende Bauteil.
Merkmale	<p>Informationszugang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Responsive Darstellung <p>Benutzerführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Auswahlsschritte abhängig vom Produkt und den Spezifikationen • Zu jedem Schritt kann eine allgemeine Info manuell über ein Fragezeichen an der Seite angefordert werden • Konkrete Informationen zu einer Auswahlmöglichkeit werden per Mouseover-Tooltip angeboten • Tool ist nicht seitenweise sondern schrittweise (vertikal) aufgebaut <p>Layout</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konform zum Corporate Design des Unternehmens • Vielfältige Steuerelemente der grafischen Benutzeroberfläche (Dropdown-Liste, numerisches Up-Down-Eingabefeld, Schieberegler, etc.) • Permanente Hilfestellung bezüglich der aktuell erwarteten Eingabe • Mouseover-Tooltips zu einzelnen Auswahlmöglichkeiten <p>Ergebnispräsentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse können über einen Shop am Ende erworben werden. Informationen wie Dokumentationen, 2D-Zeichnungen oder CAD-Modelle zur gewünschten Auswahl werden zusätzlich angeboten

Diese vier Web-Informationssysteme wurden einer Bewertung durch zehn ProbandInnen unterzogen. Die Abbildung 30 bis Abbildung 32 zeigen die demografischen Daten der befragten Personen.

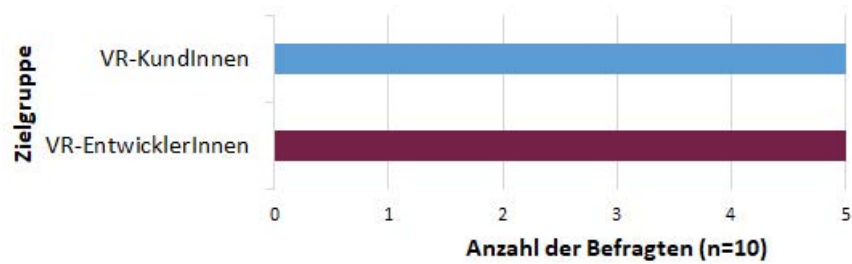


Abbildung 30: Rollenverteilung der Befragten

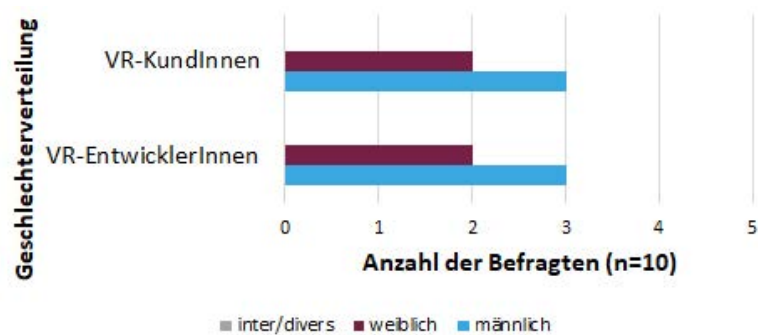


Abbildung 31: Geschlechterverteilung der Befragten

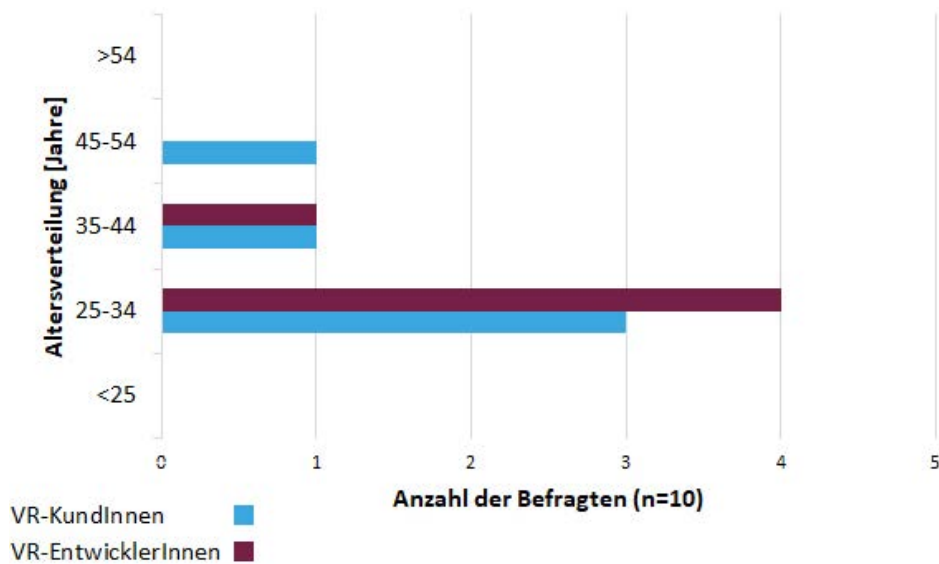


Abbildung 32: Altersverteilung der Befragten

Die Betrachtung von VR-Expertise wurde im Kontext der Bewertung von Web-Informationssystemen nicht berücksichtigt. Der Test fand remote mit geteiltem Bildschirm statt. Die ProbandInnen hatten je Web-Informationssystem maximal zehn Minuten Zeit, sich mit dem System zu befassen und sollten nach jedem Web-

Informationssystem einen Fragebogen mit 18 Fragen ausfüllen. Die Bewertung wurde anhand der beschriebenen Heuristiken unter Zuhilfenahme der in Tabelle 13 definierten Bewertungsskala von „0“ bis „5“ durchgeführt (Anhang B).

Tabelle 13: Bewertungsskala für die Konkurrenzanalyse

0	1	2	3	4	5
nicht vorhanden	sehr schlecht	schlecht	mittelmäßig	gut	sehr gut

Das Ergebnis der Bewertung wird in Abbildung 33 visualisiert.

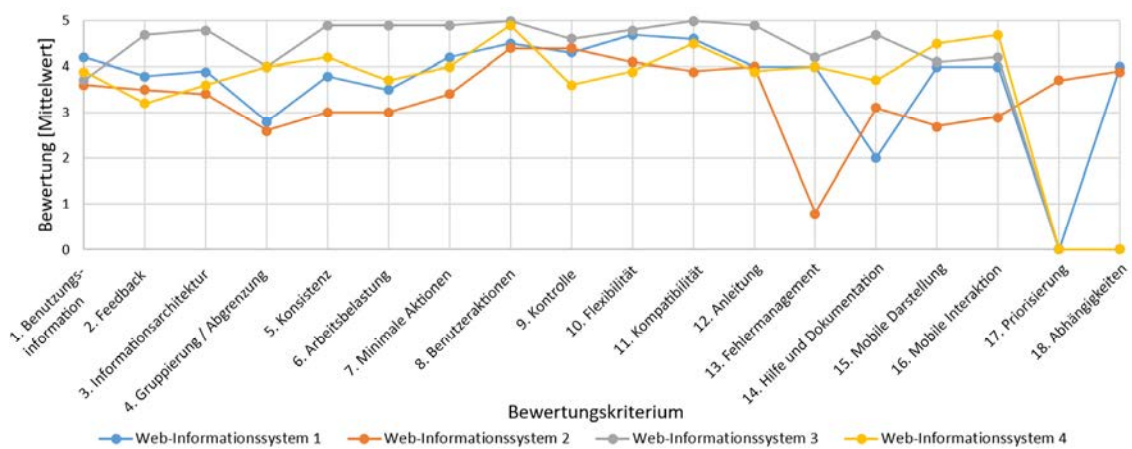


Abbildung 33: Auswertung der vergleichenden Analyse

Im Wesentlichen wird keines der analysierten Softwaretools als schlecht bewertet. Mit einem Gesamtergebnis von 4,08 schneidet Web-Informationssystem 3 (ERP Führer) am besten ab, wohingegen Web-Informationssystem 2 (Service-Management Tool-Vergleich) am schlechtesten bewertet wurde. Der stark abweichende Wert bei Frage 13 (Fehlermanagement) resultiert daraus, dass eine Fehlerbehandlung in dem Tool zwar vorhanden, von einigen BenutzerInnen aber gar nicht gesehen worden ist. Insgesamt gesehen hat Web-Informationssystem 3 die beste Kommunikationsstrategie, beste Benutzerführung und wird nur von Web-Informationssystem 4 im Bereich mobilen Darstellung übertroffen.

Ableitend aus der Bewertung der einzelnen Kriterien in Zusammenhang der analysierten Merkmale der vier Web-Informationssysteme sowie den analysierten Anforderungen in Kapitel 2.4.2 wurden folgende relevante Schwerpunkte für das zu konzipierende VR-Informationssystem definiert:

- Übersichtlicher Aufbau, gutes responsive Design
- Klare Strukturierung der Inhalte
- Sowohl allgemeine Hilfestellung als auch eindeutige Hilfestellung zu wichtigen Auswahlmöglichkeiten oder Fragen
- Angabe der Priorisierung über 5-Sterne-Ranking oder auch Drop-Down-Menü praktikabel
- Aufwand über stufenlose Farbskala umsetzbar

Diese allgemeingültigen Schwerpunkte müssen im Sinne eines benutzerorientierten VR-Informationssystems um VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifische Anforderungen ergänzt werden. Hierzu werden nachfolgend die spezifischen Zielgruppen im Detail beleuchtet und in Form von Personas definiert.

3.3 Klassifizierung der BenutzerInnen des VR-Informationssystems

In Kapitel 1 wurde herausgestellt, dass es im Prozess der Entwicklung von VR-Lösungen zwei beteiligte Rollen gibt. Auf der einen Seite die der VR-KundInnen und auf der anderen Seite die der VR-EntwicklerInnen. Tabelle 14 zeigt, wie VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen in dieser Arbeit unterteilt werden, um deren Nutzungskontexte besser strukturieren zu können.

Tabelle 14: Rollenunterteilung von VR-KundIn und VR-EntwicklerIn

Rolle	Kontext	Beispiele für Unternehmensbereiche
VR-KundIn	= VR-BenutzerIn	Produktentwicklung
		Konstruktion
		Marketing
	≠ VR-BenutzerIn (bzw. sporadisch)	Management
		Einkauf/Beschaffung
VR-EntwicklerIn	Intern	Eigene IT-Entwicklungsabteilung
		IT-Innovationsabteilung
	Extern	IT-Dienstleister
		Ingenieurbüro
		Forschungseinrichtung

VR-KundInnen können einerseits beispielsweise GeschäftsführerInnen sein, die für Aufgabenbereiche innerhalb ihres Unternehmens eine spezifische VR-Lösung suchen, ohne diese selbst benutzen zu wollen. Andererseits können beispielsweise ProduktentwicklerInnen VR-Lösungen beauftragen und konzipieren, die sie später auch im täglichen Arbeitsprozess selbst benutzen werden. Ein Benutzungsszenario für ProduktentwicklerInnen kann die Evaluation von produktlebensphasenübergreifendem Produktverhalten bereits in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses darstellen, um Schwachstellen noch vor Herstellung eines realen Prototyps zu beseitigen.

VR-EntwicklerInnen können beispielsweise MitarbeiterInnen einer internen IT-Entwicklungsabteilung sein, die idealerweise bereits Erfahrung in der Entwicklung von VR-Systemen besitzen. In großen Unternehmen mit einer eigenen IT-Entwicklungsabteilung können viel komplexere Funktionalitäten oder andere Prozessmodelle eine Rolle spielen als bei kleineren, externen IT-Dienstleistern. Zu externen hochspezialisierten VR-Entwicklungsbüros können weiterhin Ingenieurbüros zu den VR-EntwicklerInnen zählen, die sich auf Prozessoptimierung spezialisiert haben und die Einführung von VR-Systemen anbieten.

Für die Analyse von spezifischen Anforderungen der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen ist demzufolge eine heterogene Verteilung an ProbandInnen notwendig. Hierzu wurden 50 Personen für eine Befragung mit unterstütztem Fragebogen (Anhang D) ausgewählt, die sich in VR-KundIn und VR-EntwicklerIn unterteilen. Die ausgewählten Personen sind typische RepräsentantInnen für unterschiedliche Branchen und unterschiedliche Komplexität des VR-Systems. Die Repräsentativität wird einerseits erreicht durch die Befragung von Stakeholdern im VR-KundInnen-Segment, die produktlebensphasenübergreifend mit VR-Systemen agieren und unterschiedliche VR-Erfahrung vorweisen sowie durch eine Befragung von VR-EntwicklerInnen, die eine inhomogene VR-Entwicklungserfahrung mit unterschiedlich komplexen VR-Systemen aufweisen.

Abbildung 34 zeigt, wie sich die in einer Vorstudie befragten Personen auf Branchen aufteilen. Während bei den VR-KundInnen eine Differenzierung der Rollen aufgrund stark abweichender Anforderungen an ein VR-Informationssystem notwendig ist,

können interne und externe VR-EntwicklerInnen zusammengefasst werden, da sie vergleichbare Anforderungen für die VR-Systementwicklung haben.

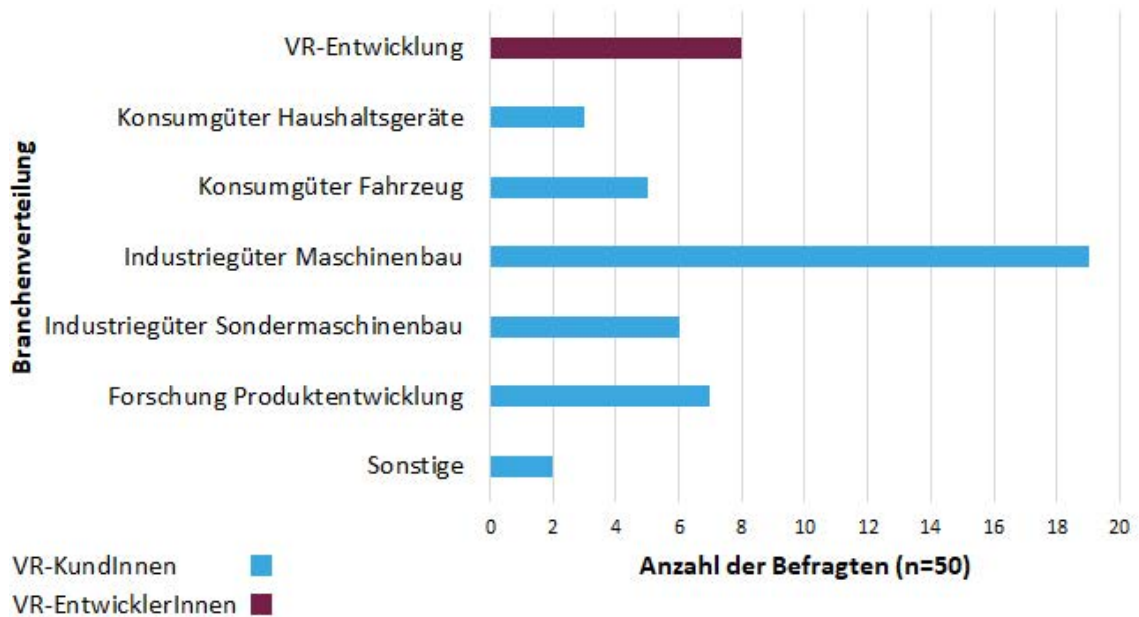


Abbildung 34: Branchenverteilung der Befragten

Abbildung 35 zeigt ergänzend zur vorangegangenen Abbildung die Verteilung aller Befragten unterteilt nach VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen. Die VR-EntwicklerInnen vereinen in dieser Abbildung sowohl interne als auch externe VR-EntwicklerInnen.

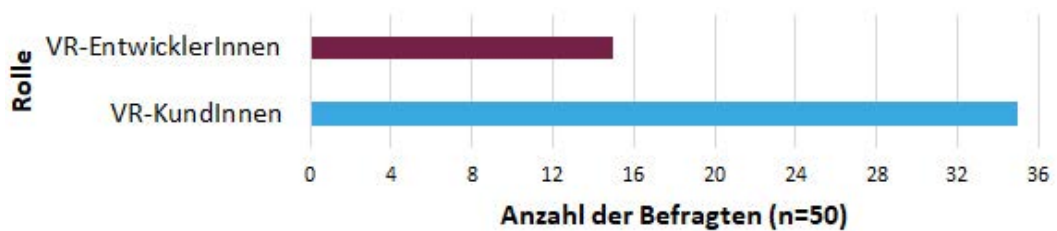


Abbildung 35: Rollenverteilung der Befragten

Um die jeweiligen Anforderungen und Besonderheiten zu verstehen, die mit den beiden Rollen verknüpft sind, schlüsseln Abbildung 36 und Abbildung 37 die beruflichen Positionen der Befragten auf.

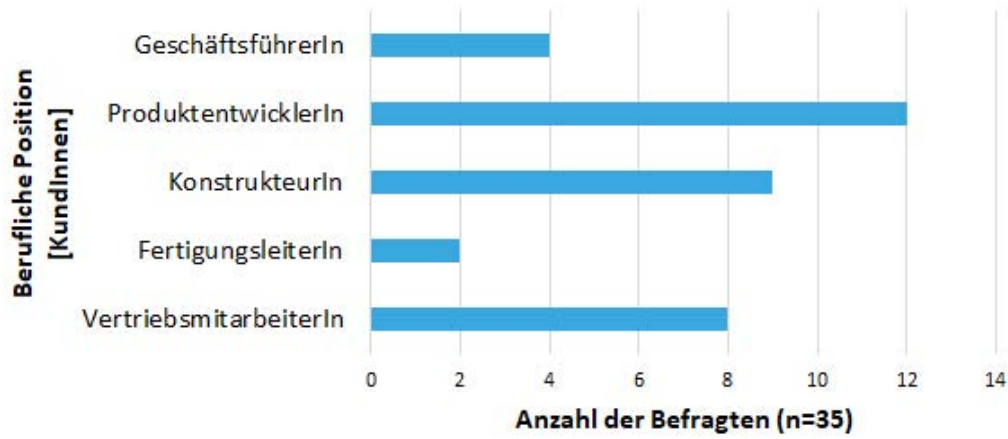


Abbildung 36: Berufliche Positionen der VR-KundInnen

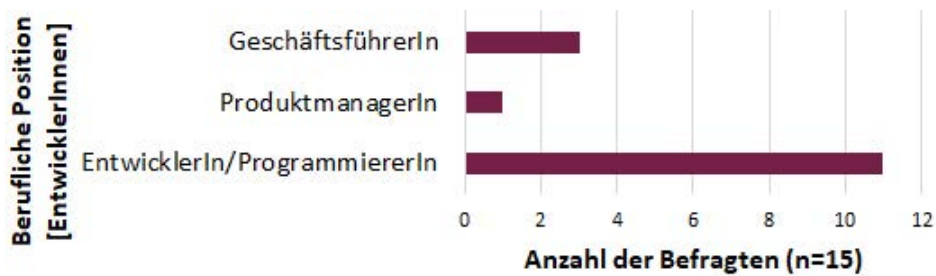


Abbildung 37: Berufliche Positionen der VR-EntwicklerInnen

Abbildung 38 zeigt der Altersverteilung der Befragten unter den VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen.

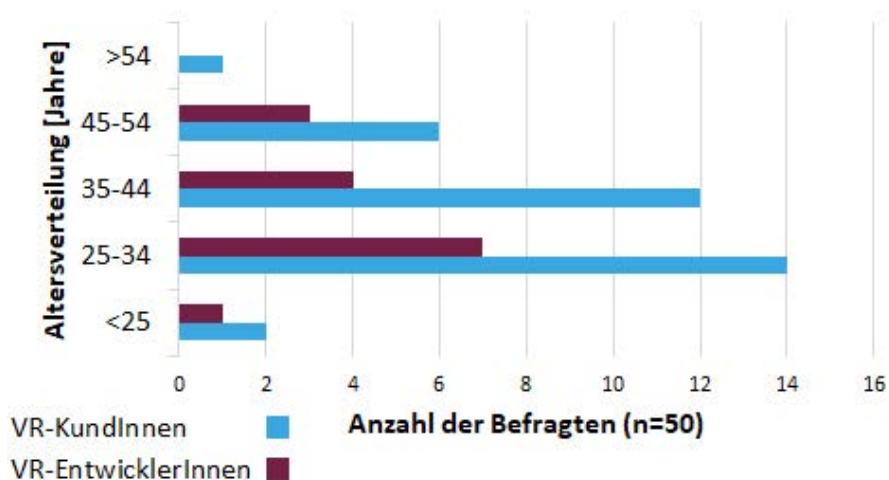


Abbildung 38: Altersverteilung der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen

Im Kontext der Entwicklung von VR-Lösungen wurden alle Personen nach ihrer Erfahrung hinsichtlich der Benutzung von VR befragt und in Abbildung 39 sowie Abbildung 40 dargestellt. Dabei wurde zwischen Benutzung im privaten Kontext und beruflichen Kontext unterschieden. Während eine hohe berufliche VR-Erfahrung bei VR-EntwicklerInnen erwartet wird und hier auch bestätigt werden kann, ist eine vergleichsweise hohe berufliche VR-Erfahrung bei VR-KundInnen als ein positiver Trend anzusehen.

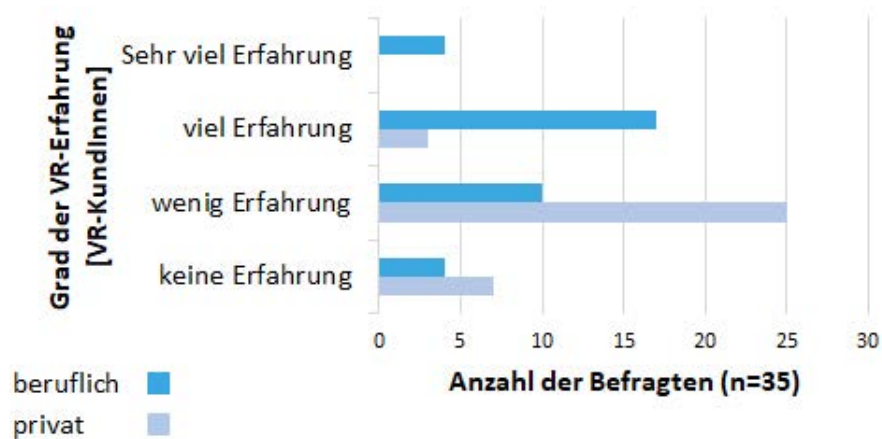


Abbildung 39: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-KundInnen unterteilt nach beruflich und privat

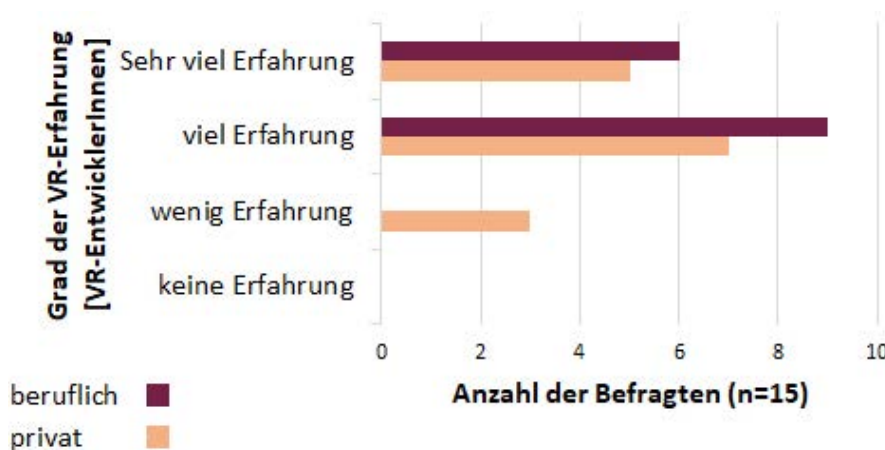


Abbildung 40: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-EntwicklerInnen unterteilt nach beruflich und privat

Weiterhin wurden VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen dazu befragt, wie komplex die bisherigen VR-Projekte waren, die beauftragt bzw. realisiert wurden. Hierzu wurde eine Klassifizierung nach Tiemeyer (Tiemeyer 2014, S. 3) herangezogen, die Anzahl der Mitarbeiter, Personenjahre oder Budgets einer Projektgröße (sehr klein, klein, mittel,

groß, sehr groß) zuordnet. In diesem Kontext wird die Projektgröße als Synonym für die Projektkomplexität verwendet, da lediglich eine allgemeine Einschätzung erfolgen soll und Komplexitätsparameter wie Technologien oder Funktionalitäten vernachlässigt werden können. Das Ergebnis ist in Abbildung 41 für VR-KundInnen und in Abbildung 42 für VR-EntwicklerInnen zu sehen.

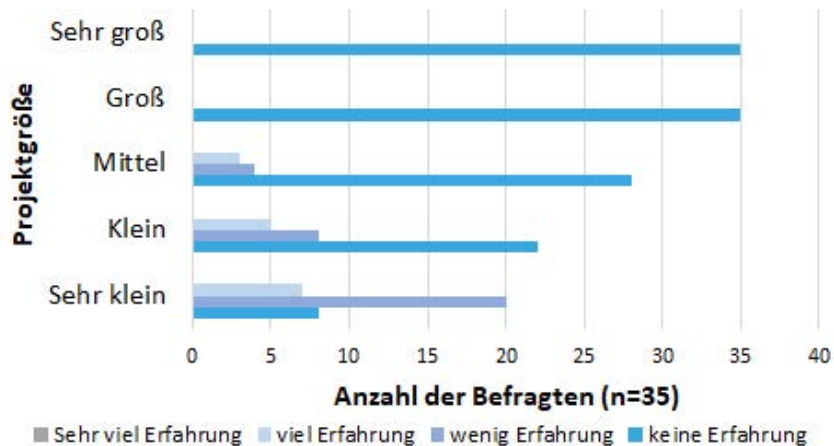


Abbildung 41: Bisherige Erfahrungen der VR-KundInnen mit VR-Projekten

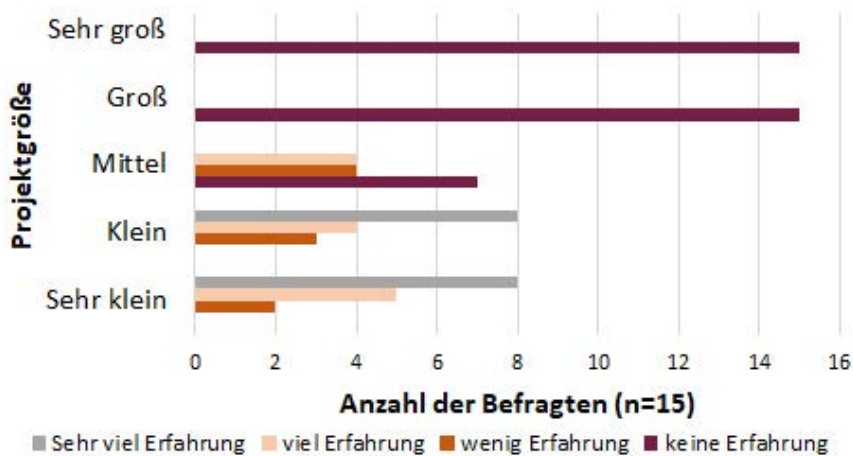


Abbildung 42: Bisherige Erfahrungen der VR-EntwicklerInnen mit VR-Projekten

Um das VR-Informationssystem entsprechend realer Anforderungen an VR-Systeme und VR-Anwendungen zu konzipieren, wurden die befragten Personen in der Vorstudie weiterhin nach den allgemeinen Aufgabenbereichen für VR gefragt. Die Klassifizierung erfolgte anhand der herausgearbeiteten Aufgabenbereiche in Kapitel 2.2.2. Abbildung 43 verdeutlicht, dass die Visualisierung mit 92 Prozent an Nennungen der Befragten als der relevanteste Einsatzbereich gesehen wird. Daraus ist zu schließen, dass die nichtfunktionale Visualisierung in nahezu jeder Branche und für nahezu jeden

Aufgabenbereich als gewinnbringend angesehen wird. Als weiterer wichtiger Einsatzbereich wurde mit 82 Prozent die Human Factor Analyse genannt. Grund ist hierbei ebenfalls die branchen- und aufgabenübergreifende Relevanz von beispielsweise Ergonomieuntersuchungen. Insgesamt betrachtet kann festgehalten werden, dass VR-Lösungen aufgabenbereichsübergreifend konzipiert werden müssen.

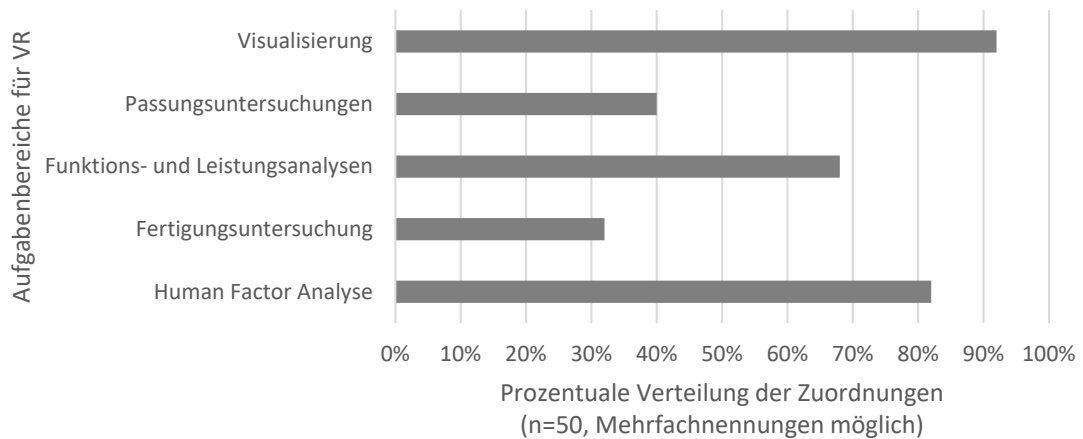


Abbildung 43: Bewertung der Aufgabenbereiche für VR

Für alle Aufgabenbereiche wurden von allen Befragten sehr differenzierte und vielschichtige Anforderungen mit unterschiedlichem Konkretisierungsgrad beschrieben, die für sie von hoher Wichtigkeit sind und die in einem VR-Informationssystem Beachtung finden müssen. Tabelle 15 stellt alle genannten Anforderungen dar, die den Aufgabenbereichen zugewiesen und anhand der Klassifizierung in Kapitel 2.4.1 in *funktional*, *non-funktional* und *universelle VR-Anforderungen* unterteilt wurden. Daraus wird ersichtlich, dass einerseits die Spezifikationen im VR-Informationssystem, die die Anforderungen der VR-KundInnen widerspiegeln, sehr differenziert sind und eine Vollständigkeit der Spezifikationen wichtig ist. Andererseits ist abzuleiten, dass in allen Aufgabenbereichen Potenzial für VR-Systeme besteht und alle Aufgabenbereiche ebenfalls im VR-Informationssystem Anwendung finden müssen.

Tabelle 15: Anforderungen gegliedert nach Einsatzbereich

		Aufgabenbereiche				
		Visualisierung	Passungs- untersuchungen	Funktions- und Leistungsanalysen	Fertigungs- untersuchung	Human Factor Analyse
Anforderungs- klassifizierung	Anforderung					
Funktional	Physikalisch unabhängige Bewegung / Schwebung	x	x	x	x	x
	Verhaltenssimulation von Produktmodell, Umgebungsmodell und Menschmodell			x	x	x
	Ergonomie- und Funktionsuntersuchungen			x	x	x
	Abbilden realer Arbeitsabläufe			x	x	x
Non-funktional	Hoher Detailgrad der Visualisierung	x	x			
	Integration von Umgebungsparametern	x	x	x	x	x
	Beobachten von Funktions- und Prozessverhalten spezifischer Produktmodelle, Umgebungsmodelle und Menschmodelle			x	x	x
Universelle VR- Anforde- rungen	Interaktion in Echtzeit	x	x	x	x	x
	Multiusers	x	x	x	x	x
	Wissensaufbau in Bezug auf VR-Systeme und möglicher Spezifikationen	x	x	x	x	x
	Einfacher Einstieg	x	x	x	x	x

Die Klassifizierung der BenutzerInnen des VR-Informationssystems sowie die Ergebnisse der Befragung bezüglich demographischer Daten aber auch spezifischer Anforderungen an VR-Systeme innerhalb der Aufgabenbereiche ermöglichen darauf aufbauend die Generierung von Personas. Es konnten sechs Personas, jeweils drei für jede der beiden Rollen VR-BenutzerIn und VR-EntwicklerIn, identifiziert werden. Der Aufbau der Personas orientiert sich an den in Kapitel 2.4.3 analysierten Attributen und wurde speziell für den Kontext dieser Arbeit mit folgenden Beschreibungsmerkmalen versehen:

Tabelle 16: Aufbau Personas im Kontext dieser Arbeit

Attribut	Beschreibungsmerkmal	Definition	Bezug
Aktivitäten	Tätigkeit	Beschreibung der generellen Tätigkeiten im täglichen Arbeitsablauf.	Befragung
Einstellungen	Zitat	Ein markantes Zitat, um sofort die Sichtweise der Persona zur Produktdomäne oder Technologie zu verstehen.	Befragung
Eignung	Rolle	Einteilung in VR-KundIn oder VR-EntwicklerIn.	Tabelle 14
	Position	Definition der beruflichen Position im Unternehmen.	Abbildung 36 Abbildung 37 Interview
	Alter	Ein Durchschnittswert zur besseren Personifizierung und subjektiven Ableitung von Erfahrungen in den Aufgabebereichen.	Abbildung 38
Motivationen	Motivation VR-Projektierung	Beschreibung der Gründe für die Auseinandersetzung mit VR-Technologien.	Befragung
	Verwendung VR-Informationssystem	Beschreibung der Ziele bei der Verwendung der zu entwickelnden VR-Informationssystem.	Befragung
Fähigkeiten	Fachwissen VR	Beschreibung der bisherigen Erfahrungen mit VR bzw. des fachlichen Wissens über VR-Technologien.	Abbildung 39 Abbildung 42 Befragung
	Persönlichkeit	Beschreibung der Persönlichkeit mit vier Eigenschaften zur besseren Personifizierung und dem besseren Verständnis der Motivation für VR-Projektierungen.	Befragung

Ergänzt werden die Personas durch jeweils einen fiktiven Namen zur besseren Personifizierung. Tabelle 17 bis Tabelle 22 beschreiben diejenigen Personen in Form von Personas, die als die zukünftigen VR-Benutzenden des zu entwickelnden VR-Informationssystems herangezogen werden.

Tabelle 17: Persona 1 - Rolle VR-KundIn


Name	Torsten Becker	
Zitat	<i>„Alle machen was mit VR und ich will meine Produkte bestmöglich in Szene setzen.“</i>	
Rolle	VR-Kunde (≠ VR-Benutzer)	
Position	Geschäftsführer	
Alter	52	
Tätigkeiten	Geschäftsleitung, Ausrichtung der Produktlinien, Freigaben von Designs und finalen Produktversionen, Akquise von VR-Systemen	
Motivation VR-Projektierung	Versucht sein Unternehmen auf Industrie 4.0 auszurichten, will sich von anderen nicht abhängen lassen, glaubt an das Potenzial virtueller Technologien.	
VR-Erfahrung	Gering, sieht lediglich aktuelle Entwicklungen auf Messen.	
Persönlichkeit	Selbstbewusst, zielstrebig, leistungsorientiert, produktorientiert	
Verwendung VR-Informationssystem	Erhält ein besseres Gefühl für die Komplexität von VR-Systemen, erfährt etwas über die Vielfalt an Möglichkeiten und Funktionalitäten, kann seine ganz grobe Idee in erste geordnete Bahnen lenken.	

Tabelle 18: Persona 2 - Rolle VR-KundIn


Name	Anja Baier	
Zitat	<i>„Unser Fertigungsprozess dauert bis zu vier Monate und erst dann zeigen sich so viele Fehler, die man vielleicht vorab schon hätte finden und beheben können.“</i>	
Rolle	VR-Kundin (VR-Benutzerin)	
Position	Konstruktionsleiterin	
Alter	41	
Tätigkeiten	Anforderungsermittlungen und Konzeptionen neuer Produkte und Produktvarianten, Durchführen von (Design-)Reviews und Freigaben mit Projektbeteiligten, Abstimmung von Machbarkeiten, Steuerung externer Dienstleister, Steuerung und Optimierung der Konstruktionen.	
Motivation VR-Projektierung	Testen von Wartungszugängen und Ergonomie könnte viel früher getestet werden, bessere Einschätzung des Endproduktes und seiner Eigenschaften, vereinfachtes Erklären von Ideen oder Problemen, idealerweise an unterschiedlichen Standorten.	
VR-Erfahrung	Grundsätzliches Wissen über VR, Erfahrung nur im Unternehmenskontext.	
Persönlichkeit	Lösungsorientiert, strategisch, technikaffin, teamfähig	
Verwendung VR-Informationssystem	Beseitigung von Missverständnissen durch fehlendes Fachwissen oder unterschiedliche Bezeichnungen, Einschätzung des Mehrwerts von VR-Systemen und VR-Anwendungen.	

Tabelle 19: Persona 3 - Rolle VR-KundIn


Name	Karst Friedhelm	
Zitat	<i>„Für mich ist es besonders wertvoll, wenn ich sofort alle Änderungen am Produkt sehen und bewerten kann. Dann kann ich sofort Feedback geben.“</i>	
Rolle	VR-Kunde (VR-Benutzer)	
Position	Produktentwickler	
Alter	34	
Tätigkeiten	Marktanalysen, Schnittstelle zu allen Unternehmensabteilungen, Koordination von MitarbeiterInnen in der Entwicklung, Produktkonzeption.	
Motivation VR-Projektierung	Marketingabteilung ist bereits im Besitz eines VR-Systems, Erweiterung um neue VR-Anwendung, neue Produktideen könnten früher ausprobiert und bewertet werden, schnellere Marktreife, bessere Produkte, günstigere Produktion.	
VR-Erfahrung	Allgemeines Wissen über VR, erste Erfahrungen, große Bereitschaft zur Nutzung neuer Technologien.	
Persönlichkeit	Lösungsorientiert, produktorientiert, kreativ, technikaffin	
Verwendung VR-Informationssystem	Fokussierung und Verfeinerung der Vision, Ideengenerierung weiterer Einsatzmöglichkeiten des bestehenden VR-Systems.	

Tabelle 20: Persona 4 - Rolle VR-EntwicklerIn


Name	Stefan Fischer	
Zitat	<i>„Ich bin nicht up-to-date, was es alles an technischen Möglichkeiten gibt.“</i>	
Rolle	VR-Entwickler (Interne Entwicklungsabteilung)	
Position	Entwickler/Administrator VR-Labor	
Alter	40	
Tätigkeiten	Betreuung und Erweiterung der vorhandenen VR-Technik eines größeren Unternehmens, Organisieren von VR-Präsentationen, Entwicklung von VR-Szenarien, Erweiterung der VR-Anwendungen.	
Motivation VR-Projektierung	Bestmögliche Nutzung der vorhandenen Technologie, einfache Erreichbarkeit von Informationen über Möglichkeiten und Funktionalitäten von technologieübergreifender VR, schnelle Bewertung der Machbarkeit von angeforderten Lösungen	
VR-Erfahrung	Fachwissen nur in Bezug auf die vorhandene VR-Technologie und VR-Software, grundsätzliches Wissen über VR allgemein.	
Persönlichkeit	Anpassungsfähig, vorsichtig, strukturiert, kritisch	
Verwendung VR-Informationssystem	Aufbau von Fachwissen, vereinfachte interne Prozesse durch strukturierte Projektanfrage.	

Tabelle 21: Persona 5 - Rolle VR-EntwicklerIn



Name	Jasmine Lavrova	
Zitat	<i>„Es ist echt schwer den Überblick zu behalten, aber ich liebe es ganz abstruse Visionen umzusetzen.“</i>	
Rolle	VR-Entwicklerin (Externe Dienstleistung)	
Position	Softwareentwicklerin VR	
Alter	27	
Tätigkeiten	Unterstützung bei der System- und Anwendungskonzeption, Programmierung von VR-Anwendungen, Konfiguration von VR-Systemen.	
Motivation VR-Projektierung	Freude am Ausreizen von technologischen Grenzen und der Konzeption innovativer Projekte, die nicht nur dem Entertainment dienen, sondern auch einen absoluten Nutzungsmehrwert beinhalten.	
VR-Erfahrung	Sehr großes Fachwissen, sehr gute Übersicht über aktuelle VR-Entwicklungen, tiefgehendes Systemverständnis.	
Persönlichkeit	Flexibel, sehr technikaffin, kreativ, verspielt	
Verwendung VR-Informationssystem	Mit den strukturierten und präziseren Anforderungen der KundInnen kann das Erstgespräch viel zielgerichteter ausfallen und es kann schön vorbereitend eine passendere Ideenkollektion erarbeitet werden. Basis für das gemeinsame Verständnis mit KundInnen. Bei innovativen oder großen Projekten könnte sichergestellt werden, dass tatsächlich alle Möglichkeiten bedacht worden sind.	

Tabelle 22: Persona 6 - Rolle VR-EntwicklerIn

Name	Gabriele Schröder	
Zitat	<i>„Immer wieder spannend welche Ideen generiert werden und was dann tatsächlich Sinn macht und umgesetzt wird.“</i>	
Rolle	VR-Entwicklerin (Externe Dienstleistung)	
Position	Produktmanagerin	
Alter	33	
Tätigkeiten	Marktbeobachtung, Vermarktung des Angebots, Produktpräsentationen für KundInnen, Begleitung der Produktentwicklung, Technische Weiterentwicklung des Produkts, Akquise und Konzeption VR-Systeme.	
Motivation VR-Projektierung	Interesse an der Konzeption und Umsetzung von aufgaben- und benutzerorientierten Lösungen für KundInnen. Legt großen Wert auf Kundenzufriedenheit und nachhaltige Produktlösungen. Im Sinne von Folgeaufträgen müssen eigene Lösungen auch gut erweiterbar oder austauschbar sein.	
VR-Erfahrung	Großes Fachwissen, gute Übersicht über aktuelle VR-Entwicklungen, allgemeines Systemverständnis.	

Persönlichkeit	Kostenbewusst, innovativ, kreativ, visionär
Verwendung VR-Informationssystem	Strukturierte Anforderungen durch eine VR-Informationssystem ermöglichen eine optimale Vorbereitung auf das eigentliche Erstgespräch. Die Anforderungen können besser verstanden werden und die eigene Verwendung der VR-Informationssystem ermöglicht eine optimale Vervollständigung an Möglichkeiten. Es kann sichergestellt werden, dass nichts vergessen wird und dass kein begriffliches Missverständnis besteht.

Die sechs entwickelten Personas zeigen, wer die späteren VR-Benutzenden des VR-Informationssystems sein werden, über welche Basisvoraussetzungen sie verfügen werden und welche allgemeinen Ziele sie bezüglich der Benutzung eines VR-Informationssystems haben. Für die Konzeption eines VR-Informationssystems sind weiterhin spezifische Anforderungen notwendig, die im nächsten Kapitel aufgezeigt werden.

3.4 Anforderungen der Benutzenden

Um Schwerpunkte für das VR-Informationssystem nicht nur auf Basis der vergleichenden IT-Informationssystemanalyse, sondern durch die Rückmeldung realer VR-BenutzerInnen festzulegen, erfolgten auch produktunabhängige Experteninterviews gezielt zu einem VR-Informationssystem. Die leitfadengestützten Interviews erfolgten im Rahmen der Befragung in Kapitel 3.3 mit den 50 beschriebenen Personen.

Im Rahmen der empirischen Erhebung der Anforderungen wurde die erwartete Nützlichkeit bewertet. Abbildung 44 zeigt, dass sowohl bei VR-KundInnen als auch VR-EntwicklerInnen ein hoher Bedarf an einem VR-Informationssystem besteht. Lediglich eine Agentur hat Bedenken geäußert, dass ein VR-Informationssystem nicht mit den eigenen Entwicklungsabläufen konform geht.

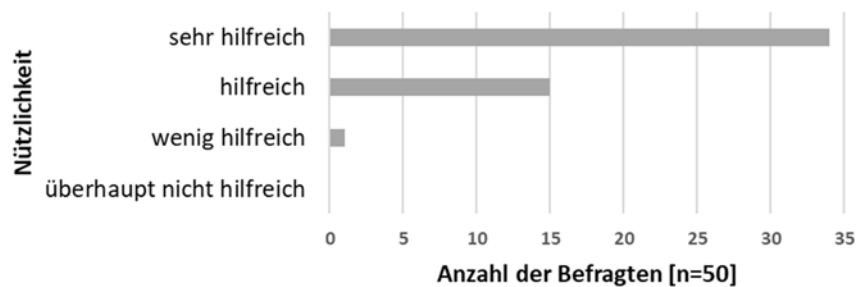


Abbildung 44: Bewertung der erwarteten Nützlichkeit des VR-Informationssystems

Welchen Mehrwert das VR-Informationssystem neben dem Wissenserwerb zusätzlich bieten kann, stellt Abbildung 45 dar. Daraus wird ersichtlich, dass insbesondere der Wissenserwerb aber auch die Abschätzung bzw. Planung von Hilfsmitteln, Kosten und Aufwand durch das VR-Informationssystem unterstützt werden können. Um einen sofortigen Eindruck vom Gesamtaufwand des spezifizierten VR-Systems zu bekommen, stellt auch die VR-informationsseitige Aufwandseinschätzung einen großen Mehrwert dar. Diese kann ohne Erfahrungen oder Expertenwissen zwar nicht genauen Kosten gegenübergestellt werden, aber es entsteht ein besseres Verständnis bezüglich der späteren VR-entwicklungsseitigen Kalkulation.

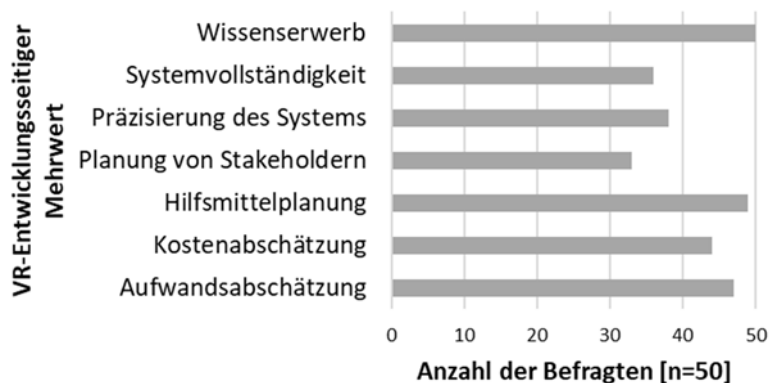


Abbildung 45: VR-entwicklungsseitiger Mehrwert

Die erwartete Unterstützung durch das VR-Informationssystem wurde zielgruppenübergreifend analysiert, wie Abbildung 46 zeigt. Generell ist eine breitgefächerte Verwendbarkeit zu sehen, wobei die größte Unterstützung die ProduktentwicklerInnen, AnforderungsermittlerInnen und EntwicklerInnen bzw. ProgrammiererInnen erwarten.

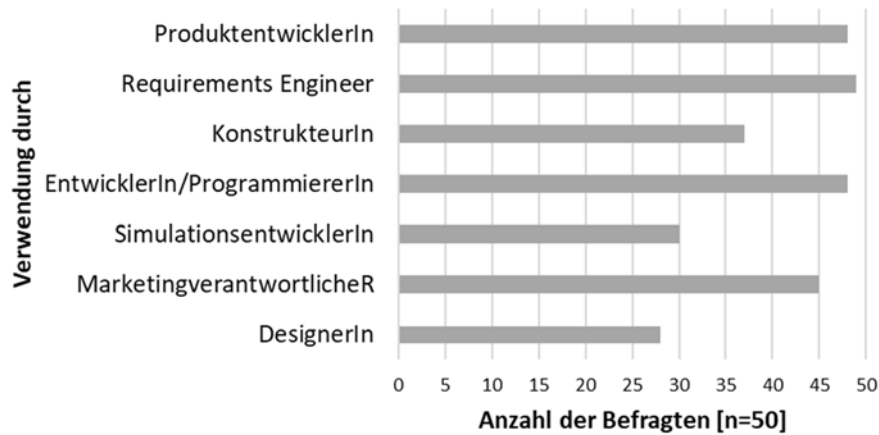


Abbildung 46: Verwendung des VR-Informationssystems nach Position

Weiterhin wurden ergänzend zu den aufgabenbereichsspezifischen Anforderungen an ein VR-Informationssystem in Kapitel 3.2 allgemeine Anforderungen gegliedert nach VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 ebenfalls in *funktionale* und *non-funktionale* Anforderungen unterteilt.

Tabelle 23: Anforderungen an das VR-Informationssystem

VR-KundIn	VR-EntwicklerIn
<i>Funktional</i>	<i>Funktional</i>
Priorisierung von VR-Spezifikationen	Priorisierung von VR-Spezifikationen
Responsives Design	Aufwandseinschätzung
Direkte Begriffserläuterungen	Kosteneinschätzung
<i>Non-funktional</i>	<i>Non-funktional</i>
Vollständigkeit der Spezifikationselemente	Vollständigkeit der Spezifikationselemente
Intuitive Bedienung	Intuitive Bedienung
	Minimalistische Zieldarstellung
	Zeitlos (VR-spezifikationsbezogen)

3.5 Anforderungen aus VR-Entwicklungsmodellen

Die bisherigen Analysen bezogen sich auf Anforderungen an das VR-Informationssystem auf funktionaler bzw. inhaltlicher Ebene. Um eine geeignete Struktur für das VR-Informationssystem entwickeln zu können, müssen VR-Entwicklungsmodelle analytisch betrachtet werden, aus denen eine geeignete Struktur abgeleitet werden kann. In Kapitel 2.3.2 wurde bereits ein allgemeines VR-Entwicklungsmodell vorgestellt, das die

Teilsysteme eines VR-Systems in Zusammenhang setzt. Es werden jedoch ein wesentlicher Aspekt der Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit von VR-Anwendungen sowie die Betrachtung virtueller Produkte im Gesamtkontext vernachlässigt (siehe Kapitel 2.2.2). Dabei ist es insbesondere in der virtuellen Produktentwicklung von großer Bedeutung, das Produkt für jede Produktlebensphase in seinem jeweiligen Gesamtkontext zu betrachten und zu bewerten. Denn das Produkt steht sowohl mit seiner lebensphasenspezifischen Umgebung (z. B. Montagehalle oder Trainingscenter) als auch mit seinen lebensphasenspezifischen Akteuren (z. B. MonteurIn oder WartungstechnikerIn) in steter Beziehung. Eine frühe aufgaben- und nutzerorientierte Evaluation über sämtliche Produktlebensphasen hinweg kann für ProduktentwicklerInnen zu einem besseren Verständnis der benötigten oder auch neuen Produkthanforderungen und Produktverhalten führen (Liebal et al. 2017). Dies ist insbesondere wichtig, weil Produkte heutzutage immer komplexer werden, individuelle Kundenanforderungen steigen und gleichzeitig Entwicklungszeiten sinken. Um diesen Herausforderungen entgegenzutreten, wird vermehrt VR eingesetzt. Allerdings ist die Entwicklung von VR-Szenen sehr zeitintensiv. Aus diesem Grund werden sie im Voraus als eine Einheit programmiert, deren Änderungen oder Erweiterungen einen enormen Aufwand erfordern. Das Produkt(-modell) wird dabei vorwiegend isoliert betrachtet (Mahboob et al. 2017b).

Durch Weber et al. (Weber et al. 2016, S. 241–242) wurde ein Ansatz erarbeitet, der die Entwicklung von VR-Szenen vereinfachen, die VR-Szenen wiederverwendbar und erweiterbar gestalten soll und gleichzeitig den lebensphasenspezifischen Kontext berücksichtigt. Elementarer Schwerpunkt des Ansatzes ist die Trennung eines gesamten VR-Modells in folgende drei Teilmodelle:

- Produkt
- Akteur
- Umgebung

Als Akteur wird dabei die Repräsentation einer realen, lebensphasenspezifischen Person in Form eines digitalen Menschmodells verstanden. Dieses kann entweder das Verhalten realer Personen nachahmen, sodass das digitale Menschmodell bei der Ausführung zugewiesener Aufgaben mit dem Produkt innerhalb einer Umgebung beobachtet

werden kann oder die VR-BenutzerInnen durch die Augen des digitalen Menschmodells selbständig interagieren können.

Abbildung 47 stellt den Zusammenhang zwischen den Lebensphasen und individuellen Teilmodellen visuell dar. Aus einem gesamten Datenbestand lassen sich lebensphasenspezifische (Re-)Kombinationen von Teilmodellen jederzeit kontextspezifisch zusammenführen. Dadurch ist auch eine individuelle Bildung von Use Cases möglich, wie in Abbildung 48 dargestellt.

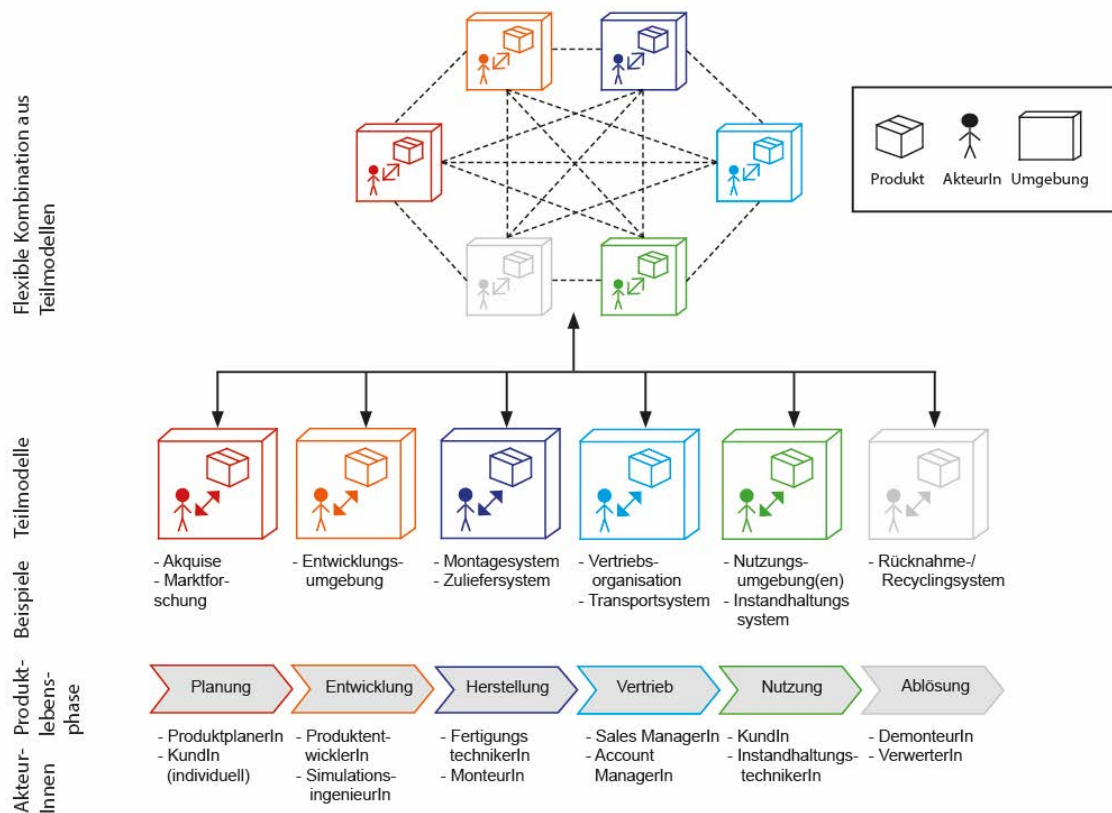


Abbildung 47: Produkt-Akteur-Umgebung-Beziehung in den Produktlebensphasen (Liebal et al. 2017, S. 353)

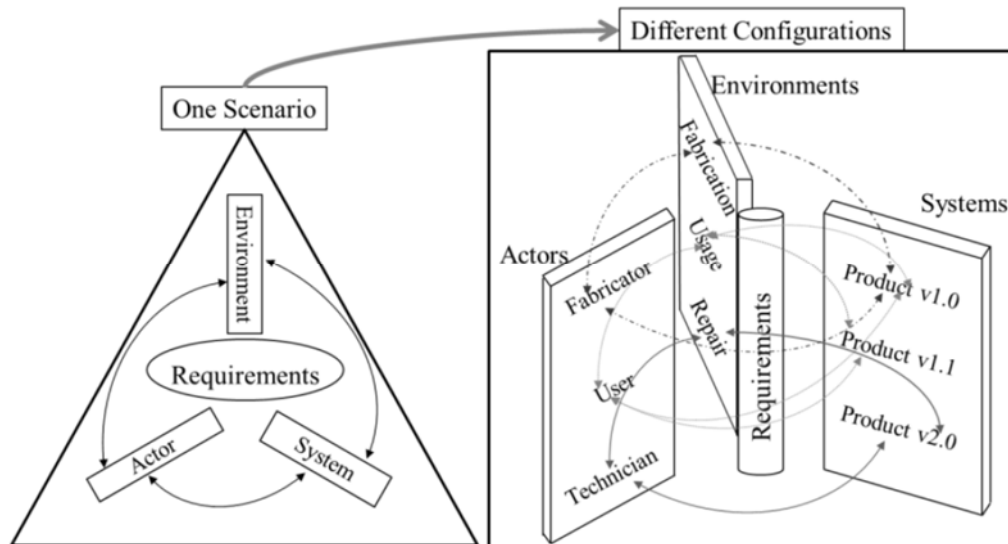


Abbildung 48: Bildung von UseCases in einem modellbasierten Ansatz für VR (Mahboob et al. 2019b)

Um einen dynamischen Modellaustausch ermöglichen zu können, ist eine allgemeingültige Beschreibung der Teilmodelle und ihrer Interaktion notwendig. Es erfolgt an dieser Stelle lediglich ein Hinweis auf den modellbasierten Ansatz und die Verwendung einer geeigneten Beschreibungssprache. Eine projektbezogene Vertiefung bezüglich der technischen Umsetzung erfolgt nicht in dieser Arbeit.

Die Relevanz dieser Modelltrennung im Hinblick auf das VR-Informationssystem liegt darin, dass bereits durch die getrennte Betrachtung von Produkt, Akteur und Umgebung bei der Strukturierung des VR-Informationssystems entwicklungsseitig ein Bewusstsein für die effiziente Szenenaufbereitung generiert werden kann.

Ausgehend von dieser Modelltrennung und dem Ansatz der effizienten und wiederverwendbaren Szenenaufbereitung erfolgte darüber hinaus die Entwicklung eines VR-Konfigurationsprozesses, der sich in einem wesentlichen Punkt von der Beschreibung der Teilsysteme in Kapitel 2.2.2 unterscheidet. Es findet nicht nur eine getrennte Behandlung der Szenenmodelle statt, sondern auch die physikalische Berechnung sowie die Verhaltensmodellierung werden bewusst getrennt voneinander behandelt. Verschiedenartige VR-Systeme (z. B. CAVE oder HMD) bestehen in der Regel aus Hardware- und Software-Komponenten und sind nicht kompatibel zueinander. Gebräuchliche programmierbasierte VR-Anwendungen unterstützen nur ausgewählte VR-Systeme, beispielsweise aufgrund verschiedener Programmiersprachen. Liebal et al.

(Liebal et al. 2017) beschreiben in Abbildung 49 den Aufbau eines VR-Systems, das unabhängig von der verwendeten VR-Darstellungstechnologie VR-Szenarien mit realistischem Modellverhalten realisieren kann und somit für jede Form von VR-Systemen geeignet ist. Dieser weitere Ansatz führt in dem VR-Informationssystem dazu, dass Verhaltensbeschreibung (in dem dargestellten Aufbau mittels SysML²²) oder Physikberechnung ebenfalls getrennt behandelt werden und nicht ausschließlich mit der Frage nach einer VR-Software abgehandelt sind.

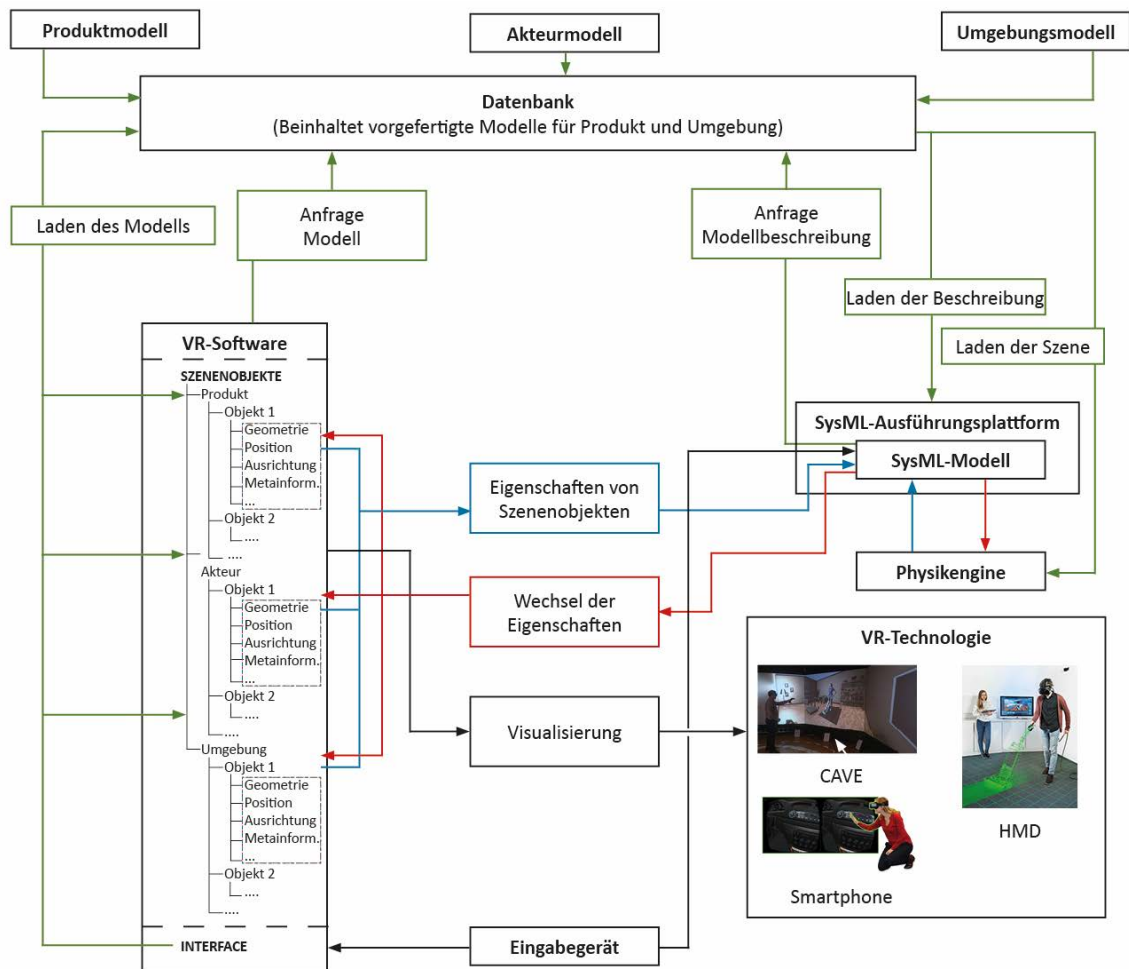


Abbildung 49: Übersicht über den VR-Konfigurationsprozess (Liebal et al. 2017)

Im Bereich VR-Technologie ist bei den beispielhaften VR-Technologien auch das Smartphone dargestellt, wodurch eine gleichwertige Bedeutsamkeit zu CAVE und HMD visualisiert wird. Das nachfolgende Kapitel beweist diese Bedeutsamkeit im Hinblick auf

²² Systems Modeling Language (SysML) ist eine grafische Modellierungssprache, die Analyse, Design, Verifizierung und Validierung für vielfältige Systeme und Systeme von Systemen unterstützt (Object Management Group 2015).

die Erweiterung von gewöhnlicher 360°-Smartphone-VR zu Smartphone-VR als vollständige Rendering-, Visualisierungs- und Tracking-Technologie für den günstigen, aber vielseitigen Einsatz innerhalb der Produktentwicklung und darüber hinaus.

3.6 Anforderungen aus VR-Technologien

Das VR-Informationssystem erhebt den Anspruch auf eine möglichst zeitlose Vollständigkeit seiner Inhalte, was sich weiterhin auf den Einbezug an VR-Darstellungstechnologien bezieht. Mahboob et al. (Mahboob et al. 2019a, S. 81–84) stellen einen neuartigen Ansatz zur Erweiterung von Smartphones als eigenständige Geräte für das Rendering, die Visualisierung und das Tracking in VR-Anwendungen, insbesondere im Produktentwicklungskontext, vor. Werden derzeit Smartphones im Kontext von VR lediglich zur Visualisierung von 360°-Inhalten verwendet, konnte ein performantes Smartphone-VR-System mit Positionstracking ohne externe Hardware realisiert werden. Eine einfache VR-Anwendung wurde mit Hilfe des VR SDK, einem Cardboard als Smartphone-Halterung und einer Android-Applikation-Entwicklungsumgebung mit Android-SDK umgesetzt. Abbildung 50 visualisiert den allgemeinen Aufbau.



Abbildung 50: Aufbau Smartphone-VR (eigene Darstellung)

Doch auch eine Echtzeit-VR-Simulation von Produkten innerhalb lebensphasenspezifischer Kontexte mittels eines Smartphones wurde im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung ermöglicht. Abbildung 51 zeigt den erweiterten Aufbau, der auf den eingangs beschriebenen Vorarbeiten (Modelltrennung, getrennte Verhaltensbeschreibung und Physikberechnung) basiert.

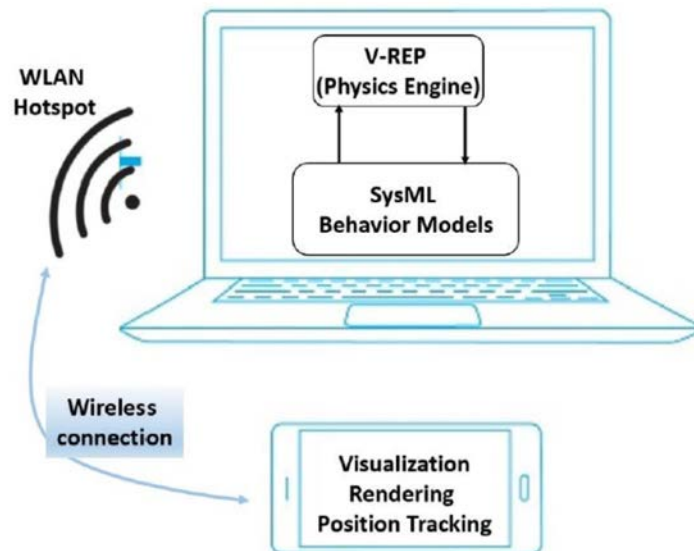


Abbildung 51: Konzept für die Simulation in Smartphone-VR (Mahboob et al. 2019a, S. 83)

An dieser Stelle erfolgt keine detaillierte technische Beschreibung der Methodik. Vielmehr wird lediglich auf den zukunftsweisenden Einsatz von Smartphones in der Produktentwicklung und die damit verbundene Relevanz der Berücksichtigung von Smartphones als Anforderung innerhalb des VR-Informationssystems verwiesen.

3.7 Zusammenfassung der Anforderungen an das VR-Informationssystem

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Basisanforderungen an das VR-Informationssystem aus unterschiedlichen Perspektiven analysiert. In Tabelle 24 werden die Ergebnisse aus den Kapiteln 2 und 3 bezüglich der technischen und inhaltlichen Umsetzung des VR-Informationssystems zusammenfassend dargestellt und bilden die Ausgangsbasis für die Konzeption und Realisierung des VR-Informationssystems bzw. die zu integrierenden Spezifikationselemente.

Tabelle 24: Zusammenfassung der untersuchten Anforderungen für die Strukturierung des VR-Informationssystems

Literatur VR-Systemplanung (Tabelle 2)	Literatur VR-Systementwicklung (Abbildung 15)	Literatur VR-Systementwicklung (Dörner et al. 2013, S. 65)	Literatur VR-Systementwicklung (Rademacher 2014, S. 37), (Dörner et al. 2013, S. 195), (Mahboob et al. 2019a), (Mahboob et al. 2019b)	BenutzerInnenansicht (Tabelle 15)	BenutzerInnenansicht (Tabelle 23)
Funktionalität	Akustische Ausgabe	Sound	Beleuchtungsmodelle	Physikalisch unabhängige Bewegung / Schwebung	
Qualität	Visuelle Ausgabe	Beleuchtung	Detaillierungsgrad virtuelle Szene	Hoher Detailgrad der Visualisierung	
Prozessintegration	Simulation KI / Verhalten	Objektverhalten	Berechnungsgeschwindigkeit	Verhaltenssimulation von Produktmodell, Umgebungsmodell und Menschmodell	
Echtzeitfähigkeit	Tracking	Hintergründe (Umgebung)	Eingabegeräte	Interaktion in Echtzeit	
Realismus	Bewegung in der VR	Virtuelle Menschen	Modelltrennung Produkt, Akteur, Umgebung	Abbilden realer Arbeitsabläufe	
Technologieviefalt	Kollaboration		Smartphone-VR	Multiuser	
Sicherheit von IT-Systemumgebungen	Haptik bei der Interaktion	3D-Objekte	Kollisionserkennung	Ergonomie- und Funktionsuntersuchungen	
schnelle Fehlerfortpflanzung	Netzwerk	Beleuchtungsmodelle		Integration von Umgebungsparametern	
Technik					
Anwendung					

Literatur VR-Systemplanung (Tabelle 2)	Literatur VR-Systemplanung (Hale und Stanney 2015, S. 364)	Literatur VR-Systementwicklung (Abbildung 15)	Literatur VR-Systementwicklung (Dörner et al. 2013, S. 65)	Literatur VR-Systementwicklung (Rademacher 2014, S. 37), (Dörner et al. 2013, S. 195), (Mahboob et al. 2019a), (Mahboob et al. 2019b)	BenutzerInnensicht (Tabelle 15)	BenutzerInnensicht (Tabelle 23)
Fehlende Patterns		VR-Software	Partikelsysteme		Beobachten von Funktions- und Prozessverhalten spezifischer Produktmodelle, Umgebungsmodelle und Menschmodelle	
Interaktivität						
Wiederverwendbarkeit						
Kurze Einarbeitungszeit					Einfacher Einstieg	
Intuitive Bedienung						Intuitive Bedienung
Aufgabenorientierte Funktionalitäten						Praxistaugliche Priorisierung
Akzeptanz						
Usability-Methoden						
Anwendung						
Usability						
Evaluation						

Literatur VR-Systemplanung (Tabelle 2)	Literatur VR-Systemplanung (Hale und Stanney 2015, S. 364)	Literatur VR-System- entwicklung (Abbildung 15)	Literatur VR-System- entwicklung (Dörner et al. 2013, S. 65)	Literatur VR- Systementwicklung (Rademacher 2014, S. 37), (Dörner et al. 2013, S. 195), (Mahboob et al. 2019a), (Mahboob et al. 2019b)	BenutzerInnenansicht (Tabelle 15)	BenutzerInnenansicht (Tabelle 23)
Know-How-Abfluss						Priorisierung von VR- Spezifikationen
Gesundheitliche Risiken						Aufwandseinschätzung
Terminologie						Kosteneinschätzung
Erfahrungsmangel						Vollständigkeit
Fehlbeurteilung						Minimalistische Zieldarstellung
Projektdauer						Zeitlos (VR- Spezifikationsbezogen)
Umfeld						

Tabelle 25 stellt nochmals die Anforderungen an die VR-Spezifikationen des VR-Informationssystems an sich dar. Diese Anforderungen dienen der inhaltlichen Ausgestaltung der Spezifikationen und wurden spezifischen Kontexten zugeordnet, mit Hilfe derer sie im VR-Informationssystem strukturiert werden können. Gleichzeitig wird hervorgehoben, welche der Anforderungen testbar sind und somit in Kapitel 5 Bestandteil der empirischen Abschlussevaluation sein werden. Eine weitere Erarbeitung von Spezifikationselementen erfolgt in Kapitel 4.2.

Tabelle 25: Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems

Bereich	Anforderung	Testbar
Informationszugang	<i>Technik</i>	
	Responsive Darstellung	X
	Berücksichtigung von Smartphone-VR	X
	<i>Content</i>	
	Hierarchische Struktur des Contents	X
	Separation von Produktmodell, Umgebungsmodell und Digitales Menschmodell	X
	Separation von unterschiedlichen Nutzungskontext	X
	Separation von unterschiedlichen VR-Technologien	X
	Separation von verschiedenen VR-Interaktionselementen	X
	Vollständigkeit bzw. Erweiterbarkeit der Spezifikationselemente	X
	Generische Spezifikationselemente	X
Benutzerführung	Zusatzinformationen	X
	Fortschrittsanzeige	X
	Flexible Navigationsmöglichkeiten	X
	Zuweisen von Prioritäten an die Spezifikationselemente	X
Layout	Schlichtes Design	X
Ergebnispräsentation	Management des Zugriffs auf die Ergebnisse	X
	Einschätzung des Entwicklungsaufwands	X
	Einschätzung der VR-Technologiekosten	-
	Integration in den VR-Entwicklungsprozess	X

3.8 Fazit

In Kapitel 3 wurde der gesamte Nutzungskontext des VR-Informationssystems analysiert. Dazu zählen sowohl die Merkmale der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen als auch deren Anforderungen an das VR-Informationssystem. Gleichzeitig wurde besonderer Fokus auf die Spezifikationselemente gelegt, die für eine Definition von VR-Systemen relevant sind und die Basis für ein vollständiges VR-Informationssystem bilden. Die beiden Rollen VR-KundIn (= VR-BenutzerIn oder ≠ VR-BenutzerIn) und VR-EntwicklerIn (Intern oder Extern) wurden zunächst klassifiziert und mit den Ergebnissen einer Vorstudie über drei Personas je Rolle abgebildet, um frühzeitig ein Verständnis für die Bedürfnisse der späteren BenutzerInnen zu erhalten. Zur Erhebung der Anforderungen an ein VR-Informationssystem wurden zwei Untersuchungen durchgeführt. Die erste Untersuchung bestand aus einer komparativen Analyse von vier bestehenden Informationssystemen, die mit zehn Personen auf ihre Stärken und Schwächen hin untersucht wurden. Die daraus folgenden allgemeingültigen Schwerpunkte Responsive Design, Inhaltsstrukturierung, Hilfestellungen, Priorisierung und Aufwandsvisualisierung wurden mit einer zweiten empirischen Untersuchung spezifiziert, die auch die Grundlage für die Entwicklung von Personas gebildet hat. Diese Untersuchung mit 50 Experten konnte zunächst einen hohen Bedarf an einem VR-Informationssystem belegen und die Relevanz dieser Arbeit bestätigen. Bezüglich der Anforderungen von VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen konnte als Ergebnis festgehalten werden, dass für beide Rollen die non-funktionalen Anforderungen „Vollständigkeit der Spezifikationselemente“ und „Intuitive Bedienung des VR-Informationssystems“ von Bedeutung sind. VR-EntwicklerInnen postulieren eine minimalistische Zieldarstellung des VR-Informationssystems sowie eine langfristige Gültigkeit in Bezug auf Content und Struktur. Eine gemeinsame funktionale Anforderung ist die Priorisierung von VR-Spezifikationen. Während für VR-KundInnen ein responsives Design, eine praxistaugliche Priorisierung und direkte Begriffserläuterungen im Vordergrund stehen, fordern VR-EntwicklerInnen eine Aufwands- und Kosteneinschätzung. Weiterhin wurden mittels analytischer Methode Anforderungen aus VR-Entwicklungsmodellen und VR-Technologien untersucht. Im Kern können hinsichtlich des VR-Informationssystems folgende Schwerpunkte zusammengefasst werden, die in die nachfolgenden Kapitel und die Konzeption des VR-Informationssystems einfließen werden:

- Produkte können nicht isoliert betrachtet werden, sondern erfordern ihre Einbettung in den Gesamtkontext erweitert um Akteur und Umgebung.
- Eine separate Betrachtung von Produkt, Akteur und Umgebung und Abbildung in der Struktur des VR-Informationssystems liefert sowohl einen übersichtlichkeitsfördernden Mehrwert als auch einen entwicklerseitigen Hinweis auf eine geeignete VR-Szenen-Entwicklung.
- Das VR-Informationssystem sollte nicht nur VR-Software allgemein abfragen, sondern explizit den Einsatz von Tools/Methoden zur Physikberechnung oder Verhaltensbeschreibung berücksichtigen.
- Als in Frage kommende VR-Darstellungstechnologien im Hinblick auf Mobilität und Technikbedarf müssen auch Smartphones aufgenommen werden.

Abschließend erfolgte aus den Ergebnissen von Kapitel 2 und Kapitel 3 einerseits eine Zusammenfassung der untersuchten Anforderungen für die Strukturierung des VR-Informationssystems und andererseits eine Gegenüberstellung von Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems. Diese wurde strukturiert nach Informationszugang, Benutzerführung, Layout, Ergebnispräsentation und bildet ein testbares Gerüst für die Abschlussevaluation des VR-Informationssystems in Kapitel 5.

Mit den theoretischen Grundlagen in Kapitel 2 und den empirischen sowie analytischen Untersuchungen in Kapitel 3 wurden die Grundlagen geschaffen, um im nachfolgenden Kapitel 4 ein Konzept für ein effektives, effizientes und zufriedenstellendes VR-Informationssystem zu entwickeln und prototypisch umzusetzen.

4 Realisierung des VR-Informationssystems

4.1 Formale Beschreibung der Anforderungen an das VR-Informationssystem

Die in den Kapiteln 2 und 3 erlangten Kenntnisse bezüglich der Analyse und Klassifizierung von Anforderungen, der Analyse der Anforderungen von VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen, des Aufbaus von VR-Systemen sowie der spezifischen Anforderungen der ermittelten Zielgruppen sind die Basis für ein nutzerorientiertes Konzept des VR-Informationssystems. Daraus ableitend wird in diesem Kapitel zunächst die praxistaugliche Klassifizierung der VR-Spezifikationen durchgeführt. Mit Hilfe der Klassifizierung wird ein möglichst vollständiges Set an VR-Spezifikationen erstellt. Eine detaillierte inhaltliche Beschreibung von VR-Spezifikationen findet anhand ausgewählter Beispiele statt. Für die Integration der VR-Spezifikationen erfolgt eine Strukturierung des VR-Informationssystems im Hinblick auf Frontend für VR-KundInnen und Backend für VR-EntwicklerInnen.

In Kapitel 2.4.2 wurden Attribute beleuchtet, mit deren Hilfe jeder Anforderung spezifische Inhalte strukturiert zugeordnet werden. Unter Zuhilfenahme der Ergebnisse aus den Benutzerumfragen in Kapitel 3 können in diesem Kapitel die Attribute abgegrenzt werden, die für das VR-Informationssystem im definierten Anwendungskontext über eine hohe Praxistauglichkeit verfügen. Die in Tabelle 26 dargestellten Attribute bilden die Grundstruktur für Klassifizierung der VR-Spezifikationen bzw. der Datenbank des VR-Informationssystems. Die Attribute *Wert* und *Teilwert* wurden ergänzend hinzugefügt, um die Komplexität der Spezifikationen übersichtlicher strukturieren zu können. Das Attribut *Typ* wurde im Hinblick auf geeignete Interaktionsmöglichkeiten ergänzt. Dabei wird zwischen Attributen unterschieden, die für VR-EntwicklerInnen relevant sind und Attributen, die auch frontendseitig, also für VR-KundInnen, relevant sind. Das Attribut *Erfahrung* wird vor Kundenauslieferung durch die VR-EntwicklerInnen festgelegt und ist demnach entwicklerInnenspezifisch. Deswegen ist das Attribut nicht Bestandteil der Spezifikationstabellen.

Tabelle 26: Attribute für die VR-Spezifikationen und Relevanz für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen

		VR-KundInnen	VR-EntwicklerInnen
Attribut	Beschreibung		
Anforderungsnummer	Zur eindeutigen Zuordnung besitzt jede Anforderung einen eigenen Identifikator.		x
Komponente	Für eine gebrauchstaugliche Benutzerführung muss das VR-Informationssystem in übergeordnete Strukturen eingeteilt werden. Die Komponenten sollten ihre zugeordneten Inhalte in einer verständlichen und sinnvollen Weise gliedern.	x	x
Kategorie	Kategorien bilden eine Unterteilung der übergeordnet gegliederten Komponenten. Auf dieser Ebene lassen sich die Kategorien in grobe Themenbereiche gliedern.	x	x
Wert	Der Wert bildet die eine granulare Inhaltsstufe ab und steht in direktem Zusammenhang zur Kategorie.	x	x
Teilwert	Der Teilwert bildet die unterste Inhaltsstufe ab.	x	x
Typ	Mit dem Attribut <i>Typ</i> wird die Art der Antwortmöglichkeit definiert. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Checkbox (für Mehrauswahlen), einen Radiobutton (für eine einzelne Auswahl) oder um ein Textfeld handeln.		x
Beschreibung	Zu jeder Kategorie, jedem Wert und jedem Teilwert ist eine Beschreibung manuell abrufbar, um die in Kapitel 1.2 definierten Ziele zu bedienen. Es wird sowohl das allgemeine Wissen über VR-Funktionalitäten, -Potenziale und deren Zusammenhänge gesteigert als auch die Terminologie zwischen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen angenähert.	x	x
Priorität	Basierend auf Literaturergebnissen aus Kapitel 2.4.2 sowie den Ergebnissen der Untersuchungen zum Nutzungskontext des VR-Informationssystems (Tabelle 9-Tabelle 12, Tabelle 23) erfolgt die Möglichkeit der Priorisierung von Anforderungen durch VR-KundInnen. Abweichend von den beschriebenen Ergebnissen erfolgt eine deutschsprachig geläufige Notation der Ergebnisse in Form von <i>Irrelevant</i> , <i>Kann</i> , <i>Soll</i> und <i>Muss</i> . Im Hinblick auf die Notwendigkeit einer Beratung wird die Prioritäteneinteilung ergänzt um <i>Beratung</i> . Durch diese Information können sich VR-EntwicklerInnen bereits zum Erstgespräch auch auf spezifische Fragestellungen vorbereiten. Das Attribut <i>Priorität</i> findet durch den Typ Slider	x	x

	Anwendung. Sobald der Start-Status irrelevant verändert wird, wird die Anforderung berücksichtigt und automatisch mit einer Priorität versehen.		
Erfahrung	Im Rahmen der Experteninterviews in Kapitel 3.2.2 ergab sich als entwicklungsseitige Anforderung an das VR-Informationssystem die Berücksichtigung der Erfahrung. Aus diesem Grund fließt die Erfahrung als Attribut ein und muss vor der Auslieferung des VR-Informationssystems an VR-KundInnen für jede einzelne Anforderung von den VR-EntwicklerInnen definiert werden. Als Zustände für die Erfahrung werden <i>keine</i> , <i>wenig</i> , <i>mittel</i> und <i>hoch</i> gesetzt. Damit wird nach Auswertung des VR-Informationssystems eine automatisierte Bewertung für VR-EntwicklerInnen ermöglicht, wie aufwendig eine Umsetzung der gewünschten Funktionalitäten in Bezug auf die eigene Erfahrung damit erscheint.		x
Querbezug	Mit dem Attribut des Querbezugs wird eine Verknüpfung zu Ergänzungsfragen ermöglicht. Diese werden nur gestellt, sofern die entsprechenden Anforderungen gesetzt sind		x
Referenzen	Um VR-EntwicklerInnen bei der Umsetzung der Anforderungen zu unterstützen, soll das VR-Informationssystem Bezüge zu bestehenden Normen, Richtlinien, Guidelines, Anleitungen oder Empfehlungen herstellen.		x
Technologie	Durch den Einbezug dieses Attributs und der Zuweisung von VR-Darstellungstechnologien, die für die jeweilige Anforderung praktikabel sind, kann bei der Auswertung für die VR-EntwicklerInnen eine Empfehlung für entsprechende VR-Darstellungstechnologien in Abhängigkeit von den gewählten Anforderungen ausgegeben werden. Diese Empfehlung kann somit im Vorfeld bestimmte Technologien aufgrund gesetzter Anforderungen ausschließen oder empfehlen. Im Gegensatz zur detaillierten Unterteilung von VR-Darstellungstechnologien in Kapitel 2.2.2 erfolgt hier eine praxisübliche Unterteilung von prävalenten VR-Darstellungstechnologien: <ul style="list-style-type: none"> • CAVE • Powerwall • Monitor • HMD • Smartphone 		x

Zum besseren Verständnis werden die definierten Attribute in Tabelle 27 in Form einer beispielhaften VR-Spezifikation mit der Spezifikations-Nummer 2-3-3 (Spz.-Nr.) präsentiert.

Tabelle 27: Beispielhafte Darstellung der Anforderungsinhalte

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
2-3-3	Nutzung	Digitales Menschmodell	Interaktion
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider	Interaktion mit gefährdenden Objekten in der Umgebung	alle	Spz.-Nr. 6-1-1
Referenzen			
-			
Beschreibung			
Kann das digitale Menschmodell mit Objekten interagieren oder können Objekte auf das digitale Menschmodell Einfluss haben, die für einen realen Menschen eine Gefahr darstellen würden? Dies können beispielsweise ätzende, giftige, explosive, spitze oder scharfkantige Gegenstände sein.			

Diese Klassifizierung dient der Definition sämtlicher VR-Spezifikationen, die im VR-Informationssystem zur Verfügung gestellt werden können. Für die frontendseitige Darstellung der Spezifikationen bzw. deren relevanter Inhalte ist eine geeignete Struktur zu definieren.

4.2 Aufbau des VR-Informationssystems

Um die Spezifikationselemente in einen Informationsablauf zu integrieren, ist eine Gesamtstrukturierung des VR-Informationssystems notwendig. In Abbildung 52 wird hierzu der Einbezug der beiden Zielgruppen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn strukturiert. Die Verwendung des VR-Informationssystems wird dabei unterschieden in *Backend* und *Frontend*. Unter Backend ist der administrative Zugang für VR-EntwicklerInnen gemeint, der eine Konfiguration des VR-Informationssystems, eine Auswertung aller bisherigen VR-KundInnen-Spezifikationen und eine interne Verwendung aller zur Verfügung

stehenden Informationen des VR-Informationssystems ermöglicht. Unter Frontend ist die nur für VR-KundInnen erreichbare Darstellungsansicht gemeint.

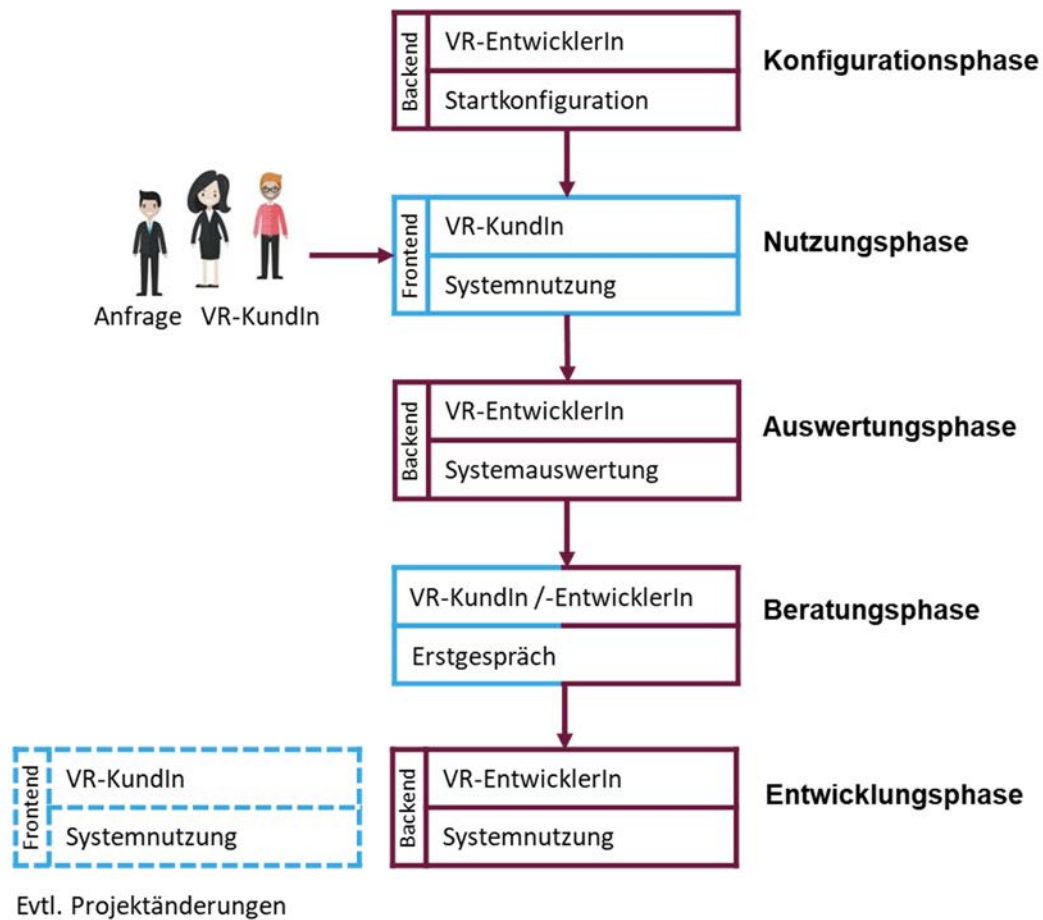


Abbildung 52: Darstellung der zielgruppenorientierten Interaktion mit dem VR-Informationssystem

Bevor das VR-Informationssystem im jeweiligen VR-EntwicklerInnen-Kontext VR-KundInnen bereitgestellt werden kann, ist eine Startkonfiguration des Systems über das Backend notwendig. Dies beinhaltet sowohl die Anpassung in Bezug auf Corporate Design (Logo, Unternehmensbezeichnung) und Kommunikation (Ansprache, Kontaktinformationen), als auch das Festlegen von VR-entwicklerInnenspezifischen Aufwandsabschätzungen. Die Stati des Attributes Erfahrung wurden in Kapitel 4.1 bereits definiert. Für eine automatisierte Technologieempfehlung müssen gegebenenfalls Anpassungen für im Laufe der Zeit neu auf dem Markt eingeführte VR-Technologien durchgeführt werden. Das VR-Informationssystem ist nun bereit zur VR-KundInneninteraktion. Dabei erstellt das VR-Informationssystem für alle VR-KundInnen eine individuelle Datenbank-Instanz, sodass die Spezifikation eines VR-Systems mit Hilfe des VR-Informationssystems für alle potenziellen VR-KundInnen abgelegt wird. Diese

Informationen stehen dann den VR-EntwicklerInnen zur Verfügung und können in Vorbereitung auf das nachfolgende Erstgespräch ausgewertet und aufbereitet werden. Im Verlauf der gesamten Realisierung kann permanent auf das VR-Informationssystem zurückgegriffen werden, um ergänzende Detailinformationen für das interne Requirements Engineering zu erlangen bzw. Stakeholdern im Entwicklungsprozess Hilfestellungen zu geben.

Um diese Information effektiv und effizient eruieren und auch auswerten zu können, ist eine gebrauchsfähige Struktur notwendig. Die Grundlagen dafür wurden bereits in den folgenden Kapiteln geschaffen:

- Kapitel 2 - Grundlagen zur Produktentwicklung, VR und Anforderungsermittlung,
- Kapitel 3.2, 3.3, 3.4 - Nutzungsanforderungen,
- Kapitel 3.5, 3.6 – Modelltrennung, Smartphone-VR.

4.2.1 Frontend

Darauf aufbauend resultiert die in Abbildung 53 dargestellte Struktur für das Frontend des VR-Informationssystems, das als responsive Webanwendung umgesetzt werden soll. Es besteht dabei aus drei wesentlichen Teilen:

1. Einem für Webanwendungen üblichen Hauptmenü mit relevanten Zusatzinformationen,
 2. einem allgemeinen Teil mit aus Kapitel 3.2 extrahierten Basisfragen, die fokussiert den Kern des VR-Projektes abfragen sollen und
 3. den strukturierten Informationskomponenten, die alle grundsätzlich für VR-Projekte möglichen Funktionalitäten und Rahmenbedingungen enthalten.
-

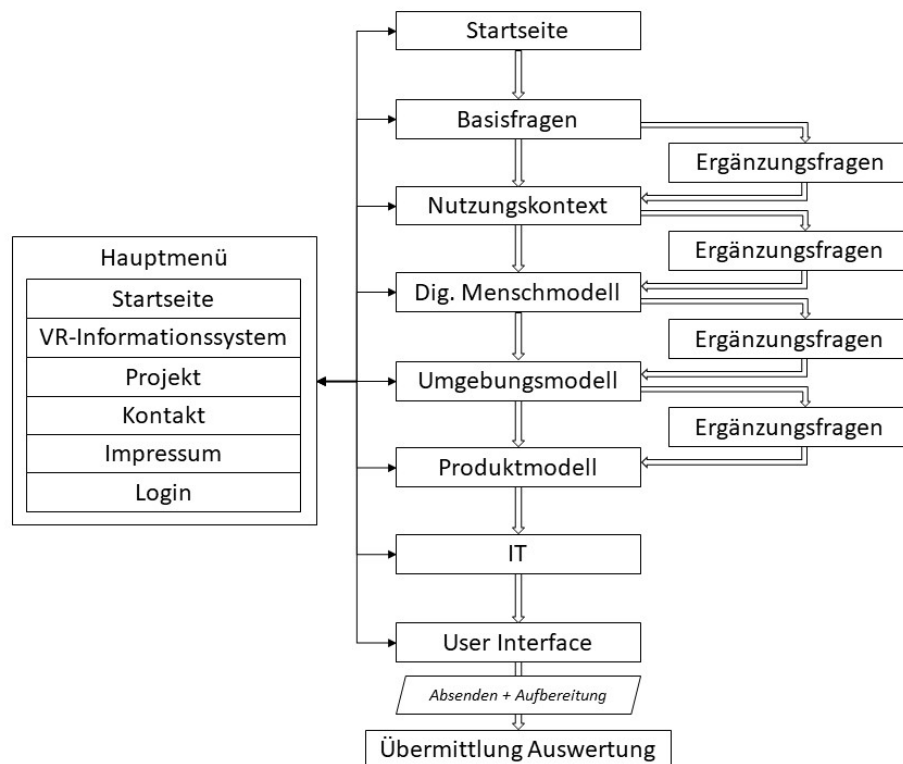


Abbildung 53: Strukturdiagramm des VR-Informationssystems (Frontend)

Die Startseite informiert über den Einsatz des VR-Informationssystems, bietet über das Hauptmenü die Möglichkeit zum Aufrufen der entsprechenden Zusatzinformationen und fordert mit einem Call-to-Action²³ zur Benutzung des eigentlichen VR-Informationssystems auf.

Das Hauptmenü ermöglicht den Wechsel zu folgenden Unterseiten:

- *Startseite*: Es sollte grundsätzlich die Möglichkeit gegeben sein, jederzeit zurück zur Startseite und damit zum Call-to-Action zurückzukehren.
- *VR-Informationssystem*: Hier werden der Hintergrund, der Mehrwert, die Verwendungsmöglichkeiten und der Aufbau des VR-Informationssystems im Detail beschrieben.
- *Projekt*: Das VR-Informationssystem ist Teil eines DFG-geförderten Forschungsprojektes²⁴, aus dem die Fragestellung für die vorliegende Arbeit

²³ Als Call-to-Action wird hier ein Button verstanden, der eine direkte Aufforderung zum Klicken und somit zum Starten des eigentlichen VR-Informationssystems enthält.

²⁴ Forschungsprojekt „Benutzer- und aufgabenorientiertes virtuelles Modell für die Produktentwicklung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Förderkennzeichen KR 3297/3-1 bzw. KR 3297/3-3 und WE 1989/6-1 bzw. WE 1989/6-3

abgeleitet worden ist und wird auf einer eigenen Unterseite beschrieben. An dieser Stelle ist auch die Möglichkeit der Kontaktaufnahme zu Projektmitarbeitern gegeben, um weiterführende Fragen zum wissenschaftlichen Kontext des VR-Informationssystems stellen zu können.

- *Kontakt*: An dieser Stelle ist eine allgemeine Kontaktaufnahme mit den entsprechenden VR-EntwicklerInnen möglich. Diese ist unabhängig von einem direkten Ausführen des VR-Informationssystems.
- *Impressum*: §55 Abs. 1 des Rundfunkstaatsvertrags (die medienanstalten 2019) weist auf eine Impressumspflicht für Anbieter von Telemedien außerhalb persönlicher oder familiärer Zwecken hin. Demnach müssen Namen und Anschrift sowie bei juristischen Personen auch Name und Anschrift des Vertretungsberechtigten leicht erkennbar, unmittelbar erreichbar und ständig verfügbar sein.
- *Login*: Die in Abbildung 52 dargestellte Startkonfiguration wird durch einen Administrationszugang, das Backend, für die jeweiligen VR-EntwicklerInnen realisiert. Der Zugang erfolgt über eine Login-/Logout-Möglichkeit über das Hauptmenü.

Mit dem Call-to-Action wird von der Startseite aus die Funktionalität des VR-Informationssystems gestartet. Es werden den VR-KundInnen in geeigneter Reihenfolge alle für ein VR-System mögliche Eigenschaften präsentiert, die jeweils ausgewählt bzw. priorisiert werden können, um das gewünschte VR-System zu spezifizieren. Für eine effektive und effiziente Darstellung der Eigenschaften ist eine geeignete Struktur notwendig. Wie in Abbildung 53 bereits gezeigt, werden die VR-KundInnen zu Beginn mit Basisfragen konfrontiert. Ziel dieser ersten Fragen ist es, ohne Vorgabe die Projektidee sowie deren Schwerpunkte in eigenen Worten zu definieren. Erst danach erfolgt die Abfrage der gewünschten Eigenschaften in einer Struktur, die auf den Ergebnissen aus Kapitel 3 aufbaut. Demnach lassen sich die Eigenschaften der VR-Systemen einordnen in die drei Modelle „*Digitales Menschmodell*“, „*Umgebungsmodell*“ und „*Produktmodell*“. Ausgehend von Kapitel 2.3 gibt es eine Vielzahl an technologischen VR-Varianten, systemrelevante Rahmenbedingungen etc., die allgemein unter „*IT*“ zusammengefasst

werden können. Der Einbezug verschiedener User Interface-Möglichkeiten kann dabei als eigenständige Klassifikation „*User Interface*“ beschrieben werden. Ausgehend von den Erhebungen in Kapitel 3 fehlen damit noch die Fragen, die die VR-KundInnen bzw. den Benutzungskontext beinhalten. Daraus resultiert eine Struktur mit den folgenden Komponenten für das funktionale VR-Informationssystem:

- Basisfragen
- Nutzungskontext
- Digitales Menschmodell
- Umgebungsmodell
- Produktmodell
- IT
- User Interface

Tabelle 28 definiert die kategorisierten Inhalte, die je Komponente im VR-Informationssystem enthalten sind und in den nachfolgenden Kapiteln konkretisiert und im Detail beschrieben werden. Der Beschreibungstext in Tabelle 28 wird im Prototypen zu jedem Element jederzeit als Hilfestellung abrufbar sein. Die Kategorienbildung in Tabelle 28 sowie deren inhaltliche Bestimmung in Kapitel 4.3 ist im Rahmen einer Fokusgruppe mit vier Personen und einem Fokusgruppenleiter entstanden. Die Fokusgruppe bestand aus zwei Experten aus dem Maschinenbaubereich, die bereits Erfahrungen mit VR-Systemen gemacht haben sowie zwei Experten aus dem VR-Dienstleistungsbereich. Innerhalb von drei Stunden wurden die bisherigen Anforderungen gemeinsam bewertet und in Hinblick auf Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit erweitert. Abbildung 54 zeigt das Ergebnis der Fokusgruppenarbeit.



Abbildung 54: Versuchsaufbau und Ergebnis der Fokusgruppe

Tabelle 28: Spezifikationselemente des VR-Informationssystems

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
Basisfragen		Die Fragen dienen einerseits der gedanklichen Fokussierung auf das potenzielle Projekt und gleichzeitig der ersten VR-EntwicklerInnen-seitigen Entscheidung bezüglich der zeitlichen, finanziellen oder inhaltlichen Machbarkeit.
	Projektvision	Eine Zusammenfassung der Projektvision bietet den Einstieg in die Konfiguration eines komplexen VR-Informationssystems und beschreibt den VR-EntwicklerInnen das gewünschte VR-System in komprimierter Form.
	Kernaufgaben	Ergänzend zur Projektvision wird aus einer präzisen, aber komprimierten Beschreibung der notwendigsten Aufgaben, die mit Hilfe des VR-Systems ermöglicht werden sollen, ein bewertbarer Ersteindruck.
	Budget	Die Angabe eines zur Verfügung stehenden Budget ermöglicht VR-EntwicklerInnen im Kontext der skizzierten Projektvision und der Kernaufgaben eine Ersteinschätzung bezüglich der realistischen Umsetzungsmöglichkeiten.

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
	Alleinstellungsmerkmale	Im Sinne einer wirtschaftlichen Verwertbarkeit oder benutzer- und aufgabenorientierten Gestaltung eines VR-Systems kann unter Angabe von Alleinstellungsmerkmalen die Qualität des VR-Systems bereits an dieser Stelle durch VR-EntwicklerInnen erkannt werden.
	Zeitraum	Die Angabe eines Wunschzeitraums der Realisierung ermöglicht VR-EntwicklerInnen eine Ersteinschätzung der Machbarkeit bezüglich der zur Verfügung stehenden Kapazitäten.

Nutzungs-kontext	Die Fragen zum Nutzungskontext haben zum Ziel, die Einbettung des VR-Systems in Bezug auf beispielsweise örtliche Rahmenbedingungen oder spezifische Aufgabenbereiche zu hinterfragen.	
	Lebensphasen	Für welche Produktlebensphasen ist das angestrebte VR-System angedacht? Für bestimmte Lebensphasen kann es bestimmte Anforderungen oder Rahmenbedingungen geben, die bereits im Vorfeld einkalkuliert werden können. Es werden Hinweise gegeben, welche Informationen für VR-EntwicklerInnen ggfs. relevant sind, um die Aufgaben innerhalb der Anforderungen besser verstehen zu können. Die zur Auswahl stehenden Lebensphasen und entsprechenden Prozesse beziehen sich auf einschlägige Literatur und wurden von branchenübergreifenden Unternehmen als für VR relevant bewertet.
	Verwendung des Systems	Erheblichen Einfluss auf die Komplexität des Wunschsystems haben beispielsweise die eigenständige Interaktion der VR-BenutzerInnen mit Objekten, der Einbezug der VR-BenutzerInnen lediglich als stille Beobachter oder die kooperative Teilnahme mehrerer BenutzerInnen.
	Informationsdarstellung	Die Informationsdarstellung ist grundsätzlich von elementarer Bedeutung und kann sich auf die Darstellung von Objekten, Zuständen

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
		oder Dokumenten beziehen. Auch die Verwendung unterschiedlicher Perspektivarten hat Einfluss auf die Informationsdarstellung.
	Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	Ergänzend zur Identifikation der Lebensphasen wird nochmals konkret nach dem Aufgabenbereich gefragt. Aus den frühzeitig identifizierten Aufgabenbereichen (z. B. Design Review, Fertigungsuntersuchung oder „Human Factor“-Untersuchung) können erste Rückschlüsse auf eventuell notwendige Tools, Schnittstellen oder Informationen gezogen werden.
	Umgebungsparameter des VR-Systems	Einen sehr großen Einfluss auf die erste Einschätzung der Komplexität und des Einsatzbereiches des VR-Systems haben die Umgebungsparameter. Dies bedeutet beispielsweise der Einsatz im Innen- oder Außenbereich, ein mögliches großes Menschengemäuer, abseits der Normalität vorherrschende Temperaturen oder Luftfeuchtigkeit.

Digitales Menschmodell	Sollen die VR-BenutzerInnen einen entsprechenden Akteur in Form eines digitalen Menschmodells beobachten bzw. steuern können? Welche Anforderungen bestehen an das Menschmodell? Je nach Zielstellung der VR-BenutzerInnen können durch die reine Beobachtung des aufgabenausführenden digitalen Menschmodells zum Beispiel besondere Schwachstellen am Produkt erkannt oder Interaktionen zu Trainingszwecken visualisiert werden.	
	Verwendung	Soll ein digitales Menschmodell eingebunden werden? Soll eine kritische Bewertung des potenziellen Einbezugs stattfinden?
	Basiskonfiguration	Für den Einsatz eines digitalen Menschmodells werden vorab die notwendigen Kernvariablen abgefragt wie Geschlecht, Alter, Perzentile oder Proportionen, aber auch die Art des benötigten Modells. Ist ein vereinfachtes anthropometrisches Körpermodell ausreichend oder ist beispielsweise ein biomechanisches

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
		Modell notwendig? Diese Vorinformationen haben nicht nur Einfluss auf das zu verwendende Menschmodell sondern auf die einzuplanende Rechenkapazität, Datentransfer usw.
	Interaktion	Findet eine Interaktion des digitalen Menschmodells mit anderen Szenenobjekten statt? Werden Werkzeuge verwendet? Findet die Interaktion an einer festen Position statt oder gibt es eine Bewegung im Raum und werden explizite Tätigkeiten verrichtet?
	Wahrnehmung	Soll das digitale Menschmodelle über Sinnessysteme verfügen, um auf Reize aus der Umwelt zu reagieren? Soll eine spezifische Analyse stattfinden, um beispielsweise Verrichtungszeit, Kraftaufwand oder Körperhaltungen auszuwerten?
	Bewegung	Welche Art und Form der Bewegungen soll das digitale Menschmodell ausführen? Während einfache Standard-Bewegungen (Laufen, Armausstrecken, usw.) in der Regel zum Datenbestand eines digitalen Menschmodells gehören, muss bei komplexen oder individuellen Bewegungen auf externe Datenquellen und eine aufwendige Verknüpfung für flüssige Bewegungsmuster stattfinden.

Umgebungsmodell	In welchem Verhältnis steht das Produkt zu seiner Umgebung und (sofern vorhanden) einem Mensch-Modell? Wie wirkt das Produkt auf die anderen Teilmodelle ein bzw. wie und womit wird mit dem Produkt interagiert?	
	Verwendung	Soll ein Umgebungsmodell mit eingebunden werden? Soll eine kritische Bewertung des potenziellen Einbezugs stattfinden?
	Umgebungselemente	Das Beleuchtungsmodell, physikalische, akustische, biologische oder gar chemische Verhalten können den Aufwand stark beeinflussen und sollten im Vorfeld festgehalten werden.

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
	Interaktionsquelle	Über welche sensorischen Kanäle werden Informationen aus der Interaktion mit der Umgebung wahrgenommen? Gibt es taktilen Feedback, eine Temperaturwahrnehmung oder gar Schmerzempfindung?
	Informationsquelle	Werden Informationen zur Umgebung bzw. Umgebungsobjekten dargestellt bzw. ein Status visualisiert?
	Raumpositionierung	Sollen feste Standpunkte im Raum definiert werden und gibt es fest definierte Blickpositionen?

Produktmodell	Steht ein bestimmtes Produkt im Fokus des VR-Systems? Da ein Produkt nicht ohne eine Wechselwirkung zwischen einer Umgebung bzw. einem Mensch-Modell besteht, muss es ebenso detailliert beschrieben werden.	
	Verwendung	Sollen ein oder mehr Produktmodelle mit eingebunden werden? Soll eine kritische Bewertung des potenziellen Einbezugs stattfinden?
	Produktelemente	Sollen die Produkte über ein bestimmtes Verhalten verfügen bzw. Funktionalitäten beinhalten? Kann mit den Produkten interagiert werden und auf welche Art und Weise?
	Interaktionselemente	Über welche sensorischen Kanäle werden Informationen aus der Interaktion mit den Produkten wahrgenommen? Gibt es taktilen Feedback, eine Temperaturwahrnehmung oder gar Schmerzempfindung?
	Informationsquelle	Mittels welcher Signale werden Informationen vom Produkt kommuniziert? Können Produkte beispielsweise akustische Signale abgeben?
	Raumpositionierung	Sind für die Produkte fest vorgeschriebene Positionen bzw. Bewegungspfade vorgesehen?
	Bewegung	Verfügen die Produkte über eine eigenständige Bewegung?

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
IT		Die Fragen zur IT haben zum Ziel, die Software-, Hardware- und Organisationsressourcen besser einschätzen zu können.
	Vorhandene Technologie	Besteht bereits eine VR-taugliche Technologie, die verwendet werden kann und soll? Dadurch können Zusatzkosten minimiert werden, allerdings kann unter Umständen die Produktvision nicht optimal bedient werden.
	WLAN	Kann bereits abgeschätzt werden, ob kundenseitig eine temporäre oder dauerhafte WLAN-Verbindung notwendig sein muss?
	VR-Software	Bestehen Wünsche an eine spezifische VR-Software? Möglicherweise durch eine bereits existierende, anderweitige Verwendung, sodass Synergien geschaffen bzw. internes Know-How optimal genutzt werden kann.
	Verhaltensmodellierung	Ist eine reine Simulation des Verhaltens von Produkt-Umgebung-Menschmodell ausreichend oder ist es erforderlich, eine physikalisch möglichst realitätsgetreue Verhaltensmodellierung in Echtzeit zu realisieren?
	Künstliche Intelligenz	Soll eine künstliche Intelligenz für das gesamte VR-System eingebunden werden? Dies kann beispielsweise bei lernfähigen Systemen der Fall sein.
	Sicherheitsbestimmungen	Müssen die VR-EntwicklerInnen für den Unternehmenseinsatz bestimmte Normen einhalten oder bestimmte Zertifizierungen vorweisen?
	Internes Projektmanagement	Ist es gewünscht, dass das Entwicklungsteam explizit agil oder klassisch arbeitet? Eine Vorgabe ist dabei nur ratsam, wenn eine Eintaktung in die eigenen internen Prozesse erforderlich ist.

Komponente	Kategorie	Beschreibungstext
User Interface		Je nach VR-System und Anwendungskontext kommen unterschiedliche User Interfaces bzw. Steuerungsmethoden infrage. Die Entscheidung kann sowohl maßgeblichen Einfluss auf technologische Rahmenbedingungen als auch auf die inhaltliche Ausgestaltung haben.
	Steuerungsmethode	Je nach Einsatzkontext des VR-Systems können spezifische Methoden für die Interaktion zielführend sein. Die Möglichkeiten reichen dabei von einer üblichen Controller-Steuerung bis hin zu einer gedankenübertragenen Steuerung.
	User Interface Typ	Je nach Einsatzkontext des VR-Systems und Steuerungsmethode können User Interfaces als erzählerische, in die VR-Szene eingebundene Anzeigeelemente eingebunden werden oder als klassische, abgegrenzte Bedienelemente.

Nach Durchlauf des gesamten VR-Informationssystems werden die Daten an die VR-EntwicklerInnen zur Auswertung und Planung des Erstgespräches übermittelt.

4.2.2 Backend

Im Gegensatz zum Frontend besteht das Backend wie in Abbildung 55 dargestellt aus einer Administrationsseite mit den drei jederzeit zugänglichen Bereichen:

1. Grundeinstellungen,
2. Erfahrungs- und Referenzeinstellungen und
3. den über das Frontend erhaltenen Konfigurationen.

Das Hauptmenü ermöglicht den Wechsel zu den in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Unterseiten.

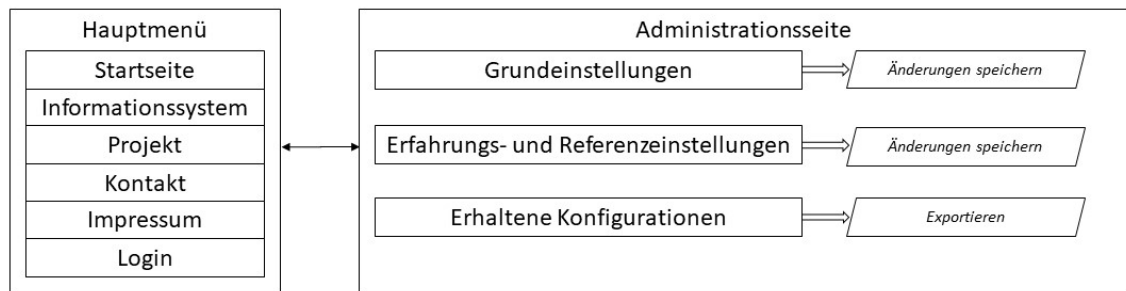


Abbildung 55: Strukturdiagramm des VR-Informationssystems (Backend)

Die *Grundeinstellungen* beinhalten eine Benutzerverwaltung sowie eine entwicklerspezifische Anpassung des Logos und Namens des VR-Informationssystems. Somit können die Weitergabe und unabhängige Verwendung des VR-Informationssystems gewährleistet werden.

Die *Erfahrungs- und Referenzeinstellungen* ermöglichen die in Abbildung 52 dargestellte Startkonfiguration des VR-Informationssystems. Basierend auf den Anforderungen in Tabelle 23 werden alle im VR-Informationssystem enthaltenen VR-Spezifikationen tabellarisch gelistet, um eine Aufwandseinschätzung mit einem Erfahrungswert versehen sowie Referenzquellen angeben zu können.

Unter den *erhaltenen Konfigurationen* werden alle eingegangenen Konfigurationen gelistet. Bezugnehmend auf die Anforderungen in Tabelle 23 werden nicht nur die Basisfragen und Spezifikationen mit Priorisierung dargestellt, sondern auch der geschätzte Aufwand basierend auf den eingetragenen Erfahrungseinstellungen zu den jeweiligen Spezifikationen.

Für die praktische Umsetzung des VR-Informationssystems müssen die eruierten Strukturen nun mit entsprechenden Inhalten versehen werden.

4.3 Content des VR-Informationssystems

Nachdem die Struktur des VR-Informationssystems festgelegt wurde, müssen jegliche Inhalte eruiert und definiert werden. Basierend auf dem in Abbildung 52 gezeigten Ablauf wird zunächst das Frontend definiert, das sich ausschließlich an die Interaktion mit VR-KundInnen richtet. Ergänzend zum Frontend erfolgt die Definition des Backends, das sowohl für die Startkonfiguration des Frontends als auch für die spätere Verwendung der erlangten Informationen dient.

4.3.1 Frontend

Das Frontend ist der kundenseitige Nutzungsbereich des VR-Informationssystems. Während in Abbildung 53 bereits die Struktur des Frontends gezeigt wurde, fehlt es noch an der inhaltlichen Spezifikation.

Die *Startseite* dient der Begrüßung und Orientierung über den Inhalt und die Interaktionsmöglichkeiten des besuchten Systems. Von der Startseite aus kann das VR-Informationssystem gestartet werden, was zu den *Basisfragen* führt.

Die *Basisfragen* dienen der gedanklichen Fokussierung auf das zukünftige Projekt, um die nachfolgenden Detailfragen zielgerichteter beantworten zu können. Gleichzeitig werden mit Hilfe der Basisfragen den VR-EntwicklerInnen allgemeine Kerninformationen zum Projekt geliefert, die einen inhaltlichen und finanziellen Rahmen abstecken sollen und sich unter anderem auf die geforderten Anforderungen in Tabelle 23 stützen. Die Kernessenz der Basisfragen ist an ein Formular zur Anforderungserhebung von Eastgate et al. angelehnt (Eastgate et al. 2015, S. 365). Aufgrund der Informationsdichte sowie der fehlenden Relevanz für die eigentlichen Fragen bzw. Auswahlmöglichkeiten des VR-Informationssystems wird beispielsweise auf Fragen zum Unternehmen, zur Personalstruktur oder Detailinformationen zur anfragenden Person, wie sie in vorher genannter Quelle zum Tragen kommen, verzichtet. Vielmehr geht es um das zur Verfügung stehende Budget oder um die Vision in maximaler Kürze. Um tatsächlich elementare Kerninformationen zu erhalten, wird bei den Antwortmöglichkeiten (analog

zu aktuellen digitalen Medien wie beispielsweise Twitter²⁵) auf sehr kurze Textlängen geachtet. Tabelle 29 stellt die vier Basisfragen dar und verdeutlicht die Wichtigkeit für die VR-EntwicklerInnen.

Tabelle 29: Basisfragen und ihre Auswirkungen

Frage	Dimension	Auswirkung
„Beschreiben Sie bitte kurz Ihre Projektvision.“	150 Zeichen	Präzise Kurzbeschreibung der Vision.
„Beschreiben Sie bitte kurz die Kernaufgaben für die VR-BenutzerInnen.“	150 Zeichen	Präzise Definition der absolut relevantesten umzusetzenden Aufgaben.
„Gibt es ein fixes Budget? Wenn ja, wie hoch ist dieses?“	50 Zeichen	Abschätzung der Realisierbarkeit der durch das VR-Informationssystem definierten Spezifikationen in Abhängigkeit von dem hier definierten finanziellen Rahmen.
„Was sind die wichtigsten Alleinstellungsmerkmale (USPs) des VR-Systems?“	1-3 Einträge mit je 50 Zeichen	Handelt es sich um ein wirtschaftlich verwertbares VR-System, kann hier bereits die Qualität des VR-Systems durch die VR-EntwicklerInnen erkannt und bewertet werden.
„Gibt es einen fixen Startzeitpunkt bzw. Endzeitpunkt? Wenn ja, welchen?“	50 Zeichen	Relevant für die Planbarkeit der notwendigen internen Ressourcen.

Während die Basisfragen als Vorbereitung des Kunden dienen und das Wunschprojekt fokussiert zusammenfassen, dienen die nachfolgenden Komponenten (vgl. Tabelle 28) der Darstellung und Auswahl von Spezifikationen.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Spezifikationen im Detail vorgestellt. Die vollständige Liste der Anforderungen aus dem VR-Informationssystem kann dem Anhang C entnommen werden. Dem Anhang ist weiterhin die Quelle der Spezifikation zugeordnet. Alle Spezifikationen, die nicht der Literatur entstammen, resultieren aus der in Kapitel 4.2.1 erwähnten Fokusgruppe. Aufgrund der interdisziplinären Vielfalt an Spezifikationen und dem damit verbundenen Aufwand präsentiert die vorliegende Arbeit ausschließlich diese Beispielspezifikationen im gezeigten Detail. Die Beispielspezifikationen wurden so gewählt, dass sowohl jede Kategorie abgedeckt ist als

²⁵ Twitter Kurznachrichtendienst, <https://twitter.com> [letzter Zugriff: 20.04.2020]

auch die relevantesten Sachverhalte verdeutlicht sind. Die Inhalte der Spezifikationen sind der Literatur entnommen, entstammen relevanten Webquellen (die im digitalen Bereich oftmals praxistauglicher oder aktueller sind als Printquellen) oder basieren auf Aussagen aus den Untersuchungen in Kapitel 3.3.

Nachdem in Tabelle 28 die Komponenten und Kategorien definiert wurden, können unter Zuhilfenahme der bereits vorgestellten Struktur für die Spezifikationsinhalte in Tabelle 27 diese für Beispielspezifikationen im Detail nachfolgend beschrieben werden. Vorab erfolgt in Tabelle 30 noch eine Übersicht der Beispielspezifikationen. Die in dieser Tabelle dargelegten Quellen beziehen sich auf die Inhalte der Spezifikationsbeschreibung und nicht auf für die VR-EntwicklerInnen relevante Quellen.

Tabelle 30: Übersicht der präsentierten Beispielspezifikationen

Komponente: Nutzungskontext				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
1-1-22	Lebensphasen	Installation	Inbetriebnahme	(DIN EN ISO 12100) (Lindemann 2016) (DIN VDE 0100-600)
1-3-3	Informationsdarstellung	Dokumente		(Olshannikova et al. 2015) (O'Brien et al. 2019)
1-4-5	Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	Human Factor Analyse		(Rademacher 2014) (Zorriassatine et al. 2005) (Lindemann 2016)
Komponente: Digitales Menschmodell				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
2-5-5	Bewegung	Grundbewegungen	Tätigkeiten mit Werkzeug	(Orsolits und Lackner 2020)
Komponente: Umgebungsmodell				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
3-5-1	Navigation	Freie Bewegung im Raum		(LaViola et al. 2017) (Preim und Dachzelt 2015)
Komponente: Produktmodell				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
4-2-1	Produktelement	Interaktion mit Teilobjekten/Bauteilen		(Dörner et al. 2013) (Hale und Stanney 2015)
Komponente: IT				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
5-4-2	Verhaltensmodellierung	SysML		(Mahboob et al. 2019b)
Komponente: User Interface				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
6-1-1	User Interface Typ	Diegetisch		(Seo und Bae 2018) (Cavalcante Raffaele et al. 2017)
Komponente: Dokumente				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
7-1-5	Dateiformat	Videodatei		
Komponente: Objektinteraktion				
Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quellen
8-5-1	Metainformationen	Permanent		

Nachfolgend werden die gezeigten Beispielspezifikationen im Detail beschrieben. Die Beschreibung wird dabei inhaltlich in zwei Teile gegliedert. Beginnend mit einer Kernfrage für Auswahl der VR-Spezifikationen wird den VR-KundInnen eine Hilfestellung in Form einer einzelnen Frage gegeben, ob diese Spezifikation für sie relevant ist. Im

zweiten Teil werden weiterführende Informationen präsentiert, die die Spezifikation sowohl für VR-KundInnen als auch für VR-EntwicklerInnen konkretisieren. Für VR-EntwicklerInnen relevante Quellen zur Umsetzung der Spezifikationen werden unter *Referenzen* dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit im schriftlichen Teil dieser Arbeit werden die Spezifikationstabellen unterteilt nach *Referenzen* (nur kurze und prägnante Nennung der Referenz, z.B. „Fachliteratur: *Titel*“) und *Referenzen-Quelle* (Literaturangabe oder Weblink). Die für die Anforderung möglichen Technologien sind mit Kürzeln benannt, die wie folgt zugeordnet werden:

- (C)AVE
- (P)owerwall
- (M)onitor
- (H)MD
- (S)martphone

Tabelle 31: Spezifikation | Komponente: Nutzungskontext | Kategorie: Lebensphasen

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
1-1-22	Nutzungskontext	Lebensphasen	Installation
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider	Inbetriebnahme	C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Fachliteratur „Handbuch Produktentwicklung“ (<i>Quelle 1</i>) • DIN-Norm „DIN EN ISO 12100:2010“ (<i>Quelle 2</i>) • DIN-Norm „DIN VDE 0100-600“ (<i>Quelle 3</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll das VR-System Anwendungsfälle/Aufgaben aus dem Bereich der Inbetriebnahme widerspiegeln?</p> <p>Weiterführende Informationen: Die Inbetriebnahme bezeichnet die erstmalige bestimmungsgemäße Verwendung einer Maschine, Anlage oder eines Produktes. Per Norm definiert dient das „Inbetriebnehmen“ von Maschinen und Anlagen der Überprüfung von Funktionen und Eigenschaften sowie der Erkennung und Beseitigung von Fehlern und entspricht der Endprüfungsphase einer Maschine oder Anlage.</p> <p>Jede Anlage muss beispielsweise nach DIN VDE 0100-600 „[...] - soweit sinnvoll durchführbar - während der Errichtung und nach Fertigstellung geprüft werden, bevor sie vom Benutzer in Betrieb genommen wird.“ Für die Überprüfung</p>			

elektrischer Anlagen sind aus Sicherheitsgründen feste Reihenfolgen vorgegeben:

- Besichtigen
- Erproben
- Messen

Mit Hilfe von realen Fertigungs-, Konstruktions-, Umgebungs- und Metadaten können Maschinen, Anlagen und Produkte mit Hilfe von VR so realisiert werden, dass alle späteren Prozesse der Realität entsprechen. Mit Hilfe einer VR-Simulation können Maschinen, Anlagen oder Produkte in jedem Detail begeh-, benutz- und prüfbar gemacht werden.

Zu klären sind die genauen Tätigkeiten und Rahmenbedingungen der Inbetriebnahme:

- Prüfung der elektrischen Sicherheit?
- Nachweis der mechanischen Sicherheit?
- Nachweis der Sicherheit unter Belastung?
- Visualisierung und Simulation unter Zuhilfenahme von Betriebsabfolgen, besonderen Vorschriften oder Hilfsmitteln?

Für die Durchführung und Bewertung in VR sind hierzu alle notwendigen Dokumente (insbesondere Betriebsanleitung, Checklisten, etc.) zu berücksichtigen.

Hinweis: Es ist nicht die virtuelle Inbetriebnahme im Sinne der Entwicklung der Software für die Steuerungen innerhalb des Produktentwicklungsprozesses gemeint.

Referenzen-Quellen

- *Quelle 1:* Lindemann, Udo (Hg.) (2016): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser.
- *Quelle 2:* DIN EN ISO 12100:2010, Oktober 2019: Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung
- *Quelle 3:* DIN VDE 0100-600 VDE 0100-600, Juni 2017-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen

Tabelle 32: Spezifikation | Komponente: Nutzungskontext | Kategorie: Informationsdarstellung

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
1-3-3	Nutzungskontext	Informationsdarstellung	Dokumente
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	Spz.-Nr. 7
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaftlicher Beitrag „Visualizing Big Data with augmented and virtual reality: challenges and research agenda“ (<i>Quelle 1</i>) Wissenschaftlicher Beitrag „Wikipedia in Virtual Reality and How Text-based Media can be Explored in Virtual Reality“ (<i>Quelle 2</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Sollen Dokumente in das VR-System integriert und inhaltlich dargestellt werden?</p> <p>Weiterführende Informationen: Ob PDF-Dateien, Bilder, Textintegration aus einer Datenbank oder Videos als Stream: Je präziser eine Angabe über Art und Ort der Dokumente gemacht werden kann, desto präziser kann das VR-System kalkuliert und der Einsatz der Dokumente konzipiert werden. Soll eine richtige Dateistruktur abgebildet werden? Sollen die Dokumente in VR dargestellt werden?</p> <p>In diesem Kontext können Dokumenten-Verwaltungs-Systeme für VR (DMS) oder auch Big Data in VR eine Rolle spielen und die Realisierung eines VR-Systems stark beeinflussen. Alternativen bezüglich der Übertragung von Dokumenten aus anderen Systemen als Overlay Fenster können in die Konzeption mit einbezogen werden.</p> <p>Hinweis: Ist eine Integration von Dokumenten notwendig, erfolgen nachfolgend Detailfragen.</p>			
Referenzen-Quellen			
<ul style="list-style-type: none"> <i>Quelle 1:</i> Olshannikova, E., Ometov, A., Koucheryavy, Y. and Olsson, T. (2015), “Visualizing Big Data with augmented and virtual reality. Challenges and research agenda”, Journal of Big Data, Vol. 2 No. 1, p. 1. <i>Quelle 2:</i> O'Brien, E., Jacquouton, B., Moineau, A. and Campbell, A.G. (2019), “Wikipedia in Virtual Reality and How Text-based Media can be Explored in Virtual Reality”, in Unknown (Ed.), Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing - AIAM 2019, Dublin, Ireland, 17.10.2019 - 19.10.2019, ACM Press, New York, New York, USA, pp. 1–9. 			

Tabelle 33: Spezifikation | Komponente: Nutzungskontext | Kategorie: Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
1-4-5	Nutzungskontext	Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	Human Factor Analyse
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Fachliteratur „Handbook of Virtual Environments“ (<i>Quelle 1</i>) • Fachliteratur „Eye Tracking in Virtual Environments“ (<i>Quelle 2</i>) • Fachliteratur „Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung, Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung“ (<i>Quelle 3</i>) • Guidelines „Guidelines for 3D UI Evaluation“ (<i>Quelle 4</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations“ (<i>Quelle 5</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „On the use of Virtual Reality for a human-centered workplace design“ (<i>Quelle 6</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Participatory ergonomics using VR integrated with analysis tools“ (<i>Quelle 7</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Automated Usability Evaluation of Virtual Reality Applications“ (<i>Quelle 8</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Safety Training Using Virtual Reality: A Comparative Approach“ (<i>Quelle 9</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll das VR-System zur Untersuchung von stark nutzerzentrierten Eigenschaften verwendet werden?</p> <p>Weiterführende Informationen: Dem Faktor Mensch kommt vor allem in der Produktentwicklung eine besondere Rolle zu. Die Human Factor Analyse dient mit Hilfe von VR unter anderem</p> <ul style="list-style-type: none"> • der Bewertungsmöglichkeit von Ergonomie und Erreichbarkeit, • der Untersuchungsmöglichkeit von Sicherheit bei der Wartung, • dem Training von Service und Wartung, • der Bewertung von Arbeitsabläufen entsprechend Planung/Erwartung. <p>Dazu gehören auch Arbeitsabläufe wie beispielsweise beim Verpacken und Auspacken mit dem Ziel, Fehlentwicklungen zu analysieren und berücksichtigen.</p> <p>Für menschengerechte Untersuchungen bestehen (nicht nur bei Ergonomie-Untersuchungen) zwei Möglichkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eine Interaktion digitaler Menschmodelle mit dem digitalen Produkt und der digitalen Umgebung, • die immersive Interaktion von realen Menschen (VR-BenutzerInnen) mit dem digitalen Produkt und der digitalen Umgebung. 			

Mit der Entscheidung der Human Factor Analyse in VR gehen beispielsweise die Integration entsprechender Tools und Schnittstellen, Integration von Technologien wie Eye Tracking und Verknüpfung mit der jeweiligen VR-Darstellungstechnologie, die Visualisierung von Arbeitsabläufen und Aufgabenchecklisten oder das Erkennen und Visualisieren von Sicherheitsproblemen einher.

Referenzen-Quellen

- *Quelle 1:* Hale, K.S. and Stanney, K.M. (Eds.) (2015), Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications, Human factors and ergonomics series, 2. ed., CRC Press, Boca Raton, Fla.
- *Quelle 2:* Wang, X. and Winslow, B. (2015), "Eye Tracking in Virtual Environments", in Hale, K.S. and Stanney, K.M. (Eds.), Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications, Human factors and ergonomics series, 2. ed., CRC Press, Boca Raton, Fla., pp. 197–210.
- *Quelle 3:* Bullinger, H.-J. (1994), Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung, Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, s.l.
- *Quelle 4:* LaViola, J.J., Kruijff, E., McMahan, R.P., Bowman, D.A. and Poupyrev, I. (2017), 3D user interfaces: Theory and practice, Second edition, Addison-Wesley, Boston., pp. 487-489.
- *Quelle 5:* Jayaram, U., Jayaram, S., Shaikh, I., Kim, Y. and Palmer, C. (2006), "Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations", Computers in Industry, Vol. 57 No. 3, pp. 283–296.
- *Quelle 6:* Caputo, F., Greco, A., D'Amato, E., Notaro, I. and Spada, S. (2018), "On the use of Virtual Reality for a human-centered workplace design", Procedia Structural Integrity, Vol. 8, pp. 297–308.
- *Quelle 7:* Shaikh, I., Jayaram, U., Jayaram, S. and Palmer, C. (2004), "Participatory Ergonomics Using VR Integrated with Analysis Tools", in Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004, Washington, D.C, December 5-8, 2004, IEEE, pp. 671–679.
- *Quelle 8:* Harms, P. (2019), "Automated Usability Evaluation of Virtual Reality Applications", ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 26 No. 3, pp. 1–36.
- *Quelle 9:* „Avveduto, G., Tanca, C., Lorenzini, C., Tecchia, F., Carrozzino, M. and Bergamasco, M. (2017), "Safety Training Using Virtual Reality: A Comparative Approach", in Paolis, L.T. de, Bourdot, P. and Mongelli, A. (Eds.), Augmented reality, virtual reality, and computer graphics: 4th international conference, AVR 2017, Ugento, Italy, June 12-15, 2017 proceedings, Lecture notes in computer science, Springer, Cham, pp. 148–163.“

Tabelle 34: Spezifikation | Komponente: Digitales Menschmodell | Kategorie: Bewegung

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
2-5-5	Digitales Menschmodell	Bewegung	Grundbewegungen
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider	Tätigkeiten mit Werkzeug	C, P, M, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaftlicher Beitrag „On immersive Virtual Environments for assessing human-driven assembly of large mechanical parts“ (<i>Quelle 1</i>) Fachliteratur „Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion“ (<i>Quelle 2</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Ist eine Interaktion des digitalen Menschmodells mit einem Werkzeug vorgesehen?</p> <p>Weiterführende Informationen: Je mehr Interaktions-Schnittstellen bestehen, umso komplexer die Umsetzung. Wird nur mit dem Werkzeug interagiert oder auch mit einem Produkt oder der Umwelt? Ist es ein einfaches Werkzeug oder verfügt es über eigene, komplexe Funktionen? Mit wie vielen Bewegungsmustern muss die Interaktion mit dem Werkzeug ausgeführt werden? Im Kontext der Montageprozess-Evaluation und der virtuellen Überprüfung von Arbeitsvorgängen kann auch die Absicherung beim Einsatz von Montagehilfsmitteln wie Hebezeugen oder Arbeitsbühnen relevant sein. Dann stellen sich Fragen, ob beispielsweise die Zugänglichkeit mit Werkzeugen gegeben ist oder ob weitere Personen (und somit digitale Menschmodelle) notwendig sind. Weiterhin relevant ist die Konzeption einer geeigneten Benutzungsschnittstelle/ Interaktionstechnologie, mit der die Interaktion mit dem notwendigen Detailgrad realisiert werden kann. Vermehrt werden Haptik-Systeme eingesetzt, bei denen reale Werkzeuge ebenfalls per Tracking erfasst werden.</p>			
Referenzen-Quellen			
<ul style="list-style-type: none"> <i>Quelle 1:</i> Vosniakos, G.-C., Deville, J. and Matsas, E. (2017), “On Immersive Virtual Environments for Assessing Human-driven Assembly of Large Mechanical Parts”, <i>Procedia Manufacturing</i>, Vol. 11, pp. 1263–1270. <i>Quelle 2:</i> Orsolits, H. and Lackner, M. (2020), <i>Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion</i>, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. 			

Tabelle 35: Spezifikation | Komponente: Umgebungsmodell | Kategorie: Raumpositionierung

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
3-5-1	Umgebungsmodell	Navigation	Freie Bewegung im Raum
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Pattern „Positionswechsel“ (<i>Quelle 1</i>) • Fachliteratur „3D user interfaces: Theory and practice“ (<i>Quelle 2</i>) • Fachliteratur „Interaktive Systeme: Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces“ (<i>Quelle 3</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Comfortable Locomotion in VR: Teleportation is Not a Complete Solution“ (<i>Quelle 4</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „A survey of real locomotion techniques for immersive virtual reality applications on head-mounted displays“ (<i>Quelle 5</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Hover Loop: A New Approach to Locomotion in Virtual Reality“ (<i>Quelle 6</i>) • Onlineliteratur „Virtual Reality“ (<i>Quelle 7</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll der virtuelle Raum frei und nach Belieben erkundet werden können?</p> <p>Weiterführende Informationen: Je nach Aufgabenkontext können Tätigkeiten an definierten Positionen ausgeführt werden. Wird jedoch eine freie Bewegung im Raum notwendig, so stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Bewegungen der Realität entsprechen und beispielsweise Schwebungen vermieden werden sollten. Für die Überbrückung von großen Distanzen oder schwer zugänglichen Bereichen sind gesonderte Bewegungs- und Navigationskonzepte notwendig, die auch auf die Interaktionsgeräte zugeschnitten sein müssen. Dabei können auch neuartige Technologien wie entsprechende Laufbänder berücksichtigt werden.</p> <p>Bei freier Bewegung im VR-Raum muss dabei stets Cyber Sickness (Schwindelgefühle) berücksichtigt werden.</p>			
Referenzen-Quellen			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 1:</i> 3D-Guide, Pattern zu Positionswechsel „Wechsel der Position des Nutzers im virtuellen Raum“, https://www.3d-guide.net/virtual-reality-patterns/exploration/2509 • <i>Quelle 2:</i> LaViola, J.J., Kruiff, E., McMahan, R.P., Bowman, D.A. and Poupyrev, I. (2017), 3D user interfaces: Theory and practice, Second edition, Addison-Wesley, Boston. • <i>Quelle 3:</i> Preim, B.; Dachzelt, R.: Interaktive Systeme - Band 2: User Interface Engineering, eD-Interaktion, Natural User Interface. Springer Verlag. Berlin Heidelberg, 2015, pp.274-278 • <i>Quelle 4:</i> Clifton, J. and Palmisano, S., “Comfortable Locomotion in VR: Teleportation is Not a Complete Solution”, in Trescak, Simoff et al. (Hg.) 2019 			

<p>– 25th ACM Symposium on VirtualClifton.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 5:</i> Cardoso, J.C.S. and Perrotta, A. (2019), “A survey of real locomotion techniques for immersive virtual reality applications on head-mounted displays”, <i>Computers & Graphics</i>, Vol. 85, pp. 55–73. • <i>Quelle 6:</i> Schuhbauer, P., Muth, L., Groetsch, J. and Lankes, M. (2019), “Hover Loop: A New Approach to Locomotion in Virtual Reality”, in Arnedo, J., Nacke, L.E., Vanden Abeele, V. and New Mexico State University, N.M.U.O. (Eds.), <i>Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts - CHI PLAY '19 Extended Abstracts</i>, Barcelona, Spain, 22.10.2019 - 25.10.2019, ACM Press, New York, New York, USA, pp. 111–116. • <i>Quelle 7:</i> LaValle, S.M. (2019), “VIRTUAL REALITY”, verfügbar unter: http://lavalle.pl/vr/vrbookbig.pdf
--

Tabelle 36: Spezifikation | Komponente: Produktmodell | Kategorie: Produktelement

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
4-2-1	Produktmodell	Produktelement	Interaktion mit Teilobjekten/ Bauteilen
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Guidelines „Principles for Designing Effective 3D Interaction Techniques“ (<i>Quelle 1</i>) • Pattern „Modellieren Verschieben und Rotieren Skalieren – Proportional Skalieren – Einzelne Dimensionen Größenverhältnis verändern Positionswechsel Ansicht drehen“ (<i>Quelle 2</i>) • Onlineliteratur „User Input“ (<i>Quelle 3</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll eine Interaktion mit einzelnen Elementen/Bauteilen eines Produktmodells möglich sein?</p> <p>Weiterführende Informationen: Interaktionen in VR-Umgebungen können hochgradig komplex sein. Soll nicht nur mit ganzen Objekten, sondern auch mit Teilelementen dieser Objekte interagiert werden, so müssen Methoden für passende Selektion (Bestimmung oder Auswahl gewünschter Elemente), Manipulation (Bearbeitung oder Bewegung gewünschter Elemente) oder Exploration (Betrachtung gewünschter Elemente) konzipiert werden. Je nach gewünschter oder notwendiger VR-Darstellungstechnologie ist dann auch auf die Anzahl der jeweiligen Bauteile und deren notwendiger Detailgrad zu achten. Mit Smartphone-VR ist die Darstellung jeder einzelnen Schraube mit Gewissheit zu rechenintensiv.</p>			

Referenzen-Quellen
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 1:</i> McMahan, R.P., Kopper, R. and Bowman, D.A. (2015), "Principles for Designing Effective 3D Interaction Techniques", in Hale, K.S. and Stanney, K.M. (Eds.), Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications, Human factors and ergonomics series, 2. ed., CRC Press, Boca Raton, Fla., pp. 285–311. • <i>Quelle 2:</i> 3D-Guide, Pattern zu Manipulation und Exploration, https://www.3d-guide.net/category/virtual-reality-patterns • <i>Quelle 3:</i> Oculus Developer, VR-Tipps und Best Practices zu „User Input“, https://developer.oculus.com/design/bp-userinput/

Tabelle 37: Spezifikation | Komponente: IT | Kategorie: Verhaltensmodellierung

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
5-4-2	IT	Verhaltensmodellierung	SysML
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftlicher Beitrag „Modellbasierter Systems Engineering Ansatz zur effizienten Aufbereitung von VR-Szenen“ (<i>Quelle 1</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „SysML Behaviour Models for Description of Virtual Reality Environments for Early Evaluation of a Product“ (<i>Quelle 2</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „The Reuse of SysML Behaviour Models for Creating Product Use Cases in Virtual Reality“ (<i>Quelle 3</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll das Verhalten der Modelle (Produkt, Umgebung oder digitales Menschmodell) unter Verwendung von SysML (Systems Modeling Language) realitätsnah modelliert werden?</p> <p>Weiterführende Informationen: Für die interdisziplinäre Produktentwicklung mit hoher Produktkomplexität wird heutzutage ein modellbasierter Systems Engineering (MBSE) Ansatz verfolgt. Insbesondere bei kundenzentrierten Lösungen, flexiblen Produktionen oder intelligenter Verwendung von Daten bieten sich hier im Gegensatz zu dokumentbasierten Ansätzen erhebliche Vorteile. Für die Implementierung eines MBSE-Ansatzes eignet sich Systems Modeling Language (SysML) als eine standardisierte, graphische Modellierungssprache. Die Integration von SysML-Modellen mit den bereits existierenden VR-Werkzeugen kann eine vereinfachte Aufbereitung der VR-Szenen unterstützen. Dabei können verschiedene Use-Cases des Produktes durch SysML-Modelle beschrieben werden, um später als Kern einer echtzeitfähigen Simulation in VR zu dienen und das gesamte Simulationsmodell zu steuern.</p>			

Referenzen-Quellen	
•	<i>Quelle 1:</i> Mahboob, A., Husung, S., Weber, C., Liebal, A. und Krömker, H. (2019a), "Modellbasierter Systems Engineering Ansatz zur effizienten Aufbereitung von VR-Szenen", in Stelzer, R.H. and Krzywinski, J. (Eds.), Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2019, Technisches Design, TUDpress, Dresden, Seiten 309–321.
•	<i>Quelle 2:</i> Mahboob, A., Husung, S., Weber, C., Liebal, A. und Krömker, H. (2018), "SysML Behaviour Models for Description of Virtual Reality Environments for Early Evaluation of a Product", in Marjanović D., Štorga M., Škec S., Bojčetić N. and Pavković N. (Eds.), DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference, Dubrovnik, 21-24 Mai 2018, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; The Design Society, Glasgow, UK, Seiten 2903–2912.
•	<i>Quelle 3:</i> Mahboob, A., Husung, S., Weber, C., Liebal, A. und Krömker, H. (2019b), "The Reuse of SysML Behaviour Models for Creating Product Use Cases in Virtual Reality", Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design, Vol. 1 No. 1, Seiten 2021–2030.

Tabelle 38: Spezifikation | Komponente: User Interface | Kategorie: User Interface Typ

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
6-1-1	User Interface	User Interface Typ	Diegetisch
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaftlicher Beitrag „Towards the Utilization of Diegetic UI in Virtual Reality Educational Content“ (<i>Quelle 1</i>) Wissenschaftlicher Beitrag „Evaluation of immersive user interfaces in virtual reality first person games“ (<i>Quelle 2</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Soll das Interface als erzählerisches Anzeigeelement in die VR-Welt integriert werden?</p> <p>Weiterführende Informationen: Ist für die VR-Erfahrung eine maximale Immersion bzw. eine möglichst nahe Präsenz, wichtig, so können auch User Interface Elemente als erzählerische Anzeigeelemente in die virtuelle Welt integriert werden. Es existieren damit keine klassischen Interfaces mehr (Menüpunkte, Informationsbars etc.), sondern vollkommen zu der virtuellen Welt passende Elemente. Ein Beispiel können eine Landkarte oder ein Kompass sein, mit denen interagiert und in der virtuellen Welt navigiert werden kann. Diegetische Anzeigeelemente werden einerseits als besonders hochwertig empfunden, müssen andererseits aber auch immer zum Kontext passen. Darüber hinaus müssen diese besonders intuitiv und effektiv sein.</p>			

Referenzen-Quellen
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 1:</i> Seo, G. and Bae, B.-C. (2018), "Towards the Utilization of Diegetic UI in Virtual Reality Educational Content", in Stephanidis, C. (Ed.), HCI International 2018 - Posters' Extended Abstracts: 20th International Conference, HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20, 2018, Proceedings, Part III, Communications in Computer and Information Science, Springer International Publishing, Cham, Seiten 111–115. • <i>Quelle 2:</i> Cavalcante Raffaele, R., Andrade de Carvalho, Breno José and Silva, F.G.M. (2017), "Evaluation of immersive user interfaces in virtual reality first person games", in 24. Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI).

Tabelle 39: Spezifikation | Komponente: Dokumente | Kategorie: Dateiformat

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
7-1-5	Dokumente	Dateiformat	Videodatei
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Tool-Anbieter „Daily OVR 2.x“ (<i>Quelle 1</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Sollen Videos in die VR-Umgebung integriert oder von externen Quellen gestreamt werden?</p> <p>Weiterführende Informationen: Bei der Integration und Betrachtung von Videos in einer VR-Umgebung müssen die Auflösung, die Bandbreite der Datenübertragung, die Positionierung bis hin zu möglicherweise verstärkter Motion Sickness (insbesondere bei langen Videos innerhalb der VR-Umgebung) berücksichtigt werden.</p> <p>Möglichkeiten bietet auch die Integration bestehender Anwendungen, die Desktop-Overlays in der VR-Anwendung ermöglichen und sowohl auf einem PC lokal verfügbare Videos oder über den PC verfügbare Video-Streaming-Portale als frei positionierbares Element in der VR-Umgebung darstellen und abspielen können.</p>			
Referenzen-Quellen			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 1:</i> „Daily OVR 2.x“ von TM xR Lab, https://tmxrlab.com/ 			

Tabelle 40: Spezifikation | Komponente: Objektinteraktion | Kategorie: Objektbezeichnung

Spz.-Nr.	Komponente	Kategorie	Wert
8-5-1	Objektinteraktion	Metainformationen	Permanent
Typ	Teilwert	Technologie	Querbezug
Slider		C, P, M, H, S	
Referenzen			
<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftlicher Beitrag „Wikipedia in Virtual Reality and HowText-based Media can be Explore in Virtual Reality“ (<i>Quelle 1</i>) • Wissenschaftlicher Beitrag „Hedgehog labeling. View management techniques for external labels in 3D space“ (<i>Quelle 2</i>) • Pattern „Einsehen von Informationen zu einem Objekt über einen Point Of Interest (POI)“ (<i>Quelle 3</i>) • Onlineliteratur „3 Tips For Text Labels In VR“ (<i>Quelle 4</i>) 			
Beschreibung			
<p>Kernfrage für Auswahl der Anforderung: Sollen zu dem Objekt dauerhaft Informationen eingeblendet sein?</p> <p>Weiterführende Informationen: Für VR-BenutzerInnen kann es wichtig sein, bei der Betrachtung von Objekten oder Bauteilen durchgängig Statuswerte, Abmessungen, Objektbezeichnungen oder andere Metainformationen eingeblendet zu sehen. Allerdings müssen für die Sichtbarkeit solcher Informationselemente in VR Aspekte wie Verdeckung durch Positionswechsel der BetrachterInnen oder Translation, Rotation oder Skalierung der Objekte, Auflösung des Systems und Lesbarkeit der Texte, etc. berücksichtigt werden. Obwohl noch keine vollständigen und allgemeingültigen Guidelines für die Beschriftung von 3D-Objekten bzw. 3D-Objekten in VR existieren, gibt es erste Hinweise zu Empfehlungen.</p>			
Referenzen-Quellen			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle 1:</i> O'Brien, E., Jacquouton, B., Moineau, A. and Campbell, A.G. (2019), "Wikipedia in Virtual Reality and HowText-based Media can be Explore in Virtual Reality", in Unknown (Ed.), Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing - AIAM 2019, Dublin, Ireland, 17.10.2019 - 19.10.2019, ACM Press, New York, New York, USA, pp. 1–9. • <i>Quelle 2:</i> Tatzgern, M., Kalkofen, D., Grasset, R. and Schmalstieg, D. (2014), "Hedgehog labeling. View management techniques for external labels in 3D space", in 2014 IEEE Virtual Reality (VR), Minneapolis, MN, USA, 29.03.2014 - 02.04.2014, IEEE, pp. 27–32. • <i>Quelle 3:</i> 3D-Guide, Pattern zu Point of Interest „Einsehen von Informationen zu einem Objekt über einen Point Of Interest (POI)“, https://www.3d-guide.net/augmented-reality-patterns/aug-exploration/196 • <i>Quelle 4:</i> 3 Tips For Text Labels In VR, https://virtualrealitypop.com/i-am-working-on-an-experiment-around-accurate-transformation-of-objects-and-part-of-the-accuracy-9d20f47b03f2 			

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse ist eine Konzeption und technische Umsetzung des VR-Informationssystems möglich. Im Hinblick auf den regelmäßigen Einbezug der BenutzerInnen des VR-Informationssystems im Entwicklungsprozess und die Minimierung des nachträglichen Optimierungsaufwandes eignet sich an dieser Stelle ein Pre-Test, um die technische Entwicklung zielgerichtet beginnen zu können.

Zuvor wird zum besseren Verständnis des Ablaufs bei der Verwendung des VR-Informationssystems und dessen Strukturierung nachfolgend ein Szenario beschrieben.

VR-Kunde ist ein Konstrukteur eines Maschinenbauunternehmens, das Maschinen in verschiedenen Produktkonfigurationen herstellt. Der VR-Kunde möchte innerhalb eines VR-Systems verschiedene Produktvarianten im Hinblick auf die Position und Erreichbarkeit eines bestimmten Bauteils beurteilen. Die Spezifikationen der jeweiligen Maschine bzw. des Bauteils sollen immer auf Abruf einsehbar sein. Im Unternehmen wird agil gearbeitet, sodass agiles Projektmanagement für die Integration in den eigenen Arbeitsprozess wünschenswert ist.

Über eine Webseite nimmt der VR-Kunde den ersten Kontakt mit einer VR-Entwicklungsagentur auf, in dem er das webbasierte VR-Informationssystem benutzt und Eingaben tätigt wie in Tabelle 41 dargestellt.

Die angefragte VR-Entwicklungsagentur bekommt sämtliche Daten übermittelt. Darüber hinaus hat die Agentur in ihrer Datenbank des VR-Informationssystems für alle angefragten Spezifikationen einen hohen Erfahrungswert angegeben und erhält demzufolge auch eine Einschätzung des VR-Informationssystems, dass ein lukratives VR-Entwicklungsprojekt initiiert werden kann. Für das Erstgespräch kann die Agentur darüber hinaus passgenaue Informationen vorbereiten, die auf den Beratungsbedarf zu den angegebenen Spezifikationen zugeschnitten sind.

Tabelle 41: Szenario einer Konfiguration für ein VR-System

Basisfragen			
<i>Feld</i>	<i>Eingabe des Kunden</i>		
Produktvision	Beurteilung von Bauteilen in Maschinen anhand realer, austauschbarer Konstruktionsdaten		
Kernaufgaben	Austausch von Produktvarianten, freie Bewegung im Raum		
Fixes Budget	50.000 Euro		
Fixer Zeitraum	Ab sofort, 6 Monate Umsetzungszeit		
Alleinstellungsmerkmale	Dynamisch austauschbare Konstruktionsdaten		
Nutzungskontext			
<i>Kategorie</i>	<i>Wert</i>	<i>Teilwert</i>	<i>Auswahl des Kunden</i>
Lebensphasen	Nutzung	Ergonomische Bedingungen	MUSS
Lebensphasen	Service und Wartung	Schulung	KANN
Verwendung des Systems	Beobachtung bei der Interaktion in VR		BERATUNG
Verwendung des Systems	Eigene Interaktion in VR		MUSS
Informationsdarstellung	Informationen über Objekte		MUSS
	Dokumente		MUSS
	Dateiformat	PDF	Ausgewählt
	Datenquelle	Datenbank	Ausgewählt
	Dokumentort	Extern	Ausgewählt
	Exozentrische Perspektive		SOLL
	Egozentrische Perspektive		MUSS
	Schwebung		BERATUNG
Aufgaben der VR-BenutzerInnen	Human Factor Analyse		MUSS
Produktmodell			
<i>Kategorie</i>	<i>Wert</i>	<i>Teilwert</i>	<i>Auswahl des Kunden</i>
Produktmodell	Produktelemente	Bewegliche Bauteile	KANN
Produktmodell	Produktelemente	Produktgeräusche	KANN
Produktmodell	Produktelemente	Real. Verhalten	BERATUNG
Produktmodell	Informationsquelle	Objektinformationen	KANN
IT			
<i>Kategorie</i>	<i>Wert</i>	<i>Teilwert</i>	<i>Auswahl des Kunden</i>
Internes Projektmanagement	Agil		SOLL

4.3.2 Backend

Das Backend wird ausschließlich entwicklerInnenseitig bedient. Die Nutzung findet dabei basierend auf Abbildung 52 in drei Phasen statt:

- *Konfigurationsphase*
Noch vor einem KundInnenkontakt findet eine Konfiguration des VR-Informationssystems statt.
- *Auswertungsphase*
Nach der kundInnenseitigen Benutzung des VR-Informationssystems werden die Ergebnisse entwicklerInnenseitig in Vorbereitung auf das Erstgespräch ausgewertet.
- *Informationsphase*
Während der Konzeption und Entwicklung des Definierten VR-Systems kann durchgehend auf Umsetzungsempfehlungen des VR-Informationssystems zurückgegriffen werden.

In der *Konfigurationsphase* müssen vor der Benutzung durch Kunden noch entwicklungsseitig relevante Attribute gesetzt werden. In Kapitel 4.1 wurden diese als *Erfahrung* und *Technologie* benannt. Im Backend muss demnach jede einzelne Anforderung anwählbar und mit Werten versehen werden können. Während dies für das jeweilige Erfassen der Erfahrung praktikabel ist, da sich diese in einem Unternehmen oder einer Abteilung kurzfristig ändern kann, ist die Zuweisung von geeigneten Technologien langfristig gültig und wird somit direkt in der Datenbank vordefiniert. Die Erfahrung ist ausschließlich für die interne Aufwandsberechnung und interne Darstellung relevant und wird in vier Stufen definiert:

- *Keine* (Keine Erfahrung)
Das Unternehmen bzw. die Entwicklungsabteilung verfügt über keinerlei Erfahrung in der Entwicklung der jeweiligen Anforderung. Der Aufwand kann viel zu hoch sein durch Aneignen von Kompetenzen, Einstellung von Fachpersonal oder Beschaffung von benötigten Softwarelizenzen/Hardwareressourcen/Schnittstellen/usw.
-

- *Wenig* (Mit hohem Aufwand)
Das Entwicklungsteam verfügt über wenig Know-How in diesem Bereich. Der Aufwand zur Umsetzung wäre hoch und zusätzliches Personal könnte notwendig sein.
- *Mittel* (Mit Einarbeitung)
Das Entwicklungsteam verfügt über allgemeines Know-How in diesem Bereich oder die Einarbeitung zur Erfüllung der Anforderung kann sich mit der weiterführenden Unternehmensstrategie decken und so eine Entwicklung rechtfertigen.
- *Hoch* (Tagesgeschäft)
Es besteht eine hohe Kompetenz und Erfahrung bei der Umsetzung der jeweiligen Anforderung. Es sind alle dafür notwendigen Ressourcen vorhanden und eine Umsetzung ist problemlos möglich.

Unter Technologie ist in diesem Kontext diejenige VR-Technologie gemeint, die für die Darstellung der jeweiligen Anforderung in Frage kommt. Während die Anforderungen des VR-Informationssystems als allgemeingültig und zeitlos angesehen werden sollen, ist aufgrund des rasanten Technologiefortschrittes die Möglichkeit der Anpassung dieser Attributwerte unbedingt notwendig. Eine Klassifizierung verbreiteter VR-Darstellungstechnologien ist bereits in Kapitel 4.1 dargestellt worden. Durch die Verknüpfung von möglichen VR-Ausgabegeräten mit den jeweiligen Anforderungen soll am Ende des VR-Informationssystems eine Empfehlung für ein VR-Ausgabegerät ausgesprochen werden können. Dies kann sowohl als Hilfestellung für VR-EntwicklerInnen als auch VR-KundInnen dienen.

Ergänzend zu den beiden Attributen *Erfahrung* und *Technologie* kann es für VR-EntwicklerInnen relevant sein, das VR-Informationssystem in Bezug auf Unternehmensname und Logo zu personalisieren. Auch dies wird über das Backend in der Konfigurationsphase festgelegt werden können.

Für die *Auswertungsphase* werden nach Beendigung des VR-Informationssystems alle Werte der VR-KundInnen strukturiert im Backend nach VR-KundInnen separiert festgehalten. Basierend auf den in der Konfigurationsphase definierten Werten für Erfahrung und Technologie werden an dieser Stelle auch Empfehlungen für VR-

Ausgabegeräte sowie der Umsetzungsaufwand präsentiert. Der Umsetzungsaufwand errechnet sich dabei nach einem in Kapitel 4.6 definierten Algorithmus und stellt für die VR-EntwicklerInnen einen Indikator für eine wirtschaftliche oder unrentable Umsetzung dar.

Im Rahmen der *Informationsphase* müssen alle Informationen nach VR-KundInnen gut strukturiert einsehbar sein und alle Zusatzinformationen anhand Kapitel 4.1 aufweisen.

4.4 Evaluation des Aufbaus und Content des VR-Informationssystems

In den vorangegangenen Kapiteln wurde das VR-Informationssystem strukturell und inhaltlich hergeleitet. Bevor diese Inhalte in eine visuelle und technische Konzeption überführt werden können, werden sie auf die bereits in Kapitel 2.4.2 vorgestellten Eigenschaften von Anforderungen hin überprüft. So kann die Qualität des VR-Informationssystems unter frühzeitigem Einbezug der VR-BenutzerInnen sichergestellt werden. Schwerpunkt der Evaluation sind die im IEEE Standard 830:1998 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 10) definierten Eigenschaften der Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit.

Für den Pre-Test (Anhang E) wurden 27 ExpertInnen, davon fünfundzwanzig männlich und zwei weiblich, aus den fünf Bereichen Dienstleistung VR-Entwicklung, Konsumgüter Haushaltsgeräte, Industriegüter Maschinenbau, Industriegüter Sondermaschinenbau und Forschung Produktentwicklung befragt. Die Pre-Tests mit den Experten aus den Bereichen Konsumgüter Haushaltsgeräte sowie Forschung Produktentwicklung fanden im Kompetenzzentrum Virtual Reality²⁶ der TU Ilmenau statt während die ExpertInnen aus den anderen Bereichen vor Ort in Ihren Unternehmen der Befragung unterzogen wurden. Nach einer Einführung in das Ziel und die geplante interaktive Umsetzung des VR-Informationssystems wurden den ExpertInnen die Spezifikationen aus Anhang C komponentenweise in Papierform dargelegt. Im Anschluss erfolgte eine Fragerunde, deren Ergebnisse und Auswertung nachfolgend vorgestellt wird.

²⁶ Kompetenzzentrum Virtual Reality der TU Ilmenau, <https://www.tu-ilmenau.de/kvr/> [letzter Zugriff: 23.11.2020]

Abbildung 56 zeigt, dass 24 der befragten Personen den Aufbau des VR-Informationssystems für vollkommen nachvollziehbar halten. Eine Person fand eine hundertprozentige Festlegung schwierig, ohne das interaktive System bewerten zu können. Zwei Personen hatten leichte Schwierigkeiten, den Aufbau nachzuvollziehen, was auf die Komplexität und Vielzahl an Informationen zurückgeht. Es wurde ebenfalls angemerkt, dass eine Analyse des finalen interaktiven Systems zu einer positiveren Bewertung führen kann.

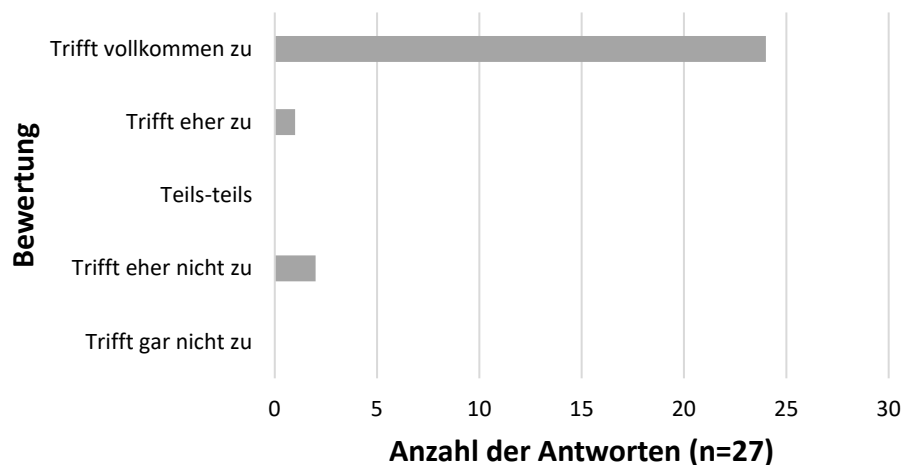


Abbildung 56: Nachvollziehbarkeit des Aufbaus des VR-Informationssystems

Abbildung 57 visualisiert die Antworten zu Vollständigkeit des VR-Informationssystems. Während 16 Personen keine weiteren Ergänzungen hatten, konnten elf der befragten Personen einige wenige fehlende Inhalte ergänzen, die bereits in die Spezifikationen in Anhang C eingeflossen sind. So wurden insbesondere Umgebungsparameter ergänzt, wie beispielsweise Outdoor-Nutzung des VR-Systems bzw. eine Klassifizierung nach Umgebungsparametern. Darüber hinaus wurde auf Anforderungen bezüglich der Produktgeräusche und der Lichteinflüsse auf Produkte hingewiesen. Bezüglich der Steuerungsmethoden wurde zukunftsweisend noch die Gedankensteuerung hinzugefügt.

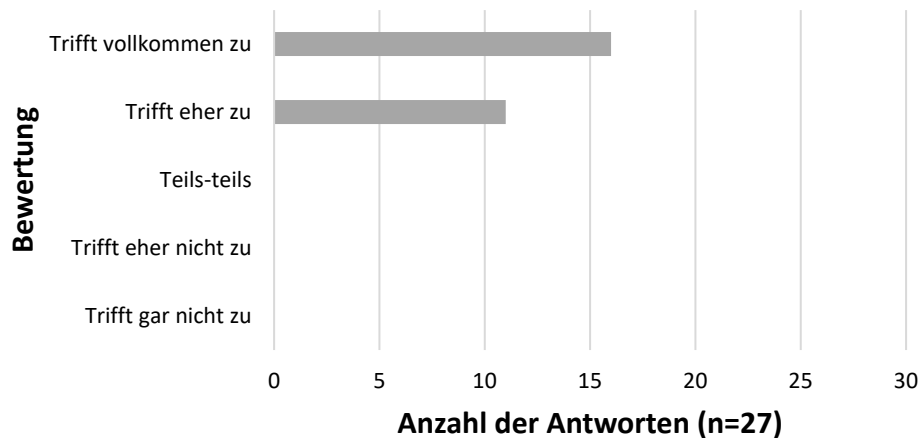


Abbildung 57: Vollständigkeit des VR-Informationssystems

Abbildung 58 zeigt, dass das VR-Informationssystem überwiegend mit dem Vorwissen der befragten Personen anwendbar ist. Vier Personen hatten insbesondere bei den Anforderungen zu einem digitalen Menschmodell bzw. dem Einsatz eines digitalen Menschmodells Schwierigkeiten. Abgesehen von den befragten Entwicklern war der Bereich IT ebenfalls schwerer verständlich. Damit lässt sich schlussfolgern, dass das VR-Informationssystem mit dem Vorwissen aller Beteiligten gut anwendbar ist.

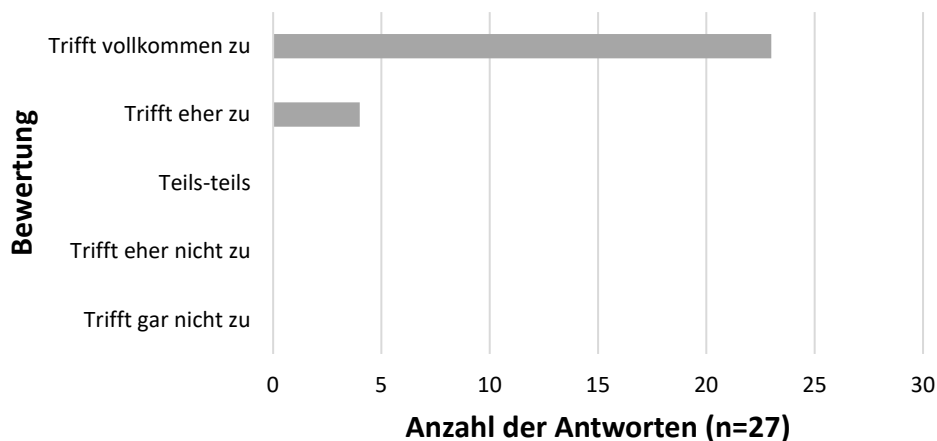


Abbildung 58: Anwendbarkeit des VR-Informationssystem mit eigenem Vorwissen

Abbildung 59 zeigt die Bewertungen zur Allgemeingültigkeit des VR-Informationssystems. Insbesondere die VR-Entwickler verwiesen darauf, dass Agenturprojekte vielfältig komplex sind und dass das VR-Informationssystem nicht nur für die Produktentwicklung gültig sein sollte. So sind je nach Anwendungskontext die Fragen zu den Lebensphasen interessant, zum Teil jedoch zu präzise (beispielsweise bei der Montage). Da die vorliegende Arbeit aber auf den Einsatz in der Produktentwicklung

fokussiert, bleibt der produktentwicklungsspezifische Schwerpunkt des VR-Informationssystems bestehen.

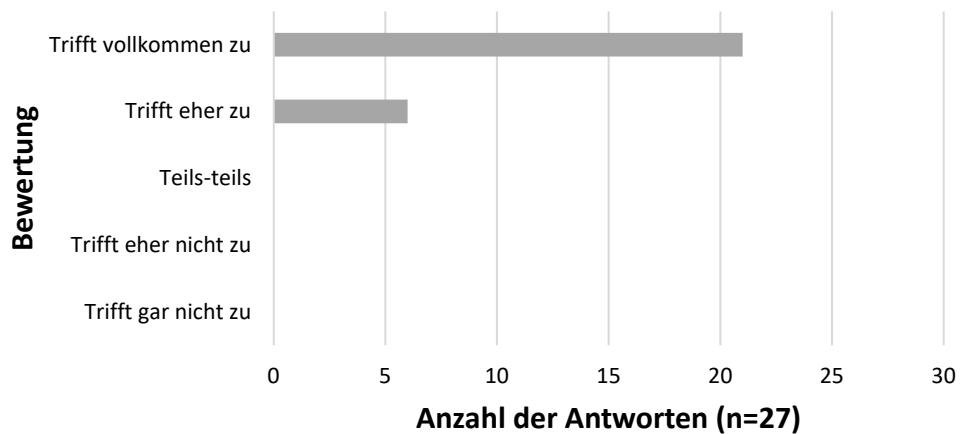


Abbildung 59: Allgemeingültigkeit des VR-Informationssystems

Abbildung 60 zeigt abschließend, ob die Begriffe und Definitionen des VR-Informationssystems hinreichend verständlich sind. Während 16 Personen ohne Schwierigkeit das VR-Informationssystem bezüglich des Sprachgebrauches verwenden könnten, haben neun Personen mit einigen Begriffen Verständnisschwierigkeiten. Dies bezieht sich primär auf Begrifflichkeiten im Bereich des digitalen Menschmodells, der IT oder des User Interfaces. Zwei Personen aus dem akademischen Forschungsbereich hatten große Wissenslücken in Bezug auf wertübergreifende Begrifflichkeiten. Um dieser Herausforderung vorzubeugen, wird es zu jedem einzelnen Eintrag abrufbare Definitionen und Beschreibungen geben.

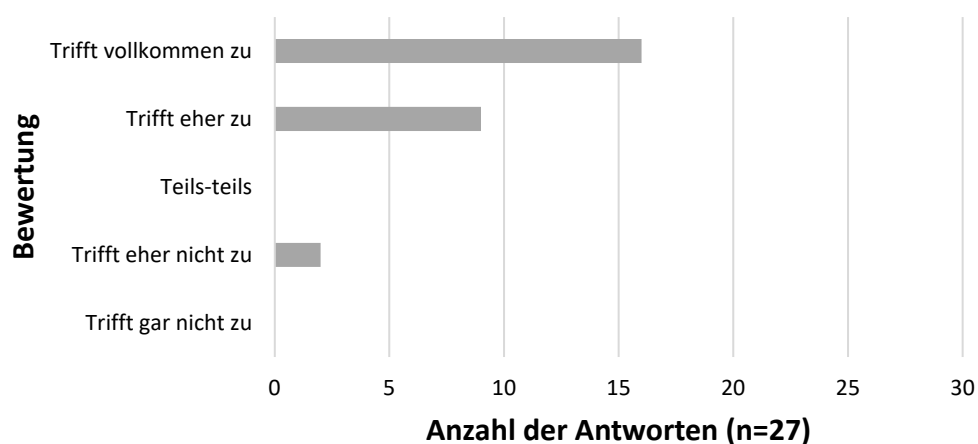


Abbildung 60: Verständlichkeit der Begriffe des VR-Informationssystems

Zusammenfassend kann der aktuelle Stand des VR-Informationssystems in Bezug auf Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit als sehr gut bewertet werden. Damit kann nachfolgend das visuelle Konzept erarbeitet werden, um dann den interaktiven Prototypen entwickeln zu können.

4.5 Visualisierung des VR-Informationssystems

Während in den vorangegangenen Kapiteln die Grundlagen für Struktur und Inhalt des VR-Informationssystems, gegliedert nach Frontend und Backend, geschaffen wurden, fehlt es noch an einem visuellen Konzept für die technische Umsetzung. Die ersten Rahmenbedingungen wurden in Kapitel 3.2 innerhalb der Konkurrenzanalyse untersucht. Diese waren:

- Übersichtlicher Aufbau, gutes responsive Design,
- Klare Strukturierung der Inhalte,
- Sowohl allgemeine Hilfestellung als auch eindeutige Hilfestellung zu wichtigen Auswahlmöglichkeiten oder Fragen,
- Angabe der Priorisierung über 5-Sterne-Ranking oder auch Drop-Down-Menü praktikabel,
- Aufwand über stufenlose Farbskala umsetzbar.

In Kapitel 3.5 wurden weiterhin in Tabelle 23 die Anforderungen an das VR-Informationssystem unter Zuhilfenahme von Experteninterviews konkretisiert. Gestalterisch relevante Schwerpunkte sind demnach:

- Responsive Design,
- Vermittlung der Priorisierung,
- Einbezug der eigenen Erfahrung,
- Aufwandsschätzung,
- Erklärung von Fachbegriffen,
- Minimalistische Zieldarstellung.

Abbildung 53 in Kapitel 4.2 visualisiert die Struktur des Frontends für das VR-Informationssystem in Form eines Strukturdiagramms.

Damit lassen sich im ersten Schritt Wireframes erstellen, die als Basis für erste Visualisierungsentwürfe dienen und anschließend technisch umgesetzt werden können. Ableitend aus den oben zusammengefassten Anforderungen an das VR-Informationssystem kann als Erstes der mobile First-Ansatz als gestalterische Grundlage gesetzt werden. Mit dem Etablieren des mobilen Internet und der damit verbundenen neuen Endgeräte entstand ein neuer Denk- und Gestaltungsansatz. Die neue Maxime empfiehlt, mobile Endgeräte in den Fokus der Aufmerksamkeit von Gestaltern und Entwicklern zu stellen und Webseiten somit zuerst für diese Endgeräte zu gestalten und zu programmieren. (Wroblewski 2011, S. 1)

Die nachfolgenden Wireframes bilden skizzenähnliche Entwürfe für die Struktur des Frontends und Backends. Während im Sinne der VR-KundInnen eine mobile Darstellung des VR-Informationssystems unerlässlich ist, wird für die VR-EntwicklerInnenseite eine reine Desktopvariante gezeigt. Die Verwendung des VR-Informationssystems wird bei dieser Zielgruppe primär im Rahmen des täglichen Arbeitskontextes geschehen und somit an größerer Darstellungshardware. Nichtsdestotrotz ist aufgrund des Frameworks eine mobile Darstellung ebenfalls möglich.

Wireframes Frontend

Ausgehend vom mobile First-Ansatz ist das Hauptmenü in gewohnter mobile Device Weise oben links über ein sogenanntes Burger-Menü im Headerbereich erreichbar. Darüber sind alle erreichbaren Bereiche von jeder Unterseite aus zugänglich. In Abbildung 53 wurden die einzelnen Unterbereiche festgehalten. Abbildung 61 visualisiert dabei den Bereich bei geöffnetem Menü. Der im Hintergrund vorhandene Inhalt der Webseite wird dabei ausgegraut und inaktiv bis eine Auswahl getroffen oder das Menü geschlossen wird. Der Headerbereich beinhaltet gleichzeitig einen Titel („VR-Infosystem“) und bietet die Möglichkeit eines Logos. Dies kann relevant sein, wenn das VR-Informationssystem von einem Unternehmen verwendet wird, das sein eigenes Branding präsent und durchgängig dargestellt haben möchte. Ein einfaches Austauschen erfolgt über das Backend.

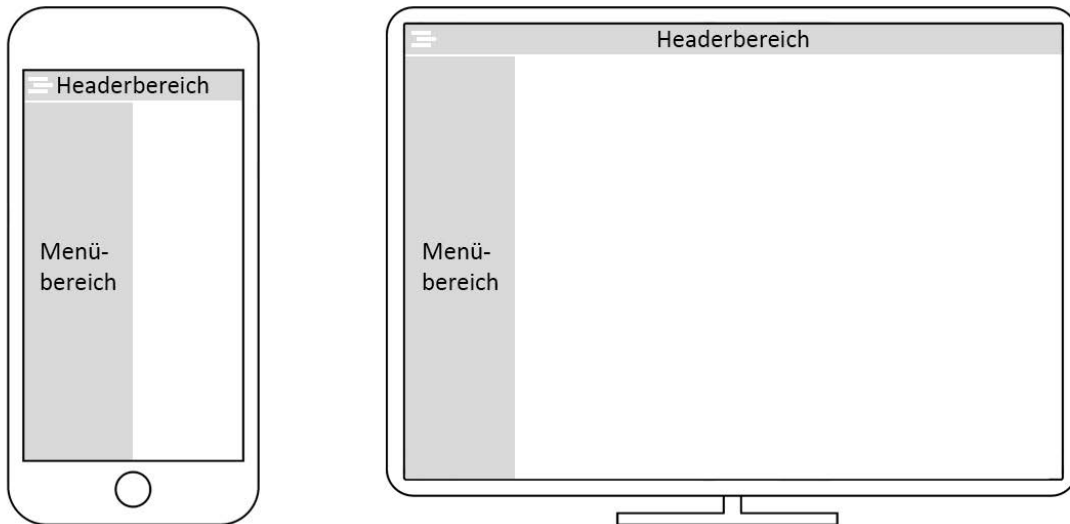


Abbildung 61: Wireframes Frontend Menübereich

Als weiteres relevantes Wireframe gilt die Seite für die Basisfragen, die den Startpunkt für das eigentliche VR-Informationssystem bilden. Als oberstes Element zeigt Abbildung 62 eine Fortschrittsanzeige, die sich komponentenweise verändert. Die Darstellung der Inhalte in den nachfolgenden Wireframes ist beispielhaft für einen Eintrag visualisiert. Die vielzähligen Einträge werden im finalen VR-Informationssystem über vertikales Scrolling erreicht.

Unterhalb der Fortschrittsanzeige befindet sich die Bezeichnung der jeweiligen Komponente, zu der Fragen oder Auswahlmöglichkeiten gestellt werden bzw. in diesem Fall die Basisfragen. Hierbei ist bereits dargestellt, dass auch zu diesen Begrifflichkeiten ein erklärender Text über ein Fragezeichen abgerufen werden kann.

Textinhalte werden in Antwortbereichen über die Tastatur eingegeben, wobei die Textlänge vorgegeben sein kann. Nach Tabelle 29 können in Frage 4 bis zu drei Einträge eingegeben werden. Jeder Eintrag kann aber über ein Icon wieder entfernt werden (weißes Kreuz in Abbildung 62). Am Ende aller Einträge kann jeweils zurück und weiter navigiert werden.

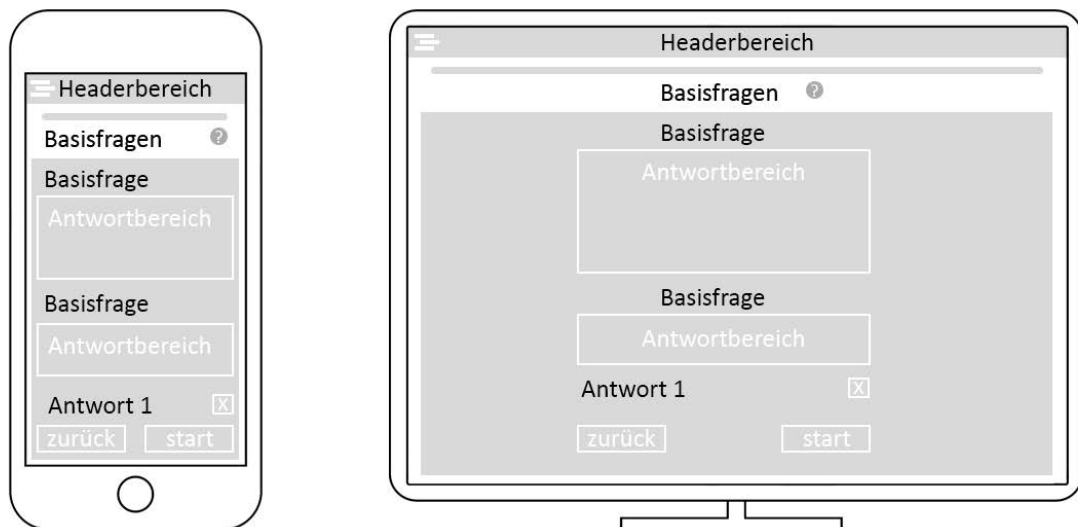


Abbildung 62: Wireframes Frontend Basisfragen

In Abbildung 63 wird der Seitenaufbau gezeigt, wie er für die sechs Komponenten jeweils verwendet wird. Die meisten Elemente wurden bisher beschrieben. Neu ist die Notwendigkeit eines Interaktionsmittels zur Eingabe der Priorisierung wie in Kapitel 4.1 beschrieben und in *Irrelevant*, *Kann*, *Soll* und *Muss* unterteilt. Besonders berücksichtigt werden muss hier der Umstand, dass in der mobilen Variante sehr wenig Platz zur Verfügung steht, um die vier Stadien auszuwählen und zu visualisieren. Hierzu wurde auf eine Art Schieberegler zurückgegriffen, der sowohl auf dem Desktop mit der Maus verschoben als auch mobil mit mehrmaligem Anwählen die Stadien durchschalten kann.

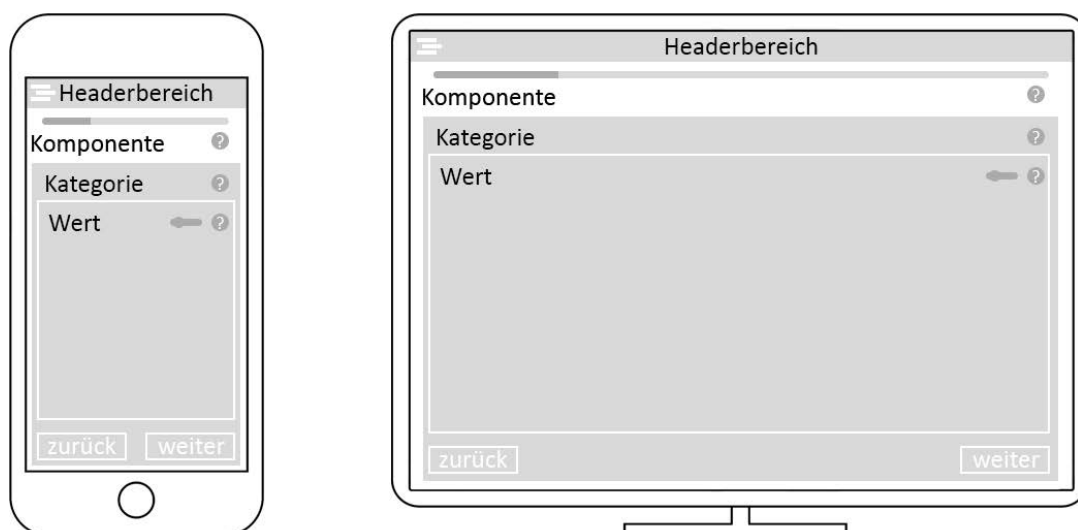


Abbildung 63: Wireframes Frontend Allgemeiner Seitenaufbau

Die bereits beschriebene Möglichkeit, zu jedem Begriff eine verständliche Erklärung über das Fragezeichen zu erlangen wird in einem Popup realisiert. Abbildung 64 zeigt dabei die Unterteilung in den Beschreibungsbereich und einen unteren Bereich, in dem stets die Legende für den Priorisierungs-Schieberegler dargestellt wird.

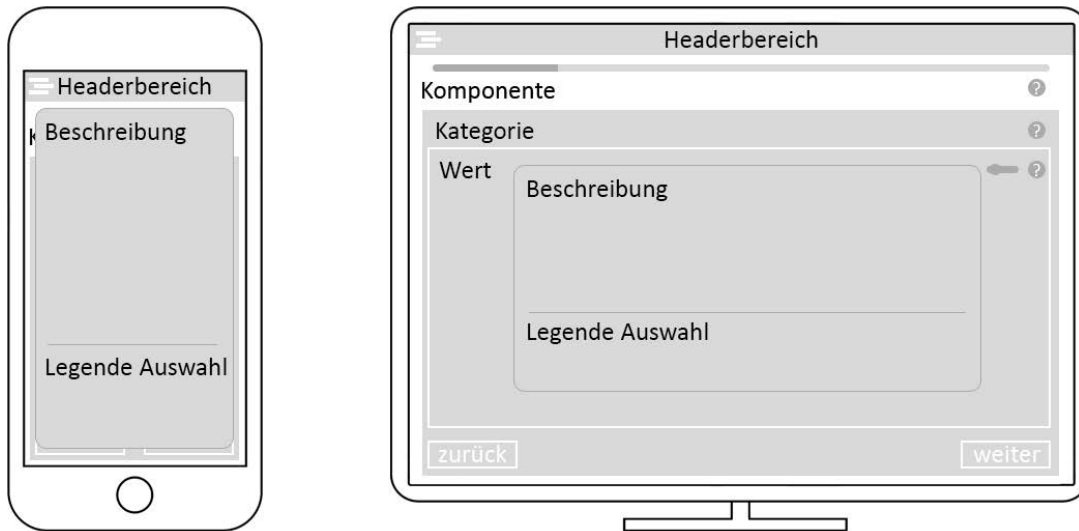


Abbildung 64: Wireframes Frontend Erklärungsbereich

Wireframes Backend

Das Backend wird über den Administrations-Login des Burger-Menüs erreicht. Unterhalb des Headerbereichs sind die drei Hauptseiten des Backends durchgängig verfügbar. Abbildung 65 zeigt die Möglichkeiten für Benutzereinstellungen und die Headereinstellungen. In den Benutzereinstellungen lassen sich neue Backendbenutzer erstellen mit eigenem Passwort, die danach in einer Liste dargestellt und einzeln bei Bedarf auch wieder gelöscht werden können. Für den Header können an dieser Stelle wie zuvor erwähnt ein Logo hochgeladen (bzw. entfernt) werden sowie der Titel (hier „VR-Infosys“) geändert werden.

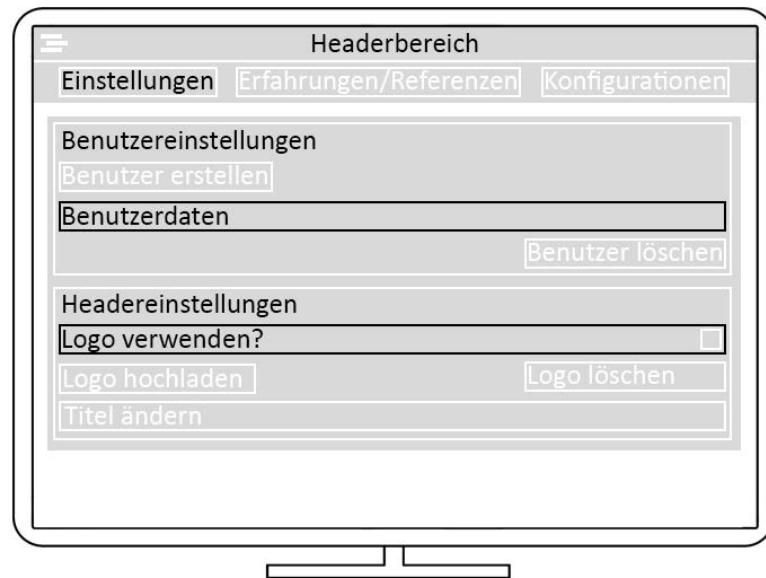


Abbildung 65: Wireframe Backend Einstellungsbereich

Die in Tabelle 23 herausgearbeitete Anforderung des Einbezugs der Entwicklungserfahrung findet unter der Seite „Erfahrungen/Referenzen“ in Abbildung 66 Anwendung. Vor dem ersten Einsatz des VR-Informationssystems wird hier jeder Anforderung ein Erfahrungswert zugewiesen, der der Erfahrung im Entwicklungsteam entspricht. Die Auswahlmöglichkeiten lassen sich am besten über ein Drop-Down-Menü realisieren. Gleichzeitig werden jeder einzelnen Anforderung Referenzen zugewiesen, die der Zelle „Querbezug“ in den Anforderungstabellen entsprechen. Die Visualisierung findet in Textform statt. Da es sich auch um Links zu Online-Quellen handeln kann, muss im Backend mit HTML-Code gearbeitet werden können, um die Quellenverweise direkt mit Verlinkungen zu verknüpfen.

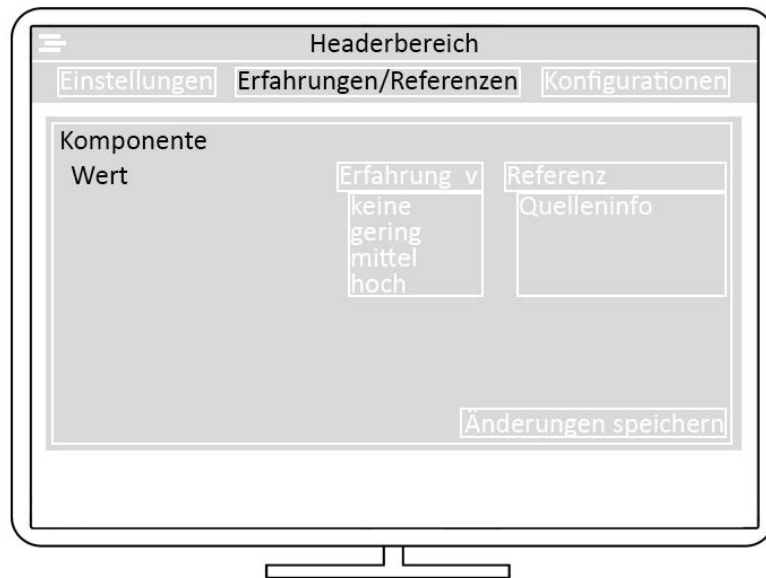


Abbildung 66: Wireframe Backend Erfahrungs-/Referenzbereich

Der Bereich „Konfigurationen“ in Abbildung 67 zeigt alle eingegangenen Konfigurationen, die über das Frontend des VR-Informationssystems erfolgreich zusammengestellt worden sind. Hier können jederzeit alle Einträge eingesehen werden, die unter Angabe der von den VR-KundInnen angegebenen E-Mail-Adresse gelistet sind. Alle Informationen sind der Reihe nach aufgelistet.

Um die Ergebnisse jeweils im Team zu verbreiten, für ein Kundenmeeting auszudrucken oder anderweitig extern zu nutzen, ist ein Export als .csv-Datei über einen Button möglich.

Die Auswertung der in den Anforderungstabellen definierten Technologien, die direkt in der Datenbank den Anforderungen zugewiesen werden, würde ebenfalls an dieser Stelle verortet werden. Hierzu müsste jede Anforderung im Vorfeld in Bezug auf ihre Eignung für spezifische VR-Darstellungstechnologien untersucht werden. Das Ziel dieser Arbeit ist jedoch primär der Aufbau und Inhalt eines geeigneten VR-Informationssystems und eine prototypische Umsetzung mit ausgewählten Anforderungen (Tabelle 31 bis Tabelle 40). Aus diesem Grund wird die Integration und Umsetzung einer Empfehlung für VR-Darstellungstechnologien vernachlässigt.

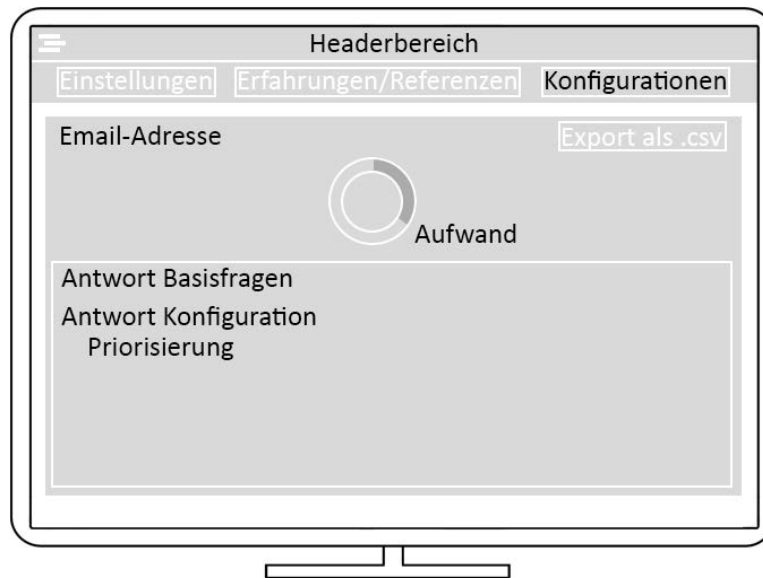


Abbildung 67: Wireframe Backend Konfigurationsbereich

Auf Basis dieser Wireframes ist eine technische Umsetzung möglich, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

4.6 Prototyp des VR-Informationssystems

Ziel des VR-Informationssystems im Rahmen dieser Arbeit ist es, für möglichst vielfältige Unternehmen und Entwicklungsabteilungen verfügbar zu sein. Dies bedeutet, dass bereits bei der Wahl des technischen Frameworks und der dazugehörigen Entwicklungsumgebung auf allgemein zugängliche, kostenfreie Produkte zurückgegriffen werden muss. Für eine orts- und geräteunabhängige Benutzung des VR-Informationssystems wird auf eine Umsetzung als Webanwendung zurückgegriffen. Um Manipulationen des VR-Informationssystems im Webbrowser zu erschweren, erfolgt eine Trennung zwischen Frontend und Backend innerhalb der Entwicklung. Das Frontend dient damit nur der reinen Datenvisualisierung und Interaktion, während die Datenverwaltung im Backend vorgenommen wird. Abbildung 68 veranschaulicht diese Architektur.

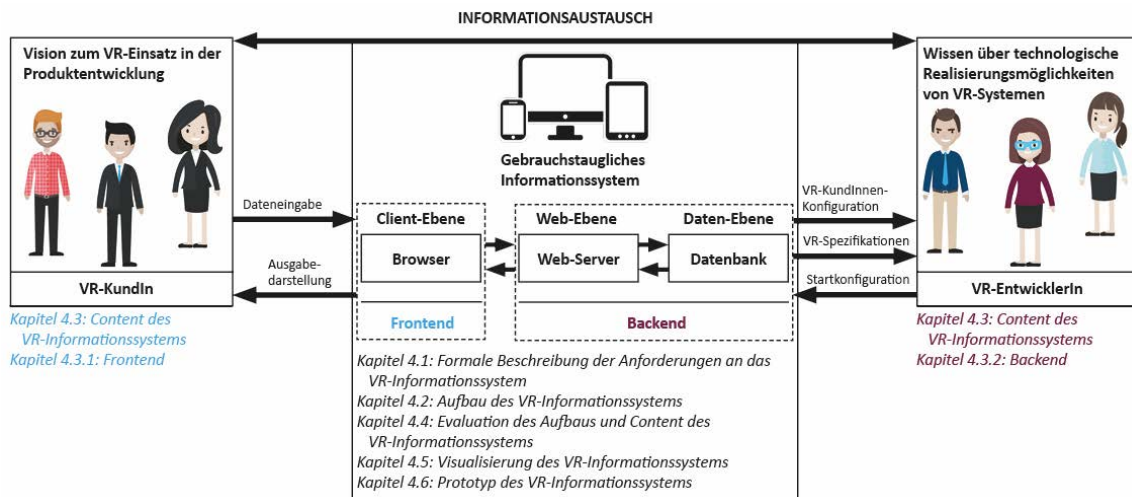


Abbildung 68: Architektur der Webanwendung (Rohr 2018, S. 2)

Um die Client-Server-Kommunikation performant zu halten, erfolgt die Verarbeitung der Anwendung als client-seitige Single-Page-Webanwendung, d. h., aus einem einzigen HTML-Dokument werden nur veränderte Daten dynamisch geladen. Dabei liegen auf dem Webserver lediglich die Nutzdaten. Zur Umsetzung von Single-Page-Anwendungen existieren verschiedene Frameworks, wobei das VR-Informationssystem mit Hilfe von Angular²⁷ realisiert wird. Grundlage für die Entscheidung bilden einerseits die weite Verbreitung von Angular und der damit verbundene langfristige Support sowie eine engagierte Entwicklungsgemeinschaft bei Problemstellungen. Andererseits unterstützt Angular die Entwicklung von skalierbaren, gut wartbaren und insbesondere modularen Anwendungen (Malcher et al. 2019, S. 7).

Da der Kern dieser Arbeit primär auf der Konzeption, Untersuchung und Verwendung des VR-Informationssystems liegt und nicht der Darstellung des technischen Aufbaus des Prototyps, erfolgt keine detaillierte Beschreibung des Systems. Lediglich die Realisierung der geforderten Visualisierung des Entwicklungsaufwandes unter Einbezug der eigenen Erfahrung anhand Tabelle 23 wird näher beschrieben, da diese eine explizit umgesetzte Sonderfunktion des VR-Informationssystems sowie einen eigenen Algorithmus beinhaltet.

²⁷ Angular ist ein TypeScript-basiertes Front-End-Webapplikationsframework , <https://angular.io/> [letzter Zugriff: 18.12.2020]

Zur Darstellung des Entwicklungsaufwandes muss vor dem ersten Einsatz des VR-Informationssystems im Erfahrungs-/Referenzbereichs des Backends (vgl. Abbildung 66) jeder einzelnen Anforderung ein interner Erfahrungswert (*keine, wenig, mittel, hoch*) zugewiesen werden. Da der Entwicklungsaufwand zusätzlich noch in Zusammenhang zur Priorisierung des Kunden steht (*irrelevant, kann, soll, muss*), werden diese Parameter berücksichtigt. Der Berechnungsalgorithmus legt zunächst pro Anforderung den Faktor für die Priorität fest:

- Kann = 0,5
- Soll = 0,75
- Muss = 1

Pro Anforderung wird danach der Faktor für die Erfahrung festgelegt:

- Keine = 1
- Wenig = 0,75
- Mittel = 0,5
- Hoch = 0,25

Wichtig ist dabei, dass für alle Anforderungen Werte gesetzt sind. Der Ausgabewert wird daraufhin über folgende Formel berechnet:

$$\text{Wert} = \left(\sum_{i=1}^n \text{prio}_i \times \text{erf}_i \right) \times 100$$

Dabei sind

$\text{prio}_i = \{\text{prio}_1, \dots, \text{prio}_n\}$: Anforderungsprioritäten und

$\text{erf}_i = \{\text{erf}_1, \dots, \text{erf}_n\}$: Erfahrungswerte für die Anforderungen

Aus diesem Ergebnis wird dann entsprechend dem Wireframe in Abbildung 67 eine dynamische Grafik generiert.

Um das VR-Informationssystem verbreiten zu können, sind für externe Installationen weiterhin die Installationsspezifikationen relevant. In Tabelle 42 werden die Spezifikationen der Software für das Aufsetzen der Entwicklungsumgebung dargelegt, die bei der Umsetzung verwendet wurden.

Tabelle 42: Software für die Entwicklungsumgebung

Software	Einsatzbereich
Angular CLI 8	Framework für das VR-Informationssystem
Git for Windows v2.25.0	Versionsverwaltung der Entwicklung und Dateiübertragung mit Verschlüsselung
Gitlab v5	Projektintegration
MongoDB v4.2.3	Datenbank
Node.js v12.14.1	Realisierung des Web-Servers
NPM v6.13.4	Realisierung des Web-Servers
Tortoise Git v2.9.0	GUI für Git for Windows
.Net Framework v4.5.1	Framework für Visual Studio Code

Die technische Bereitstellung des umgesetzten VR-Informationssystems erfolgt auf einem Virtual Private Server (VPS), einer isolierten virtuellen Umgebung auf einem physischen angemieteten Server. Die Kernkomponenten bestehen aus einer 2-Kern-CPU und 4GB RAM. Als Betriebssystem wird Ubuntu²⁸ 20.04 verwendet. Diese Konfiguration kann als ausreichend für die weiterführende Verwendung des VR-Informationssystems durch Dritte gesehen werden.

Das umgesetzte VR-Informationssystem ist prototypisch über folgende URL erreichbar:

www.vr-infosys.de

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die prototypische Umsetzung auf Basis der Wireframes in Kapitel 4.5. Zu beachten ist, dass trotz eines responsiven Designs die Darstellung des VR-Informationssystems vom verwendeten Endgerät und der Browserversion abhängig ist und eine hundertprozentige Funktionalität nicht garantiert werden kann.

²⁸ Ubuntu ist eine Linux-Distribution der Firma Canonical, mit der ein einfach zu installierendes und bedienendes Betriebssystem angeboten wird. <https://ubuntu.com/> [letzter Zugriff: 22.05.2020]

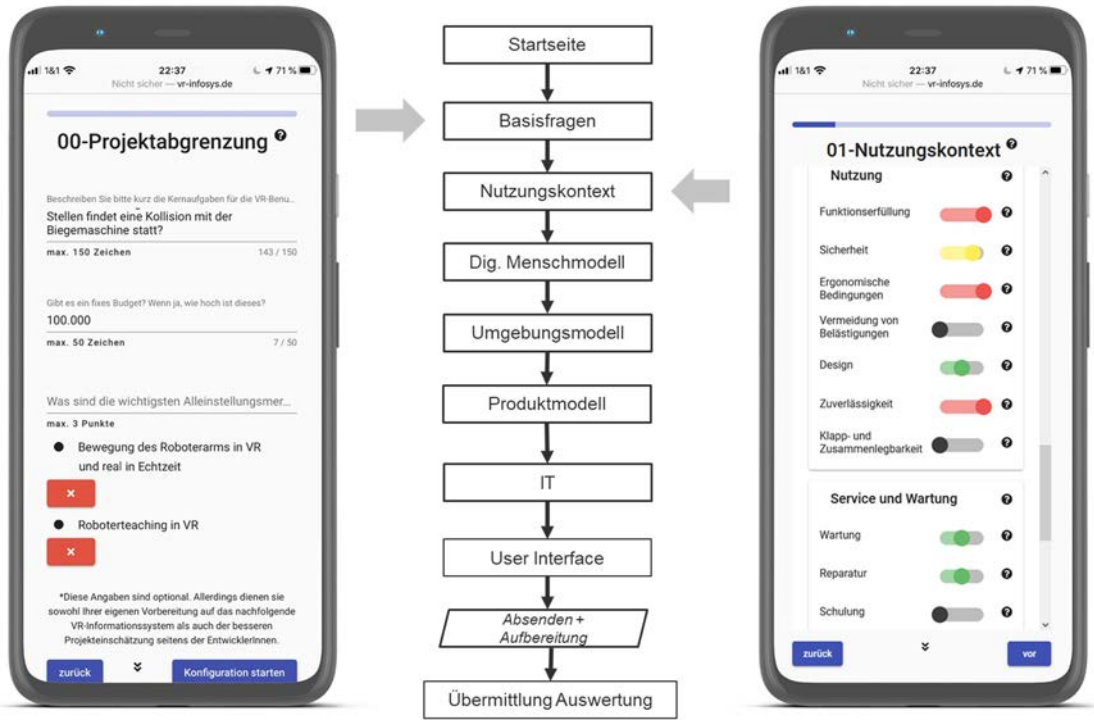


Abbildung 69: Darstellung der Basisfragen und Nutzungskontext im Frontend

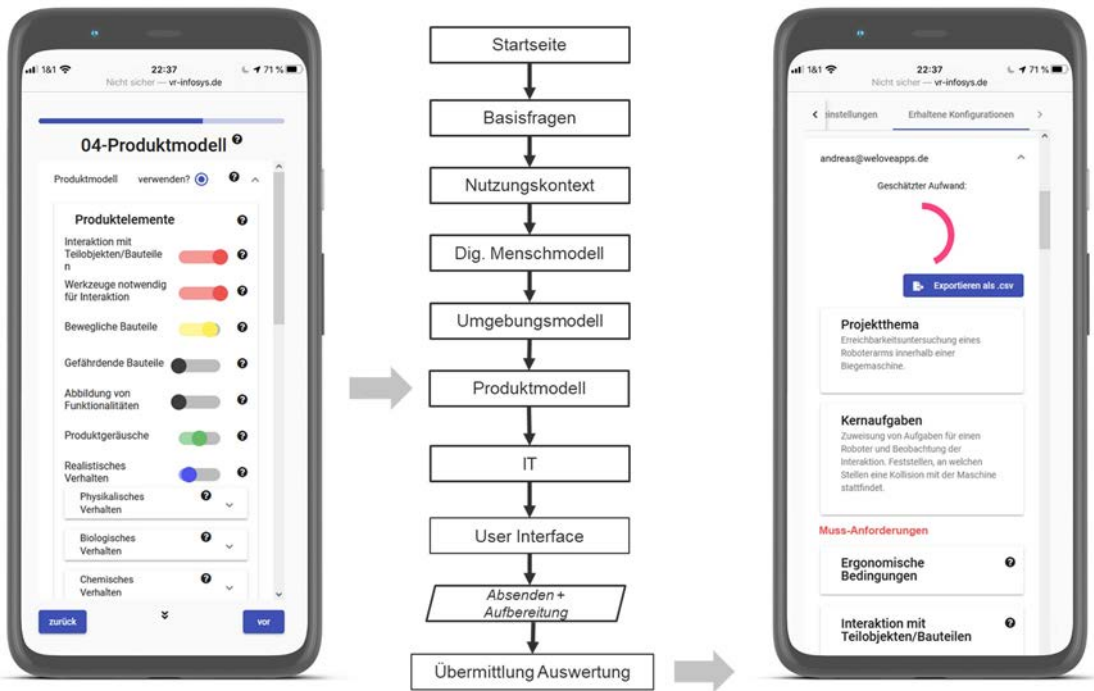


Abbildung 70: Darstellung Produktmodell im Frontend und Startseite im Backend

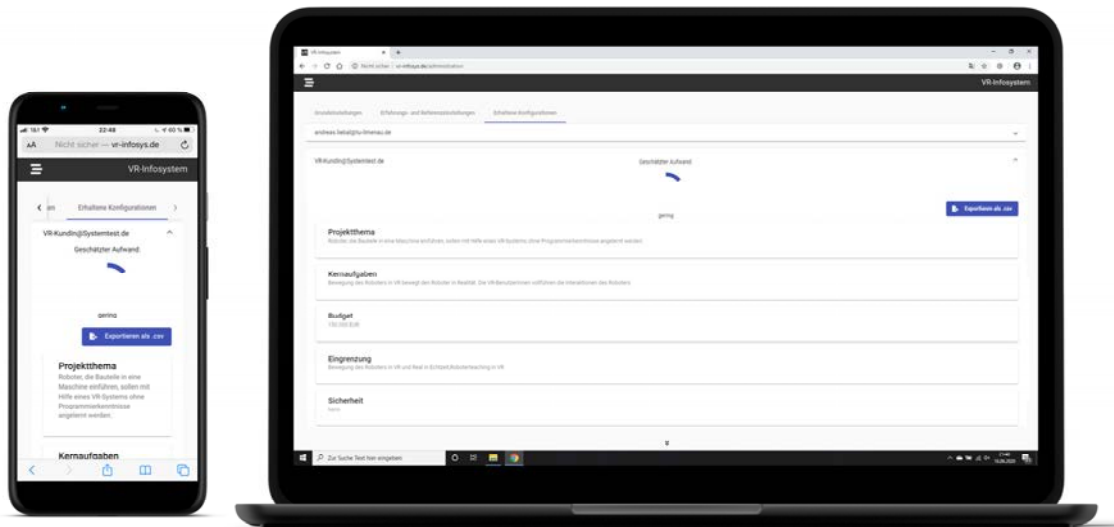


Abbildung 71: Darstellung der Konfiguration im Backend

In Kapitel 4.4 wurde das Konzept des VR-Informationssystems bereits erfolgreich einem Pre-Test unterzogen. Nach der Überführung des Konzeptes in einen funktionalen Prototyp kann das VR-Informationssystem nun in einer empirischen Studie abschließend untersucht werden. Für einen professionellen Einsatz des VR-Informationssystems ist hervorzuheben, dass ein refactoring des VR-Informationssystems gegebenenfalls von Nöten wäre, um es in eine bestehende Unternehmens-Infrastruktur einzubinden.

4.7 Fazit

Während in den Kapiteln 2 und 3 die theoretischen Grundlagen für ein VR-Informationssystem geschaffen worden sind, wurde in diesem Kapitel 4 das VR-Informationssystem konzeptionell und technisch entwickelt. Hierzu wurde einleitend in Kapitel 4.1 eine formale Struktur für die Beschreibung der VR-Spezifikationen definiert. Diese besteht aus Attributen, die analytisch und empirisch hergeleitet und jeweils in Bezug auf Relevanz für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen bewertet wurden. Aus der getrennten Betrachtung von VR-KundIn und VR-EntwicklerIn resultiert auch eine gesonderte Betrachtung der Interaktionsphasen von Frontend und Backend des VR-Informationssystems. Für beide Teilsysteme wurde eine eigene gebrauchsfähige Struktur entwickelt, um die Anforderungen an das VR-Informationssystem mit seinen umfangreichen VR-Spezifikationen abbilden zu können. Von großer Relevanz für die Struktur des VR-Informationssystems ist hierbei die Modelltrennung von VR-Szenen,

unter deren Zuhilfenahme die Struktur des VR-Informationssystems in Hinblick auf die Komponenten Produkt, Umgebung und digitales Menschmodell konkretisiert wurde. Hinzu kommen als „IT“-Komponente zusammengefasste technologische VR-Varianten und systemrelevante Rahmenbedingungen, User Interface Spezifikationen sowie VR-Spezifikationen zum gesamten Nutzungskontext des umzusetzenden VR-Systems. Zur Eingliederung der VR-Spezifikationsinhalte in einen Informationsablauf wurde in Kapitel 4.2 eine Gesamtstrukturierung von Frontend und Backend des VR-Informationssystems durchgeführt. Die Gesamtstruktur des Frontends besteht dabei aus den drei wesentlichen Teilen Hauptmenübereich für relevante Zusatzinformationen rund um das Thema des VR-Informationssystems, Basisfragen zur Identifikation des inhaltlichen und finanziellen Kerns der VR-Produktvision sowie dem Hauptteil mit den strukturierten Komponenten und den darunter enthaltenen VR-Spezifikationen. Die Gesamtstruktur des Backend gliedert ihren Administrationsbereich in Grundeinstellungen, Erfahrungs- und Referenzeinstellungen sowie die über das Frontend von KundInnen erhaltenen Konfigurationen. Nach Festlegung der Gesamtstruktur von Frontend und Backend wurden in Kapitel 4.3 alle Inhalte im Rahmen der eruierten formalen Struktur ermittelt und zur Absicherung in Kapitel 4.4 einer Voruntersuchung mit 27 Experten unterzogen. Zusammenfassend kann der aktuelle Stand des VR-Informationssystems in Bezug auf Nachvollziehbarkeit, Vollständigkeit, Anwendbarkeit, Allgemeingültigkeit und Verständlichkeit als sehr gut bewertet werden. Auf dieser Basis wurde das visuelle Konzept mit dem Fokus auf Responsive Design, Vermittlung der Priorisierung, Einbezug der eigenen Erfahrung, Aufwandsschätzung, Erklärung von Fachbegriffen und Minimalistische Zieldarstellung erarbeitet sowie in Form von Wireframes visualisiert. Die technische Umsetzung des orts- und geräteunabhängigen Prototyps erfolgte als client-seitige Single-Page-Webanwendung, die unter www.vr-infosys.de erreichbar ist. Damit kann der funktionale Prototyp des VR-Informationssystems einer abschließenden Evaluation mit dem Ziel der Beantwortung der Forschungsfragen unterzogen werden.

5 Evaluation des VR-Informationssystems

5.1 Evaluationsdesign

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, wie ein VR-Informationssystem den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn bei der Spezifikation eines VR-Systems unterstützen kann, erfolgten in den Kapiteln 2 und 3 analytische und empirische Untersuchungen, die in Kapitel 4 zu einer Konzeption und prototypischen Realisierung eines VR-Informationssystems geführt haben. Im Kontext dieser Hauptforschungsfrage und der Teilforschungsfrage, wie die konzeptionelle Planung von VR-Anwendungen benutzerorientiert, aber allgemeingültig aufbereitet werden kann, erfolgt in diesem Kapitel die Evaluation des Prototyps. Aus technischer Sicht hat der Prototyp des VR-Informationssystems zunächst das Ziel, den in Tabelle 25 zusammengefassten Anforderungen der beiden Zielgruppen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn zu entsprechen und eine einheitliche Basis für das gemeinsame Verständnis der VR-Projektvision zu schaffen. Hierzu erfolgt in Kapitel 5.2 eine Überprüfung der realisierten Anforderungen anhand dieser Tabelle. Dabei erhebt der Prototyp keinen Anspruch auf ein vollständig funktionales Softwareprodukt im Sinne der ISO 9241-110 (DIN EN ISO 9241-110), die eine Anwendung in Bezug auf die Erfüllung der sieben Gestaltungsanforderungen Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit untersucht und damit die Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung unterstützt (DIN EN ISO 9241-110, S. 22). Der durchgeführte Usability Test wird mit der Methode des Cognitive Walkthrough (Sarodnick und Brau 2011, S. 152) durchgeführt und nicht auf die drei genannten Usability-Maße evaluiert, sondern es wird auf eine Befragung mit Hilfe eines Systems-Usability-Scale-Fragebogens (SUS) nach (Brooke 1996) zur Bewertung der wahrgenommenen Usability zurückgegriffen. Dieser Fragebogen ist nicht auf die Identifikation spezifischer Probleme ausgerichtet, sondern vielmehr auf den Erhalt einer allgemeinen Einschätzung der Usability. Der geringe Schwierigkeitsgrad, die hohe Zuverlässigkeit und eine einfache Anwendung bzw. Auswertung des SUS (Lewis 2018) sprechen im vorliegenden Kontext dieser Arbeit für den Einsatz des Fragebogens, der folgende zehn Fragen beinhaltet (Brooke 1996, S. 190):

Tabelle 43: Systems-Usability-Scale-Fragen (Brooke 1996)

Nr.	Frage
1	Ich kann mir vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.
2	Ich finde das System unnötig komplex.
3	Ich empfinde die Nutzung des Systems als einfach.
4	Ich denke, dass ich Hilfe eines technischen Supports brauche, um das System nutzen zu können.
5	Ich finde, dass die Funktionen im System gut integriert wurden.
6	Ich finde, dass das System zu viele Inkonsistenzen aufweist.
7	Ich denke, dass viele Personen die Nutzung dieses Systems schnell erlernen würden.
8	Ich empfinde die Nutzung des Systems sehr umständlich.
9	Ich fühle mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher.
10	Ich muss viele Dinge erlernen, um das System nutzen zu können.

Die Bewertung der einzelnen Fragen erfolgt über eine fünfstufige Likert-Skala, die mit folgenden Aussagen verknüpft ist:

Tabelle 44: Stufen und Wertung (Score) der Likert-Skala für den Systems-Usability-Scale

Stufe	1	2	3	4	5
Aussage	Trifft gar nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils-teils	Trifft eher zu	Trifft vollkommen zu
Score (Fragen 1,3,5,7,9)	0	1	2	3	4
Score (Fragen 2,4,6,8,10)	4	3	2	1	0

Die Auswertung des Fragebogens erfolgt nach Brooke (Brooke 1996) dabei nicht Frage für Frage, sondern insgesamt als ein SUS-Score in der Dimension 0 (minimal) bis 100 (maximal). Tabelle 44 kann weiterhin entnommen werden, welcher Wertungswert (Score) den jeweiligen Aussagen zugeordnet ist. Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9 ergibt sich der Score aus der jeweiligen Stufe minus 1. Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10 ergibt sich der Score aus der Differenz zwischen 5 und der jeweiligen Stufe. Die Score-Summe wird zum Schluss mit dem Faktor 2,5 multipliziert und bildet den finalen SUS-Score. Werden beispielsweise alle Fragen mit „Trifft eher zu“ beantwortet, wird für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9 jeweils ein Score von 3 aufaddiert und für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10 jeweils ein

Score von 1. Diese Summe ($15+5=20$) wird mit 2,5 multipliziert und ergibt einen Gesamt-Score von 50. Die Interpretation des SUS-Scores erfolgt anhand der Definition von Sauro (Sauro 2011), wie Abbildung 72 darstellt. Während Werte unter einem Score von 50 auf nicht unerhebliche Usability-Probleme hinweisen, würden Nutzer ein System mit einem Score von über 80 weiterempfehlen (Sauro 2011).

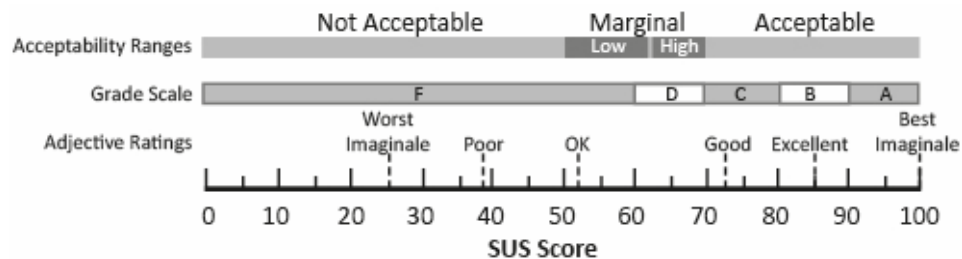


Abbildung 72: Interpretation des SUS-Score (Sauro 2011)

Der Schwerpunkt der Forschungsfragen liegt darüber hinaus in der strukturellen und inhaltlichen Ausgestaltung eines VR-Informationssystems, weshalb der Fragebogen einerseits mit VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifischen Fragen zur inhaltlichen und strukturellen Qualität und andererseits mit bereits in Kapitel 4.4 einer Voruntersuchung unterzogenen Eigenschaften der Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit (Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 10) ergänzt wird. Die beiden Szenarios bzw. jeweiligen Aufgaben sind so gewählt, dass die beiden Probandengruppen sowohl einen allgemeinen aber vollständigen Überblick über den Aufbau und Inhalt über das VR-Informationssystem erhalten als auch gezielt die Anforderungen aus Tabelle 23, Tabelle 24, Tabelle 25 und Tabelle 29 auf ihre Umsetzung bewerten können. Abbildung 73 zeigt den Ablauf der Evaluation in Kapitel 4.2.

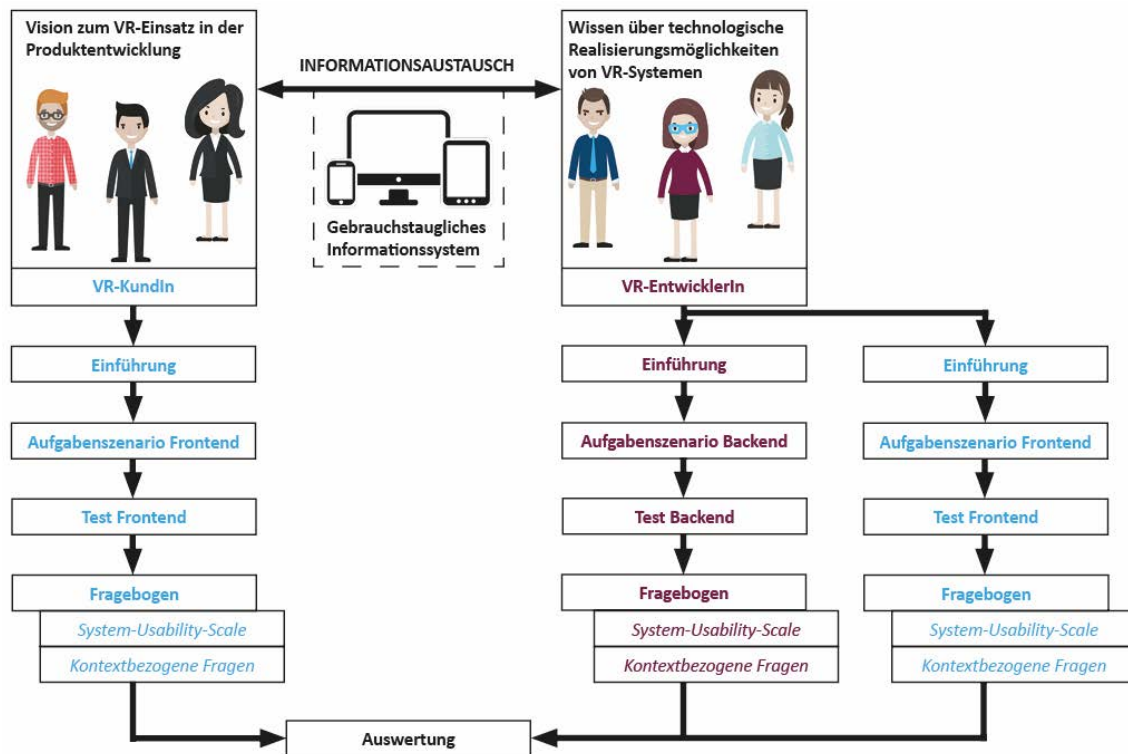


Abbildung 73: Ablauf der Evaluation

Um Schwachstellen identifizieren bzw. die Nützlichkeit des VR-Informationssystems bewerten zu können, ist eine getrennte Untersuchung von Frontend und Backend notwendig. Das Frontend wird dabei ausschließlich von KundInnen bewertet. Für VR-EntwicklerInnen bildet das Backend zwar den Arbeitsschwerpunkt, die Beurteilung der Struktur, der Inhalte und Funktionalitäten des Frontends des VR-Informationssystems ist für VR-EntwicklerInnen als AnbieterInnen des VR-Informationssystems jedoch ebenfalls unerlässlich. Die Probanden für die Durchführung der Evaluation in Kapitel 5.3 wurden basierend auf den Personas in Kapitel 3.3 ausgesucht und nach VR-KundIn und VR-EntwicklerIn unterteilt. Durch unterschiedliche Funktionalitäten der beiden Teilsysteme und Anforderungen der Zielgruppen, die in Kapitel 4.5 in das visuelle Konzept überführt wurden, werden zwei unterschiedliche Aufgabenszenarien für die Testdurchführung definiert. Nach einer Einführung, die eine Beschreibung des frontend- und backendspezifischen Anwendungskontextes des VR-Informationssystems und der Vorstellung eines konkreten Aufgabenszenarios beinhaltet, erfolgt der Cognitive Walkthrough unter Zuhilfenahme der Thinking Aloud-Methode (Sarodnick und Brau 2011, S. 170), um die Gedanken der ProbandInnen während der Nutzung zu erfahren. Der inhaltliche Ablauf der Studie variiert in Abhängigkeit von VR-KundIn oder VR-

EntwicklerIn. Beide Zielgruppen bekommen für sie im Kontext eines definierten Szenarios relevante Aufgaben in Abhängigkeit des Testgegenstands Frontend bzw. Testgegenstands Backend. Die konkreten Aufgaben sowie die Fragebögen sind dem Anhang F zu entnehmen. Während die VR-KundInnen ausschließlich mit dem Frontend interagieren werden, ist für die VR-EntwicklerInnen in erster Instanz das Backend von Bedeutung. Allerdings müssen die VR-EntwicklerInnen auf der einen Seite mit dem Frontend vertraut sein und haben auf der anderen Seite ebenfalls den Anspruch an ein vollständiges und verständliches VR-Informationssystem. Aus diesem Grund erfolgt bei den VR-EntwicklerInnen eine Untersuchung beider Testgegenstände.

5.2 Validierung der realisierten technischen Anforderungen an das VR-Informationssystem

In Kapitel 3.7 wurden nach Informationszugang, Benutzerführung, Layout und Ergebnispräsentation unterteilte Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems zusammengefasst und für die prototypische Entwicklung vorausgesetzt. In Tabelle 45 wird das realisierte VR-Informationssystem anhand der Beurteilung erfüllt/nicht erfüllt bewertet, um sicherzustellen, dass eine optimale technische Basis für die Evaluation in Kapitel 5.3 geschaffen wurde.

Tabelle 45: Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems

Bereich	Anforderung	Beurteilung
Informationszugang	<i>Technik</i>	
	Responsive Darstellung	erfüllt
	Berücksichtigung von Smartphone-VR	erfüllt
	<i>Content</i>	
	Hierarchische Struktur des Content	erfüllt
	Separation von Produktmodell, Umgebungsmodell und digitales Menschmodell	erfüllt
	Separation von unterschiedlichen Nutzungskontext	erfüllt
	Separation von unterschiedlichen VR-Technologien	erfüllt
	Separation von verschiedenen VR-Interaktionselementen	erfüllt

Bereich	Anforderung	Beurteilung
	Vollständigkeit bzw. Erweiterbarkeit der Spezifikationselemente	erfüllt
	Generische Spezifikationselemente	erfüllt
Benutzerführung	Zusatzinformationen	erfüllt
	Fortschrittsanzeige	erfüllt
	Flexible Navigationsmöglichkeiten	erfüllt
	Zuweisen von Prioritäten an die Spezifikationselemente	erfüllt
Layout	Schlichtes Design	erfüllt
Ergebnispräsentation	Management des Zugriffs auf die Ergebnisse	erfüllt
	Einschätzung des Entwicklungsaufwands	erfüllt
	Einschätzung der VR-Technologiekosten	nicht erfüllt
	Integration in den VR-Entwicklungsprozess	erfüllt

Im Ergebnis wurden nahezu alle Anforderungen umgesetzt worden. Lediglich die Einschätzung der Kosten für die technische Entwicklung eines konfigurierten VR-Systems konnte nicht realisiert werden. Hierzu spielt die Berücksichtigung zu vieler Faktoren eine Rolle (Anschaffungskosten fehlender Ressourcen wie Hardware, Software oder Personal oder Nebenkosten sowie individuelle Berechnungsgrundlagen), die im Rahmen dieser Arbeit nicht beachtet werden konnte, da zuerst die Basis des VR-Informationssystems geschaffen werden musste.

5.3 Durchführung der Evaluation

Die Evaluation wird nach dem in Abbildung 73 dargestellten Ablauf durchgeführt. Es wurden sieben Probanden der Rolle VR-KundIn und sieben Probanden der Rolle VR-EntwicklerIn zum Usability Test herangezogen, die in den beiden nachfolgenden Unterkapiteln näher beschrieben werden. Da ein Zugriff auf das VR-Informationssystem online möglich ist, konnten die Probanden die Evaluation remote durchführen. ProbandIn und Versuchsleiter waren dabei nicht am selben Ort, aber über eine Videokonferenz miteinander verbunden. Dabei wurde der Bildschirm geteilt, um die Interaktionen zu den ausgesprochenen Gedanken sehen können. Nach einer Einführung und der Vorstellung eines vorgegebenen Szenarios wurden rollenspezifische Aufgaben gestellt, um die Beantwortung aller Fragen zu ermöglichen und mit den ermittelten Anforderungen abzugleichen. Die Fragen leiten sich aus drei Quellen ab, welche die in Tabelle 46 dargestellten Kriterien beinhalten.

Tabelle 46: Aufbau des Fragenkatalogs für die Evaluation

Kriterium	Werkzeug	Quelle	Bezug
Allgemeine Einschätzung der Usability	Systems Usability Scale	(Brooke 1996)	Tabelle 24 Tabelle 25
Bewertung der Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit (im Kontext von Kapitel 4.4)	Eigenschaften aus dem IEEE Standard 830:1998	(Institute of Electrical and Electronics Engineers 1998, S. 10)	Tabelle 23 Tabelle 24
Spezifische Fragen zur Praktikabilität	VR-KundIn- und VR-EntwicklerIn-spezifische Fragestellungen	Eigene Fragestellung	Tabelle 23 Tabelle 24 Tabelle 29

Die Fragen des SUS wurden in Tabelle 43 bereits dargestellt. Die Fragen zur Bewertung der Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit ergänzen den Fragebogen für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen analog zu Kapitel 4.4 gleichermaßen wie folgt:

Tabelle 47: Ergänzende Fragen zu Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit

Nr.	Frage
11	Der Aufbau des VR-Informationssystems ist nachvollziehbar.
12	Der Inhalt des VR-Informationssystems ist vollständig.
13	Das VR-Informationssystem ist mit eigenem Vorwissen anwendbar.
14	Das VR-Informationssystem besitzt eine hohe Allgemeingültigkeit.
15	Die Begrifflichkeiten des VR-Informationssystems sind verständlich.

Die VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifischen Fragen, anhand derer sich die zielgruppenindividuelle Praktikabilität des VR-Informationssystems ableiten lässt, sind wie folgt im Fragebogen enthalten:

Tabelle 48: Ergänzende Fragen VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifisch

VR-KundInnen	
Nr.	Frage
16	Das VR-Informationssystem bietet eine gute Beschreibungsmöglichkeit für ein VR-System.
17	Ich kann mit dem VR-Informationssystem alle meine Wünsche einbringen.
18	Die Möglichkeit, VR-EntwicklerInnen die Spezifikationen mitteilen zu können, für die ich evtl. noch eine Beratung benötige, finde ich sehr hilfreich.
VR-EntwicklerInnen	
Nr.	Frage
16	Die Konfigurationsbeschreibung ist als Entwicklungsvorgabe ausreichend.
17	Ich kann den Aufwand einer Wunschkonfiguration mit Hilfe des VR-Informationssystems erkennen.
18	Ich erkenne die Stellen, an denen die VR-KundInnen unsicher sind.

Zur Beantwortung der Fragen erhalten die ProbandInnen vorgegebene Szenarios mit Aufgaben, anhand derer sie das VR-Informationssystem kennenlernen und benutzen können (Anhang F). Zur Beurteilung der Bewertungen der ProbandInnen erfolgt in den nächsten beiden Unterkapiteln eine Darstellung der ProbandInnen unterteilt nach VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen, die den definierten Personas in Kapitel 3.3 entsprechen.

5.3.1 VR-KundInnen als ProbandInnen

Anhand der Personas in Kapitel 3.3 wurden sieben ProbandInnen in der Rolle der VR-KundInnen mit der Evaluation des Frontends des VR-Informationssystems betraut. Tabelle 49 zeigt die genaue Verteilung der VR-KundInnen.

Tabelle 49: Verteilung der VR-KundInnen in Bezug auf Personas




Position der Persona	Geschäftsführer		Konstruktionsleiterin		Produktentwickler	
Verweis	Tabelle 17		Tabelle 18		Tabelle 19	
Anzahl ProbandInnen	1		3		3	

Abbildung 74 repräsentiert die Altersverteilung der sieben befragten ProbandInnen.

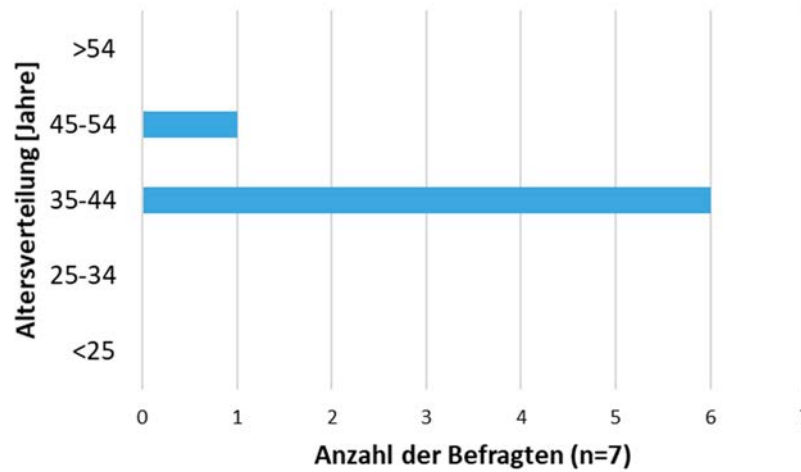


Abbildung 74: Altersverteilung der VR-KundInnen

Weiterhin wurden alle Personen nach Ihrer Erfahrung hinsichtlich der Benutzung von VR unterteilt nach Nutzung im beruflichen sowie privaten Kontext befragt. Wie in Abbildung 75 zu erkennen ist, haben die befragten VR-KundInnen überwiegend wenig Erfahrung mit VR.

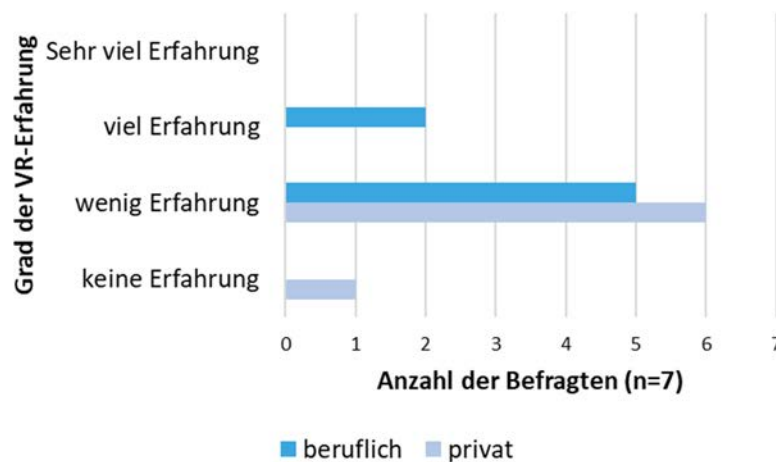


Abbildung 75: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-KundInnen

Ergänzend dazu erfolgte eine Abfrage bezüglich der Komplexität bisheriger beauftragter bzw. durchgeführter VR-Projekte. Die Klassifizierung in Tabelle 49 basiert auf derselben Herleitung und Verwendung wie in Kapitel 3.3. Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, dass die meiste Erfahrung bei der Durchführung von kleinen VR-Projekten besteht.

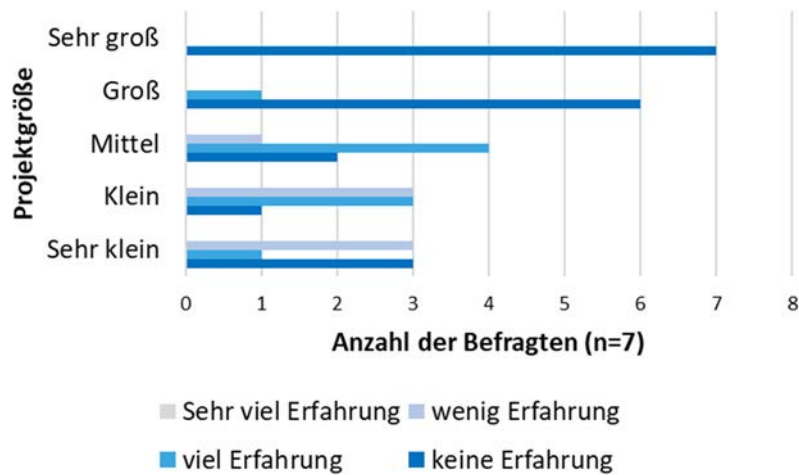


Abbildung 76: Bisherige Erfahrungen der VR-KundInnen mit VR-Projekten

5.3.2 VR-EntwicklerInnen als ProbandInnen

Ergänzend zu den VR-KundInnen wurden ebenfalls anhand der Personas in Kapitel 3.3 sieben ProbandInnen in der Rolle der VR-EntwicklerInnen mit der Evaluation des Backends sowie des Frontends des VR-Informationssystems betraut. Tabelle 50 zeigt die genaue Verteilung der VR-EntwicklerInnen.

Tabelle 50: Verteilung der VR-EntwicklerInnen in Bezug auf Personas




Position der Persona	Entwickler/ Administrator VR-Labor		Software- entwicklerin VR		Produkt- managerin	
Verweis	Tabelle 20		Tabelle 21		Tabelle 22	
Anzahl ProbandInnen	1		4		2	

Abbildung 77 repräsentiert die Altersverteilung der sieben befragten ProbandInnen.

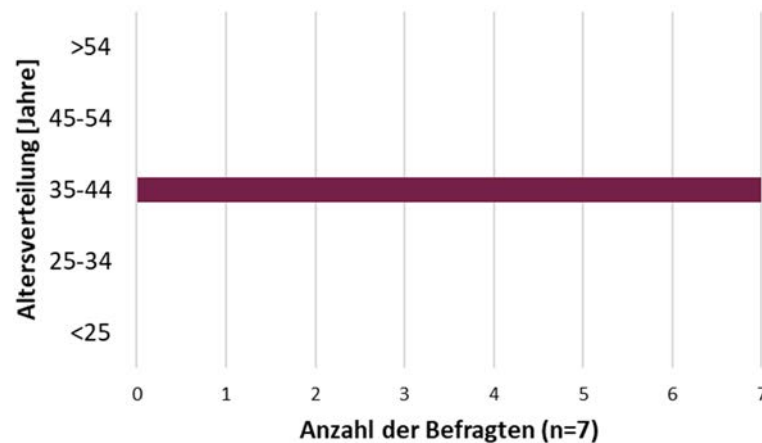


Abbildung 77: Altersverteilung der VR-EntwicklerInnen

Alle Personen wurden nach ihrer Erfahrung hinsichtlich der Benutzung von VR unterteilt nach Nutzung im beruflichen sowie privaten Kontext befragt. Abbildung 78 bestätigt die fachliche Kompetenz der befragten VR-EntwicklerInnen und zeigt Interesse an VR im privaten Bereich.

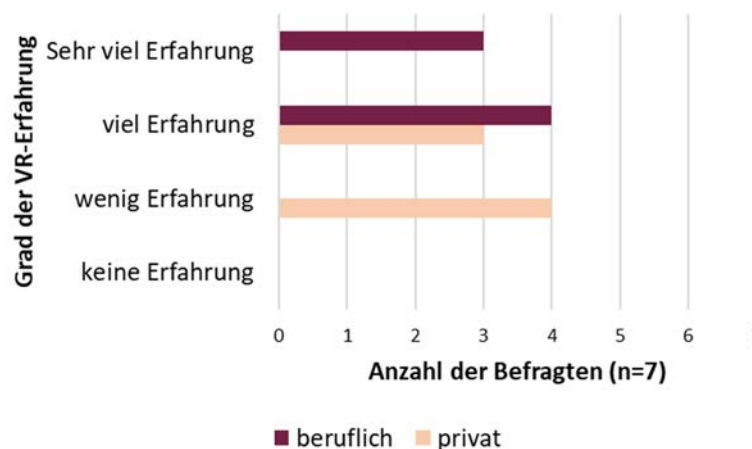


Abbildung 78: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-EntwicklerInnen

Die Abfrage bezüglich der Komplexität bisheriger beauftragter bzw. durchgeführter VR-Projekte in Abbildung 79 erfolgt mittels einer Klassifizierung, die bereits in Kapitel 3.3 sowie in Kapitel 5.3.1 hergeleitet und verwendet wurde. Entsprechend der Umfrageergebnisse unter den VR-KundInnen besteht keinerlei Erfahrung mit sehr großen bzw. nur geringe Erfahrung mit großen Projekten. Die maßgebliche Größe von VR-Projekten liegt vorrangig bei sehr kleinen bis mittelgroßen VR-Projekten.

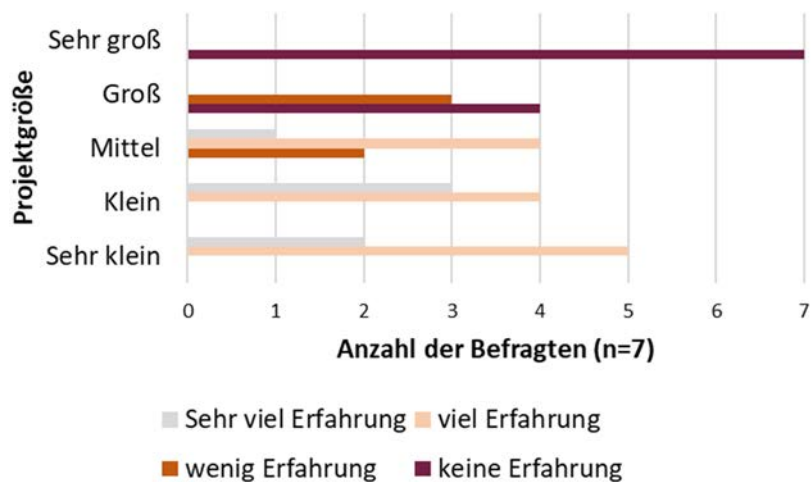


Abbildung 79: Bisherige Erfahrungen der VR-EntwicklerInnen mit VR-Projekten

5.4 Auswertung der Evaluation

Das Frontend und Backend des VR-Informationssystems wurden mit sieben VR-KundInnen und sieben VR-EntwicklerInnen in der in Kapitel 5.3 beschriebenen Weise evaluiert. Die Auswertung der Ergebnisse wird im Folgenden anhand der Kriterien in Tabelle 46 gegliedert. Mit Hilfe des Systems Usability Scale soll die allgemeine Usability des getesteten Prototyps des VR-Informationssystems eingeschätzt werden. Bezugnehmend auf Abbildung 80 wird das VR-Informationssystem durch VR-KundInnen mit einem SUS-Score-Mittelwert von 73 bewertet. Dies entspricht einer guten Usability. Der Wert mit der größten Negativabweichung resultiert maßgeblich aus der Einschätzung einer unnötigen Komplexität bzw. nicht einfachen Benutzbarkeit. Dem gegenüber stehen sechs Bewertungen, die diese beiden Bewertungskriterien relativieren, indem sowohl die Komplexität als auch die Benutzbarkeit als positiv betrachtet werden.

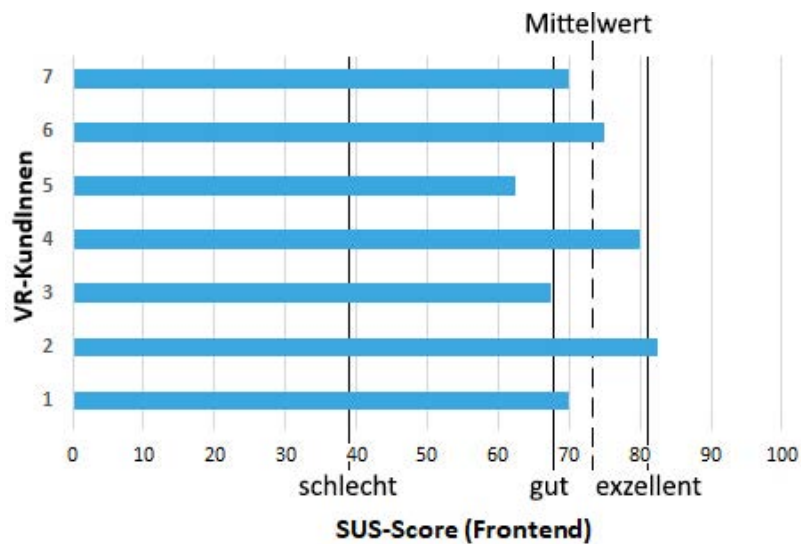


Abbildung 80: Bewertung des Frontends durch VR-KundInnen mit Hilfe des Systems-Usability-Scales

Das Frontend des VR-Informationssystems wurde ergänzend durch VR-EntwicklerInnen bewertet und in Abbildung 81 ausgewertet. Im Gegensatz zu den VR-KundInnen ergab die Bewertung des Frontends einen SUS-Score-Mittelwert von 85. Die hohe Abweichung bezüglich der positiven Bewertung ist insbesondere darin begründet, dass VR-EntwicklerInnen bereits durch ihr Fachwissen aus der IT-Domäne über ein erhöhtes Verständnis bezüglich der Nutzung von IT-Informationssystemen verfügen. Dadurch bewerten sie die Benutzung der VR-Informationssystems deutlich positiver und betrachten die Notwendigkeit der Komplexität realistischer.

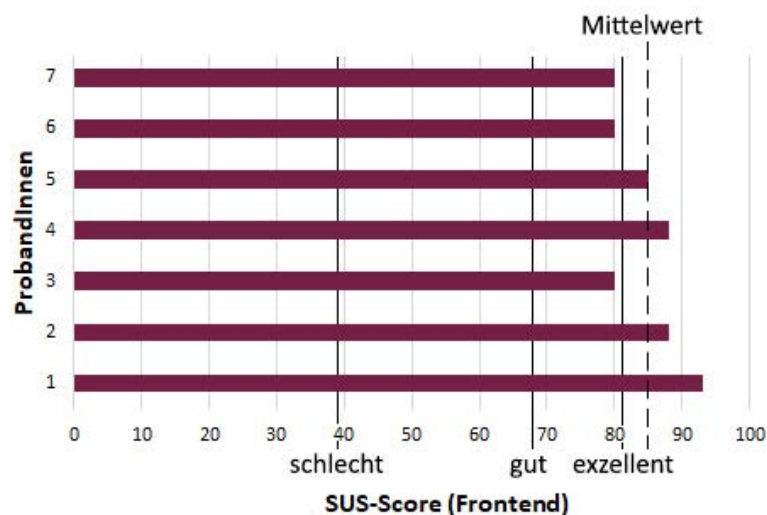


Abbildung 81: Bewertung des Frontends durch VR-EntwicklerInnen mit Hilfe des Systems-Usability-Scales

Das Backend des VR-Informationssystems wurde ausschließlich durch die VR-EntwicklerInnen als alleinige BenutzerInnen bewertet. Mit einem in Abbildung 82 dargestellten SUS-Score-Mittelwert von 75 wird das Backend als überdurchschnittlich gut beurteilt. Der Wert mit der hohen Positivabweichung basiert auf einem hohen Erfahrungsgehalt mit VR-Technologien sowohl im privaten als auch beruflichen Bereich und einem Projektwissen von mittelgroßen VR-Projekten. Damit kann davon ausgegangen werden, dass hier ein großes Allgemeinverständnis für VR-Technologien und auch -bewertungen besteht und auch die Interaktion mit dem VR-Informationssystem vergleichsweise weniger Schwierigkeiten verursacht.

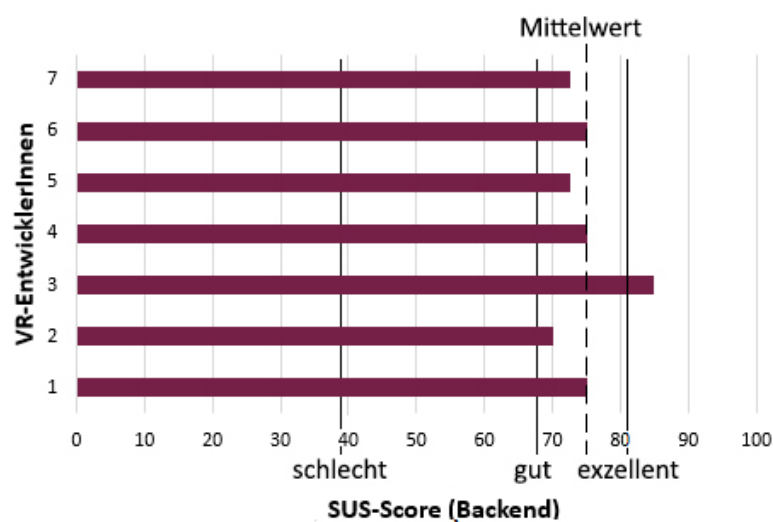


Abbildung 82: Bewertung des Backend durch VR-EntwicklerInnen mit Hilfe des Systems-Usability-Scales

Der zweite Fragenkomplex des Fragebogens beschäftigte sich mit der Bewertung der Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit. Abbildung 83 zeigt im Kontext des Frontends des VR-Informationssystems eine überwiegend positive Bewertung durch VR-KundInnen. Die schlechteste Bewertung ist in Bezug auf die Verständlichkeit der Begrifflichkeiten im Rahmen des VR-Informationssystems zu sehen. Dies steht im Zusammenhang mit mangelnder Erfahrung mit VR-Technologien und somit auch den zugehörigen Terminologien. Die eindeutigste Zustimmung ist bezüglich der Allgemeingültigkeit des VR-Informationssystems zu sehen, was insbesondere in Bezug auf eine branchen- und aufgabenbereichsübergreifende Verbreitung sowie eine nachhaltige Benutzung relevant ist. Dies wird unterstützt durch eine annähernd erreichte Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit des VR-Informationssystems.

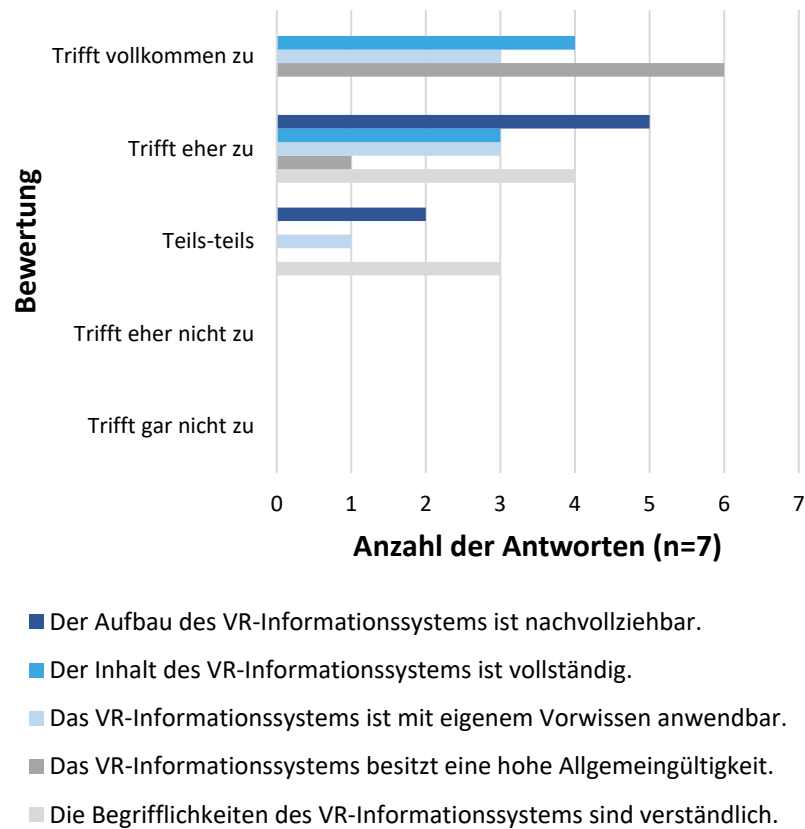


Abbildung 83: Ergänzende Fragen an VR-KundInnen zum Frontend des VR-Informationssystems

Ergänzend zur positiven Bewertung des Frontends des VR-Informationssystems durch VR-KundInnen bestätigt Abbildung 84 diese positive Bewertung ebenfalls durch VR-EntwicklerInnen.

Dabei ähnelt sich sowohl die positive Einschätzung bezüglich Allgemeingültigkeit, Vollständigkeit oder Nachvollziehbarkeit als auch die vergleichsweise negative Einschätzung bezüglich der Verständlichkeit.

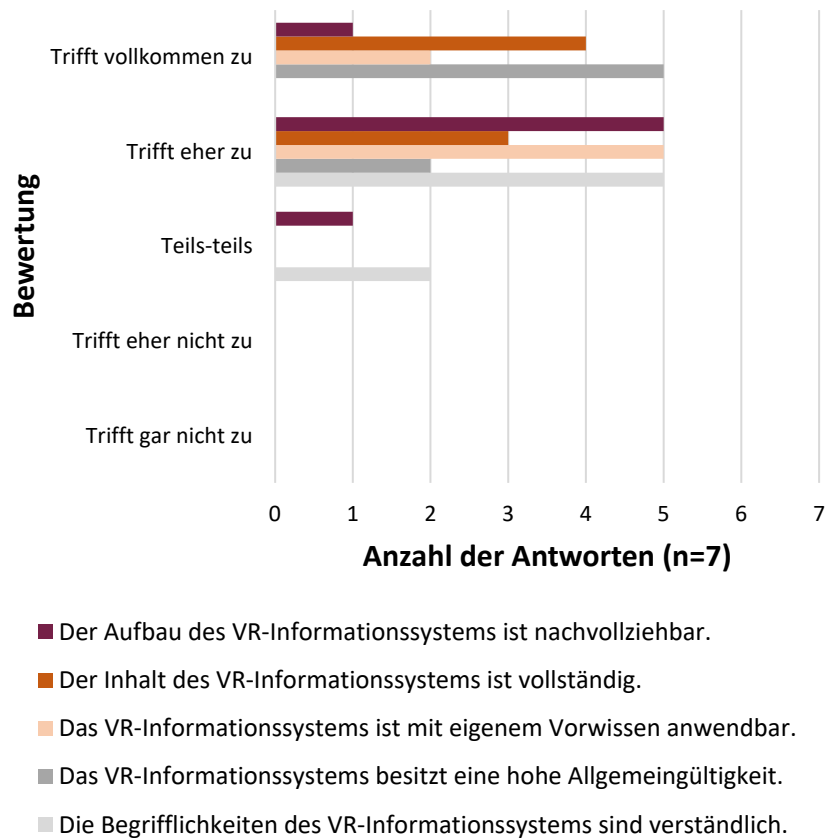


Abbildung 84: Ergänzende Fragen an VR-EntwicklerInnen zum Frontend des VR-Informationssystems

Ergänzend zum Frontend wurden den VR-EntwicklerInnen dieselben Fragen zum Backend des VR-Informationssystems gestellt, die mit nahezu 95 Prozent positiv bis sehr positiv bewertet wurden. Analog zum Frontend wurde auch hier eine hohe Allgemeingültigkeit gesehen, sodass das VR-Informationssystem in Form des Backends ebenfalls branchen- und aufgabenbereichsübergreifend Anwendung finden kann. Mit hoher Zustimmung kann das VR-Informationssystem darüber hinaus vollständig mit eigenem Vorwissen angewendet werden, sodass keine besondere Einarbeitung notwendig ist. Auch die Vollständigkeit wird überwiegend als vollkommen erfüllt angesehen. Bei der Verständlichkeit der Begrifflichkeiten werden analog zur Frontendbewertung auch beim Backend einige Schwächen gesehen, die sich jedoch auf die im Backend dargestellten Anforderungen beziehen.

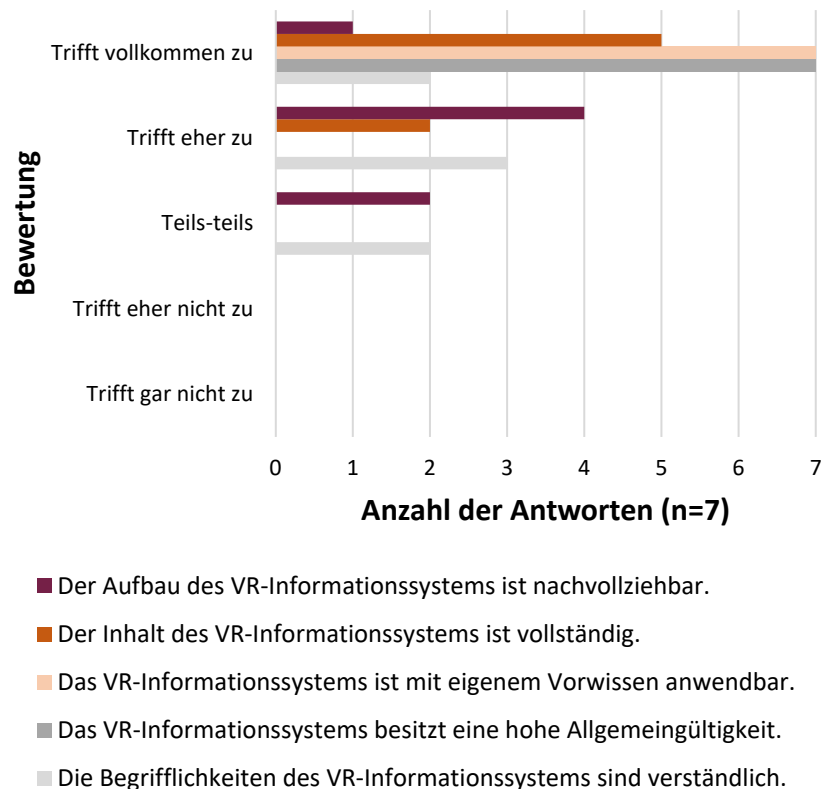
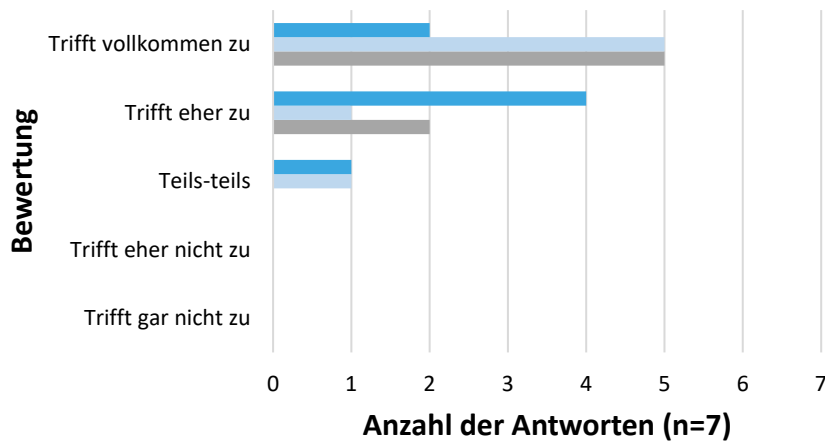


Abbildung 85: Ergänzende Fragen an VR-EntwicklerInnen zum Backend des VR-Informationssystems

Der dritte und letzte Fragenkomplex des Fragebogens enthielt spezifische Fragen zur Praktikabilität. Hierbei wurden Fragen gestellt, die sich auf den direkten Mehrwert der beiden Zielgruppen beziehen. Im Kontext des Frontends stimmten laut Abbildung 86 zwei von sieben befragten VR-KundInnen vollständig zu, dass das VR-Informationssystem eine gute Beschreibungsmöglichkeit bietet. Vier von sieben Befragten stimmten zwar ebenfalls zu, haben aber leichte Bedenken geäußert, ob es nicht noch andere Möglichkeiten gibt, VR-Systeme im Kommunikationsprozess für VR-KundInnen zu beschreiben. Dabei wurden weder Verbesserungsvorschläge geliefert noch auf explizite Mängel hingewiesen.

Das Einbringen eigener Wünsche in die Konfiguration eines VR-Systems wurde dabei viel positiver bewertet. Fünf von sieben Befragten haben die höchste Bewertung abgegeben. Mit der dritten Frage konnte sehr zufriedenstellend bestätigt werden, dass fünf von sieben Befragten die Möglichkeit der Beratungsanforderung zu bestimmten Spezifikationen für sehr hilfreich und zwei von sieben Befragten für hilfreich empfinden.



- Das VR-Informationssystem bietet eine gute Beschreibungsmöglichkeit für ein VR-System.
- Ich kann mit dem VR-Informationssystem alle meine Wünsche einbringen.
- Die Möglichkeit, EntwicklerInnen die Spezifikationen mitteilen zu können, für die ich evtl. noch eine Beratung benötige, finde ich sehr hilfreich.

Abbildung 86: Spezifische Fragen an VR-KundInnen zur Praktikabilität des Frontends des VR-Informationssystems

Auf Seiten der VR-EntwicklerInnen wird das VR-Informationssystem ebenfalls als sehr gute bis gute Beschreibungsmöglichkeit für ein VR-System gesehen. Die Möglichkeit, alle Wünsche für die Konfiguration eines VR-Systems einzubringen, wird im Gegensatz zu den VR-KundInnen etwas differenzierter bewertet. Zwar gibt es ebenfalls nur einen Probanden, der mit einem Mittelwert gestimmt hat, doch sind die Positivbewertungen etwas verhaltener. Die VR-EntwicklerInnen sehen hier mehr Potenzial in der Definition detaillierterer Informationen, wobei dies wiederum auf Kosten der Allgemeingültigkeit und der Komplexität wäre. Das Einbringen eigener Wünsche in die Konfiguration eines VR-Systems wurde ebenfalls als sehr bis überwiegend positiv bewertet.

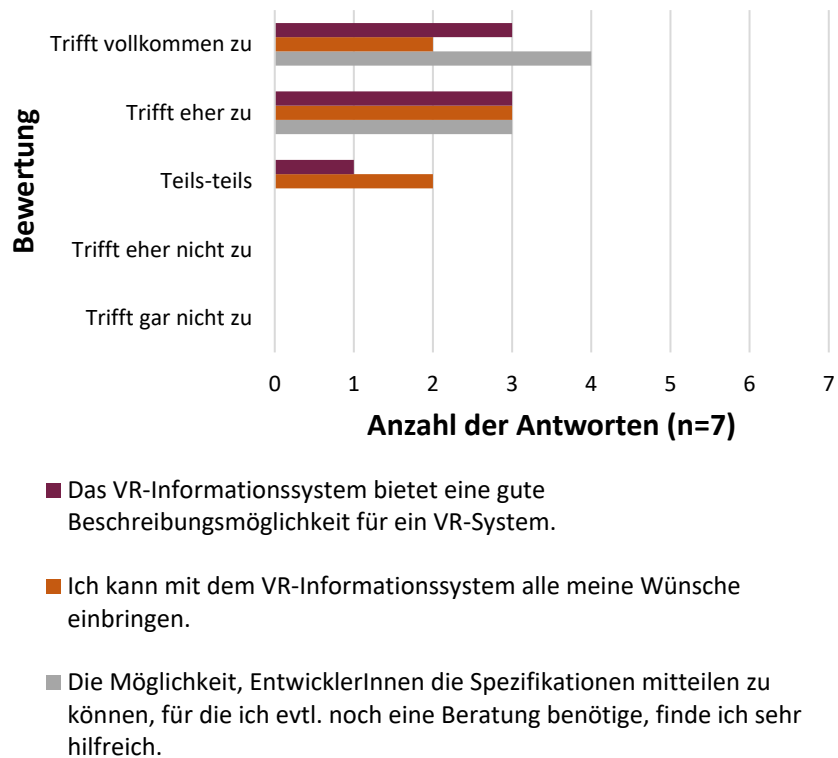


Abbildung 87: Spezifische Fragen an VR-EntwicklerInnen zur Praktikabilität des Frontends des VR-Informationssystems

Abschließend wurden den VR-EntwicklerInnen individuelle Fragen bezüglich des Mehrwerts des Backends gestellt. Die wichtigste Erkenntnis daraus ist, dass die Konfigurationsbeschreibung als Entwicklungsvorgabe für ein VR-System prinzipiell ausreichend ist. Die Bewertung beinhaltet die Einschränkung, dass das VR-Informationssystem niemals weder ein direktes Erstgespräch noch ein gemeinsames Definieren der Vision und der Anforderungen ersetzen kann. Daraus kann auch abgeleitet werden, dass in Zukunft auch eine vollständige Automatisierung der Anforderungsermittlung den persönlichen VR-KundInnen-/VR-EntwicklerInnen-Kontakt nicht verdrängen kann. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass mit Hilfe des VR-Informationssystems bzw. der Ergebnisbereitstellung im Backend der Aufwand der Wunschkonfiguration von potenziellen VR-KundInnen erkannt werden kann. Im Kontext der Frage im Bereich des Frontends, gezielte Beratungsleistungen für Spezifikationen angeben zu können, wurde auf Backendseite danach gefragt, ob eben jene Problemspezifikationen identifiziert werden können. Drei von sieben Befragten merkten an, dass ein explizites Hervorheben von Beratungswünschen und deren von den definierten Spezifikationen losgelöste Visualisierung geeigneter wäre.

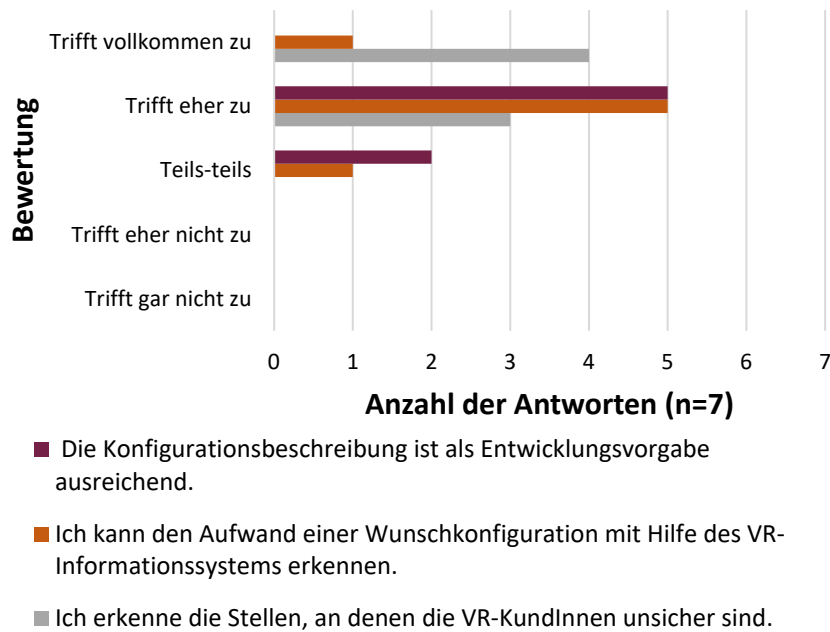


Abbildung 88: Spezifische Fragen an VR-EntwicklerInnen zur Praktikabilität des Backends des VR-Informationssystems

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl Frontend als auch Backend des VR-Informationssystems insgesamt sehr positiv bewertet wurden. Dies lässt sich aus einem SUS-Score von jeweils über 70 (gut) ableiten und von den guten bis sehr guten Ergebnissen der beiden Fragebogenteile mit ergänzenden Fragen. Tabelle 51 fasst ergänzend dazu vereinzelt individuelle Rückmeldungen zum Frontend und Backend zusammen, die zur Verbesserung des VR-Informationssystems herangezogen werden können.

Tabelle 51: Individuelle Rückmeldungen zu Frontend und Backend

#	Bereich VR-Informationssystem	ProbandIn	Anmerkung	Merkmal
1	Frontend	VR-KundIn	„Sehr sehr umfangreich. Vielleicht kann man am Anfang sagen, ob es ein kleines oder großes Projekt werden soll und dann die Komplexität oder Vielzahl der Fragen anpassen.“	Struktur
2	Frontend	VR-KundIn	„Wenn ich ein Modell verwenden möchte, müssten sich gleich die Informationen dazu aufklappen. Umsetzungstipps“ [Anm. d. Autors: Konkretes Beispiel bezog sich auf Schritt 03-Umgebungsmodell]	Funktion

#	Bereich VR-Informationssystem	ProbandIn	Anmerkung	Merkmal
3	Frontend	VR-EntwicklerIn	„Warum ändert der Slider seine Farbe nicht, während ich die Einstellung verändere? Das wäre bestimmt eindeutiger.“	Funktion
4	Backend	VR-EntwicklerIn	„Vor allem die Ergebnisse sollten besser sortiert werden. Auch eine Filterfunktion wäre gut. Suchen gehört eigentlich auch dazu.“	Struktur/ Funktion
5	Backend	VR-EntwicklerIn	„Die Angabe von Umsetzungstipps“ <i>[Referenzen]</i> „finde ich super. Aber das müsste formatiert und strukturiert sein nach Quellenart und am besten noch verlinkt.“	Struktur
6	Backend	VR-EntwicklerIn	„Die Erfahrungs- und Referenzeinstellungen verändern bei Speichern einer Änderung ihre Position...“	Funktion
7	Backend	VR-EntwicklerIn	„Die Konfigurationen sollten schöner in Blöcke eingeteilt werden. Am besten in die Struktur wie bei der Eingabe.“ <i>[Anm. d. Autors: im Frontend]</i>	Struktur

Die Rückmeldungen in Form eines Freitextes im Fragebogen beziehen sich überwiegend auf funktionale Anpassungen des Frontend bzw. Backends. Während es sich bei 2, 3 und 6 um Bugs, also funktionales Fehlverhalten, handelt, ist ein Teil von 4 als ein Featurerequest anzusehen. Ziel dieser Funktionserweiterung wäre die Erhöhung der Bedienerfreundlichkeit des VR-Informationssystems. Bei 1, 5, 7 und ein Teil von 4 handelt es sich um Anpassungen in Bezug auf den Aufbau bzw. die Struktur von Informationsdarstellungen, wobei auch hier die Erhöhung der Bedienerfreundlichkeit im Fokus steht. Alle geforderten Rückmeldungen sind umsetzbar, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch nicht durchgeführt, um die Bewertungsgrundlage nicht zu verändern.

5.5 Fazit

Aufbauend auf den analytischen und empirischen Untersuchungen in Kapiteln 2 und 3 erfolgte in Kapitel 4 die technische Realisierung eines funktionalen Prototyps des VR-Informationssystems. Im Hinblick auf die Beantwortung der im Rahmen dieser Arbeit gestellten Forschungsfragen wurde der Prototyp in diesem Kapitel einer Evaluation unterzogen. Im ersten Schritt erfolgte eine Überprüfung der realisierten, VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-relevanten Anforderungen an das VR-Informationssystem auf Vollständigkeit. Lediglich die Bewertung der VR-Technologiekosten auf Basis der getätigten Konfiguration wurde nicht realisiert.

Das VR-Informationssystem wurde daraufhin getrennt nach Frontend und Backend im Rahmen eines Usability Tests untersucht und mittels eines Systems-Usability-Scale-Fragebogens bewertet. Dieser wurde aufgrund des reinen prototypischen Entwicklungsstandes des VR-Informationssystems gewählt, da primär eine allgemeine Einschätzung der Usability leistbar war. Weitere Gründe waren dessen geringer Schwierigkeitsgrad, Zuverlässigkeit, einfache Anwendung und Auswertung. Im Hinblick auf die Bewertung der strukturellen und inhaltlichen Ausgestaltung des VR-Informationssystems wurde der SUS-Fragebogen durch VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifische Fragen zur inhaltlichen und strukturellen Qualität sowie Fragen zur Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit ergänzt. Die mit sieben Probanden der Rolle VR-KundIn und sieben Probanden der Rolle VR-EntwicklerIn durchgeführte Evaluation ergab abschließend ein zusammenfassend positives Ergebnis für das VR-Informationssystem. Das Frontend wurde dabei von VR-KundInnen im Mittel mit einem SUS-Score von 73 und von VR-EntwicklerInnen im Mittel mit einem SUS-Score von 85 bewertet. Aus diesen Werten kann eine gute Usability abgeleitet werden. Ergänzend wurde das Backend von VR-EntwicklerInnen im Mittel mit einem SUS-Score von 75 bewertet. Aus den individuellen Fragen an die VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen kann betrachtet festgehalten werden, dass das VR-Informationssystem insgesamt einen nachvollziehbaren Aufbau besitzt. Die gestellte Anforderung an eine grundlegende Vollständigkeit der Inhalte kann ebenfalls als erfüllt angesehen werden. Im Kontext der VR-EntwicklerInnen kann das VR-Informationssystem grundsätzlich mit dem eigenen Vorwissen problemlos angewendet werden, wobei auf VR-KundInnenseite

durchaus vereinzelt Hürden bestehen können. Dies spiegelt sich auch in der teilweise mittelmäßig bewerteten Verständlichkeit der Begrifflichkeiten wider. Die Anforderung der Umsetzung eines allgemeingültigen VR-Informationssystems hingegen kann als erfüllt betrachtet werden.

Für VR-KundInnen bietet das VR-Informationssystem letztendlich eine gute Beschreibungsmöglichkeit für ein zu konfigurierendes VR-System. Summa summarum können VR-KundInnen nahezu alle Wünsche an die Konfiguration eines VR-Systems einbringen und gleichzeitig bei Unklarheiten oder Unsicherheiten zu Spezifikationen gezielte Beratungsanfragen stellen.

Daraus resultiert, dass VR-EntwicklerInnen sehr gut erkennen können, an welchen Stellen sich VR-KundInnen unsicher sind. Dieses Wissen kann für ein optimales Erstgespräch aufbereitet werden. Dabei kann noch vor diesem Gespräch der Aufwand der Wunschkonfiguration erkannt werden, wobei es sich hier vielmehr um eine Aufwandsprognose als eine zweifelsfreie Aufwandsdefinition handelt. Die mit dem VR-Informationssystem übermittelte Konfigurationsbeschreibung ist dabei in der Regel ausreichend unter der Prämisse, dass es sich um eine Unterstützung handelt und kein entwicklungsgeeignetes Manifest.

Das konzipierte, realisierte und evaluierte VR-Informationssystem hat infolgedessen sein Ziel erreicht, eine gebrauchstaugliche und nutzerorientierte Hilfestellung zu geben. Abschließend ist das gute Ergebnis des Prototyps mit der Beantwortung der Forschungsfragen dieser Arbeit abzugleichen.

6 Zusammenfassung

6.1 Fazit und Diskussion

VR-Systeme sind vielseitig komplex und bedingen einen sehr guten Informationsaustausch zwischen VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen, um das volle Potenzial von VR bei der Entwicklung eines neuen VR-Systems im Bereich der virtuellen Produktentwicklung auszuschöpfen. Während auf VR-KundInnen-Seite Herausforderungen in der Formulierung von Anforderungen unter Berücksichtigung von Wissenslücken bezüglich der technischen und inhaltlichen Realisierungsmöglichkeiten bestehen, sind auf VR-EntwicklerInnen-Seite die frühzeitige Interpretation und Bewertung der formulierten VR-KundInnen-Vision mit dem Realisierungsaufwand und den eigenen Entwicklungskapazitäten bzw. dem Entwicklungsknowhow in Einklang zu bringen. Hierzu ist eine frühzeitig effektive und effiziente Kommunikation zwischen beiden Parteien notwendig, um eine kundenspezifische VR-System-Spezifikation zu identifizieren, die das volle Potenzial von VR ausschöpft. Da aktuell keine Hilfsmittel existieren, die diesen Informationsaustausch umfassend und kontextualisiert unterstützen, wurde in dieser Arbeit ein VR-Informationssystem entwickelt, das den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn, wie Abbildung 89 darstellt, zielführend strukturiert.

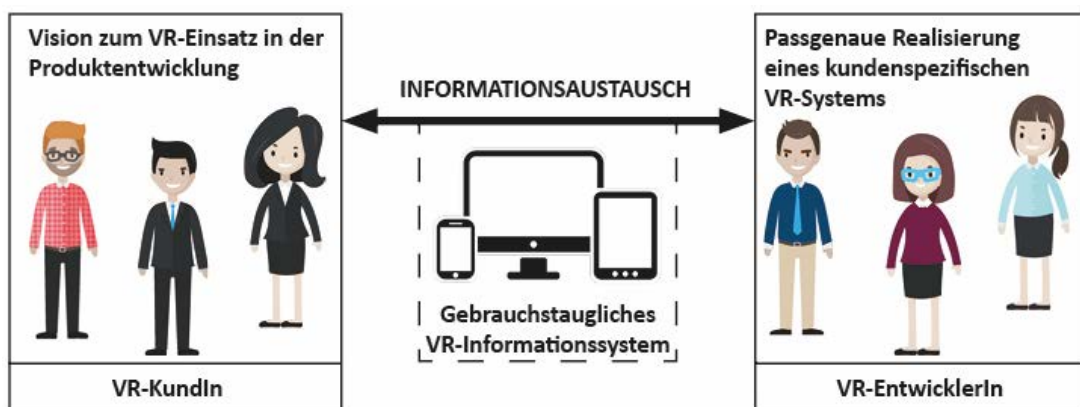


Abbildung 89: Ergebnisdarstellung - Optimaler Informationsaustausch mit Hilfe des VR-Informationssystems

Die vorliegende Dissertation wurde mit dem Kontext der virtuellen Produktentwicklung eröffnet, denn die Bereitstellung innovativer und qualitativ hochwertiger Produkte bei geringer Entwicklungszeit unter Zuhilfenahme von VR impliziert eine optimale VR-Systementwicklung in Abstimmung auf die Prozesse innerhalb der Produktentwicklung. In diesem Zusammenhang wurden die im Rahmen der Entwicklung von VR-Systemen im Produktentwicklungskontext auftretenden Herausforderungen und Schwierigkeiten analysiert. So konnten als Schwerpunkte des VR-Informationssystems beispielsweise die isolierte Betrachtung von Produktmodellen in komplexen VR-Szenen oder die begrenzte Wiederverwendbarkeit von VR-Modellen extrahiert und später in die Struktur und inhaltliche Ausgestaltung des VR-Informationssystems eingebracht werden. Innerhalb der Untersuchung der Aufgabenbereiche mit Virtual Reality zeigte sich ein sehr breites Spektrum, das über die allgemein gebräuchlichen Aufgabenbereiche Produktpräsentation oder Training weit hinausgeht. Für eine zufriedenstellende und nutzerorientierte VR-Systementwicklung wurde im ersten Grundlagenteil dieser Dissertation darüber hinaus konstatiert, dass das richtige Verständnis für die Anforderungen und Bedürfnisse der VR-KundInnen, deren Spezifikationen, Dokumentation und Validierung von großer Bedeutung sind. Dabei spielen die VR-KundInnenmitwirkung und die Notwendigkeit einer klaren Anforderungsermittlung eine herausragend große Rolle. In diesem Zusammenhang erfolgte eine vollständige Analyse sowohl der beiden Zielgruppen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn an sich als auch deren spezifische Anforderungen an VR-Systeme sowie an ein VR-Informationssystem. Die Anforderungen bewegten sich auf einer funktionalen bzw. technischen Ebene und wurden in funktionale, non-funktionale und universelle VR-Anforderungen gegliedert. Zur Ableitung einer geeigneten Struktur für das VR-Informationssystem wurden darüber hinaus VR-Entwicklungsmodelle analytisch untersucht. Als wesentliche Erkenntnis konnte festgehalten werden, dass eine frühe aufgaben- und nutzerorientierte Evaluation virtueller Produkte über sämtliche Produktlebensphasen hinweg für ProduktentwicklerInnen zu einem besseren Verständnis der benötigten oder auch neuen Produkthanforderungen und Produktverhalten führen kann. Als weitere Erkenntnis wurde dargelegt, dass es an geeigneten Werkzeugen fehlt, die nachhaltig in der Lage sind, sowohl einen Überblick über die Potenziale von VR zu verschaffen als auch die Qualität der Erstkommunikation zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn zu optimieren.

Aus diesen Erkenntnissen wurde die Forschungsfrage abgeleitet, wie ein VR-Informationssystem den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn bei der Spezifikation eines VR-System allgemeingültig unterstützen kann. Mit einem anwendungsorientierten Fokus auf zwei Zielgruppen als BenutzerInnen des VR-Informationssystems wurde die Hauptforschungsfrage um zwei Teilforschungsfragen ergänzt. Diese haben das Ziel, die benutzerorientierte und allgemeingültige Aufbereitung der konzeptionellen Planung von VR-Anwendungen praktisch zu ermöglichen und in diesem Zusammenhang die Frage der technologieunabhängigen und performanten Erstellung von VR-Anwendungen zu beantworten.

In Vorbereitung auf die Entwicklung eines VR-Informationssystems erfolgten im dritten Kapitel Analysen zum gesamten Nutzungskontext des VR-Informationssystems. Diese Analysen befassten sich sowohl mit den Merkmalen der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen als auch deren Anforderungen an das VR-Informationssystem. Dabei wurde insbesondere auf die Extraktion von Spezifikationselementen Wert gelegt, die für eine Definition von VR-Systemen relevant sind und die Basis für ein vollständiges VR-Informationssystem bilden. Als wesentlichste Erkenntnis aus den Untersuchungen mit typischen Stakeholdern aus unterschiedlichen Branchen konnte die hohe Relevanz eines VR-Informationssystems und somit der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Darüber hinaus wurden Erkenntnisse bezüglich der Anforderungen von VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen festgehalten, die in non-funktionale und funktionale Anforderungen klassifiziert wurden. Neben der Vollständigkeit der Spezifikationselemente, einer langfristigen Gültigkeit der Spezifikationen und der VR-Informationssystem-Struktur oder der Priorisierung von VR-Spezifikationen ergaben sich aus der Untersuchung von VR-Entwicklungsmodellen und VR-Technologien auch Anforderungen an VR-Systeme, die im VR-Informationssystem berücksichtigt werden müssen und Aspekte einer Betrachtung des Anwendungskontextes von VR-Modellen oder einer Technologieunabhängigkeit behandeln. Diese Ergebnisse adressieren bereits die in Kapitel 2.5 abgegrenzten Forschungsfragen, die den Ausgangspunkt der durchgeführten Forschung bilden und die folgende Teilforschungsfrage beantworten:

Wie kann eine VR-Anwendung technologieunabhängig und performant erstellt werden?

Es wurde ein Ansatz gezeigt, der durch die Trennung eines gesamten VR-Modells in die drei Teilmodelle Produkt, Akteur und Umgebung die Entwicklung von VR-Szenen vereinfacht, die VR-Szenen wiederverwendbar und erweiterbar macht und dabei den lebensphasenspezifischen Kontext berücksichtigt. Diese Modelltrennung resultierte in einem VR-Konfigurationsprozess, der neben der getrennten Behandlung der Szenenmodelle auch physikalische Berechnungen oder Verhaltensmodellierung getrennt behandelt und eine vollkommen technologieunabhängige Realisierung von VR-Szenen ermöglicht. Der Modelltrennungsansatz wird im VR-Informationssystem innerhalb der Grundstruktur abgebildet, die auf Produkt, Akteur und Umgebung aufbaut. Dabei ist das VR-Informationssystem nicht explizit für eine VR-Technologie anwendbar, sondern projiziert vielmehr die gewählten Anforderungen an ein VR-System auf geeignete VR-Technologien.

Im vierten Kapitel wurden alle Ergebnisse der empirischen und analytischen Studien in der Realisierung eines prototypischen VR-Informationssystems in Form einer responsiven Webseite zusammengeführt. Dazu wurde zuerst eine formale Struktur für die auf Attributen basierende Beschreibung der VR-Spezifikationen definiert. Im Hinblick auf eine Gesamtstrukturierung des VR-Informationssystems erfolgte ergänzend eine Eingliederung der VR-Spezifikationselemente in einen geeigneten Informationsablauf. Dieser gliedert sich anhand der beiden Zielgruppen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn in ein Frontend und ein Backend, für die jeweils entsprechende Interaktionsphasen identifiziert wurden. Dabei musste sowohl eine Erstkonfigurationsphase des VR-Informationssystems vor einer VR-KundInnenbereitstellung berücksichtigt werden sowie eine VR-EntwicklerInnenseitige Nachnutzungsphase innerhalb der eigentlichen VR-System-Entwicklung. Ausgehend von den Erhebungen besteht die Struktur des funktionalen VR-Informationssystems aus den Komponenten Basisfragen, Nutzungskontext, Digitales Menschmodell, Umgebungsmodell, Produktmodell, IT und User Interface. Diesen Komponenten wurden für jede einzelne VR-Spezifikation Kategorien, Werte und Teilwerte zugeordnet, sodass auf Frontendseite jedes VR-System konfiguriert werden kann. Dabei sind die Struktur und die Tiefe der Informationen auf einer allgemeingültigen Ebene, dass das VR-Informationssystem sowohl branchenübergreifend als auch für jeden Komplexitätsgrad eines VR-Systems angewendet werden kann. Im Sinne einer benutzerorientierten Konfiguration wurde die

Möglichkeit umgesetzt, eine Priorisierung der gewünschten VR-Spezifikationen vorzunehmen sowie für VR-Spezifikationen, deren Verwendung im Kontext der eigenen VR-Vision klärungsbedürftig ist, explizit eine Beratung anzufordern. Auf Backendseite werden vorgenommene Konfigurationen potenzieller Kunden präsentiert. Dabei dient nicht nur die Bereitstellung der VR-Kundenpriorisierung eine Grundlage für die Projektentscheidung, sondern auch die Visualisierung des Umsetzungsaufwands, der sich aus den selektierten VR-Spezifikationen und der dazugehörigen entwicklerInnenspezifischen Entwicklungserfahrungen ergibt. Die Webanwendung, die VR-KundInnen innerhalb dieser beschriebenen Struktur zu einer ihrer Vision entsprechenden VR-Zielkonfiguration leitet und mit der VR-EntwicklerInnen eine das volle VR-Potenzial ausschöpfende VR-Systemkonfiguration übermittelt bekommen, entspricht der Lösung der zweiten Teilforschungsfrage.

Wie kann die konzeptionelle Planung von VR-Anwendungen benutzerorientiert aber allgemeingültig aufbereitet werden?

Am Ende dieser Dissertation steht somit ein konzipiertes, entwickeltes und evaluiertes VR-Informationssystem, das VR-KundInnen durch einen strukturierten Konfigurationsprozess leitet. Während des Prozesses können VR-Spezifikationen ausgewählt und priorisiert, Informationen dazu abgerufen oder für eine Beratung markiert werden. Durch dieses Vorgehen erhalten VR-EntwicklerInnen die für ein Erstgespräch relevanten Informationen aufbereitet, in Bezug auf ihren individuellen Entwicklungsaufwand bewertet und als optimale Vorbereitung direkte Fragen zu VR-Spezifikationen dargestellt. Die vorgestellte Evaluation und Strukturierung von VR-KundInnen-Anforderungen, die Transformation von VR-KundInnen-Anforderungen in VR-Systemanforderungen für VR-EntwicklerInnen und die Bereitstellung einer vereinheitlichten Terminologie für die Nutzung des gesamten Spektrums von VR-Funktionalitäten beantwortet schlussendlich die Forschungsfrage der vorliegenden Dissertation.

Wie kann ein VR-Informationssystem den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn bei der Spezifikation eines VR-System unterstützen?

Im Rahmen einer abschließenden Untersuchung durch typische VR-KundInnen des VR-Informationssystems konnte bewiesen werden, dass das VR-Informationssystem:

1. eine gute Beschreibungsmöglichkeit für ein VR-System bietet,
2. VR-KundInnen alle ihre Wünsche einbringen lässt und
3. eine gute Möglichkeit bietet, VR-EntwicklerInnen einen Beratungsbedarf für spezifische VR-Spezifikationen mitteilen zu können.

Die Bewertung, ob alle Wünsche für die Konfiguration eines VR-Systems eingebracht werden können, setzt dabei voraus, dass bereits erste Vorerfahrungen mit VR oder zumindest Ideen für verhältnismäßig komplexe VR-Systeme bestehen. Somit kann im Rahmen dieser Dissertation und den beteiligten Probanden zwar ein sehr guter Umfang der VR-Spezifikationen des VR-Informationssystems nachgewiesen werden (fünf von sieben Probanden bestätigen eine absolute Vollständigkeit des VR-Informationssystems). Gleichzeitig sollte nicht von einer dauerhaften Vollständigkeit durch einen rasanten Technologiefortschritt ausgegangen werden.

Aus Sicht typischer VR-EntwicklerInnen konnte abschließend evaluiert werden, dass das VR-Informationssystem:

1. eine gute Konfigurationsbeschreibung als Entwicklungsvorgabe bietet,
2. die VR-EntwicklerInnen den Aufwand einer Wunschkonfiguration durch VR-KundInnen erkennen lässt und
3. den VR-EntwicklerInnen aufzeigt, an welchen Stellen ein Beratungsbedarf seitens der VR-KundInnen besteht.

Die Verwendung der Ergebnisse des VR-Informationssystems als Entwicklungsvorgabe muss differenziert betrachtet werden. Denn die Anforderungen können für die Konzeption verwendet werden, sind jedoch nicht als direkte Funktionsbeschreibung für die Programmierung des VR-Systems gedacht.

Insgesamt betrachtet wurde die Benutzerfreundlichkeit des VR-Informationssystem (sowohl Frontend als auch Backend) als gut beurteilt. Daraus kann abgeleitet werden, dass das VR-Informationssystem sowohl regelmäßig genutzt als auch weiterempfohlen werden würde. Hierbei gilt zu berücksichtigen, dass der Einsatz des VR-

Informationssystem erst ab einer gewissen Komplexität eines VR-Systems sinnvoll ist. Für die Beurteilung komplexer VR-Systeme und die Verwendung der Aufwandsbewertung muss hingegen auf Seiten der VR-EntwicklerInnen ein Vorkonfigurationsaufwand des VR-Informationssystem betrieben werden. Dies kann je nach Unternehmensgröße oder Mitarbeiterauslastung zu einer ersten Hürde bezüglich des Einsatzes führen. Allerdings wurde sowohl VR-KundInnenseitig als auch VR-EntwicklerInnenseitig das gesamte VR-Informationssystem in Bezug auf Aufbau, Vollständigkeit des Inhalts, Anwendbarkeit ohne Vorwissen, Verständlichkeit der Begrifflichkeiten und insbesondere der Allgemeingültigkeit insgesamt sehr positiv bewertet.

Damit wird der Schluss gezogen, dass das vorgestellte VR-Informationssystem als wesentliche Unterstützung im Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn dient.

6.2 Einschränkungen und Ausblick

Diese Arbeit unterstützt den Kommunikationsprozess zwischen VR-KundIn und VR-EntwicklerIn mit Hilfe eines VR-Informationssystem. Dabei wurden nahezu alle Anforderungen beider Zielgruppen berücksichtigt, die sich auf den Informationszugang, die Benutzerführung, das Layout oder die Ergebnispräsentation beziehen. Lediglich die Einschätzung der VR-Technologiekosten wurde nicht realisiert. Bereits der Prozess der Vorkonfiguration des VR-Informationssystem durch die VR-EntwicklerInnen für die Aufwandseinschätzung erfordert ein initiales Zeit- und Aufwandsinvestment. Durch die Menge an vorhandenen VR-Spezifikationen sind hier teaminterne Absprachen notwendig, die gleichzeitig in das Backend eingepflegt werden müssen. Während es an dieser Stelle bei der Eingabe der eigenen Entwicklungserfahrung je VR-Spezifikation zwar um eine subjektive, nicht messbare Größe handelt, kann dennoch mit geringem Aufwand eine Aussage getroffen werden. Zur Einschätzung der Kosten für die technische Entwicklung eines konfigurierten VR-Systems sind hingegen eine Vielzahl an Faktoren zu berücksichtigen. So bestehen in Bezug auf eine Kostenzuweisung je VR-Spezifikation

starke Abhängigkeiten zwischen den VR-Spezifikationen an sich, individuelle Entwicklungsgeschwindigkeiten je EntwicklerIn, kurzfristig schwankende Anschaffungskosten für Software/Hardware/Lizenzen und weitere Aspekte. Dieser Aufwand erscheint für eine initiale Bewertung nicht praktikabel, zumal eine Kostenbewertung je VR-Spezifikation für eine Gesamtberechnung der Kosten einer VR-Wunschkonfiguration sehr schnell an Aktualität verlieren kann.

Dennoch besteht hier ein Ansatzpunkt für eine Weiterentwicklung des VR-Informationssystems. Mittels geeigneter Methoden zur Kostenbewertung und entsprechender technischer Integration in Backend und Datenbank kann das VR-Informationssystem an Mehrwert gewinnen. In diesem Zusammenhang wäre ebenfalls eine Erweiterung der Technologiebewertung denkbar. Während aktuell die Verwendung von VR-Darstellungstechnologien nur im Sinne der Anforderungsermittlung abgefragt wird, könnte das VR-Informationssystem zu einem Empfehlungssystem ausgeweitet werden. Hierzu wäre eine Verknüpfung jeder einzelnen VR-Spezifikation mit einer VR-Darstellungstechnologie notwendig. Eine besondere Herausforderung bestünde hierbei in der einfachen Wartbarkeit bzw. Erweiterbarkeit bei neuen VR-Darstellungstechnologien.

In Bezug auf den Ist-Stand des VR-Informationssystems wäre ein Feldtest empfehlenswert. In diesem Feldtest könnte das VR-Informationssystem in den Kommunikationsprozess direkt eingebunden werden. VR-KundInnen würden von VR-Agenturen oder VR-Entwicklungsabteilungen auf eine eigene Instanz des VR-Informationssystems geleitet werden, bevor die VR-EntwicklerInnen mit ihnen in Kontakt treten. Die Auswertung würde sowohl auf VR-KundInnenseite für das Frontend und auf VR-EntwicklerInnenseite für das Backend durchgeführt werden. Der erwähnte Feldtest sollte dann mit einer höheren Anzahl an ProbandInnen evaluiert werden.

Weiterhin bietet sich auch eine Untersuchung der Einsatzfähigkeit des VR-Informationssystems außerhalb des Produktentwicklungskontextes an. Trotz einer hohen nachgewiesenen Allgemeingültigkeit des VR-Informationssystems könnte eine interdisziplinäre Untersuchung wichtige Erkenntnisse liefern, um das Einsatzspektrum des VR-Informationssystems stark auszuweiten.

Literaturverzeichnis

- Anthes, Christoph; Garcia-Hernandez, Ruben Jesus; Wiedemann, Markus; Kranzlmüller, Dieter (2016): State of the art of virtual reality technology. In: 2016 IEEE Aerospace Conference. 2016 IEEE Aerospace Conference. Big Sky, MT, USA, 05.03.2016 - 12.03.2016: IEEE, S. 1–19.
- Arnold, Josh T.; O'Keeffe, Kate; McDaniel, Chloe; Hodder, Simon; Lloyd, Alex (2019): Effect of virtual reality and whole-body heating on motion sickness severity. A combined and individual stressors approach. In: *Displays* 60, S. 18–23. DOI: 10.1016/j.displa.2019.08.007.
- Bade, Christian; Hoffmeyer, Andreas; Alberdi, Ane (2002): Entwicklung und Einsatz eines AR-Systems mit laserbasierten Large-Area-Tracking. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): *Augmented & virtual reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge ; virtual prototyping/digital mock up, digitale Fabrik ; Integration von AR/VR in industrielle Geschäftsprozesse ; 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung*, 11. und 12. Juni 2002, Heinz-Nixdorf-Museumsforum. Paderborn: HNI (HNI-Verlagsschriftenreihe, 107), S. 86–104.
- Badke-Schaub, Petra; Daalhuizen, Jaap; Roozenburg, N. (2011): Towards a Designer-Centred Methodology: Towards a Designer-Centred Methodology: Descriptive Considerations and Prescriptive Reflections. In: Herbert Birkhofer (Hg.): *The future of design methodology*. London, New York: Springer, S. 181–197.
- Bastug, Ejder; Bennis, Mehdi; Medard, Muriel; Debbah, Merouane (2017): Toward Interconnected Virtual Reality. Opportunities, Challenges, and Enablers. In: *IEEE Commun. Mag.* 55 (6), S. 110–117. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1601089.
- Baumann, Konrad (2010): Personas as a user-centred design method for mobility-related services. In: *Information Design Journal* 18 (2), S. 157–167. DOI: 10.1075/idj.18.2.07bau.
- Baumgart, Inka (2016): Requirements Engineering. In: Udo Lindemann (Hg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser, S. 425–453.
-

- Beck, Kent; Beedle, Mike; van Bennekum, Arie; Cockburn, Alistair; Cunningham, Ward; Fowler, Martin et al. (2001): Manifesto for Agile Software Development. Manifesto for Agile Software Development. Online verfügbar unter <http://agilemanifesto.org/>, zuletzt aktualisiert am 01.07.2019.
- Bender, Beate; Gericke, Kilian (2016): Entwicklungsprozesse. In: Udo Lindemann (Hg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser, S. 401–424.
- Berenbach, Brian (2009): Software & systems requirements engineering. In practice. New York, NY: McGraw-Hill.
- Beutner, Ernst; Neukirchner, Heiko; Maas, Gerhard (Hg.) (2013): Virtuelle Produktentwicklung. Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr. 1. Aufl. Würzburg: Vogel.
- Bimber, Oliver; Raskar, Ramesh (2005): Spatial augmented reality. Merging real and virtual worlds. Wellesley, Mass: A K Peters. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/academiccompletetitles/home.action>.
- Blade, Richard A.; Padgett, Mary Lou (2015): Virtual Environments Standards and Terminology. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 23–35.
- Bowman, Doug A. (2005): 3D user interfaces. Theory and practice. Boston: Addison-Wesley. Online verfügbar unter <http://proquest.tech.safaribooksonline.de/9780133390599>.
- Braess, Hans-Hermann; Seiffert, Ulrich (2007): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg.
- Brooke, John (1996): SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In: Patrick W. Jordan (Hg.): Usability Evaluation in Industry. Bristol/London: Taylor & Francis, S. 189–194.
- Bühne, Stand; Herrmann, Andrea (2015): Handbuch Requirements Management nach IREB Standard. Aus-und Weiterbildung zum IREB Certified Professional for Requirements Engineering Advanced Level “Requirements Management”. IREB International Requirements Engineering Board e.V. (Version 1.0.1). Online verfügbar unter <https://www.gasq.org/files/content/gasq/downloads/certification/IREB/IREB%20AL>
-

- /ireb_cppe_handbuch_requirements_management_advanced_level_v1.pdf, zuletzt geprüft am 10.11.2019.
- Burdea, Grigore C.; Coiffet, Philippe (2003): *Virtual Reality Technology*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Incorporated (Wiley - IEEE Ser). Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5123343>.
- Cavalcante Raffaele, Rennan; Andrade de Carvalho, Breno José; Silva, Frutuoso G. M. (2017): Evaluation of immersive user interfaces in virtual reality first person games. In: 24. Encontro Português de Computação 2017.
- Clancy, Tom (2014): *The Standish Group Report 2014*. Hg. v. The Standish Group. The Standish Group. Online verfügbar unter <https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf>, zuletzt geprüft am 19.03.2019.
- Cooper, Alan; Reimann, Robert; Cronin, David (2007): *About Face 3. The Essentials of Interaction Design*. Hoboken: John Wiley & Sons. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=3056923>.
- die medienanstalten (2019): Rundfunkstaatsvertrag. RStV, vom vom 31.08.1991 in der Fassung des Zweiundzwanzigsten Staatsvertrages zur Änderung rundfunkrechtlicher Staatsverträge (Zweiundzwanzigster Rundfunkänderungsstaatsvertrag) in Kraft seit 01.05.2019. Online verfügbar unter https://www.die-medienanstalten.de/fileadmin/user_upload/Rechtsgrundlagen/Gesetze_Staatsvertraege/Rundfunkstaatsvertrag_RStV.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2020.
- Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang; Grimm, Paul; Jung, Bernhard (Hg.) (2013): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (eXamen.press). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3>.
- Driskell, Tripp; Salas, Eduardo; Vessey, William B. (2015): *Team Training in Virtual Environments. A Dual Approach*. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): *Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications*. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 1003–1028.
- Duffy, Vincent G. (Hg.) (2009): *Handbook of digital human modeling. Research for applied ergonomics and human factors engineering*. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics). Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0827/2008014185-d.html>.
-

- Duffy, Vincent G. (Hg.) (2015): Digital human modeling: applications in health, safety, ergonomics and risk management: human modeling. 6th international conference, DHM 2015, held as part of HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015; proceedings. DHM; HCI International; International Conference on Human-Computer Interaction; HCI International 2015; International Conference on Digital Human Modeling and Applications in health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Cham: Springer (Lecture notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI, 9185).
- Eastgate, Richard M.; Wilson, John R.; D'Cruz, Mirabelle (2015): Structured Development of Virtual Environments. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 353–389.
- Ebert, Christof (2019): Systematisches Requirements Engineering. Anforderungen ermitteln, dokumentieren, analysieren und verwalten. 6., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Ebert, Dorothee; Gracht, Heiko von der; Lichtenau, Petra; Rechke, Karsten (2016): Neue Dimensionen der Realität. Eine Analyse der Potenziale von Virtual und Augmented Reality für Unternehmen. Hg. v. KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. Online verfügbar unter <https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/virtual-reality-exec-summary-de.PDF>, zuletzt geprüft am 14.09.2017.
- Ehrlenspiel, Klaus (2009): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4., aktualisierte Aufl., [elektronische Ressource]. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/isbn/9783446420137>.
- Ehrlenspiel, Klaus; Meerkamm, Harald (2013): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource]. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446436275>.
- Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2001): Produktdatenmanagement-Systeme. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio: Springer.
-

- DIN EN ISO 9241-11, 15.12.2017: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte, zuletzt geprüft am 19.06.2019.
- DIN EN ISO 9241-110, April 2016: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006), zuletzt geprüft am 08.11.2019.
- DIN EN ISO 9241-210, 30.09.2010: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010), zuletzt geprüft am 06.06.2019.
- DIN EN ISO 12100, 09.10.2010: Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsgrundsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010), zuletzt geprüft am 13.05.2020.
- DIN VDE 0100-600, 07.2017: Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 6: Prüfungen (IEC 60364-6:2016), zuletzt geprüft am 13.05.2020.
- Ernst, Joscha (2016): Systemübergreifendes Änderungsmanagement - Graphbasierte Identifikation und Visualisierung betroffener Konfigurationselemente aus PLM und ERP. Kaiserslautern: Technische Universität (Schriftenreihe VPE, Band 17).
- erpfuehrer.de. Online verfügbar unter <https://www.erpfuehrer.de/>, zuletzt geprüft am 03.01.2020.
- Feng, Andrew; Shapiro, Ari, Lhommet, Margaux; Marsella, Stacy (2015): Embodied Autonomous Agents. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 335–349.
- Ferrise, Francesco; Bordegoni, Monica; Cugini, Umberto (2013): Interactive Virtual Prototypes for Testing the Interaction with new Products. In: *Computer-Aided Design and Applications* 10 (3), S. 515–525. DOI: 10.3722/cadaps.2013.515-525.
- Floyd, Christiane; Gryczan, Guido; Mack, Julian (2001): Einführung in die Softwaretechnik. Lernen und Prototyping in der Softwareentwicklung. Universität Hamburg, FB Informatik - Softwaretechnik. Hamburg. Online verfügbar unter <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/WS01/SWT/Prototyping.pdf>, zuletzt geprüft am 12.11.2019.
-

- Frankenberger, Eckart (1997): Arbeitsteilige Produktentwicklung. Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion. Zugl.: Darmstadt, Techn. Hochsch., Diss., 1997. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1, Konstruktionstechnik, Maschinenelemente, 291).
- Freeman, R. Edward (1984): Strategic management. A stakeholder approach. [Nachdr.]. Boston, Mass.: Pitman (Pitman series in business and public policy).
- Fröhlich, Julia; Wachsmuth, Ipke (2002): Ein wissensbasiertes Konzept für die 3D-Klanggenerierung in virtuellen Welten. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): Augmented & virtual reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge ; virtual prototyping/digital mock up, digitale Fabrik ; Integration von AR/VR in industrielle Geschäftsprozesse ; 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 11. und 12. Juni 2002, Heinz-Nixdorf-Museumsforum. Paderborn: HNI (HNI-Verlagsschriftenreihe, 107), S. 132–143.
- Gabbard, Joseph L. (2015): Usability Engineering of Virtual Environments. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 721–747.
- Gausemeier, Jürgen (2006): Vernetzte Produktentwicklung. Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/hanser/9783446227255.pdf>.
- Gausemeier, Jürgen; Ebbesmeyer, Peter; Kallmeyer, Ferdinand (2001): Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. [Elektronische Ressource]. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/hanser/9783446216310.pdf>.
- Glinz, Martin (2014): A Glossary of Requirements Engineering Terminology. IREB International Requirements Engineering Board e.V. (Version 1.6). Online verfügbar unter https://isqi.org/img/cms/IREB/Glossaries/ireb_cpre_glossary_16_en.pdf, zuletzt geprüft am 15.11.2019.
- Goll, Joachim; Hommel, Daniel (2015): Mit Scrum zum gewünschten System. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
-

- Granig, Peter; Hartlieb, Erich; Heiden, Bernhard (Hg.) (2018): Mit Innovationsmanagement zu Industrie 4.0. Grundlagen, Strategien, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-11667-5>.
- Grimm, Paul; Herold, Rigo; Reiners, Dirk; Cruz-Neira, Carolina (2013): VR-Ausgabegeräte. In: Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm und Bernhard Jung (Hg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (eXamen.press), S. 127–156.
- Hale, Kelly S.; Stanney, Kay M. (Hg.) (2015): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series).
- Hale, Kelly S.; Stanney, Kay M.; Schmorrow, Dylan; Sciarini, Lee W. (2015): Augmented Cognition for Virtual Environment Evaluation. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 873–880.
- Harms, Patrick (2019): Automated Usability Evaluation of Virtual Reality Applications. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 26 (3), S. 1–36. DOI: 10.1145/3301423.
- Heiss, Silke F. (2010): Kundenwissen für Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie. Fallstudie und Modellentwicklung zum Wissen von und über Kunden: Suedwestdeutscher Verlag fuer Hochschulschriften.
- Hellmuth, Thomas W. (1997): Terminologiemanagement in der Informationsverarbeitung. Aspekte einer effizienten Kommunikation in der computerunterstützten Informationasverarbeitung. 1. Aufl. (Akademische Abhandlungen zur Informatik).
- Herzwurm, Georg (2000): Kundenorientierte Softwareproduktentwicklung: 175. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag (Teubner-Reihe Wirtschaftsinformatik). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-96640-7>.
-

- Iacovides, Ioanna; Cox, Anna; Kennedy, Richard; Cairns, Paul; Jennett, Charlene (2015): Removing the HUD: The Impact of Non-Diegetic Game Elements and Expertise on Player Involvement. In: CHI PLAY 2015. Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. Unter Mitarbeit von Anna L. Cox und Paul Cairns. New York, NY: ACM Association for Computing Machinery, S. 13–22.
- IEEE Computer Society; Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Standards Board (1996): IEEE1233-1996 - Guide for developing system requirements specifications. New York, N.Y., USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Online verfügbar unter <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=3731>.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (1990): IEEE standard glossary of software engineering terminology. Approved September 28, 1990, IEEE Standards Board. Revision and redesignation of IEEE Std 792-1983. New York, NY: Inst. of Electrical and Electronics Engineers.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (1998): IEEE830-1998 - Recommended practice for software requirements specifications. Approved 25 June 1998. New York, NY: IEEE (IEEE Std, 830-1998).
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2011): ISO/IEC/IEEE29148:2011 - Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering. New York, NY (ISO/IEC 2011, IEEE 2011).
- Jerald, Jason (2016): The VR Book. Human-centered design for virtual reality. First edition. New York, NY, San Rafael: Association for Computing Machinery; Morgan & Claypool Publishers (ACM Books, 8). Online verfügbar unter <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2792790>.
- Jones, David L.; Dechmerowski, Sara; Oden, Razia; Lugo, Valerie; Wang-Costello, Jingjing; Pike, William (2015): Olfactory Interfaces. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 131–161.
-

- Jung, Bernhard; Vitzthum, Arnd (2013): Virtuelle Welten. In: Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm und Bernhard Jung (Hg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (eXamen.press), S. 65–96.
- Kano, Noriaki; Seraku, Nobuhiko; Takahashi, Fumio; Tsuji, Shin-ichi (1984): Attractive Quality and Must-Be Quality. In: The Japanese Society for Quality Control (Hg.): Journal of The Japanese Society for Quality Control, 14-2. Quality (14-2), S. 147–156.
- Karl, Don; Soderquist, Kirk; Farhi, Miriam; Grant, Andrew; Krohn, David Pekarek; Murphy, Brendan et al. (2018): 2018 Augmented and Virtual Reality Survey Report. Industry Insights into the future of AR/VR. Hg. v. Perkins Coie LLP. Perkins Coie LLP. Online verfügbar unter <https://www.perkinscoie.com/images/content/1/8/v2/187785/2018-VR-AR-Survey-Digital.pdf>, zuletzt geprüft am 10.10.2019.
- Kellner, Florian; Lienland, Bernhard; Lukesch, Maximilian (2018): Produktionswirtschaft. Planung, Steuerung und Industrie 4.0. Berlin: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-54341-2>.
- Kheddar, Abderrahmane; Chellali, Ryad; Coiffet, Philippe (2015): Virtual Environment-Assisted Teleoperation. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 1109–1143.
- Kläger, Roland (1993): Modellierung von Produktanforderungen als Basis für Problemlösungsprozesse in intelligenten Konstruktionssystemen. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss. : 1993. Aachen: Shaker (Reihe Konstruktionstechnik).
- Koller, Rudolf (1994): Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 3., völlig neubearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
-

- Krömker, Heidi; Weber, Christian; Liebal, Andreas; Mahboob, Atif; Hörold, Stephan; Husung, Stephan (2016): Die realen Seiten der virtuellen Produktentwicklung. Rollen- und aufgabenzentriertes Modell für die Entwicklung von 3-D-Medienapplikationen. In: Angelika C. Bullinger (Hg.): 3D SENSATION - transdisziplinäre Perspektiven. ininteract conference. Chemnitz, 2016. Chemnitz: aw&I Wissenschaft und Praxis, S. 434–443.
- Kruger, W.; Bohn, C.-A.; Frohlich, B.; Schuth, H.; Strauss, W.; Wesche, G. (1995): The Responsive Workbench. A virtual work environment. In: *Computer* 28 (7), S. 42–48. DOI: 10.1109/2.391040.
- KTR Online-Tools. Online verfügbar unter <https://otools.ktr.com/pumpselect/>.
- LaValle, Steven M. (2019): VIRTUAL REALITY. Hg. v. Cambridge University Press. Online verfügbar unter <http://lavalle.pl/vr/vrbookbig.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2020.
- LaViola, Joseph J.; Kruiff, Ernst; McMahan, Ryan P.; Bowman, Doug A.; Poupyrev, Ivan (2017): 3D user interfaces. Theory and practice. Second edition. Boston: Addison-Wesley. Online verfügbar unter <http://proquest.tech.safaribooksonline.de/9780134034478>.
- Lawson, Ben D.; Riecke, Bernhard E. (2015): Perception of Body Motion. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 163–195.
- Leidholdt, Wolfgang; Fritzsche, Lars; Bauer, Sebastian: Editor menschlicher Arbeit (ema). Vom digitalen Menschmodell zum virtuellen Facharbeiter, S. 355–362.
- Lewis, James R. (2018): The System Usability Scale. Past, Present, and Future. In: *International Journal of Human–Computer Interaction* 34 (7), S. 577–590. DOI: 10.1080/10447318.2018.1455307.
- Liebal, Andreas; Krömker, Heidi; Mahboob, Atif; Weber, Christian (2019): Toolbox for User-Centered Specification of VR Systems. In: Volume 1: 39th Computers and Information in Engineering Conference. ASME 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Anaheim, California, USA, 18.08.2019 - 21.08.2019: American Society of Mechanical Engineers, S. 53–63.
-

- Liebal, Andreas; Mahboob, Atif; Weber, Christian; Krömker, Heidi (2017): CPM/PDD-basierter Ansatz für Produktevaluation in Virtual Reality (VR). In: 13. Magdeburger Maschinenbau-Tage 2017 AUTONOM – VERNETZT – NACHHALTIG, S. 352–360.
- Lindemann, Udo (2007): Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2., bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-37451-0>.
- Lindemann, Udo (Hg.) (2016): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser.
- Mahboob, Atif; Husung, Stephan; Weber, Christian; Liebal, Andreas; Krömker, Heidi (2019a): Smartphone As a Stand-Alone Device for Rendering, Visualization and Tracking for Use During Product Development in Virtual Reality (VR). In: Volume 1: 39th Computers and Information in Engineering Conference. ASME 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Anaheim, California, USA, 18.08.2019 - 21.08.2019: American Society of Mechanical Engineers, S. 79–88.
- Mahboob, Atif; Husung, Stephan; Weber, Christian; Liebal, Andreas; Krömker, Heidi (2019b): The Reuse of SysML Behaviour Models for Creating Product Use Cases in Virtual Reality. In: *Proc. Int. Conf. Eng. Des.* 1 (1), S. 2021–2030. DOI: 10.1017/dsi.2019.208.
- Mahboob, Atif; Liebal, Andreas; Husung, Stephan; Weber, Christian; Krömker, Heidi (2017a): A Method For Efficient And Task Oriented Configuration Of Virtual Reality (VR) Models For The Analysis Of Technical Systems. In: Peter Scharff (Hg.): Engineering for a changing world. 59th IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 11-15, 2017 : programme. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau, S. 109–120.
- Mahboob, Atif; Weber, Christian; Husung, Stephan; Liebal, Andreas; Krömker, Heidi (2017b): Model based systems engineering (MBSE) approach for configurable product use-case scenarios in virtual environments. In: Anja Maier, Harrison Kim, Josef Oehmen, Filippo Salustri, Stanko Škec und Michael Kokkolaras (Hg.): Product, services and systems design. DS 87-3 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17). Red Hook, NY: Curran Associates Inc (DS, 87, 3), S. 281–290.
-

- Mainzer, Klaus (1999): Computernetze und virtuelle Realität. Leben in der Wissensgesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-58404-6>.
- Malcher, Ferdinand; Koppenhagen, Danny; Hoppe, Johannes (2019): Angular. Grundlagen, fortgeschrittene Techniken und Best Practices - inklusive NativeScript und NgRx. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage (iX-Edition).
- Mallaro, Sophia; Rahimian, Pooya; O'Neal, Elizabeth E.; Plumert, Jodie M.; Kearney, Joseph K. (2017): A comparison of head-mounted displays vs. large-screen displays for an interactive pedestrian simulator. In: Morten Fjeld, Marco Fratarcangeli, Daniel Sjölie, Oliver Stadt und Jonas Unger (Hg.): Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '17. the 23rd ACM Symposium. Gothenburg, Sweden, 08.11.2017 - 10.11.2017. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1–4.
- Mayas, Cindy; Hörold, Stephan; Krömker, Heidi (2012): Meeting the Challenges of Individual Passenger Information with Personas. In: Gavriel Salvendy und Waldemar Karwowski (Hg.): Advances in human factors and ergonomics 2012. Proceedings of the 4th AHFE Conference, 21-25 July 2012. Boca Raton, Fla., London: CRC; Taylor & Francis [distributor] (Advances in human factors and ergonomics series), S. 822–831.
- Mestre, Daniel R. (2017): CAVE versus Head-Mounted Displays. Ongoing thoughts. In: *Electronic Imaging* 2017 (3), S. 31–35. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.3.ERVR-094.
- Metag, Sebastian; Husung, Stephan; Krömker, Heidi; Weber, Christian (2008): User-centered design of virtual models in product development. In: Peter Scharff und Andrea Schneider (Hg.): Prospects in mechanical engineering. Proceedings ; 53. IWK, Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 8 - 12 September 2008, Bd. 53. Ilmenau, Ilmenau: Univ.-Bibliothek; Verl. ISLE.
- Moser, Christian (2012): User Experience Design. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mühlstedt, Jens: Digitale Menschmodelle, S. 73–182.
-

- Mühlstedt, Jens (2016a): Grundlagen virtueller Ergonomie. In: Angelika C. Bullinger-Hoffmann und Jens Mühlstedt (Hg.): Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 7–40.
- Mühlstedt, Jens (2016b): Virtuelle Ergonomie. In: Angelika C. Bullinger-Hoffmann und Jens Mühlstedt (Hg.): Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 183–225.
- Nielsen, Jakob (1994): 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Nielsen Norman Group. Online verfügbar unter <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>, zuletzt geprüft am 05.01.2020.
- Object Management Group (2015): OMG Systems Modeling Language (OMG SysML™, Version 1.4). Object Management Group. Online verfügbar unter <http://www.omg.org/spec/SysML/1.4/PDF/>, zuletzt geprüft am 28.09.2020.
- O'Brien, Eoin; Jacquouton, Baptiste; Moineau, Antoine; Campbell, Abraham G. (2019): Wikipedia in Virtual Reality and How Text-based Media can be Explored in Virtual Reality. In: Unknown (Hg.): Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing - AIAM 2019. the 2019 International Conference. Dublin, Ireland, 17.10.2019 - 19.10.2019. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1–9.
- Olshannikova, Ekaterina; Ometov, Aleksandr; Koucheryavy, Yevgeni; Olsson, Thomas (2015): Visualizing Big Data with augmented and virtual reality. Challenges and research agenda. In: *Journal of Big Data* 2 (1), S. 1. DOI: 10.1186/s40537-015-0031-2.
- Orsolits, Horst; Lackner, Maximilian (2020): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ovtcharova, Jivka (2010): Virtual Engineering: Principles, Methods And Applications. In: Dorian Marjanović (Hg.): Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010. Zagreb, S. 1267–1274.
- Ovtcharova, Jivka (2018): Virtual Engineering I WS 2018-2019. Lecture 3 – Introduction. Karlsruhe Institute of Technology. Online verfügbar unter http://tu.nuclear868.net/Virtual%20Engineering/Karlsruhe/VEI_Zusammenfassung.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2019.
-

- Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hg.) (2013): Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- Pohl, Klaus (2010): Requirements engineering. Fundamentals, principles, and techniques. Berlin: Springer.
- Pohl, Klaus; Rupp, Chris (2011): Basiswissen Requirements Engineering. Aus- und Weiterbildung zum "Certified Professional for Requirements Engineering" ; Foundation Level nach IREB-Standard. 3., korrigierte Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verl.
- Polys, Nicholas F. (2015): Information Visualization in Virtual Environments. Trade-Offs and Guidelines. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 1265–1294.
- Pomberger, Gustav; Pree, Wolfgang (2004): Software-Engineering. Architektur-Design und Prozessorientierung. 3., völlig überarb. Aufl. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446227880>.
- Ponn, Josef Christian; Lindemann, Udo (2008): Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Optimierte Produkte - systematisch von Anforderungen zu Konzepten. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://d-nb.info/989986497/34>.
- Popescu, George V.; Trefftz, Helmuth; Burdea, Grigore C. (2015): Multimodal Interaction Modeling. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 411–434.
- Pratama, Kucky Agung; Dossick, Carrie Sturts (2019): Workflow in Virtual Reality Tool Development for AEC Industry. In: Ivan Mutis und T. Hartmann (Hg.): Advances in informatics and computing in civil and construction engineering. Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management. Cham, Switzerland: Springer, S. 297–306.
- Preim, Bernhard; Dachzelt, Raimund (2015): Interaktive Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
-

- Pribeanu, Costin (2017): A Revised Set of Usability Heuristics for the Evaluation of Interactive Systems. In: *IE* 21 (3/2017), S. 31–38. DOI: 10.12948/issn14531305/21.3.2017.03.
- Pruitt, John S.; Adlin, Tamara (2006): The persona lifecycle. Keeping people in mind throughout product design. Amsterdam, Boston: Elsevier (The Morgan Kaufmann series in interactive technologies). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=269955>.
- Rademacher, Martin H. (2014): Virtual reality in der Produktentwicklung. Instrumentarium zur Bewertung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Automobilindustrie. Techn. Univ., Diss.--Ilmenau, 2014. Wiesbaden: Springer Vieweg (Research).
- Rasmusson, Jonathan (2011): The agile samurai. How agile masters deliver great software. P2.0 printing, Version: 2011-1-18. Raleigh, NC: The Pragmatic Bookshelf (The pragmatic programmers).
- Rohr, Matthias (2018): Sicherheit von Webanwendungen in der Praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Roth, Karlheinz (2000): Konstruktionslehre. 3. Aufl., erw. und neu gestaltet. Berlin: Springer (Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, / Karlheinz Roth ; Bd. 1).
- Saffer, Dan (2009): Designing gestural interfaces. [touchscreens and interactive devices]. 1. ed. Beijing: O'Reilly.
- Sarodnick, Florian; Brau, Henning (2011): Methoden der Usability Evaluation. 2. Aufl. s.l.: Verlag Hans Huber. Online verfügbar unter http://sub-hh.ciando.com/book/?bok_id=240821.
- Sauro, Jeff (2011): Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS). Online verfügbar unter <https://measuringu.com/sus/>, zuletzt aktualisiert am 20.10.2020.
- Scheer, Fabian; Marschner, Mario (2002): Interaktive Kollisionsvisualisierung von großen dynamischen Datensätzen der digitalen Fabrik. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): Augmented & virtual reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge ; virtual prototyping/digital mock up, digitale Fabrik ; Integration von AR/VR in industrielle Geschäftsprozesse ; 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 11. und 12. Juni 2002, Heinz-Nixdorf-Museumsforum. Paderborn: HNI (HNI-
-

Verlagsschriftenreihe, 107), S. 55–67.

Schenk, M.; Blümel, E.; Straßburger, S.; Hintze, A.; Sturek, R. (2004):

Produktivitätssteigerung durch Virtual Reality-basierte Dienstleistungen. In: Reimund Neugebauer (Hg.): Technologische Innovationen für die Antriebs- und Bewegungstechnik. 4. Chemnitzer Produktionstechnisches Kolloquium, CPK 2004, 21.+ 22. September 2004 ; Tagungsband = Technological innovations for drive and motion technology. Zwickau: Verl. Wiss. Scripten (Berichte aus dem IWU, 25), S. 381–394.

Schenk, Michael; Straßburger, Steffen; Kißner, Heike (2005): Combining Virtual Reality and Assembly Simulation for Production Planning and Worker Qualification. In: Michael Zäh und Gunther Reinhart (Hg.): 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). München: Utz, S. 411–414.

Schilling, Thomas; Höhne, Günter; Brüderlin, Beat; Bliedtner, Jens (2008): Augmented Reality in der Produktentstehung. @Ilmenau, Techn. Univ., Diss., 2008. Ilmenau, Ilmenau: Univ.-Bibliothek; ISLE. Online verfügbar unter <http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12392>.

Seo, Gapyuel; Bae, Byung-Chull (2018): Towards the Utilization of Diegetic UI in Virtual Reality Educational Content. In: Constantine Stephanidis (Hg.): HCI International 2018 - Posters' Extended Abstracts. 20th International Conference, HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20, 2018, Proceedings, Part III. Cham: Springer International Publishing (Communications in Computer and Information Science, 852), S. 111–115.

servicemanagement.tools. Online verfügbar unter <https://servicemanagement.tools/itsm-esm-tool-vergleich/>, zuletzt geprüft am 03.01.2020.

Simonidis, Christian (2010): Methoden zur Analyse und Synthese menschlicher Bewegungen. Anwendungen von Mehrkörpersystemen und Optimierungsverfahren: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.

Slater, Mel (2009): Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364 (1535), S. 3549–3557. DOI: 10.1098/rstb.2009.0138.

- Spur, Günter; Krause, Frank-Lothar (1997): Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München: Hanser.
- Stark, R.; Krause, F.-L.; Kind, C.; Rothenburg, U.; Müller, P.; Hayka, H.; Stöckert, H. (2010): Competing in engineering design—The role of Virtual Product Creation. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 3 (3), S. 175–184. DOI: 10.1016/j.cirpj.2010.08.003.
- Statista (Hg.) (2018): SuperData Research. (n.d.). Prognose zum Umsatz mit Virtual Reality weltweit in den Jahren 2016 bis 2021 (in Milliarden US-Dollar). Statista - Das Statistik-Portal. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/318536/umfrage/prognose-zum-umsatz-mit-virtual-reality-weltweit/>, zuletzt geprüft am 14.09.2018.
- Stefani, Oliver; Bullinger, A. H. (2015): New Challenges For Virtual Reality Systems. In: Transilvania University Of Brasov (Hg.): Bulletin Of The Transilvania University Of Brasov. ISSN 1221-5872. Workshop On Virtual Reality In Product Engineering And Robotics: Technology And Applications, 2015: Transilvania University Press.
- Stelzer, Ralph; Steger, Wolfgang; Petermann, Dirk (2011): Hantieren mit realen Objekten in virtuellen Umgebungen. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): *Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge ; Virtual Prototyping, digitale Fabrik mit AR/VR ; AR/VR Interaktions- und Visualisierungstechniken ; 10. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 19. und 20. Mai 2011, Heinz Nixdorf MuseumsForum ; [unter dem Dach der Veranstaltung "Wissenschaftsforum 2011 - Intelligente Technische Systeme"]*. Paderborn: Heinz Nixdorf Inst (HNI-Verlagsschriftenreihe, 295), S. 29–38.
- Stelzer, Ralph; Steindecker, Erik; Saske, Bernhard (2002): Augmented Reality am virtuellen Prototyp. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): *Augmented & virtual reality in der Produktentstehung. Grundlagen, Methoden und Werkzeuge ; virtual prototyping/digital mock up, digitale Fabrik ; Integration von AR/VR in industrielle Geschäftsprozesse ; 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 11. und 12. Juni 2002, Heinz-Nixdorf-Museumsforum*. Paderborn: HNI (HNI-Verlagsschriftenreihe, 107), S. 226–236.
-

- Tiemeyer, Ernst (2014): Handbuch IT-Projektmanagement. Vorgehensmodelle, Managementinstrumente, Good Practices. 2., überarb. und erw. Aufl. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446441217>.
- Turk, Matthew (2015): Gesture Recognition. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 211–231.
- Turki, Tarak (2014): Bedeutung von Erfahrungswissen in der Produktentwicklung und Ansätze zu dessen Evaluierung und Transfer am Beispiel studentischer Gruppen. Forschungsberichte. Hg. v. Albert Albers. IPEK - Institut für Produktentwicklung. Leimen (Systeme - Methoden - Prozesse, 76).
- Vajna, Sandor; Bley, Helmut; Hehenberger, Peter; Weber, Christian; Zeman, Klaus (2009): CAx für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung. 2., völlig neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10274774>.
- VDI2206 (2004): VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, zuletzt geprüft am Düsseldorf.
- VDI2221 (1993): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- Veas, Eduardo E.; Kruijff, Ernst (2010): Handheld devices for mobile augmented reality. In: Marios Angelides, Lambros Lambrinos, Michael Rohs und Enrico Rukzio (Hg.): Proceedings of the 9th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '10. the 9th International Conference. Limassol, Cyprus, 01.12.2010 - 03.12.2010. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1–10.
- Walden, David (1993): Kano's Methods for Understanding Customer-defined Quality. 2. Aufl. Hg. v. David Walden. Center for Quality of Management Journal (4). Online verfügbar unter <http://walden-family.com/public/cqm-journal/2-4-Whole-Issue.pdf>, zuletzt geprüft am 12.11.2019.
-

- Weber, Christian; Krömker, Heidi; Husung, Stephan; Hörold, Stephan; Mahboob, Atif; Liebal, Andreas (2016): Benutzer- und aufgabenorientiertes virtuelles Modell für die Produktentwicklung. In: Ralph Stelzer (Hg.): Entwerfen Entwickeln Erleben 2016 - Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik. Dresden, 30. Juni - 1. Juli 2016. Dresden: TUDpress, S. 239–251.
- Welch, Robert B.; Mohler, Betty J. (2015): Adapting to Virtual Environments. In: Kelly S. Hale und Kay M. Stanney (Hg.): Handbook of virtual environments. Design, implementation, and applications. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Human factors and ergonomics series), S. 627–646.
- Wiegers, Karl Eugene (2003): Software requirements. Practical techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle. 2. ed. Redmond, Wash.: Microsoft Press. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy1004/2002045512-d.html>.
- Winter, Mario (2000): Qualitätssicherung für objektorientierte Software. Anforderungsermittlung und Test gegen die Anforderungsspezifikation. Zugl.: Hagen, Fernuniv., Diss., 1999. Als Ms. gedr. Berlin: dissertation.de (Dissertation.de, 131).
- Wroblewski, Luke (2011): Mobile first. New York, NY: A Book Apart (Brief books for people who make websites, 6).
- Zorriassatine, F.; Wykes, C.; Parkin, R.; Gindy, N. (2005): A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 217 (4), S. 513–530. DOI: 10.1243/095440503321628189.
-

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CFD	Computer Fluid Dynamics
CRM	Customer Relationship Management
DfX	Design for X
ERP	Enterprise Resource Planning
FEM	Finite Elemente Methode
GUI	Graphical User Interface
IT	Informationstechnik
MBSE	Model Based Systems Engineering
PDM	Product Data Management
PLM	Lifecycle Management
SCM	Supply Chain Management
SUS	Systems-Usability-Scale
SysML	Systems Modeling Language
VPS	Virtual Private Server
VR	Virtual Reality

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herausforderungen beim Informationsaustausch im VR-BenutzerIn-VR-EntwicklerIn-Dialog (eigene Darstellung)	10
Abbildung 2: Zieldarstellung – Gemeinsame Basis zum Verständnis der VR-Projektvision (eigene Darstellung)	13
Abbildung 3: Zielbereiche der Dissertation (Ebert 2019, S. 349)	15
Abbildung 4: Zieldarstellung und Gegenüberstellung der zielgruppenspezifischen Anforderungen (eigene Darstellung)	15
Abbildung 5: Modifiziertes Vorgehensmodell nach Sarodnick und Brau (Sarodnick und Brau 2011, S. 91)	16
Abbildung 6: Zu betrachtende Disziplinen innerhalb der Dissertation (eigene Darstellung)	17
Abbildung 7: Aufbau der Arbeit.....	18
Abbildung 8: Anforderungen an die Produktentwicklung (Schilling et al. 2008, S. 24) nach (Gausemeier et al. 2001) und (Eigner und Stelzer 2001)	24
Abbildung 9: Lebensphasen technischer Produkte (angelehnt an VDI2221 (1993) durch Vajna et al. 2009, S. 22)	25
Abbildung 10: Auswirkungen virtueller Techniken auf das Produktwissen (Schilling et al. 2008, S. 31; Ovtcharova 2018)	28
Abbildung 11: Zeitersparnis bei Kundendienstuntersuchungen durch virtuelle Techniken (Braess und Seiffert 2007, S. 851)	29
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Unternehmensbereichen, Aufgabenbereichen und Aufgaben (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 13: Zusammengefasste Aufgabenbereiche aus der Literatur für VR (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 14: Die 3 "I" der VR: Immersion, Interaction, Imagination (Burdea und Coiffet 2003, S. 4)	43
Abbildung 15: Primäre Komponenten eines VR-Systems (Jerald 2016, S. 31)	45
Abbildung 16: Überblick über die Teilsysteme eines VR-Systems (Dörner et al. 2013, S. 24).....	46
Abbildung 17: Unzureichendes Requirements Engineering reduziert den Projekterfolg (Ebert 2019, S. 5).....	52
Abbildung 18: Abhängigkeiten zwischen Anforderungen (Baumgart 2016, S. 430); nach (Kläger 1993, S. 124)	58
Abbildung 19: Bewertung und Auswahl von Priorisierungstechniken (Pohl 2010, S. 532)	59
Abbildung 20: Erfüllungsgrad von Systemmerkmalen - Kano-Modell (Pohl 2010, S. 534; Walden 1993, S. 4–5)	60
Abbildung 21: Anforderungen bestimmen das Vorgehensmodell (Ebert 2019, S. 346).67	
Abbildung 22: V-Modell (VDI2206 2004, S. 29)	68
Abbildung 23: Wasserfallmodell (Pomberger und Pree 2004, S. 18)	69
Abbildung 24: Scrum (Goll und Hommel 2015, S. 87)	70
Abbildung 25: Unified Process (Pomberger und Pree 2004, S. 41)	71
Abbildung 26: Prototyping (Floyd et al. 2001, S. 9)	71
Abbildung 27: Einordnung der Arbeit im RE- und Projektmanagementprozess einer VR-Entwicklung (Ebert 2019, S. 349)	72

Abbildung 28: Zielgruppenbezogene Gegenüberstellung der Untersuchungsschwerpunkte (eigene Darstellung)	77
Abbildung 29: Lösungsdarstellung - Informationsaustausch über ein gemeinsames VR-Informationssystem.....	79
Abbildung 30: Rollenverteilung der Befragten.....	87
Abbildung 31: Geschlechterverteilung der Befragten.....	87
Abbildung 32: Altersverteilung der Befragten	87
Abbildung 33: Auswertung der vergleichenden Analyse	88
Abbildung 34: Branchenverteilung der Befragten.....	91
Abbildung 35: Rollenverteilung der Befragten.....	91
Abbildung 36: Berufliche Positionen der VR-KundInnen	92
Abbildung 37: Berufliche Positionen der VR-EntwicklerInnen	92
Abbildung 38: Altersverteilung der VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen.....	92
Abbildung 39: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-KundInnen unterteilt nach beruflich und privat.....	93
Abbildung 40: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-EntwicklerInnen unterteilt nach beruflich und privat.....	93
Abbildung 41: Bisherige Erfahrungen der VR-KundInnen mit VR-Projekten	94
Abbildung 42: Bisherige Erfahrungen der VR-EntwicklerInnen mit VR-Projekten.....	94
Abbildung 43: Bewertung der Aufgabenbereiche für VR	95
Abbildung 44: Bewertung der erwarteten Nützlichkeit des VR-Informationssystems	102
Abbildung 45: VR-entwicklungsseitiger Mehrwert	102
Abbildung 46: Verwendung des VR-Informationssystems nach Position	103
Abbildung 47: Produkt-Akteur-Umgebung-Beziehung in den Produktlebensphasen (Liebal et al. 2017, S. 353)	105
Abbildung 48: Bildung von UseCases in einem modellbasierten Ansatz für VR (Mahboob et al. 2019b)	106
Abbildung 49: Übersicht über den VR-Konfigurationsprozess (Liebal et al. 2017)	107
Abbildung 50: Aufbau Smartphone-VR (eigene Darstellung).....	108
Abbildung 51: Konzept für die Simulation in Smartphone-VR (Mahboob et al. 2019a, S. 83)	109
Abbildung 52: Darstellung der zielgruppenorientierten Interaktion mit dem VR-Informationssystem.....	121
Abbildung 53: Strukturdiagramm des VR-Informationssystems (Frontend).....	123
Abbildung 54: Versuchsaufbau und Ergebnis der Fokusgruppe	126
Abbildung 55: Strukturdiagramm des VR-Informationssystems (Backend).....	133
Abbildung 56: Nachvollziehbarkeit des Aufbaus des VR-Informationssystems.....	155
Abbildung 57: Vollständigkeit des VR-Informationssystems	156
Abbildung 58: Anwendbarkeit des VR-Informationssystem mit eigenem Vorwissen..	156
Abbildung 59: Allgemeingültigkeit des VR-Informationssystems.....	157
Abbildung 60: Verständlichkeit der Begriffe des VR-Informationssystems	157
Abbildung 61: Wireframes Frontend Menübereich	160
Abbildung 62: Wireframes Frontend Basisfragen	161
Abbildung 63: Wireframes Frontend Allgemeiner Seitenaufbau	161
Abbildung 64: Wireframes Frontend Erklärungsbereich.....	162
Abbildung 65: Wireframe Backend Einstellungsbereich	163
Abbildung 66: Wireframe Backend Erfahrungs-/Referenzbereich	164
Abbildung 67: Wireframe Backend Konfigurationsbereich	165

Abbildung 68: Architektur der Webanwendung (Rohr 2018, S. 2).....	166
Abbildung 69: Darstellung der Basisfragen und Nutzungskontext im Frontend.....	169
Abbildung 70: Darstellung Produktmodell im Frontend und Startseite im Backend....	169
Abbildung 71: Darstellung der Konfiguration im Backend	170
Abbildung 73: Interpretation des SUS-Score (Sauro 2011)	175
Abbildung 74: Ablauf der Evaluation	176
Abbildung 75: Altersverteilung der VR-KundInnen.....	181
Abbildung 76: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-KundInnen.....	181
Abbildung 77: Bisherige Erfahrungen der VR-KundInnen mit VR-Projekten	182
Abbildung 78: Altersverteilung der VR-EntwicklerInnen	183
Abbildung 79: Verteilung der VR-Erfahrung bei VR-EntwicklerInnen	183
Abbildung 80: Bisherige Erfahrungen der VR-EntwicklerInnen mit VR-Projekten	184
Abbildung 81: Bewertung des Frontends durch VR-KundInnen mit Hilfe des Systems- Usability-Scales	185
Abbildung 82: Bewertung des Frontends durch VR-EntwicklerInnen mit Hilfe des Systems-Usability-Scales	185
Abbildung 83: Bewertung des Backend durch VR-EntwicklerInnen mit Hilfe des Systems- Usability-Scales	186
Abbildung 84: Ergänzende Fragen an VR-KundInnen zum Frontend des VR- Informationssystems.....	187
Abbildung 85: Ergänzende Fragen an VR-EntwicklerInnen zum Frontend des VR- Informationssystems.....	188
Abbildung 86: Ergänzende Fragen an VR-EntwicklerInnen zum Backend des VR- Informationssystems.....	189
Abbildung 87: Spezifische Fragen an VR-KundInnen zur Praktikabilität des Frontends des VR-Informationssystems	190
Abbildung 88: Spezifische Fragen an VR-EntwicklerInnen zur Praktikabilität des Frontends des VR-Informationssystems.....	191
Abbildung 89: Spezifische Fragen an VR-EntwicklerInnen zur Praktikabilität des Backends des VR-Informationssystems.....	192
Abbildung 90: Ergebnisdarstellung - Optimaler Informationsaustausch mit Hilfe des VR- Informationssystems.....	197

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Benennung und Einordnung von Lebensphasen technischer Produkte	27
Tabelle 2: Herausforderungen der VR-Systemplanung	37
Tabelle 3: Merkmale von VR im Vergleich zu konventioneller Computergrafik (Dörner et al. 2013, S. 14)	44
Tabelle 4: Gegenüberstellung von Hand- und Nicht-Hand-Eingabegeräten.....	47
Tabelle 5: Attribute von Qualitätsanforderungen (Wiegers 2003, S. 217)	55
Tabelle 6: Notationen für Systemmerkmale	60
Tabelle 7: Häufig verwendete Attribute nach (Bühne und Herrmann 2015) und Gegenüberstellung des Aufbaus von Anforderungen durch Ebert (Ebert 2019) nach Standard IEEE830:1998	62
Tabelle 8: Erweiterte Usability Heuristiken.....	82
Tabelle 9: Web-Informationssystem 1 der vergleichenden Analyse	83
Tabelle 10: Web-Informationssystem 2 der vergleichenden Analyse	84
Tabelle 11: Web-Informationssystem 3 der vergleichenden Analyse	85
Tabelle 12: Web-Informationssystem 4 der vergleichenden Analyse	86
Tabelle 13: Bewertungsskala für die Konkurrenzanalyse	88
Tabelle 14: Rollenunterteilung von VR-KundIn und VR-EntwicklerIn	89
Tabelle 15: Anforderungen gegliedert nach Einsatzbereich.....	96
Tabelle 16: Aufbau Personas im Kontext dieser Arbeit	97
Tabelle 17: Persona 1 - Rolle VR-KundIn	98
Tabelle 18: Persona 2 - Rolle VR-KundIn	98
Tabelle 19: Persona 3 - Rolle VR-KundIn	99
Tabelle 20: Persona 4 - Rolle VR-EntwicklerIn	99
Tabelle 21: Persona 5 - Rolle VR-EntwicklerIn	100
Tabelle 22: Persona 6 - Rolle VR-EntwicklerIn	100
Tabelle 23: Anforderungen an das VR-Informationssystem.....	103
Tabelle 24: Zusammenfassung der untersuchten Anforderungen für die Strukturierung des VR-Informationssystems.....	110
Tabelle 25: Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems	113
Tabelle 26: Attribute für die VR-Spezifikationen und Relevanz für VR-KundInnen und VR-EntwicklerInnen.....	118
Tabelle 27: Beispielhafte Darstellung der Anforderungsinhalte.....	120
Tabelle 28: Spezifikationselemente des VR-Informationssystems	126
Tabelle 29: Basisfragen und ihre Auswirkungen	135
Tabelle 30: Übersicht der präsentierten Beispielspezifikationen	137
Tabelle 31: Spezifikation Komponente: Nutzungskontext Kategorie: Lebensphasen	138
Tabelle 32: Spezifikation Komponente: Nutzungskontext Kategorie: Informationsdarstellung	140
Tabelle 33: Spezifikation Komponente: Nutzungskontext Kategorie: Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	141
Tabelle 34: Spezifikation Komponente: Digitales Menschmodell Kategorie: Bewegung	143

Tabelle 35: Spezifikation Komponente: Umgebungsmodell Kategorie: Raumpositionierung.....	144
Tabelle 36: Spezifikation Komponente: Produktmodell Kategorie: Produktelement	145
Tabelle 37: Spezifikation Komponente: IT Kategorie: Verhaltensmodellierung	146
Tabelle 38: Spezifikation Komponente: User Interface Kategorie: User Interface Typ	147
Tabelle 39: Spezifikation Komponente: Dokumente Kategorie: Dateiformat.....	148
Tabelle 40: Spezifikation Komponente: Objektinteraktion Kategorie: Objektbezeichnung	149
Tabelle 41: Szenario einer Konfiguration für ein VR-System	151
Tabelle 42: Software für die Entwicklungsumgebung	168
Tabelle 43: Systems-Usability-Scale-Fragen (Brooke 1996).....	174
Tabelle 44: Stufen und Wertung (Score) der Likert-Skala für den Systems-Usability-Scale	174
Tabelle 45: Anforderungen an die technische Umsetzung des VR-Informationssystems	177
Tabelle 46: Aufbau des Fragenkatalogs für die Evaluation.....	179
Tabelle 47: Ergänzende Fragen zu Richtigkeit, Eindeutigkeit und Vollständigkeit	179
Tabelle 48: Ergänzende Fragen VR-KundInnen- und VR-EntwicklerInnen-spezifisch...	180
Tabelle 49: Verteilung der VR-KundInnen in Bezug auf Personas.....	181
Tabelle 50: Verteilung der VR-EntwicklerInnen in Bezug auf Personas	182
Tabelle 51: Individuelle Rückmeldungen zu Frontend und Backend	192

Glossar

- AkteurIn** Eine Person, die Bestandteil der VR-Szene ist und eine spezifische Rolle in einer Produktlebensphase hat (z. B. FertigungstechnikerIn, MontageplanerIn oder KundIn im Sinne der eigentlichen BenutzerInnen des Produktes).
- AR** Augmented Reality (AR), auch Erweiterte Realität, steht für das Anreichern der realen Welt mit virtuellen Inhalten in Form von Texten, Grafiken, Animationen, Videos, statischen oder bewegten 3D-Objekten.
- BenutzerIn** BenutzerInnen sind Personen, die ein Anwendungsprodukt direkt verwenden bzw. damit interagieren. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Terminus „VR-KundIn“ verwendet, der sowohl die späteren VR-BenutzerInnen als auch Personen mit einbezieht, die lediglich mit der Einführung eines VR-Systems betraut sind, wie z. B. ProduktmanagerInnen oder GeschäftsführerInnen eines Unternehmens.
- Burger-Menü** Variante einer versteckten Navigation meist im Kontext von Web- und App-Anwendungen. Durch Klick auf ein Icon mit drei parallel zueinander verlaufenden Strichen werden Elemente eines Hauptmenüs sichtbar.
- CAVE** Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), ist eine Mehr-Seiten-Projektionseinrichtung zur virtuellen Wiedergabe von 3D-Inhalten. Je nach Konfiguration bzw. der Anzahl und Stellung der Projektionswände kann ein Aufbau erreicht werden, der die BenutzerInnen der CAVE vollständig von der realen Außenwelt trennt. Im Gegensatz zu HMDs wird größeren Personengruppen eine detaillierte Betrachtung vor Ort ermöglicht.
- Cybersickness** Körperliche Beeinträchtigungen wie allgemeines Unwohlsein, Schwindel oder gar Übelkeit, die während der Nutzung von VR-Systemen auftreten können.
-

EntwicklerIn	Im Rahmen der vorliegenden Arbeit unter (VR-)EntwicklerInnen die Personen verstanden, die sowohl in internen als auch externen IT-Organisationseinheiten im Dialog mit VR-KundInnen ein kundenspezifischen VR-System realisieren können.
HMD	Head-Mounted-Displays (HMD) sind auf dem Kopf getragene Ausgabegeräte, die virtuelle Projektionen direkt vor den Augen der AnwenderInnen erzeugen können. Je nach Ausführung können virtuelle Objekte die reale Welt erweitern und mit ihr interagieren (AR) oder neue virtuelle Welten können erzeugt werden, in die vollständig eingetaucht werden kann (VR). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fokus auf VR-HMDs gelegt.
Immersion	Immersion bezeichnet das subjektive Gefühl des Eintauchens in eine virtuelle Umgebung, die als real empfunden wird.
Industrie 4.0	Steht u. a. für die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie unter Zuhilfenahme von Informations- und Kommunikations-technologien. Der Scherpunkt liegt auf flexibler Produktion, wandelbaren Fabriken, optimierter Logistik, intelligenter Verwendung von Daten oder kundInnenzentrierten Lösungen.
Personas	Personas sind konstruierte Benutzerbeschreibungen, die auf dem Verhalten und der Motivation realer BenutzerInnen basieren.
Powerwall	Eine Ein-Seiten-Projektionseinrichtung zur virtuellen Wiedergabe von 3D-Inhalten. Analog zur CAVE wird im Gegensatz zu HMDs größeren Personengruppen eine detaillierte Betrachtung vor Ort ermöglicht.
Präsenz	Ein sehr hoher Grad der Immersion führt bestenfalls zu einem Gefühl der eigenen Präsenz innerhalb der virtuellen Umgebung.
Slider	Ein visuelles Steuerelement gängiger Benutzeroberflächen, mit dem ein numerischer Wert durch Verschieben eines Elements (Zeigers) entlang einer horizontalen oder vertikalen Linie eingestellt werden kann.

- Stakeholder** Jede Gruppe oder Einzelperson, die die Erreichung der Ziele des Unternehmens beeinflussen kann oder davon betroffen ist.
- Technisches Produkt** Ein künstlich hergestellter Gegenstand aus einer Anzahl von Bauteilen, Baugruppen oder Modulen, der in einer bestimmten Umgebung einen bestimmten Zweck erfüllt.
- Tesselierung** Tesselierung ist ein Spezialfall der Triangulation und behandelt die Zerlegung von Polygonen.
- VR** Virtual Reality (VR) ist eine durch entsprechende Hard- und Software simulierte, interaktive, virtuelle Umgebung, die die VR-BenutzerInnen vollständig umgibt.
-

Anhang A

Web-Informationssystem 1 - Smart Glasses Guide | Auswahlseite:

The screenshot displays the 'Smart Glasses Guide' web application interface. The browser's address bar shows the URL: <https://smrtglassesguide.oss.tu-lin.eu/industrial-applications/>. The page title is 'Smart Glasses Guide'.

The main content area is titled 'Anwendungen' and contains several survey questions:

- Wie oft sollen Mitarbeiter vatenennen in internem Anwendungsfall tragen?** (How often should employees wear them in internal application cases?) - Slider set to 5 mal pro Monat.
- Wie lange sollen Mitarbeiter die Datenbrille in Ihrem Anwendungsfall pro Tag tragen?** (How long should employees wear the data glasses in your application case per day?) - Slider set to 0,5 Stunden pro Tag.
- In welche Anwendungskategorie lässt sich Ihre Anwendung einordnen?** (Which application category does your application fit into?) - Radio buttons for: Weiterassistentz und Training, Dokumentation, Videostreaming, Individuelle Anwendung.
- Handelt es sich um einen internen Anwendungsfall oder sollen Kunden, Lieferanten etc. einbezogen werden?** (Is it an internal application case or should customers, suppliers, etc. be included?) - Radio buttons for: Interne Anwendung, unternehmensübergreifende Anwendung.
- in welchem organisationalenbereich planen sie ihre Anwendung?** (In which organizational area do you plan to use your application?) - Radio buttons for: Produktentwicklung, Produktion, Montage, Qualitätssicherung, Wartung & Instandhaltung, Service, Marketing.
- Mit welchen existierenden IT-Systemen planen Sie für Ihre Anwendung eine Integration?** (With which existing IT systems do you plan an integration for your application?) - Radio buttons for: Maschinendaten, ERP, CAQ, CAD, MES, CRM.
- Wie charakterisieren sie Ihre Anwendung?** (How do you characterize your application?) - Radio buttons for: Indoor Einsatz, Outdoor Einsatz, schmutzige Umgebungsbedingungen, hohe Luftfeuchtigkeit, Aerosole, Laute Umgebungsbedingungen, Explosionsgefahr, Sicherheitsbrille erforderlich, Sicherheitsbrille erforderlich.
- Wird für Ihren Anwendungsfall voraussichtlich eine WLAN Verbindung benötigt?** (Will a WLAN connection be required for your application case?) - Radio buttons for: kein WLAN Zugang nötig, teilweise WLAN Zugang nötig, kontinuierlicher WLAN Zugang nötig.
- Welche Kontexttechnologien planen Sie einzusetzen?** (Which context technologies do you plan to use?) - Radio buttons for: 2D Codes, Bluetooth, BLE, NFC, GPS.
- Wie sollen Informationen auf der Datenbrille dargestellt werden?** (How should information be displayed on the data glasses?) - Radio buttons for: Statische Bilschirme, Hologramme.
- Welche steuerungsmöglichkeiten sind in Ihrem Anwendungsfall gewünscht?** (Which control options are desired in your application case?) - Radio buttons for: Touch-Bedienung, Sprachsteuerung, Gestensteuerung.

A footer note at the bottom right states: 'Diese Angabe dient statistischen Zwecken und hilft uns, unsere Klassifizierung laufend zu verfeinern.'

Web-Informationssystem 1 - Smart Glasses Guide | Ergebnisseite:

The screenshot displays a web application interface for 'Smart Glasses Guide'. At the top left, there is a navigation bar with the text 'Anwendungen' and 'Smart Glasses Guide'. Below this is a search bar containing the text 'Google Glass Enterprise Edition'. To the right of the search bar is a green button labeled 'Filter anwenden'. The main content area shows a list of search results for smart glasses, each with a star rating and a magnifying glass icon:

- ★★★★★ Google Glass Enterprise Edition
- ★★★★★ Realwear HMT-1
- ★★★★★ Realwear HMT-1Z1
- ★★★★★ Vuzix M300

Below the list is a link that says 'Mehr anzeigen'. To the right of the search results, there are two gauge charts. The first gauge is labeled 'Geschätzter technischer Implementierungsaufwand: mittel' and the second is labeled 'Geschätzter organisatorischer Implementierungsaufwand: hoch'. The bottom of the page features a dark footer with logos for 'Fraunhofer VENTURE', 'Fraunhofer IPT', and 'oculavis'. A 'Kontakt' button is also visible in the top right corner of the page.

Web-Informationssystem 2 - Service-management Tool-Vergleich |

Startseite mit ausführlicher Anleitung:

Werbung

Vergleich für ITSM und ESM
Software - online und
mit sofortiger Auswertung!

↑

Vergessen Sie die Anforderungslisten in Excel
 Vergleichen Sie direkt online alle
 Tools für ITSM, Service-
 Management und Enterprise-
 Service-Management.

Sie sind auf der Suche nach der besten Lösung für IT-Service- oder Enterprise-Service-Management? Der Vergleich unterstützt Sie bei der Auswahl der passenden Software!

So einfach funktioniert es: Sie wählen aus, für welche Servicemanagement-Prozesse Sie ein Tool suchen. Für diese Prozesse bekommen Sie Anforderungen angezeigt, die Sie für Ihre konkrete Situation bewerten. Danach erhalten Sie sofort das Ergebnis. Sie sehen, welcher Hersteller von ITSM- und ESM-Tools am besten Ihre individuellen Anforderungen erfüllt. Sie können die Ergebnisse, ähnlich wie in Excel, aus verschiedenen Blickwinkeln analysieren und auswerten. Der Vergleich leitet Sie in drei Schritten zum Ergebnis.

Vergleich jetzt starten
Login

Das Ergebnis bedeutet nicht, dass Sie mit der Auswahl eines ITSM-Tools oder einer Software für ESM fertig sind. In unserer ausführlichen Anleitung für die Tool-Auswahl erfahren Sie, wie Sie den Auswahlprozess gestalten dürfen, damit Sie erfolgreich sind.

Der Vergleich hilft Ihnen die ersten drei Phasen zu verkürzen und so viel schneller zum Ziel zu kommen. Klassisch sieht die Auswahl einer Softwarelösung so aus:

Web-Informationssystem 2 - Service-management Tool-Vergleich |

Auswahlseite (Schritt 1/3):

Vergleichen Sie die Anforderungen in Excel.
 Vergleichen Sie direkt online alle Tools für ITSM, Service-Management und Enterprise-Service-Management.

↑

Vergleich für ITSM und ESM Software - online und mit sofortiger Auswertung!

Jetzt geht es los! Wählen Sie bitte die Prozesse aus, für die Sie ein Tool suchen.

Denken Sie bitte genau darüber nach, welche Prozesse für Sie relevant sind. Klar, die eierlegende Wollmilchsau wollen wir alle haben. Die Erfahrung zeigt, dass viele der Anforderungen nie in der ausgewählten Software umgesetzt werden. Konzentrieren Sie sich bitte auf die Prozesse, die Sie ggf. ablösen und in den nächsten ein- höchstens zwei - Schritten bzw. Entwicklungsstufen umsetzen wollen. Mehr werden Sie wahrscheinlich nicht schaffen! Beschränken Sie sich auf diese Prozesse, passt das Ergebnis wesentlich besser zu Ihrer konkreten Situation und Ihrem Vorhaben.

Prozessauswahl (1/3):

<input type="checkbox"/> Access-Management	<input type="checkbox"/> Allgemeine Fragen	<input type="checkbox"/> Availability-Management	<input type="checkbox"/> Business-Relationship-Management	<input type="checkbox"/> Capacity-Management
<input type="checkbox"/> Change-Management	<input type="checkbox"/> Demand-Management	<input type="checkbox"/> Event-Management	<input type="checkbox"/> Financial-Management	<input type="checkbox"/> Incident-Management
<input type="checkbox"/> Information-Security-Management	<input type="checkbox"/> Knowledge-Management	<input type="checkbox"/> Problem-Management	<input type="checkbox"/> Release- und Deployment-Management	<input type="checkbox"/> Request-Fulfillment
<input type="checkbox"/> Requirements-Engineering	<input type="checkbox"/> Service-Asset- und Configuration-Management	<input type="checkbox"/> Service-Catalogue-Management	<input type="checkbox"/> Service-Continuity-Management	<input type="checkbox"/> Service-Level-Management
<input type="checkbox"/> Service-Portfolio-Management	<input type="checkbox"/> Service-Reporting	<input type="checkbox"/> Supplier-Management		

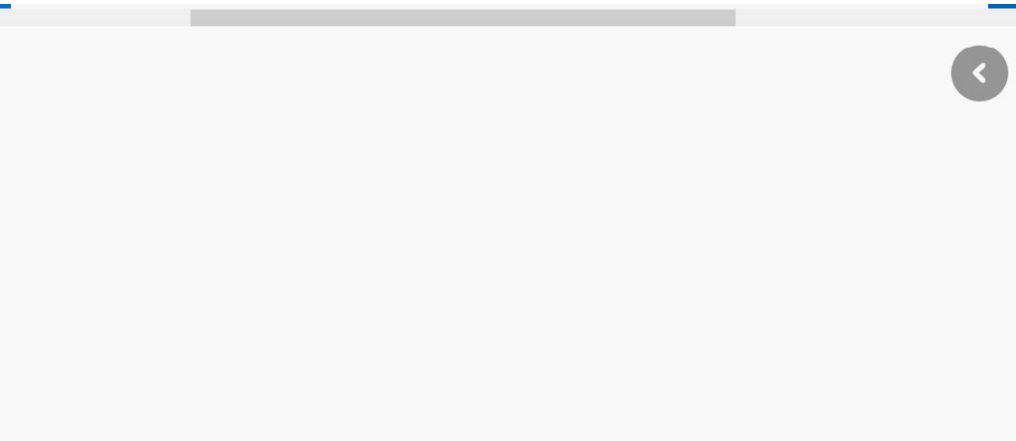
Einen Schritt zurück

Nächster Schritt

Das Fragezeichen hinter den einzelnen Prozessen gibt Ihnen Informationen, was sich hinter den Prozessen verbirgt.

Finden Sie das passende Tool für Ihr Service-Management

Web-Informationssystem 2 - Service-management Tool-Vergleich | Ergebnisseite:



Ihr Ergebnis (3/3):
 Auf Basis Ihrer Anforderungen finden Sie hier die Auswertung. Die Produkte sind entsprechend der Punktzahl absteigend geordnet. Eine höhere Punktzahl bedeutet, dass das Produkt die Anforderungen besser erfüllt. Bitte nutzen Sie die Filter und Analysewerkzeuge, um das Ergebnis noch besser auszuwerten. Klicken Sie hier, um zu erfahren, wie Sie das Ergebnis auswerten können.

Die Erklärung der Antwortmöglichkeiten der Hersteller finden Sie hier.

	Prozesse auswählen	Bewertung auswählen	Umsetzung auswählen	alle Tools anzeigen	Filter zurücksetzen	reduzieren				
	cherwell Cherwell Service Management	kyberna byZhelp Service Management	DCON Servity	ivanti ivanti Service Manager	4me 4me	TOPdesk TOPdesk	MATRIX42 MATRIX42 Service Management	MICRO FOCUS SMAX - Service Management Automation X	ITOMI ITOP Professo Plus	
	Cherwell kontaktieren	Kyberna kontaktieren	DCON kontaktieren	ivanti kontaktieren	4me kontaktieren	TOPdesk kontaktieren	MATRIX42 kontaktieren	Micro Focus kontaktieren	ITOMIG kontaktieren	
Gesamtergebnis	Maximale Punktzahl	13	12,8	11,8	11,6	11,4	10,6	9,9	6,5	4,1
▲ Event-Management	13	12,8	11,8	11,6	11,4	10,6	9,9	6,5	4,1	
▲ Muss-Anforderungen	10	10	10	9	9	8	7,5	5	2,5	
	Das System ermöglicht die automatische Aufnahme von Störungsmeldungen, die durch System-Management-Tools gemeldet werden.	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	Konfiguration	Konfiguration	Integration zusätzl. Produkte	Integration zusätzl. Produkte
	Die Identifizierung von korrelierten Events ist durch die Lösung möglich.	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	Konfiguration	Entwicklung	Integration zusätzl. Produkte	nicht möglich	
▲ Kann-Anforderungen	3	2,8	1,8	2,6	2,4	2,6	2,4	1,5	1,6	
	Events werden in Informationen, Warnungen oder Alarmlistenarchiven.	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	Konfiguration	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	Konfiguration	
	Poling-Intervalle und zu überwachenden Parametern werden durch die Lösung vorgegeben.	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	Integration zusätzl. Produkte	Konfiguration	Entwicklung	Konfiguration	Konfiguration	
	Poling-Intervalle und zu überwachenden Parametern können selbst konfiguriert werden.	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	im Standard ohne Aufwand	Integration zusätzl. Produkte	im Standard ohne Aufwand	Entwicklung	im Standard ohne Aufwand	Konfiguration	

neuen Vergleich starten

Ergebnis speichern

Einen Schritt zurück

Web-Informationssystem 3 - ERP Führer | Auswahlseite (Schritt 4/8):



ERP FÜHRER
Eine Übersicht der ERP-Systeme

Home Über Uns Wie funktioniert es? GDPR Kontakt

Finden Sie heraus, welches das beste ERP System für Sie ist 🕒 Entdecken Sie es in 5 Minuten

Wie sieht Ihr Fertigungsprozess aus?

- Diskrete Fertigung
- Semi-Prozessindustrie (Rezepte und Formeln)
- Projektbezogene Fertigung
- Montage, Erläuternde Anmerkungen:

Warum dies bei der ERP-Auswahl wichtig ist:
Bei der diskreten Fertigung benötigen Sie ein ERP mit guten Möglichkeiten für die Erstellung von Stücklisten. Wenn Sie sich nur mit der Montage befassen, haben Sie Glück: Diese erfordert oft weniger Komplexität der ERP-Systeme. Diese Systeme sind nicht für die (Semi-)Prozessindustrie geeignet. In diesem Fall muss die Software in der Lage sein, Formeln und Rezepte (Proportionen, Mischen, etc.) zu verarbeiten. Schließlich ist projektbezogene Fertigung ein komplett anderer Zweig und benötigt gute Projektmanagementfunktionen.

← ZURÜCK

FRAGE ÜBERSPRINGEN >>

WETER →

Web-Informationssystem 3 - ERP Führer | Ergebnisseite (Schritt 8/8):

ERP FÜHRER
Eine Übersicht der ERP-Systeme

Home Über Uns Wie funktioniert es? GDPR Kontakt

Finden Sie heraus, welches das beste ERP System für Sie ist Entdecken Sie es in 5 Minuten

Geben Sie Ihre Kontaktinformationen an um das Ergebnis zu empfangen

Herr Frau

Vorname Nachname Position

Name der Firma E-Mail Adresse

Telefonnummer

Es wurden 139 ERP-Systeme gefunden
Wir überprüfen die Auswahl und reduzieren sie auf maximal 7 Systeme.

← ZURÜCK **ERGEBNISSE EMPFANGEN →**

Web-Informationssystem 4 - KTR Online-Tools | Auswahlschritt (Schritt 1/4):

Tools - Produkte - Über KTR - Pumpenträger Zeichnungen -

Pumpenträger | Kupplung

PIK Ölkuhler | Kupplung

Schritt 2:
Den Motor wählen Sie mit einem Klick auf den Motor bzw. die Bauform aus (als Standard wird hier IEC B5/V1 1500/min ausgewählt). Anschließend wählen Sie die Motorgröße im Dropdown-Menü (suchen möglichst).

1. Pumpe

Auswahl Pumpenhersteller: ATOS

Auswahl Pumpentyp: PFE-42./3./T/10

2. Motor

Auswahl Motor

- IEC | D5/V1 | 1000 min
- IEC | B5/V1 | 1500 min ✓
- IEC | B5/V1 | 3000 min

Auswahl Motorgröße

1 2 3 4

Web-Informationssystem 4 - KTR Online-Tools | Zusatzauswahlfenster:

Pumpenträger Zusatzauswahl

Sie haben nachfolgend die Möglichkeit einen Pumpenträger eines bestimmten Typen auszuwählen:

- standard - 00
- Entlüftungsbohrung - 01
- Entlüftungsbohrung mit Abdeckgitter verschlossen - 71
- Zwei Entlüftungsbohrungen - 02
- Zwei Entlüftungsbohrungen mit Abdeckgitter verschlossen - 72
- Entlüftungsbohrung und Lecklöcherbohrung - 03
- Entlüftungsbohrung mit Abdeckgitter verschlossen und Lecklöcherbohrung - 73
- Lecklöcherbohrung - 07
- Pumpenträger öldicht - 06
- E-Motorseitige Durchgangsbohrung - 20
- E-Motorseitige Durchgangsbohrung und Entlüftungsbohrung - 21
- E-Motorseitige Durchgangsbohrung und Entlüftungsbohrung und Lecklöcherbohrung - 23

Schritt 5
In der Ergebnistabelle sehen Sie die Positionen Ihrer Auswahl. In der Spalte "Option" können Sie Ihren Pumpenträger weiter abwandeln oder den Zahnkranz der ROTEX Kupplung austauschen.

Tools - Produkte - Über KTR - Pumpenträger Zeichnungen -

5. Ergebnis

#	Anzahl
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1

Dokumentation

Web-Informationssystem 4 - KTR Online-Tools | Ergebnisschritt (Schritt 4/4):

Schritt 5:
In der Ergebnistabelle sehen Sie die Positionen Ihrer Auswahl. In der Spalte "Option" können Sie Ihren Pumpentyp weiter abwandeln oder den Zahnkranz der ROTEX Kupplung tauschen

#	Anzahl	Materialnummer	Beschreibung	Verfügbarkeit	Preis	Option
1	1	1030160705/2	PUMPENHÄUSE PL 3007/05-72 Zusatzauswahl 7wei Fräslüftungsbohrungen mit Abtriebsgitter verschlossen - 72	auf Anfrage	auf Anfrage	Zusatzauswahl
2	1	020281000042	ROTEX 28 Zahnkranz 98 SF-A = I-HUR®= IIIa Änderung: 98 Strorc-A T-FUR	ab Lager	6,85€	Auswählen
3	1	020285103800	ROTEX 28 ST Nabe 1.0 Ø38H7 Nut DIN 6885/1-JS9 >	ab Lager	37,40€	-
4	1	020285122570	ROTEX 28 ST Nabe 1.0 Ø25.38+0.03 Nut Code BS b-e.37	auf Anfrage	auf Anfrage	-
5	1	113006200000	FUßFLANSCH PTFS 300	ab Lager	187,00€	-

5. Ergebnis

[Dokumentation](#)
[2D-Zeichnung](#)
[CAD-Modell](#)
[Shop](#)
[Auftrage](#)

Auswahl der Komponenten erfolgt für Standardniete mit gleichförmiger Einlastung! Bei dynamischen Belastungen, Temperaturen über 40° C, hohen Stoßbelastungen oder abweichenden Pumpenkombinationen bitte Rücksprache mit KTR Systems GmbH nehmen. Bei Einsatz unter Öl bitte Rücksprache mit KTR Systems GmbH nehmen.

Anhang B

Fragebogen zur Analyse bestehender Informationssysteme

Probanden-Nr.:

Datum:

A. Demografische Angaben

a. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

 männlich weiblich

b. Bitte geben Sie Ihre Altersgruppe an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

 <25 25-34 35-44 45-54 >54

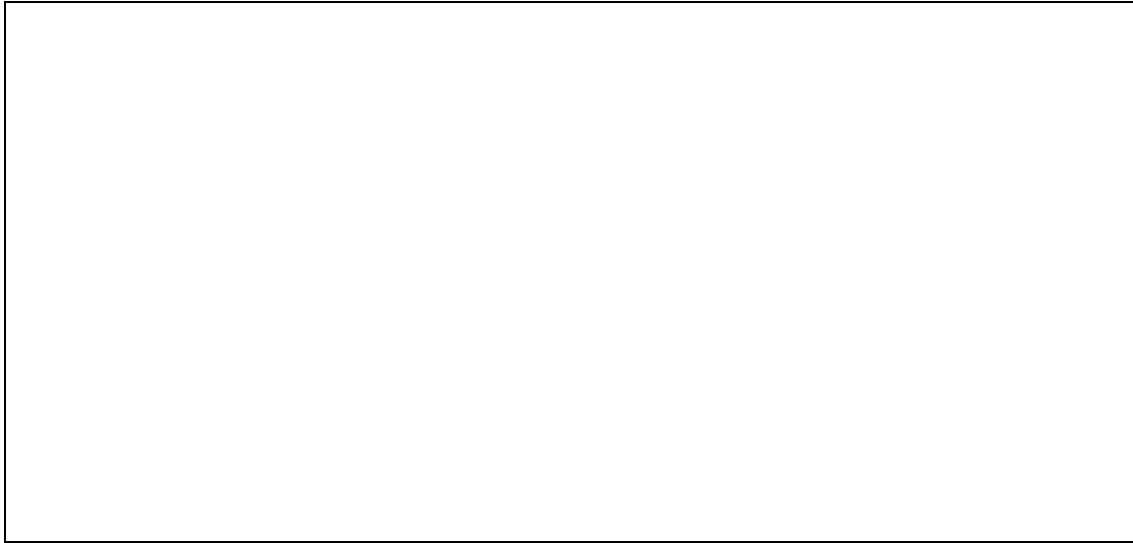
c. Bitte geben Sie Ihre berufliche Position an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

VR-KundIn: ProduktentwicklerIn Requirements Engineer KonstrukteurIn EntwicklerIn/ProgrammiererIn andere, und zwar: _____*VR-EntwicklerIn:* GeschäftsführerIn ProjektmanagerIn EntwicklerIn/ProgrammiererIn andere, und zwar: _____

Sie werden nun nacheinander zu vier Web-Informationssystemen geleitet. Versetzen Sie sich bitte in den jeweiligen Produktkontext und führen Sie die notwendigen Schritte aus, um eine Konfiguration abzuschließen. Versuchen Sie dabei, möglichst viele Informationen zu erhalten, was Ihre Eingabemöglichkeiten, Produktinformationen oder Problemlösungen angeht. Setzen Sie sich bitte möglichst intensiv mit den einzelnen Schritten auseinander.

Nach jedem Durchgang erhalten Sie einen Fragebogen, den Sie bitte ausfüllen.

Ergänzende Fragen oder Anmerkungen



Anhang C

Aufbau des Anhangs (Spezifikationen aus dem VR-Informationssystem):

Komponente	Kategorie	Seite
Nutzungskontext	Lebensphasen	256
	Verwendung des Systems	257
	Informationsdarstellung	257
	Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	258
	Umgebungsparameter des VR-Systems	258
Digitales Menschmodell	Basiskonfiguration	259
	Interaktion	259
	Wahrnehmung	260
	Bewegung	261
Umgebungsmodell	Umgebungselemente	262
	Interaktionsquelle	262
	Informationsquelle	263
	Raumpositionierung	263
Produktmodell	Produktelement	264
	Interaktionselement	264
	Informationsquelle	265
	Raumpositionierung	265
IT	Bewegung	265
	Vorhandene Technologie	266
	WLAN	266
	VR-Software	266
	Verhaltensmodellierung	266
	Künstliche Intelligenz	266
	Sicherheitsbestimmungen für Entwicklung	266
Internes Projektmanagement	266	
User Interface	User Interface Typ	267
	Steuerungsmethode	267
Dokumente	Dateiformat	267
	Dokumentort	267
	Datenquelle	268
	Detailgrad der Informationen	268
	Komentierbarkeit	268
	Verlinkungen	268
Objektinteraktion	Objektbezeichnung	268
	Beschreibung der Interaktion	268
	Reaktion des Objekts	268
	Art des Objekts	268
	Metainformationen	268

Spezifikationen der Komponente „Nutzungskontext“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
1-1-1	Lebensphasen	Konzeptentwicklung	Klären und präzisieren der Aufgaben-/Problemstellung	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-2			Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-3			Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-4			Bewertung und Auswahl des Lösungskonzeptes	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-5		Entwurf & Ausarbeitung	Gliedern in realisierbare Module	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-6			Gestalten der maßgebenden Module	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-7			Gestalten des gesamten Produkts	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-8			Ausarbeiten der Ausführungs- & Nutzungsangaben	(Lindemann 2016, S. 415); (VDI2221 1993)
1-1-9			Design Review	(Rademacher 2014, S. 18)
1-1-10		Produktionssystementwicklung	Arbeitsablaufplanung	(Gausemeier 2006, S. 31)
1-1-11			Materialflussplanung	(Gausemeier 2006, S. 31)
1-1-12			Arbeitsstättenplanung	(Gausemeier 2006, S. 31)
1-1-13			Arbeitsmittelplanung	(Gausemeier 2006, S. 31)
1-1-14		Montage	Fügen	(Ponn und Lindemann 2008, S. 209)
1-1-15			Handhaben	(Ponn und Lindemann 2008, S. 209)
1-1-16			Justieren	(Ponn und Lindemann 2008, S. 209)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
1-1-17			Kontrollieren	(Ponn und Lindemann 2008, S. 209)
1-1-18			Sonderfunktionen	(Ponn und Lindemann 2008, S. 209)
1-1-19			Lagerung	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i> (Koller 1994, S. 7)
1-1-20		Installation	Transport zum direkten Einsatzort	(Roth 2000, S. 72)
1-1-21			Vorbereitung	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-1-22			Inbetriebnahme	(Roth 2000, S. 72)
1-1-23		Nutzung	Funktionserfüllung	(Roth 2000, S. 72)
1-1-24			Sicherheit	(Roth 2000, S. 72)
1-1-25			Ergonomische Bedingungen	(Roth 2000, S. 72)
1-1-26			Vermeidung von Belästigungen	(Roth 2000, S. 72)
1-1-27			Design	(Roth 2000, S. 72)
1-1-28			Zuverlässigkeit	(Roth 2000, S. 72)
1-1-29			Klapp- oder Zusammenlegbarkeit	(Roth 2000, S. 72)
1-1-30		Service und Wartung	Wartung	(Roth 2000, S. 72)
1-1-31			Reparatur	(Roth 2000, S. 72)
1-1-32			Schulung	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-1-33		Außerbetriebnahme	Wiederverwertung	(VDI2221 1993)
1-1-34			Weiterverwertung	(VDI2221 1993)
1-2-1	Verwendung des Systems	Beobachtung bei der Interaktion in VR		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-2-2		Eigene Interaktion in VR		(Welch und Mohler 2015, S. 635)
1-2-3		Hoher Detailgrad der Visualisierung		(Eastgate et al. 2015, S. 364)
1-2-4		2 oder mehr VR-BenutzerInnen		(Driskell et al. 2015, S. 1003–1028)
1-3-1	Informationsdarstellung	Informationen über Objekte		(Polys 2015, S. 1268)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
1-3-2		Informationen über Zustände		(Kheddar et al. 2015, S. 1130)
1-3-3		Dokumente		(Polys 2015, S. 1272)
1-3-4		Exozentrische Perspektive		(Eastgate et al. 2015, S. 364)
1-3-5		Egozentrische Perspektive		(Eastgate et al. 2015, S. 364)
1-3-6		Schwebung		(Eastgate et al. 2015, S. 364)
1-4-1	Aufgabenbereich der VR-BenutzerInnen	Visualisierung/Design Review		(Zorriassatine et al. 2005, S. 516)
1-4-2		Passungsuntersuchungen		(Zorriassatine et al. 2005, S. 516)
1-4-3		Eigenschaftstests und -analyse		(Zorriassatine et al. 2005, S. 516)
1-4-4		Fertigungsuntersuchung		(Zorriassatine et al. 2005, S. 516)
1-4-5		Human Factor Analyse		(Zorriassatine et al. 2005, S. 516)
1-5-1	Umgebungsparameter des VR-Systems	Indoor		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-5-2		Outdoor		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-5-3		Hoher Geräuschpegel		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-5-4		Hohes Menschengemach		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-5-5		Angrenzende Trackingsysteme		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
1-5-6		Erhöhtes Gefahrenrisiko		(Bade et al. 2002, S. 86–104)
1-5-7		Variable Umgebungsparameter		(Bade et al. 2002, S. 86–104)
1-5-8		Hohe Luftfeuchtigkeit		(Bade et al. 2002, S. 86–104)
1-5-9		Hohe Temperaturen		(Bade et al. 2002, S. 86–104)
1-5-10		Sicherheitshelm erforderlich		(Bade et al. 2002, S. 86–104)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
1-5-11		Sicherheitsbrille erforderlich		(Bade et al. 2002, S. 86–104)
1-5-12		Schmutzige Umgebungsparameter		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>

Spezifikationen der Komponente „Digitales Menschmodell“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
2-1-1	Verwendung			
2-2-1	Basiskonfiguration	Anthropometrische Variablen	Nationalität	(Mühlstedt 2016a, S. 15)
2-2-2			Geschlecht	(Mühlstedt 2016a, S. 11)
2-2-3			Perzentil	(Mühlstedt 2016a, S. 11)
2-2-4			Alter	(Mühlstedt 2016a, S. 15)
2-2-5			Akzeleration	(Mühlstedt 2016a, S. 16)
2-2-6			Somatyp/Plastizität/Korpulenz	(Mühlstedt 2016a, S. 17)
2-2-7			Proportion	(Mühlstedt 2016a, S. 17)
2-2-8			Charakteristik	(Mühlstedt 2016a, S. 18)
2-2-9		Art des Menschmodells	Anthropometrisches Modell	(Duffy 2009, S. 3–14)
2-2-10			Modell zur Produktionsgestaltung	(Duffy 2009, S. 3–18)
2-2-11			Biomechanisches Modell	(Duffy 2009, S. 3–20)
2-2-12			Anatomisches Modell	(Duffy 2009, S. 3–21)
2-2-13			Kognitives Modell	(Duffy 2009, S. 3–23)
2-3-1	Interaktion	Interaktion mit statischen Objekten in der Umgebung		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)
2-3-2		Interaktion mit beweglichen Objekten in der Umgebung		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)
2-3-3		Interaktion mit gefährdenden Objekten in der Umgebung		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)
2-3-4		Interaktion mit Bauteilen des Produkts		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
2-3-5		Bewegliche Objekte in der Umgebung		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)
2-3-6		Gefährdende Objekte in der Umgebung		(Stelzer et al. 2002, S. 226–236)
2-3-7		Verwendete Werkzeuge		(Mühlstedt 2016b, S. 221)
2-3-8		Pfadfindung		(Feng et al. 2015, S. 345)
2-3-9		Arbeitsprozesse		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
2-3-10		Verrichtungen		(Leidholdt et al., S. 356)
2-4-1	Wahrnehmung	Verwendung von Dokumenten im Arbeitsprozess		(Beutner et al. 2013, S. 74)
2-4-2		Signale aus Produkt oder Umgebung	Visuell	(Mühlstedt, S. 88)
2-4-3			Akustisch	(Fröhlich und Wachsmuth 2002, S. 132–143)
2-4-4			Olfaktorisch	(Jones et al. 2015, S. 131)
2-4-5			Gustatorisch	(Hale et al. 2015, S. 875)
2-4-6			Haptisch	(Fröhlich und Wachsmuth 2002, S. 132–143)
2-4-7		Beeinflussende Umweltfaktoren	Schall	(Mühlstedt 2016b, S. 220)
2-4-8			Vibrationen	(Mühlstedt 2016b, S. 220)
2-4-9			Klima	(Mühlstedt 2016b, S. 220)
2-4-10			Licht	(Mühlstedt 2016b, S. 220)
2-4-11			Strahlung	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
2-4-12		Analysefunktionen	Visualisierung	(Mühlstedt, S. 78)
2-4-13			Sichtanalysen	(Mühlstedt, S. 88)
2-4-14			Erreichbarkeitsanalysen	(Mühlstedt, S. 88)
2-4-15			Maßanalysen	(Mühlstedt, S. 89)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
2-4-16			Kraftanalysen	(Mühlstedt, S. 90)
2-4-17			Haltungsanalysen	(Mühlstedt, S. 90)
2-4-18			Zeitanalysen	(Mühlstedt, S. 78)
2-4-19			Laufwegermittlung	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
2-4-20			Nutzungsanalyse	(Mühlstedt 2016b, S. 216)
2-5-1	Bewegung	Grundbewegungen	Kopfbewegung	(Turk 2015, S. 222)
2-5-2			Körperbewegung	(Turk 2015, S. 223)
2-5-3			Objekthandling	<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
2-5-4			Hand-Arm-Bewegung	(Turk 2015, S. 223)
2-5-5			Tätigkeiten mit Werkzeug	(Leidholdt et al., S. 356)
2-5-6			Tätigkeiten ohne Werkzeug	(Mühlstedt 2016b, S. 221)
2-5-7		Bewegungsparameter	Position	(Simonidis 2010, S. 37)
2-5-8			Ausrichtung	(Duffy 2015, S. 255)
2-5-9			Geschwindigkeit	(Duffy 2015, S. 255)
2-5-10			Kraft	(Simonidis 2010, S. 37)
2-5-11			Reibung	(Simonidis 2010, S. 66)

Spezifikationen der Komponente „Umgebungsmodell“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
3-1-1	Verwendung			
3-2-1	Umgebungs-elemente	Geometrie der Szene		(Dörner et al. 2013)
3-2-2		Objekte in der Umgebung für Interaktion		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
3-2-3		Ein-/Ausblenden		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
3-2-4		Kollisionserkennung		(Scheer und Marschner 2002, S. 55–67)
3-2-5		Beleuchtungsmodell	Physikalisch basiert	(Rademacher 2014, S. 117)
3-2-6			Schattierungsverfahren	(Rademacher 2014, S. 117)
3-2-7			Gitterdarstellung	(Rademacher 2014, S. 117)
3-2-8		Akustisches Verhalten		(Jung und Vitzthum 2013, S. 85)
3-2-9		Physikalisches Verhalten	Mechanisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-10			Hydraulisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-11			Pneumatisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-12			Elektrisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-13			Magnetisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-14			Optisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-15			Thermisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-16			Akustisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-17		Biologisches Verhalten	Human	(Koller 1994, S. 24)
3-2-18			Zoologisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-19			Pflanzlich	(Koller 1994, S. 24)
3-2-20			Bakteriell	(Koller 1994, S. 24)
3-2-21		Chemisches Verhalten	Organisch	(Koller 1994, S. 24)
3-2-22			Anorganisch	(Koller 1994, S. 24)
3-3-1	Interaktionsquelle	Ertasten und Erfühlen von Oberflächen		(Burdea und Coiffet 2003, S. 192)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
3-3-2		Taktiler Feedback		(Burdea und Coiffet 2003, S. 192)
3-3-3		Kraftrückkopplung		(Popescu et al. 2015, S. 421)
3-3-4		Oberflächensensibilität		(Dörner et al. 2013)
3-3-5		Tiefensensibilität		(Dörner et al. 2013)
3-3-6		Temperaturwahrnehmung		(Mainzer 1999)
3-3-7		Schmerzwahrnehmung		(Dörner et al. 2013)
3-3-8		Szenenmanipulation		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
3-4-1	Informationsquelle	Objektinformationen		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
3-4-2		Statusvisualisierung		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
3-5-1	Raumpositionierung	Feste Standpunkte/Blickpositionen		(Rademacher 2014, S. 90)
3-5-2	Bewegung	Freie Bewegung im Raum		(Lawson und Riecke 2015, S. 165)

Spezifikationen der Komponente „Produktmodell“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
4-1-1	Verwendung			
4-2-1	Produktelement	Interaktion mit Teilobjekten/Bauteilen		(Rademacher 2014, S. 117)
4-2-2		Werkzeuge notwendig für Interaktion		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-2-3		Bewegliche Bauteile		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-2-4		Gefährdende Bauteile		(Lindemann 2007, S. 86)
4-2-5		Abbildung von Funktionalitäten		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-2-6		Produktgeräusche		(Lindemann 2007, S. 86)
4-2-7		Realistisches Verhalten		(Burdea und Coiffet 2003, S. 194)
4-2-8		Physikalisches Verhalten	Mechanisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-9			Hydraulisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-10			Pneumatisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-11			Elektrisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-12			Magnetisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-13			Optisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-14			Thermisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-15			Akustisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-16		Biologisches Verhalten	Human	(Koller 1994, S. 24)
4-2-17			Zoologisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-18			Pflanzlich	(Koller 1994, S. 24)
4-2-19			Bakteriell	(Koller 1994, S. 24)
4-2-20		Chemisches Verhalten	Organisch	(Koller 1994, S. 24)
4-2-21			Anorganisch	(Koller 1994, S. 24)
4-3-1	Interaktionselement	Ertasten und Erfühlen von Oberflächen		(Dörner et al. 2013, S. 306)
4-3-2		Taktiler Feedback		(Dörner et al. 2013, S. 306)
4-3-3		Kraftrückkopplung		(Bowman 2005, S. 72)
4-3-4		Oberflächensensibilität		(Dörner et al. 2013, S. 306)

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
4-3-5		Tiefensensibilität		(Dörner et al. 2013, S. 306)
4-3-6		Temperaturwahrnehmung		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-3-7		Schmerzwahrnehmung		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-4-1	Informationsquelle	Objektinformationen		(Rademacher 2014, S. 117)
4-4-2		Akustische Signale		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-4-3		Optische Signale		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
4-5-1	Raumpositionierung	Feste Bewegungspfade/Positionen		(Lawson und Riecke 2015, S. 164)
4-6-1	Bewegung	Eigenständige Bewegung		(Dörner et al. 2013, S. 171)

Spezifikationen der Komponente „IT“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
5-1-1	vorhandene Technologie	HMD		(Dörner et al. 2013, S. 142)
5-1-2		CAVE		(Dörner et al. 2013, S. 133)
5-1-3		Powerwall		(Dörner et al. 2013, S. 133)
5-1-4		SmartphoneVR		(Mahboob et al. 2019a)
5-2-1	WLAN	kein WLAN notwendig		Ergebnis Fokusgruppe
5-2-2		WLAN partiell notwendig		Ergebnis Fokusgruppe
5-2-3		WLAN durchgängig notwendig		Ergebnis Fokusgruppe
5-3-1	VR-Software	Unity 3D		Ergebnis Fokusgruppe
5-3-2		Unreal Engine		Ergebnis Fokusgruppe
5-3-3		Andere		Ergebnis Fokusgruppe
5-3-4		Irrelevant		Ergebnis Fokusgruppe
5-4-1	Verhaltensmodellierung	Verwendung		Ergebnis Fokusgruppe
5-4-2		SysML		Ergebnis Fokusgruppe
5-4-3		Sonstige		Ergebnis Fokusgruppe
5-5-1	Künstliche Intelligenz	Verwendung		Ergebnis Fokusgruppe
5-6-1	Sicherheitsbestimmungen für Entwicklung	Einhaltung bestimmter Normen		(Beutner et al. 2013)
5-6-2		Vorweisen bestimmter Zertifizierungen	ASPICE	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-3			CCNA	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-4			CEH	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-5			CISSP	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-6			ITIL	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-7			PRINCE2	Ergebnis Fokusgruppe
5-6-8			Andere	Ergebnis Fokusgruppe
5-7-1	Internes Projektmanagement	Herkömmlich		Ergebnis Fokusgruppe
5-7-2		Agil		Ergebnis Fokusgruppe
5-7-3		Keines		Ergebnis Fokusgruppe

Spezifikationen der Komponente „User Interface“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
6-1-1	User Interface Typ	Diegetisch		(Iacovides et al. 2015, S. 16)
6-1-2		Nicht-diegetisch		(Iacovides et al. 2015, S. 16)
6-1-3		Räumlich		(Iacovides et al. 2015, S. 16)
6-2-1	Steuerungsmethode	Graphisches Menü	Adaptierte 2D-Menüs	(Bowman 2005, S. 260)
6-2-2			1-DOF-Menüs	(Bowman 2005, S. 261)
6-2-3			TULIP-Menüs	(Bowman 2005, S. 262)
6-2-4			3D-Widgets	(Bowman 2005, S. 263)
6-2-5		Sprachsteuerung		(Dörner et al. 2013, S. 177)
6-2-6		Gestensteuerung		(Saffer 2009)
6-2-7		Gedankensteuerung		(LaValle 2019, S. 390)
6-2-8		Controller	3DoF	(Blade und Padgett 2015, S. 23)
6-2-9			6DoF	(Blade und Padgett 2015, S. 23)

Spezifikationen der Komponente „Dokumente“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
5-1-1_x	Dateiformat	PDF		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-1-2_x		Textdatei		(Dörner et al. 2013, S. 319)
5-1-3_x		Bilddatei		(Dörner et al. 2013, S. 319)
5-1-4_x		Audiodatei		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-1-5_x		Videodatei		(Dörner et al. 2013, S. 319)
5-1-6_x		Native Entwicklungsdaten		(Beutner et al. 2013, S. 83)
5-1-7_x		Neutrale Entwicklungsdaten		(Beutner et al. 2013, S. 83)
5-2-1_x	Dokumentort	Lokal		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-2-2_x		Extern		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
5-3-1_x	Datenquelle	Datei		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-3-2_x		Datenbank		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-4-1_x	Detailgrad der Informationen	Inhaltlich hoch		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-4-2_x		Visuell hoch		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-5-1_x	Kommentierbarkeit	Text		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-5-2_x		Bild		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-5-3_x		Audio		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-5-4_x		Video		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-6-1_x	Verlinkungen	Intern		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
5-6-2_x		Extern		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>

Spezifikationen der Komponente „Objektinteraktion“:

Spz.-Nr.	Kategorie	Wert	Teilwert	Quelle
6-1-1_x	Objektbezeichnung			<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-2-1_x	Beschreibung der Interaktion			<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-3-1_x	Reaktion des Objekts	Statisch		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-3-2_x		Dynamisch		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-4-1_x	Art des Objekts	Statisches Objekt		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-4-2_x		Bewegliches Objekt		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-4-3_x		Gefährdendes Objekt		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-5-1_x	Metainformationen	Permanent		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-5-2_x		Ein-/Ausblendbar		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>
6-5-3_x		Verknüpfung mit Dokumenten		<i>Ergebnis Fokusgruppe</i>

Anhang D

Fragebogen zu den Nutzungsanforderungen

Probanden-Nr.:

Datum:

A. Demografische Angaben

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

männlich

weiblich

2. Bitte geben Sie Ihre Altersgruppe an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

<25

25-34

35-44

45-54

>54

3. Ordnen Sie sich bitte der nachfolgenden Gruppe zu: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

VR-KundIn

VR-EntwicklerIn

4. Bitte geben Sie Ihre berufliche Position an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

GeschäftsführerIn

ProduktentwicklerIn

KonstrukteurIn

FertigungsleiterIn

VertriebsmitarbeiterIn

EntwicklerIn / ProgrammiererIn

andere, und zwar: _____

B. Virtual Reality

5. Wie viel Erfahrung haben Sie im privaten Umgang mit Virtual Reality?

sehr viel	viel	wenig	keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.1 Wenn ja, welche? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

6. Wie viel Erfahrung haben Sie im beruflichen Umgang mit Virtual Reality?

sehr viel	viel	wenig	keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6.1 Wenn ja, mit welchen Technologien?

- HMD (Head-Mounted-Displays wie z. B. Vive oder Oculus Rift)
- Mobile VR (VR-Brille mit Smartphone wie z. B. Samsung Gear)
- CAVE (mehrseitige Stereo-Projektionseinrichtung)
- Powerwall (Stereo-Projektionsfläche)
- andere, und zwar: _____

6.2 Wenn ja, welche Modelle waren Bestandteil der virtuellen Umgebung?

- das zu beurteilende Produkt
 - die produktrelevante Umgebung
 - ein produktrelevantes digitales Menschmodell
-

6.3 Wenn ja, für welchen Aufgabenzweck? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

6.4 Wenn ja, wie? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

- zum Beobachten bzw. Beurteilen (passiv)
 - Beobachtung durch die Augen eines digitalen Menschmodells
 - Beobachtung von außen
- zum Interagieren (aktiv)
- anders, und zwar: (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

6.5 Wenn ja, wie groß waren die bisherigen VR-Projekte, die von Ihrem Unternehmen beauftragt oder realisiert worden sind? Bitte bewerten Sie die Größe der VR-Projekte nach Bauchgefühl in Abhängigkeit von Komplexität, Anzahl der involvierten Mitarbeiter oder zur Verfügung stehendem Budget (Mehrfachnennungen möglich).

- Sehr groß
 - Groß
 - Mittel
 - Klein
 - Sehr klein
-

7. Wie viel Erfahrung haben Sie mit 3D-Eingabegeräten (Flystick, 3D-Mouse, (Videospiel-)Controller...)?

sehr viel	viel	wenig	keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Für welche Aufgabenbereiche sehen Sie in Ihrem Unternehmen großes Potenzial für VR?

- Visualisierung
- Passungsuntersuchungen
- Funktions- und Leistungsanalysen
- Fertigungsuntersuchung
- Menschbezogene Analysen
(z. B. im Hinblick auf Ergonomie oder Sicherheit)

9. Welche Erwartungen haben Sie an die Arbeit mit virtuellen Umgebungen im Kontext des gewünschten Aufgabenzwecks? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

Anhang E

Allgemeiner Fragebogen

Probanden-Nr.:

Datum:

A. Demografische Angaben

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

männlich

weiblich

2. Bitte geben Sie Ihre Altersgruppe an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

<25

25-34

35-44

45-54

>54

3. Ordnen Sie sich bitte der nachfolgenden Gruppe zu: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

VR-KundIn

VR-EntwicklerIn

4. Bitte geben Sie Ihre berufliche Position an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

GeschäftsführerIn

ProduktentwicklerIn

KonstrukteurIn

FertigungsleiterIn

VertriebsmitarbeiterIn

EntwicklerIn / ProgrammiererIn

andere, und zwar: _____

Fragebogen zum Verständnis der Planungshilfe

Sie haben die systematisierte Planungshilfe für die Konfiguration eines aufgaben- und benutzerorientierten VR-Systems vorliegen.

Ziel des Fragebogens ist es zu evaluieren, ob die Planungshilfe aus Ihrer Sicht hilfreich zur Konfiguration eines beschriebenen VR-Systems ist. Rahmenbedingung ist ein System bestehend aus den Teilmodellen Produkt, Akteur und Umgebung.

Bitte markieren Sie alle Begriffe und Passagen in der Planungshilfe, die sich für Sie spontan nicht erschließen.

1. Ist der Aufbau der Planungshilfe nachvollziehbar?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Sind die Verknüpfungen zu Ergänzungen nachvollziehbar?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Sind die Begriffe/Beschreibungen verständlich?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.1 Bitte markieren Sie die unverständlichen Begriffe/Beschreibungen

4. Ist die Planungshilfe mit Ihrem Vorwissen verwendbar?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Stellen Sie sich jetzt bitte vor Sie möchten für EntwicklerInnen ein VR-System konfigurieren / als EntwicklerIn die Informationen zur Konfiguration eines VR-Systems erhalten. Gehen Sie die Tabellen schrittweise durch und bewerten Sie die Auswahlmöglichkeiten.

Tabelle 1

5. Sind die für Sie relevanten Lebensphasen enthalten?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

6. Sind die auswählbaren Prozesse vollständig (unter Berücksichtigung der Relevanz für VR)?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

Tabelle 2**7. Sind die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen für die Anforderungen des VR-Benutzers an das System enthalten?** ja nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

8. Bitte bewerten Sie die Aufgaben des Benutzers gesondert. Sind die Ausprägungen ausreichend klassifiziert und vollständig? ja nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

9. Zum Einbezug von Dokumenten in das VR-System gibt es eine ergänzende Tabelle A. Beschreibt diese Tabelle die Eigenschaften von Dokumenten hinreichend für eine Integration in ein VR-System? Stellen Sie sich dazu bitte sämtliche Dokumente vor, die Sie innerhalb des vorgestellten VR-Systems einbinden würden und welche Eigenschaften diese haben.

ja

nein

Wenn „nein“, warum? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

10. Welche Dokumente würden Sie dringend in dem vorgestellten VR-System benötigen?

Lastenheft

Pflichtenheft

Stücklisten

Checklisten

Dokumentationen/Handbücher

Andere, und zwar:

Tabelle 3**11. Sind die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen für zu integrierende Mensch-Modelle enthalten?** ja nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

12. Zur Definition von Interaktion mit Objekten in der Umgebung gibt es eine ergänzende Tabelle B. Sind darin die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen enthalten? ja nein

Wenn „nein“, warum? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

Tabelle 4

13. Sind die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen für zu integrierende Umgebungs-Modelle enthalten?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

14. Bitte bewerten Sie die Umgebungselemente gesondert. Ist das Verhalten von Objekten und dessen Unterteilung ausreichend klassifiziert und vollständig?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

Tabelle 5

15. Sind die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen für zu integrierende Produkt-Modelle enthalten?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

Tabelle 6

16. Sind die für Sie relevanten Kriterien und Ausprägungen für zu integrierende User Interfaces/Menüs enthalten?

ja

nein

Wenn „nein“, welche fehlen? (Bitte beschreiben Sie so detailliert wie möglich)

Allgemeine Fragen**17. Bewerten Sie die systematisierte Planungshilfe als Nützlich?**

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

18. Bewerten Sie die systematisierte Planungshilfe als Vollständig?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Bewerten Sie die systematisierte Planungshilfe als Allgemeingültig?

Trifft vollkommen zu	Trifft eher zu	Teils-teils	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. Für wen halten Sie die Planungshilfe am relevantesten?

- ProduktentwicklerInnen
- Requirements Engineer
- KonstrukteurInnen
- EntwicklerInnen / ProgrammiererInnen
- andere, und zwar:

21. Welchen Mehrwert kann die Planungshilfe bieten?

- Aufwandsabschätzung
- Kostenabschätzung
- Hilfsmittelplanung
- Planung von Stakeholdern
- andere, und zwar:

Anhang F

Allgemeiner Fragebogen

Probanden-Nr.:

Datum:

1. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

männlich

weiblich

2. Bitte geben Sie Ihre Altersgruppe an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

<25

25-34

35-44

45-54

>54

3. Ordnen Sie sich bitte der nachfolgenden Gruppe zu: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

VR-KundIn

VR-EntwicklerIn

4. Bitte geben Sie Ihre berufliche Position an: (Bitte zutreffendes ankreuzen)

GeschäftsführerIn

ProduktentwicklerIn

KonstruktionsleiterIn

EntwicklerIn / ProgrammiererIn

andere, und zwar: _____

5. Wie viel Erfahrung haben Sie im privaten Umgang mit Virtual Reality?

sehr viel	viel	wenig	keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.1 Wenn mindestens wenig, welche? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

6. Wie viel Erfahrung haben Sie im beruflichen Umgang mit Virtual Reality?

sehr viel	viel	wenig	keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6.1 Wenn mindestens wenig, welche? (Bitte so detailliert wie möglich angeben)

6.2 Wenn mindestens wenig, mit welchen Technologien?

- HMD (Head-Mounted-Displays wie z. B. Vive oder Oculus Rift)
- Mobile VR (VR-Brille mit Smartphone wie z. B. Samsung Gear)
- CAVE (mehreseitige Stereo-Projektionseinrichtung)
- Powerwall (Stereo-Projektionsfläche)
- andere, und zwar: _____

6.3 Wenn mindestens wenig, wie groß waren die bisherigen VR-Projekte, die von Ihrem Unternehmen beauftragt oder realisiert worden sind? Bitte bewerten Sie die Größe der VR-Projekte nach Bauchgefühl in Abhängigkeit von Komplexität, Anzahl der involvierten Mitarbeiter oder zur Verfügung stehendem Budget (Mehrfachnennungen möglich).

- Sehr groß
 - Groß
 - Mittel
 - Klein
 - Sehr klein
-

Fragen zur Beurteilung des VR-Informationssystems - Frontend

Sie bekommen gleich die Möglichkeit, die Idee für ein VR-System mit Hilfe des VR-Informationssystems festzulegen. Um einerseits der Komplexität des VR-Informationssystems entgegenzuwirken und andererseits gezielt Funktionalitäten bewerten zu lassen, erhalten Sie ganz konkrete Aufgaben, die Sie bitte der Reihen nach ausführen. Am Ende erwartet Sie ein Fragebogen, den Sie bitte ausfüllen.

Hinweis: Für die Benutzung des VR-Informationssystems wird Chrome als Browser empfohlen.

Aufgaben für die Benutzung des VR-Informationssystems:

Stellen Sie sich bitte vor, Sie verfügen über ein Budget von 100.000 Euro, um ein konkretes VR-System zu beauftragen. Die Aufgabe des VR-Systems soll sein, die Inbetriebnahme eines Produktes beim Kunden zu visualisieren.

Starten Sie jetzt bitte das „VR-VR-Informationssystem“ unter der URL www.vr-infosys.de

Aufgabe 1: Zwischenseite zur Projektabgrenzung

Finden Sie den Text, der den Hintergrund zur Projektabgrenzung etwas konkretisiert und schauen Sie sich alle erwarteten Eingaben sowie die Möglichkeit der Antworteingabe an. Tragen Sie bitte nur im Feld zum Budget etwas ein und starten Sie anschließend die Konfiguration.

Aufgabe 2: Zwischenseite zum Nutzungskontext

Finden Sie die Stelle, an der die Legenden zum Slider für jede Anforderung stehen. Danach wählen Sie die „*Inbetriebnahme*“ als MUSS-Anforderung aus.

Eine weitere MUSS-Anforderung ist die Benutzung von *Dokumenten*. Geben Sie bitte an, dass Sie im VR-System *PDF-Dateien* und *Bilddateien* verwenden möchten, die *extern* gelagert sind.

Weiterhin finden Sie die Berücksichtigung von Bewertungsmöglichkeiten von Ergonomie und Erreichbarkeit sehr wichtig. Finden Sie die Anforderung „*Human*“

Factor Analyse“, sehen Sie sich die Informationen dazu an und wählen Sie diese mit SOLL an.

Aufgabe 3: Zwischenseite zum digitalen Menschmodell

Es soll *kein digitales Menschmodell* bei dem VR-System berücksichtigt werden.

Aufgabe 4: Zwischenseite zum Umgebungsmodell

Es soll ein Umgebungsmodell geben. Es MUSS über *Freie Bewegung im Raum* verfügen. Informieren Sie sich darüber, was genau es damit auf sich hat.

Aufgabe 5: Zwischenseite zum Produktmodell

Es MUSS ein Produktmodell mit beweglichen Bauteilen und Objektinformationen geben. Die *Interaktion mit Teilobjekten/Bauteilen* KANN berücksichtigt werden.

Aufgabe 6: Zwischenseite zur IT

Sie verfügen bereits über HMDs, weshalb das VR-System für *HMDs* konzipiert sein SOLL. Außerdem finden Sie den Aspekt der Verhaltensmodellierung interessant. Geben Sie bitte an, dass *Verhaltensmodellierung* verwendet werden soll. Informieren Sie sich daraufhin, was genau „*SysML*“ bedeutet und setzen Sie dies dann als KANN-Anforderung.

Aufgabe 7: Zwischenseite zum User Interface

Das User Interface KANN diegetisch integriert werden. Für die Gedankensteuerung wünschen Sie eine Beratung.

Aufgabe 8: Abschließen

Analysieren Sie den geschätzten Aufwand und beenden Sie den Prozess, indem Sie eine beliebige Email-Adresse in das Feld eingeben. Danach senden Sie bitte ab.

Vielen Dank! Nun füllen Sie bitte den nachfolgenden Fragebogen aus.

Fragen zur Beurteilung des VR-Informationssystems - Backend

Sie bekommen gleich die Möglichkeit, sich eine KundInnenanfrage bezüglich der Konfiguration eines VR-Systems über das Backend des VR-Informationssystems anzusehen. Um einerseits der Komplexität des VR-Informationssystems entgegenzuwirken und andererseits gezielt Funktionalitäten bewerten zu lassen, erhalten Sie ganz konkrete Aufgaben, die Sie bitte der Reihen nach ausführen.

Am Ende erwartet Sie ein Fragebogen, den Sie bitte ausfüllen.

Hinweis: Für die Benutzung des VR-Informationssystems wird Chrome als Browser empfohlen.

Aufgaben für die Benutzung des VR-Informationssystems:

Stellen Sie sich vor, einE KundIn hat eine Idee für ein VR-System und benutzt das VR-Informationssystem, um das zukünftige VR-System konzeptionell zu konfigurieren. Sie wurden nun darüber informiert, dass eine Konfiguration vorliegt und möchten sich diese anschauen, um die Idee zu verstehen und die Realisierbarkeit zu bewerten, bevor Sie zu einem Erstgespräch einladen.

Sie erreichen das Backend unter der URL www.vr-infosys.de. Im Hauptmenü können Sie sich mit den Login-Daten Benutzername: *TesterIn* und Passwort: *VRt3st* anmelden. Erneut im Hauptmenü ist dann der Administrationsbereich erreichbar.

Aufgabe 1: BenutzerIn erstellen

Sie möchten einemEiner neuen EntwicklerIn einen eigenen Benutzeraccount für das Backend zur Verfügung stellen. Erstellen Sie bitte einen neue BenutzerIn mit beliebigen Daten.

Aufgabe 2: Corporate Design anpassen

Sie verwenden das VR-Informationssystem als Unternehmen und möchten einen eigenen Titel innerhalb der obersten schwarzen Menüleiste vergeben. Ändern Sie den Titel von *VR-Infosystem* in *VRInfo GmbH*.

Aufgabe 3: Startkonfiguration

Bevor Sie das VR-Informationssystem selbst nutzen können (bzw. eine Erfahrungsabschätzung auf Basis der KundInnenanforderungen erhalten können), müssen Sie Ihre eigene interne Erfahrung für jede einzelne Anforderung definieren. Nur dann ist eine korrekte Bewertung möglich.

Stellen Sie beispielhaft Ihre Erfahrung für planare Mehrseiten-Projektionen auf hoch.

Aufgabe 4: Hilfsdokumente

Ihre KundInnen wünschen sich ein VR-System mit Verhaltensmodellierung, konkret mittels SysML. Allerdings benötigen Sie dazu gezielte Fachliteratur. Finden Sie die Stelle, an der Ihnen zu SysML Literatur angeboten wird.

Aufgabe 5: Erhaltene Konfigurationen

Sie haben bereits eine Kundenkonfiguration erhalten. Bitte verschaffen Sie sich einen Überblick über das gewünschte VR-System. Dabei möchten Sie sowohl den Aufwand bewerten können, die Priorisierung der gewünschten Funktionalitäten sowie für den/die KundIn notwendige Beratungsaspekte.

Aufgabe 6: Export

Sie möchten einen Kundenkonfiguration KollegInnen zeigen. Exportieren Sie die erhaltene Konfiguration.

Fragebogen für VR-KundInnen

1. Ich kann mir vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
2. Ich finde das System unnötig komplex.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
3. Ich empfinde die Nutzung des Systems als einfach.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
4. Ich denke, dass ich Hilfe eines technischen Supports brauche, um das System nutzen zu können.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
5. Ich finde, dass die Funktionen im System gut integriert wurden.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
6. Ich finde, dass das System zu viele Inkonsistenzen aufweist.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
7. Ich denke, dass viele Personen die Nutzung dieses Systems schnell erlernen würden.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
8. Ich empfinde die Nutzung des Systems sehr umständlich.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
9. Ich fühle mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
10. Ich muss viele Dinge erlernen, um das System nutzen zu können.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
11. Der Aufbau des VR-Informationssystems ist nachvollziehbar.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
12. Der Inhalt des VR-Informationssystems ist vollständig.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
13. Das VR-Informationssystem ist mit eigenem Vorwissen anwendbar.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
14. Das VR-Informationssystem besitzt eine hohe Allgemeingültigkeit.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu

15. Die Begrifflichkeiten des VR-Informationssystems sind verständlich.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
16. Das VR-Informationssystem bietet eine gute Beschreibungsmöglichkeit für ein VR-System.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
17. Ich kann mit dem VR-Informationssystem alle meine Wünsche einbringen.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
18. Die Möglichkeit, VR-EntwicklerInnen die Spezifikationen mitteilen zu können, für die ich evtl. noch eine Beratung benötige, finde ich sehr hilfreich.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
19. Gibt es Aspekte, die unbedingt berücksichtigt bzw. optimiert werden müssen?						

Fragebogen für VR-EntwicklerInnen

1. Ich kann mir vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
2. Ich finde das System unnötig komplex.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
3. Ich empfinde die Nutzung des Systems als einfach.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
4. Ich denke, dass ich Hilfe eines technischen Supports brauche, um das System nutzen zu können.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
5. Ich finde, dass die Funktionen im System gut integriert wurden.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
6. Ich finde, dass das System zu viele Inkonsistenzen aufweist.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
7. Ich denke, dass viele Personen die Nutzung dieses Systems schnell erlernen würden.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
8. Ich empfinde die Nutzung des Systems sehr umständlich.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
9. Ich fühle mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
10. Ich muss viele Dinge erlernen, um das System nutzen zu können.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
11. Der Aufbau des VR-Informationssystems ist nachvollziehbar.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
12. Der Inhalt des VR-Informationssystems ist vollständig.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
13. Das VR-Informationssystem ist mit eigenem Vorwissen anwendbar.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu
14. Das VR-Informationssystem besitzt eine hohe Allgemeingültigkeit.						
Trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trifft vollkommen zu

15. Die Begrifflichkeiten des VR-Informationssystems sind verständlich.						
Trifft gar nicht zu						Trifft vollkommen zu
16. Die Konfigurationsbeschreibung ist als Entwicklungsvorgabe ausreichend.						
Trifft gar nicht zu						Trifft vollkommen zu
17. Ich kann den Aufwand einer Wunschkonfiguration mit Hilfe des VR-Informationssystems erkennen.						
Trifft gar nicht zu						Trifft vollkommen zu
18. Ich erkenne die Stellen, an denen die VR-KundInnen unsicher sind.						
Trifft gar nicht zu						Trifft vollkommen zu
19. Gibt es Aspekte, die unbedingt berücksichtigt bzw. optimiert werden müssen?						