

2 Stand der Forschung

Das nachfolgende Kapitel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. Zu Beginn werden der Entwicklungsprozess in der Automobilindustrie mit seinen unterschiedlichen Phasen sowie die aktuell angewandte Unterstützung durch virtuelle Methoden, inklusive der Aufgabenbereiche der Virtual Reality im Entwicklungsprozess, erläutert. Nachfolgend wird die Virtual Reality Technologie definiert. Hierbei wird der gängige Begriff VR-System erläutert und der Zusammenhang zu einem Arbeitssystem hergestellt. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen Akzeptanz und Usability hergestellt und es werden aktuelle Vorgehensweisen bei der Evaluation der Usability von Virtual Reality beschrieben.

2.1 Produktentwicklungsprozess

2.1.1 Allgemeines

Die Entwicklung industrieller Produkte fügt sich in die „Lebensphasen“ eines Produktes ein [VWZB09, S. 22] und wird in der Regel systematisch über einen Produktentwicklungsprozess (PEP) beschrieben. Hierbei handelt es sich um einen Prozess, in dem verschiedene Unternehmensbereiche unterschiedliche Verantwortlichkeiten übernehmen. Der Entwicklungsprozess beinhaltet grundsätzlich mehrere Meilensteine, zu denen sich alle Unterneh-

mensbereiche immer wieder synchronisieren mit dem Ziel, dass bestimmte Entwicklungsstände vorhanden sein müssen, um an der Entwicklung des Produktes weiterarbeiten zu können.

Zur Beschreibung und Definition des PEPs wurden unterschiedliche Modelle entwickelt. Eine Gemeinsamkeit aller Prozessmodelle ist, dass sie die Kernaufgaben der Konstruktion und Entwicklung eines neuen Produkts mit Marktanalysen sowie wirtschaftlichen und rechtlichen Faktoren verbinden. Lindemann [Lin07, S. 16] fügt an, dass die Produktentwicklung unterschiedliche Prozesse beinhaltet. So geben bspw. die Definition von Notwendigkeiten zur Erschließung neuer Märkte (Marketing, Unternehmensziele) oder rechtliche Prüfungen (Patente, Sicherheitsvorschriften) Eingangsgrößen vor, auf deren Basis das zu entwickelnde Produkt beschrieben wird.

Analog dazu geben nach Vajna u.a. [VWZB09, S. 22] Marktbedürfnisse den Anstoß für eine neue Produktentwicklung, welche über die Produktplanung unter Berücksichtigung der Unternehmensziele ausgeplant wird und somit die Eingangsinformationen für die Entwicklung gibt.

Pahl und Beitz ergänzen, dass dem Entwickler eine zentrale Funktion bei der Produktentwicklung innewohnt, da er durch seine wahrzunehmende Aufgabe bspw. die Produktionskosten maßgeblich beeinflussen kann, was die Abstimmung mit der Fertigung notwendig macht. Weiterhin ist eine inhaltliche Verzahnung von Marketing und technischem Vertrieb für nachgelagerte Vertriebsprozesse notwendig [PBFG07, S. 6ff.].

Der traditionelle Produktentstehungsprozess zeichnet sich dadurch aus, dass sämtliche Entwicklungsschritte seriell, also nacheinander, durchgeführt werden. Diese serielle Vorgehensweise hat eine relativ lange Entwicklungszeit des Produkts zur Folge. Eine Reduzierung der Entwicklungszeit kann durch einen simultanen Prozessablauf, das *Simultaneous Engineering*¹, erreicht werden [SAKR05, S. 16]. Dabei werden voneinander unabhängige Vorgänge gleichzeitig durchgeführt und abhängige Vorgänge so weit wie möglich parallelisiert. Um das Simultaneous Engineering im Produktentwicklungsprozess

¹Im Englischen wird die Parallelisierung von Entwicklungsvorgängen als Concurrent Engineering bezeichnet.

zu implementieren, existieren verschiedene Ansätze. Huang [Hua96, S. 1] bezeichnet das *Design for X* (DfX) als einen der effektivsten Ansätze hierzu. Design for X stellt eine Sammlung an Gestaltungsregeln für eine balancierte, funktionsorientierte Produktentwicklung dar, nach denen ein Produkt entwickelt werden sollte, um grundlegenden Ansprüchen an ein Produkt zu entsprechen [PBFG07, S. 366], sowie dessen „Gerechtigkeit“² schon während der Produktentwicklung zu berücksichtigen [VWZB09, S. 24].

2.1.2 Entwicklungsprozess in der Automobilindustrie

Nachfolgend werden - basierend auf der Beschreibung von Filter [Fil09, S. 4ff.] - die wesentlichen Schritte im Entwicklungsprozess der Automobilindustrie erläutert.

Konzeptentwicklung

Im Anschluss an die Vorentwicklung, welche sich generell mit der Entwicklung neuer Technologien befasst, beginnt die Entwicklung eines neuen Fahrzeugs. Den Ausgangspunkt bildet bei designorientierten Fahrzeugen die Formgestaltung, welche unter Hinzunahme von Informationen der technischen Entwicklung, des Marketings, des Vertriebs und der Designabteilung bewertet wird. Mit Hilfe dieser Informationen wird ein Eigenschaftsprofil des Fahrzeugs definiert. Hierzu zählen die Art, die anzusprechende Zielgruppe sowie die Übernahme von Eigenschaften eines Vorgängerfahrzeugs.

²Hierbei sind bspw. die Fertigungs-, Montage-, Prüf-, Instandhaltungs-, Recyclinggerechtigkeit des Endprodukts gemeint

Diese Ergebnisse werden in der Produktplanung in einem Produktsteckbrief festgehalten, in dem unter anderem der Ergebnisanspruch, Segment- und Wettbewerbsanalysen sowie eine Grobpositionierung der Produktfamilie enthalten sind.

Die Konzeptionsphase mit dem zentralen Arbeitspunkt der Formgestaltung gliedert sich in vier Entwicklungsschritte. Zuerst werden von den Designern zahlreiche Designvorschläge in Visionsskizzen festgehalten. Daraufhin wird ein Fahrzeugpackage festgelegt, in dem technische Produktbeschreibungen wie Motorendaten und innovative Ausstattungen enthalten sind. Anschließend werden auf Basis der Designvisionen und des Fahrzeugpackages Designskizzen mit einem hohen Detaillierungsgrad erstellt. Um eine bessere Vorstellung von dem Produkt zu bekommen sowie in einem *Design Review Prozess* eine Bewertung treffen zu können, werden die Designskizzen in computergrafische Renderings überführt. Bei Abschluss der Konzeptionsphase wird die Anzahl der potentiellen Designs durch einen Auswahlprozess deutlich reduziert. Zudem liegt eine erste finale Version der technischen Produktbeschreibung vor, welche Informationen über die kosten- und konzeptbestimmenden Komponenten enthält und zu ersten Kostenabschätzungen genutzt wird.

Serienentwicklung

Die Serienentwicklung beginnt mit der Überführung der Designskizzen in CAD-Modelle. Hierzu werden aus den verschiedenen Designs Clay-Modelle³ erstellt. Nachdem Designänderungen vorgenommen, verschiedene Simulationen an dem Modell durchgeführt und die Modelle daraufhin verfeinert wurden, wird mittels Photogrammetrie⁴ eine dreidimensionale (Daten-)

³Als Clay wird Industrieplastilin bezeichnet, welches im Modellbau verwendet wird. Neben Designern im Automobilbereich wird dieser Werkstoff auch von Industriedesignern und Architekten verwendet.

⁴Die Photogrammetrie ist ein Verfahren der Bildmessung, mit dem Beschaffenheit, Form und Lage von Objekten bestimmt werden können.

Punktwolke von dem Modell erstellt. Aus dieser Punktwolke wird anschließend ein Strak-Modell⁵ erzeugt.

Basierend auf dem Strak-Modell, das alle kundensichtbaren Oberflächen im Exterieur und Interieur darstellt, werden Konstruktionsdaten⁶ erstellt. Aus den vorliegenden Konstruktionsdaten wird mittels Digital Mock-Up (DMU) ein virtueller Zusammenbau der Bauteile durchgeführt. Anschließend werden an dem DMU-Modell unter anderem Fahrzeugeigenschaften über Simulationen abgesichert sowie *Verbau- und Montageuntersuchungen* durchgeführt.

Die Serienentwicklung schließt mit einem Meilenstein ab, bei dem anhand virtueller und physischer Modelle alle kundensichtbaren Oberflächen hinsichtlich ihrer Qualität, Teilepassung, Anmutung und Funktionalität überprüft und freigegeben werden. Diese finale Qualitätskontrolle, sowohl bezüglich der Reife der Konstruktionsdaten als auch der Anmutung und Qualität des finalen Fahrzeugs, ist notwendig, da nach der Freigabe auf Basis der Konstruktionsdaten die Werkzeuge zur Serienfertigung hergestellt werden. Sollten nachträglich Änderungen aufgrund von Fehlern notwendig werden, so sind diese Änderungen in den Werkzeugen nur mit sehr hohem zeitlichen und finanziellen Aufwand zu beseitigen.

2.1.3 Virtuelle Produktentwicklung und Virtual Reality

Im Entwicklungsprozess nehmen Methoden der virtuellen Produktentwicklung oder das *Virtual Prototyping* eine wichtige Stellung ein. Zorriassati-

⁵Ein Strak-Modell beschreibt im Flugzeugbau den harmonischen Linienverlauf der Außenkonturen. Im Automobilbau werden mit dieser Technik die *kundensichtbaren Oberflächen* des Fahrzeugs gleichmäßig und harmonisch erstellt.

⁶Konstruktionsdaten unterscheiden sich dahingehend von Strak Daten, dass sie alle konstruktionstechnischen Elemente enthalten, mit denen das endgültige Fahrzeug hergestellt werden kann. Zudem werden an ihnen die Verbaukonzepte getestet und die Herstellbarkeit der Bauteile simuliert.

ne u.a. [ZWPG03, S. 514] beschreiben den Einsatz von Virtual Prototyping als „Präsentation, Test und Analyse von dreidimensionalen CAD Modellen vor der Erzeugung physischer Prototypen“. Im Zusammenhang mit Virtual Prototyping wird häufig der Begriff Virtual Reality genannt. Während beispielsweise Pratt [Pra95, S. 113ff.] oder Schäppi u.a. [SAKR05, S. 606] sowohl die Visualisierung als auch die Simulation auf Basis von Produktgeometriedaten als Virtual Prototyping bezeichnen, gehen beispielsweise Dai u.a. [DFG95, S. 326ff.] davon aus, dass die Einbindung von Produktgeometriedaten in die Virtual Reality einen wesentlichen Bestandteil des Virtual Prototyping darstellt.

Zorriassatine u.a. [ZWPG03, S. 516ff.] definieren fünf verschiedene Kategorien von Virtual Prototyping Methoden, die unterschiedliche Aufgaben adressieren und sich zur Aufgabenlösung unterschiedlicher Techniken und Werkzeuge bedienen:

Visualisierung - Die dreidimensionale Darstellung eines Produktes anstelle einer zweidimensionalen technischen Zeichnung wird für die Evaluation von Produktgestalt und -erscheinung genutzt. Verschiedene Nutzer, beispielsweise Vertreter des Marketings, Entscheidungsträger, Entwicklerteams, Ingenieure sowie Mitarbeiter von Reparatur und Wartungsbereichen können durch eine frühzeitige Visualisierung Informationen über das zukünftige Produkt erhalten und bei Bedarf auch frühzeitig auf die Entwicklung Einfluss nehmen. Eine Visualisierung des Produktes kann zum einen über CAD-Werkzeuge, zum anderen auch photorealistisch durch VR-Systeme realisiert werden.

Passungsuntersuchungen - Die Möglichkeit, Fertigungstoleranzen in dreidimensionalen virtuellen Modellen zu visualisieren, lässt sich bei Passungsuntersuchungen nutzbringend einsetzen, da hierdurch Ausschuss und Nacharbeit reduziert werden können. Solch eine Visualisierung kann durch Systeme, die zur Toleranzanalyse verwendet werden, rea-

liert werden. Aktuell befinden sich VR-Systeme, die solch eine Visualisierung bieten, in der Entwicklungsphase.

Eigenschaftstests und -analyse - Hierbei handelt es sich um die funktionale Absicherung mit Hilfe von computergestützten Simulationen. Prominente Simulationsmethoden sind Finite Elemente Berechnungen oder auch Strömungssimulationen. Weitere Untersuchungen können Kinematik- oder dynamische Bewegungssimulationen sein. Für Eigenschaftstests und -analysen sind spezialisierte Simulationssysteme notwendig, die in der Regel nur einen spezifischen Anwendungsfall abdecken.

Fertigungsuntersuchung - Die Untersuchung und Analyse der Fertigung eines Produktes inklusive der Fertigungsprozesse und der Produktionsplanung sind wichtige Bestandteile der virtuellen Produktentwicklung. Dies ist insbesondere für die Verbreitung von Simultaneous Engineering Ansätzen unerlässlich, da die unterschiedlichen Produktentwicklungsphasen wie beispielsweise die Komponentenentwicklung und die Produktionsplanung parallel stattfinden sollen. Hierbei können mit Hilfe von Verbauuntersuchungen in immersiven VR-Systemen Zugänglichkeiten für die Montage analysiert werden.

Human Factor Analyse - Die Untersuchung menschlicher Faktoren während der Produktentwicklung stellt einen wichtigen Bereich dar. Mit Hilfe von Human Factor Analysen können beispielsweise die körperliche Belastung während des Fertigungsprozesses oder bei der Produktnutzung simuliert werden. Hierbei können zum einen spezialisierte Simulationssysteme, andererseits auch VR-Systeme bei der Untersuchung von ergonomischen Fragestellungen der Produktnutzung verwendet werden.

Als weiterführende Literatur zu konkreten Anwendungsfeldern sei hier auf Straub und Riedel [SR06] sowie Seiffert und Rainer [SR08] verwiesen, die unterschiedliche Techniken detailliert erläutern.

Vergleicht man nun die Begriffe Virtuelle Produktentwicklung/ Virtual Prototyping und Virtual Reality unter Betrachtung der oben genannten Erklärungen und Verwendungsbereiche, so lässt sich feststellen, dass Virtual Reality als eine spezielle Methode der virtuellen Produktenwicklung bezeichnet werden kann. Weitergehend muss festgehalten werden, dass es sich bei Methoden der virtuellen Realität weitestgehend um Visualisierungswerkzeuge handelt, mit denen Entwicklungsstände oder Eigenschaftssimulationen visualisiert und evaluiert werden können. Eine Verschmelzung von „high-end Visualisierung“ und CAE-Werkzeugen, wie sie von Bertsche und Bullinger [BB07, S. 347] formuliert worden ist, wurde vereinzelt in Forschungsprojekten untersucht (siehe bspw. Rademacher u.a. [RDK13]), ist bis zum aktuellen Zeitpunkt aber nicht eingetreten. Dies mag daran liegen, dass jedes der einzelnen CAE-Werkzeuge für sich genommen ein spezielles Handlungsfeld unterstützt und sich die Integration in ein zentrales Werkzeug der virtuellen Produktentwicklung, inklusive „high-end Visualisierung“, als zu komplex darstellt.

Im weiteren Rahmen dieser Arbeit wird Virtual Reality nicht als Medium zur Erstellung von Produktdaten oder zur Simulation von funktionalem Produktverhalten verstanden, sondern dient als ein Medium zur Darstellung und Evaluation von vornehmlich visuellen Produkteigenschaften. In Abschnitt 2.1.4 werden charakteristische Aufgabenbereiche erläutert, in denen VR-Systeme für den Entwicklungsprozess in der Automobilindustrie eingesetzt werden.

2.1.4 Aufgabenbereiche mit Virtual Reality

In der Literatur wird eine Vielzahl von Aufgabenbereichen im Entwicklungsprozess genannt, in denen Virtual Reality unterstützend eingesetzt werden kann oder bereits eingesetzt wird. So sprechen Burdea und Coiffet [BC03, S. 349ff.] von drei wesentlichen Aufgabenbereichen im Produktentwicklungsprozess. Hierbei handelt es sich um *Design-Review* Prozesse, um *Ergonomieuntersuchungen* sowie um *Montage- und Verbauuntersuchungen*.

Ähnliche Aufgabenbereiche für den Einsatz von Virtual Reality beschreiben Moreau u.a. [MFS04]. Sie nennen *Design Review*, *Montageuntersuchungen* und *Ergonomieevaluierungen* als Bereiche, in denen die VR Technologie unterstützend eingesetzt wird.

Mujber u.a. [MSH04] unterscheiden drei verschiedene Aufgabenbereiche mit VR-Unterstützung, die in der produzierenden Industrie verwendet werden. Sie nennen die Bereiche *design* mit den Unterkategorien Design und Prototyping, *operations management* mit den Unterkategorien Planung, Simulation und Training, und *manufacturing processes* mit den Unterkategorien Produktionseinflüsse, Zusammenbau und Inspektion als Bereiche, in den VR eingesetzt wird, um den Entwicklungsprozess zu unterstützen.

Ovtcharova [Ovt10, S. 1268] ergänzt zu den oben genannten Einsatzbereichen, dass VR typischerweise als Visualisierungstechnologie für Design Review oder Sichtbarkeitsuntersuchungen eingesetzt wird. Zudem werden Anwendungen wie Verkablungssimulation oder Ergonomiesimulation mit Hilfe von VR durchgeführt.

Abbildung 2.1 ordnet die in der Literatur genannten Aufgabenbereiche mit Virtual Reality Unterstützung in den Produktentwicklungsprozess der Automobilindustrie ein. Zusätzlich zu den genannten Bereichen *Design Review*, *Montageuntersuchungen* und *Ergonomieuntersuchungen* wurde ein Bereich, der ebenfalls in der Automobilindustrie einen hohen Stellenwert hat, ergänzt. Hierbei handelt es sich um die *Absicherung der Anmutung und der Qualität* des finalen Fahrzeuges.

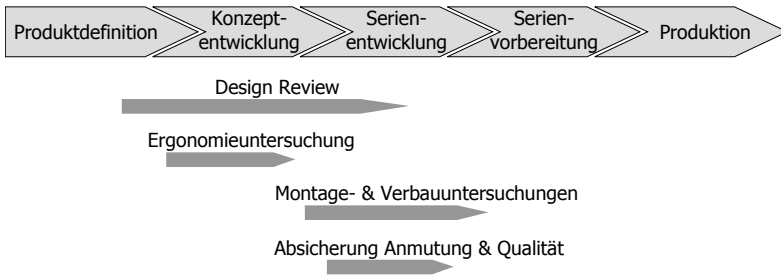


Abbildung 2.1: Aufgabenbereiche mit VR-Unterstützung

2.2 Virtual Reality

2.2.1 Begriffsdefinition

Jaron Lanier⁷ prägte 1989 den Ausdruck Virtual Reality [SAKR05, S. 617]; [BB07, S. 330]. Alternativ werden synonym zum Begriff Virtual Reality auch häufig Virtual World oder Virtual Environment sowie deren deutsche Übersetzungen verwendet.

Seinen Ursprung hat die Virtual Reality Technologie in einem von Morton Heilig 1962 vorgestellten Simulator, dem Sensorama [Hei62]. Ausgehend von diesem Simulator wurden VR-Installationen in verschiedenen, in der Informatik angesiedelten, technologisch orientierten Forschungsprojekten weiterentwickelt (vgl. bspw. [Sut63, Sut68, CNSD93]).

Der Terminus Virtual Reality wurde lange Zeit über die verwendete Ausgabetechnik definiert. Burdea und Coiffet [BC03, S. 2] lösen sich von diesem Vorgehen und liefern folgende Definition von Virtual Reality, die auch im weiteren Kontext dieser Arbeit gilt:

⁷Jaron Lanier, geboren 1960, ist ein US-amerikanischer Wissenschaftler und Gründer der Firma VPL Research, Inc.

Virtual Reality in der Produktentwicklung
Instrumentarium zur Bewertung der
Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der
Automobilindustrie

Rademacher, M.H.

2014, XXV, 228 S. 73 Abb., 6 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-07012-0