

AMMU Automotive Mixed Mock-Up

Konzeption einer neuen Entwicklungsplattform für die Automobilindustrie

*Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung*

Vorgelegt von

Oliver Geißel

aus Sindelfingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr. h.c. Michael Resch

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Tag der Einreichung: 22.12.2010

Tag der mündlichen Prüfung: 08.12.2011

Höchstleistungsrechenzentrum
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. M. Resch
Nobelstrasse 19 – 70569 Stuttgart
Institut für Höchstleistungsrechnen

Erscheinungsjahr: 2012

- Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile -

Aristoteles

Metaphysik, Buch 8.6 1045a: 8-10, 4. Jahrhundert v. Chr.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand als externe Promotion während meiner Tätigkeit als Doktorand in der Gesamtfahrzeugkonstruktion der M-/ GL-Klasse der Daimler AG in Sindelfingen mit dem Institut für Höchstleistungsrechnen IHR der Universität Stuttgart. Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr. h.c. Michael M. Resch, für die Betreuung und Unterstützung dieser Arbeit. Ein herzlicher Dank gilt ebenfalls Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper, ehemaliger Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart sowie des Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA für die Übernahme des Mitberichters.

Für die herausragende Betreuung meiner Arbeit, die stete Unterstützung mit Rat und Tat sowie das in mich gesetzte Vertrauen möchte ich mich insbesondere bei Frau Dr.-Ing. Lina Longhitano, damalige Koordinatorin der Digitale Baubarkeit der M- und GL-Klasse bedanken. Im Rahmen eines von Ihr geleiteten Projektes konnte ich erstmals Mixed Reality operativ in die Fahrzeugentwicklung einführen.

Ich danke zudem allen Mitarbeitern der Daimler AG, die mich über die Jahre unterstützt und mich in meiner Arbeit bestärkt haben. Ich danke an dieser Stelle Prof. Alfred Katzenbach, Ulrich Löffelhardt, Günter Hauf, Gregor Kiefer, Franz Buchwald, Michael Wöhrle, Frank Laabs, Ralf Specht und Klaus Hetsch sowie stellvertretend

René Holldorf, Hans-Helmut Lobe, Michael Kalmbach, Jide Emiola und Michael Haug für alle Pioniere des Mixed Mock-Up Einsatzes in Entwicklung, Prototypenbau und Produktion der Daimler AG.

Ein herzliches Dankeschön gilt zudem den DaimlerDoks, dem Doktorandennetzwerk der Daimler AG. Insbesondere möchte ich Dr. Anna Liersch, Selma Ulusoy und Christian Looman für die gemeinsame Zeit und Bestärkung danken.

Ich danke den Studenten Marcel Seeburger, Thorsten Merz und Marc Truckenbrod die durch ihre Bachelor- und Diplomarbeiten wertvolle Beiträge zum Gelingen geleistet haben.

Der metaio GmbH, stellvertretend Herrn Dr. Thomas Alt, danke ich für die fachliche Unterstützung ebenso der Daimler Protics GmbH, insbesondere Herrn Dr. Axel Hildebrand.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meiner Familie sowie allen Freuden, die mich in den drei Jahren begleitet haben und stets eine feste Stütze waren und sind.

Stuttgart den 15.02.2012

Oliver Geißel

Inhaltsübersicht

Vor dem Hintergrund der großen Herausforderungen der Automobilindustrie zu Beginn des 21. Jahrhunderts beschäftigt sich diese Arbeit mit den Potentialen der Informationstechnologie, im speziellen der Mixed Reality, hinsichtlich der Anpassung von Methoden und Prozessen innerhalb der Produktentwicklung an die aktuellen Herausforderungen.

Mit der Einführung von Mixed Reality in den Produktentwicklungsprozess wurde im Rahmen dieser Arbeit den Herausforderungen innerhalb der automobilen Entwicklung begegnet. Im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten auf diesem Themengebiet wurde dabei erstmals der systematische Einsatz von Mixed Reality in praktischen Anwendungen über den gesamten Produktentwicklungsprozess betrachtet und bewertet.

Ausgehend von der Einführung der neuen Technologie befasst sich diese Arbeit übergreifend über sämtliche Phasen der Produktentwicklung mit der Wirkung der Technologieimplementierung auf die Prozesse innerhalb der Produktentwicklung. Ein spezielles Augenmerk liegt hierbei auf dem Informations- und Wissenstransfers zwischen den einzelnen Organisationseinheiten – insbesondere der Erfahrungs- und Erkenntnisaustausch zwischen virtuellen und hardwareseitigen Entwicklungsschritten.

In Form der neu geschaffenen Entwicklungsplattform Automotive Mixed Mock-Up konnten den verschiedenen

Entwicklungsdisziplinen dabei erstmals in jeder Phase der Produktentwicklung hybride Prototypen zur Verfügung gestellt werden, welche sowohl den aktuellsten Entwicklungsstand der Hardware (Physical Mock-Up) als auch der virtuellen Prototypen (Digital Mock-Up) repräsentieren. Diese neuartige Entwicklungsplattform bildet die Basis für neue Ansätze bei verschiedensten Festlegungs- und Absicherungsaktivitäten in den einzelnen Entwicklungsphasen, von den ersten digitalen Konzepten bis zum Anlauf der Produktion im Zielwerk.

Diese Arbeit stellt dar, wie durch die Bereitstellung einer eindeutigen, visuellen Schnittstelle zwischen virtueller und hardwareseitiger Produktentwicklung in Form des automotive Mixed Mock-Ups eine Neuausrichtung bzw. Anpassung bestehender Prozesse an neue und zukünftige Anforderungen ermöglicht wird.

Abstract

Regarding the huge challenges for the automobile industry at the beginning of the 21st century, this doctoral thesis is about the capability of information technology, especially Mixed Reality, regarding the adaption of methods and processes within the product development to current challenges.

The introduction of Mixed Reality into the product development process in this thesis faces those challenges within the automobile development. Compared to present papers on this application field, the methodical implementation of Mixed Reality within practical applications for the operational car lines development is evaluated for the first time.

Based on the adoption of the new technology, this dissertation deals with the resulting effects on the processes in every phase within the product development. Particular attention is paid to the information and knowledge transfer between the several organisational units, especially the experience and perception exchange in between virtual and physical development steps.

With the new development platform Automotive Mixed Mock-Up, hybrid prototypes could be made available for the different engineering divisions at every development phase. Those prototypes combine the current stage of virtual development (Digital Mock-Up) as well as physical development (Physical Mock-Up). This novel development platform provides a basis for new specification and validation approaches within

the different development phases, ranging from the first digital drafts to the start of production in the plant.

This dissertation points out the capability of realigning respectively of adapting established processes to new and uprising demands by means of allocating a clear and visual interface in between virtual and physical product development – the Automotive Mixed Mock-Up.

Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung	- 11 -
1.1 Motivation.....	- 11 -
1.2 Zielsetzung	- 12 -
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsfokus	- 13 -
1.4 Struktur der Arbeit	- 14 -
2.0 Spannungsfeld Automobilindustrie	- 16 -
2.1 Herausforderungen	- 16 -
2.1.1 Globaler Wettbewerb	- 16 -
2.1.2 Konsequente Kundenorientierung	- 16 -
2.1.3 Nachhaltige Mobilität / Go Green	- 17 -
2.1.4 Einbruch der Weltwirtschaft	- 19 -
2.2 Handlungsfelder	- 21 -
2.3 Zusammenfassung	- 22 -
3.0 Der Fahrzeugentwicklungsprozess	- 23 -
3.1 Historischer Rückblick: Die Evolutionsstufen der Konstruktion	- 23 -
3.2 Der moderne Fahrzeugentwicklungsprozess	- 25 -
3.2.1 Zentrale Entwicklungsplattformen der Automobilindustrie	- 28 -
3.2.1.1 Der Physical Mock-Up (PMU)	- 29 -
3.2.1.2 Der Digital Mock-Up (DMU)	- 30 -
3.2.2 Herausforderungen des Simultaneous Engineering	- 32 -
3.3 Innovation und Zusammenarbeit in der Fahrzeugentwicklung	- 35 -
3.3.1 Bedeutung der Zusammenarbeit	- 35 -
3.3.2 Die Rolle der Technologien	- 36 -
3.3.3 Die Bedeutung der Informationstechnologie im Speziellen	- 36 -
3.4 Zusammenfassung	- 37 -
4.0 Einführung von Mixed Reality in den Produktentwicklungsprozess	- 38 -
4.1 Hintergrund Mixed Reality	- 38 -
4.1.1 Technologischer Hintergrund	- 38 -

4.1.2	Bedeutung für die Produktentwicklung	- 40 -
4.1.3	Technologische Realisierung	- 42 -
4.1.3.1	Perspektivengebundene Systeme	- 43 -
4.1.3.2	Perspektivenentkoppelte Systeme	- 44 -
4.2	Implementierung in den Entwicklungsprozess	- 44 -
4.2.1	Evaluierung in der praktischen Anwendung	- 45 -
4.2.1.1	Identifikation des initialen Anwendungsfeldes	- 46 -
4.2.1.2	Auswahl der Systemkonfiguration	- 47 -
4.2.1.3	Ergebnisse der Evaluierungsphase	- 51 -
4.2.2	Piloteinsatz in der praktischen Anwendung	- 53 -
4.2.2.1	Systematische Einsatzbegleitung	- 56 -
4.2.3	Verankerung in der praktischen Anwendung	- 57 -
4.3	Betrachtung aus Sicht des Wissensmanagements	- 58 -
4.3.1	Aufbau und Wandlung von Wissen in der Digitalen Baubarkeit	- 58 -
4.3.2	Wissenstransfer sowie Initiierung von Folgeinnovationen	- 67 -
4.3.3	Konsequenzen aus der Einführung von MR	- 70 -
4.4	Zusammenfassung	- 71 -

5.0 Konzeption einer hybriden Entwicklungsplattform:

Der Automotive Mixed Mock-Up	- 72 -
5.1 Definition und Charakteristik	- 72 -
5.2 Die Säulen des Mixed Mock-Up	- 74 -
5.2.1 Die Mixed-Reality Software	- 74 -
5.2.1.1 Auswahl einer geeigneten Softwarebasis	- 77 -
5.2.1.2 Erweiterung der Dokumentation	- 82 -
5.2.2 Das Reverse Engineering	- 84 -
5.3 Grenzen des Mixed Mock-Ups	- 86 -
5.3.1 Resultierende Beschränkungen der Hardware	- 86 -
5.3.2 Resultierende Beschränkungen der Software	- 88 -
5.3.2.1 Grenzen der RE-Software	- 88 -
5.3.2.2 Grenzen der MR-Software	- 88 -
5.3.3 Überwindung bestehender Grenzen	- 90 -
5.3.3.1 Die Verdeckungsgeometrie	- 90 -
5.3.3.2 Anwenderintegration in Echtzeit	- 92 -

5.4	Anspruch einer eigenständigen Entwicklungsplattform	- 94 -
5.5	Zusammenfassung	- 95 -
6.0	Bewertung des Mixed Mock-Ups in der praktischen Anwendung	- 96 -
6.1	Digitale Baubarkeit	- 99 -
6.1.1	Absicherung von Ergonomie und Zugänglichkeit	- 100 -
6.2	Qualitätssicherung Rohbau	- 104 -
6.2.1	Rohbauabnahme	- 105 -
6.2.2	Synchronisierung	- 107 -
6.3	Festlegung der Elektrik	- 108 -
6.3.1	Bedeutung der Elektrikfestlegung für künftige Fahrzeugprojekte ..	- 108 -
6.3.2	Bedarf der Festlegung mittels PMU	- 109 -
6.3.3	Vorbereitung der Festlegung	-110 -
6.3.4	Festlegung am PMU	- 112 -
6.3.5	Rückführung des Festlegungsstands	- 116 -
6.4	Aufbau der Aggregateträger	- 117 -
6.5	Weitere Anwendungen in Kürze	- 121 -
6.5.1	Thermische Absicherung des Gesamtfahrzeugs	- 121 -
6.5.2	Feuchtigkeitsschutz	- 123 -
6.6	Bewertung des Mixed Mock-Ups	- 125 -
6.6.1	Bewertung hinsichtlich der Erfolgsfaktoren	- 125 -
6.6.2	Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups als Entwicklungsplattform ..	- 128 -
6.6.3	Bewertung hinsichtlich Zusammenarbeit und Innovation	- 129 -
6.7	Zusammenfassung	- 131 -
7.0	Zusammenfassung und Ausblick	- 132 -
7.1	Zusammenfassung	- 132 -
7.2	Ausblick	- 134 -
8.0	Anhang	- 137 -
	Abbildungsverzeichnis	- 141 -
	Tabellenverzeichnis	- 144 -
	Quellenverzeichnis	- 145 -

Begrifflichkeiten / Abkürzungen

Abkürzungen

AR	Augmented Reality
ATG	Aggregateträger
AV	Augmented Virtuality
B-FZG	Bestätigungsfahrzeug
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAX	Computer Aided...
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DKM	Datenkontrollmodell
DMU	Digital Mock-Up
DOI	Digital Object Identifier
DPT	Digitaler Prototyp
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
E-FZG	Erprobungsfahrzeug
HMD	Head Mounted Display
ISBN	International Standard Book Number
ISO	International Organization for Standardization
ISSN	International Standard Serial Number
IT	Informationstechnologie
MMU	Mixed Mock-Up
MR	Mixed Reality
PDM	Produktdatenmanagement
PEP	Produktentwicklungsprozess
PMU	Physical Mock-Up
PRO	Produktionstests
PSN	Produkt-Struktur-Navigator
RE	Reverse Engineering – siehe Begrifflichkeiten
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VPM	Virtual Product Management
VR	Virtual Reality

Begrifflichkeiten

Anlauffabrik	Prototypenbau bei Mercedes-Benz Cars
Hardware	Soweit nicht anderweitig aus dem Kontext zu entnehmen bezieht sich der Begriff Hardware in dieser Arbeit auf alle realen Entwicklungsumfänge innerhalb der Produktentwicklung von einzelnen Musterbauteilen bis hin zu Serienfahrzeugen.
Job#1	Job number one. Erstes Serienfahrzeug aus dem Zielwerk.
Packaging	Konstruktive Absicherung der Bauräume am DMU.
Reverse	Die Anfertigung eines Duplikates eines vorhandenen Bauteils, Zusammenbaus
Engineering	oder Produktes ohne Zeichnungen, Dokumentation oder Computer Modells. Zudem wird unter Reverse Engineering der Prozess der Ableitung eines geometrischen CAD Modells aus einer 3D Punktwolke verstanden, welche mittels Ein-scannen / Digitalisieren eines vorhandenen Bauteils / Produktes erzeugt wird [RFE08, S.2].

1.0 Einleitung

1.1 Motivation

Unter dem Eindruck der fortschreitenden Globalisierung und des somit weiter wachsenden internationalen Wettbewerbs stehen die etablierten Fahrzeughersteller vor großen Herausforderungen. Bei wachsender Produktkomplexität und gleichzeitig kürzeren Entwicklungs- und Erprobungszeiten müssen sich insbesondere die europäischen und im speziellen die deutschen Hersteller hinsichtlich Produktions- und Herstellungskosten ihren Mitbewerbern stellen und vorhandene Nachteile durch Innovationskraft und technischen Vorsprung ausgleichen. Dabei steht nicht allein das fertige Produkt im Fokus, sondern auch die Methoden und Prozesse dessen Entwicklung und Produktion.

War die Fahrzeugentwicklung in ihren Anfängen geprägt von werkstatorientierter Konstruktion, begann Mitte des 20. Jahrhunderts mit fortschreitender Entwicklung der Informationstechnologien der Einzug digitaler Werkzeuge in den Entwicklungsprozess. Von der rechnergestützten Konstruktion, über die rechnerorientierte Produktmodellierung ist der Entwicklungsprozess heutzutage von der virtuellen Produktentwicklung geprägt. Lange Zeit diente der Physical Mock-Up (PMU) als einzige Entwicklungsplattform. Mit den wachsenden Möglichkeiten der Informationstechnologien kam in den neunziger Jahren der Digital Mock-Up (DMU) als weitere Entwicklungsplattform hinzu. Heutzutage ist der

Digital Mock-Up ein unverzichtbarer, integraler Bestandteil der Entwicklung. Erreichte ein Fahrzeug bis dato erst durch Versuch, Erprobung und Optimierung an der Hardware einen hohen Reifegrad, ist dies heute durch den konsequenten Einsatz digitaler Prototypen bereits vor der hardware-orientierten Entwicklungsphase möglich. Diese Entwicklungen sowie die Tendenz zu immer kürzeren Entwicklungszyklen bedingen eine stetig steigende Bedeutung der virtuellen Entwicklungsschritte.

Bei weiter wachsender Varianz und Komplexität, nicht zuletzt durch die derzeit immensen Anforderungen hinsichtlich der Entwicklung und Integration alternativer Fahrzeugantriebe, gibt es allerdings auch weiterhin innerhalb des Digital Mock-Ups technologische Grenzen. Zudem bleibt die Hardware trotz des intensiven Einsatzes digitaler Methoden und Werkzeuge weiterhin unerlässlicher Bestandteil der Fahrzeugentwicklung.

Das reibungslose Ineinandergreifen der digitalen und der hardware-orientierten Entwicklungsprozesse sowie der interne und übergreifende Wissenstransfer sind somit ein entscheidender Stellhebel im internationalen Wettbewerb. Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer Synchronisierung der abweichenden Entwicklungsstände von PMU und DMU, erforderlich durch unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten.

1.2 Zielsetzung

Vor dem Hintergrund der geschilderten Ausgangssituation beschäftigt sich diese Arbeit mit den Potentialen der Informationstechnologie, im speziellen der Mixed Reality, hinsichtlich der Anpassung von Methoden und Prozessen innerhalb der Produktentwicklung an die aktuellen Herausforderungen.

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit lautet dabei:

Ermöglicht der durchgängige Einsatz von Mixed Reality in der Produktentwicklung eine weitere Verbesserung der Ausgangsposition im internationalen Wettbewerb unter den Automobilherstellern?

Der Aufsatzpunkt sowie die zu Beginn dieser Arbeit vorhandenen Erwartungen

spiegeln sich dabei in folgender Hypothese wieder:

Der Einsatz von Mixed Reality erlaubt eine direkte und somit stärkere Verzahnung der virtuellen und der hardwarelastigen Entwicklungsaktivitäten. Auf diese Weise wird die Zusammenarbeit innerhalb des Unternehmens gefördert, wodurch wiederum positive Effekte hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit resultieren.

Abbildung 1.1 zeigt schematisch das zu entwickelnde Konzept einer verzahnten Entwicklung mittels Mixed Reality.

Im Rahmen dieser Arbeit soll die zentrale Fragestellung erörtert und damit eine eindeutige Aussage bezüglich der aufgestellten Hypothese herbeigeführt werden. Die

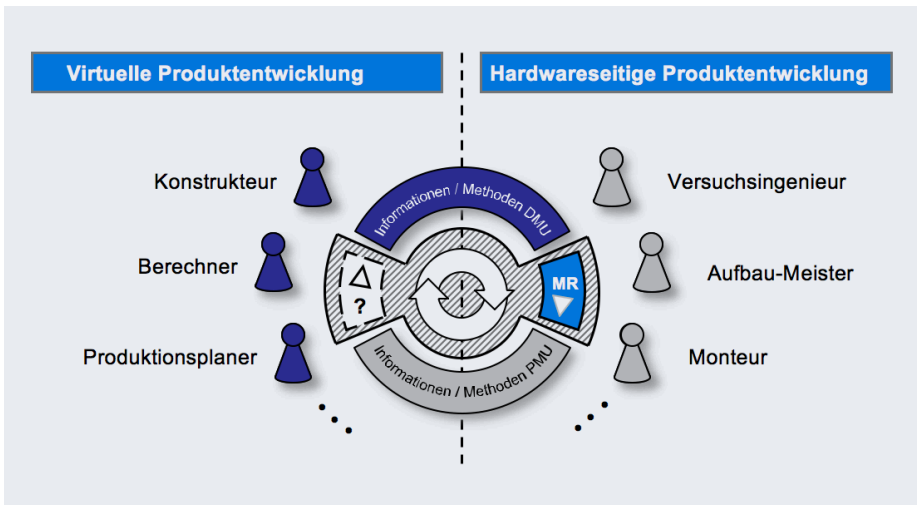


Abbildung 1.1: Konzept einer verzahnten Produktentwicklung mittels Mixed Reality

hierfür erforderlichen Schritte lassen sich dabei folgenden Leitfragen zuordnen:

- » Welche Herausforderungen stellen sich den Unternehmen aktuell im internationalen Wettbewerb?
- » Wie stellt sich die Ausgangssituation innerhalb der Produktentwicklung dar?
- » Welche Rolle spielt eine IT-Technologie bei der kontinuierlichen Verbesserung der Produktentwicklung?
- » Welche Potentiale beinhaltet die Technologie Mixed Reality hinsichtlich der Produktentwicklung?
- » Auf welche Weise kann Mixed Reality unter Berücksichtigung der erforderlichen Aussagekraft einer begleitenden Evaluierung in die Entwicklungsprozesse integriert werden?
- » Welche Konsequenzen resultieren aus der Implementierung von Mixed Reality?

1.3 Abgrenzung des Untersuchungsfokus

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Methoden und Prozessen der Produktentwicklung. Der Fokus liegt hierbei auf der Produktentwicklung der OEM in der Automobilindustrie. Die zu untersuchende Wirkung einer Technologieimplementierung auf die Prozesse innerhalb der Produktentwicklung wird dabei übergreifend über sämtliche Phasen der Produktentwicklung betrachtet. Aufgrund der zentralen Bedeutung des

Informations- und Wissenstransfers zwischen den einzelnen Organisationseinheiten – insbesondere der Erfahrungs- und Erkenntnisaustausch zwischen virtuellen und hardwareseitigen Entwicklungsschritten – für die Produktentwicklung in der Automobilindustrie, wird hierauf in den Betrachtungen ein besonderer Augenmerk gelegt.

Bisherige Arbeiten zum Themengebiet befassen sich größtenteils mit spezifischen Fragestellungen von MR Anwendungen. Diese setzen sich einerseits mit spezifischen technologischen Aspekte wie beispielsweise der Fragestellung der Anwenderinteraktion [siehe REG01, S.755-763; TAN01; TAD01; REG02, S.151-166] oder aber andererseits mit spezifischen – teils stark abgegrenzte – Anwendungsfeldern wie beispielsweise dem Einsatz von MR im Zuge von Soll-/Ist-Abgleichen auseinander [NOE06].

Im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten auf diesem Themengebiet wird erstmals der systematische Einsatz von Mixed Reality in praktischen Anwendungen über den gesamten Produktentwicklungsprozess betrachtet und bewertet [siehe hierzu: NOE06, S.29; REG05, S.48; JIN07, S.274]. Bis dato erlaubte oftmals sowohl der Stand der Forschung als auch der Stand der Technik [NOE06, S.130] nur einen abgegrenzten Untersuchungsfokus, industrielle Anwendungen von Mixed Reality sind aus diesem Grund rar [REG05, S.55] [REG07, S.284, S.300-302]. Im Rahmen dieser Arbeit konnte mittels eines geeigneten robusten Systems sowie einer systematischen Herangehensweise erstmals ein durchgängiger Einsatz in der Produktentwicklung herbeigeführt sowie begleitend evaluiert

werden. In quantitativen Betrachtungen steht dabei die Rolle von Mixed Reality bei der Bereitstellung eines weiteren, starken Brückengliedes für den Informations- und Wissenstransfer in der Produktentwicklung im Fokus.

1.4 Struktur der Arbeit

Die Gliederung dieser Arbeit ist schematisch in Abbildung 1.2 dargestellt. Es folgt ein Überblick über die einzelnen Kapitel. Im Folgenden **Kapitel 2** wird zunächst die Motivation aufgegriffen und anhand der

aktuellen Situation der Automobilindustrie das Spannungsfeld vorgestellt, in dessen Rahmen diese Arbeit angesiedelt ist. Neben den Herausforderungen werden dabei mögliche Handlungsfelder aufgezeigt, welche unter den gegebenen Randbedingungen eine Verbesserung der Ausgangsposition innerhalb des weltweiten Wettbewerbs versprechen.

Kapitel 3 beschreibt nach einem kurzen Blick in die Historie die aktuelle Ausrichtung des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie und damit die Ausgangsbasis dieser Dissertation. In diesem

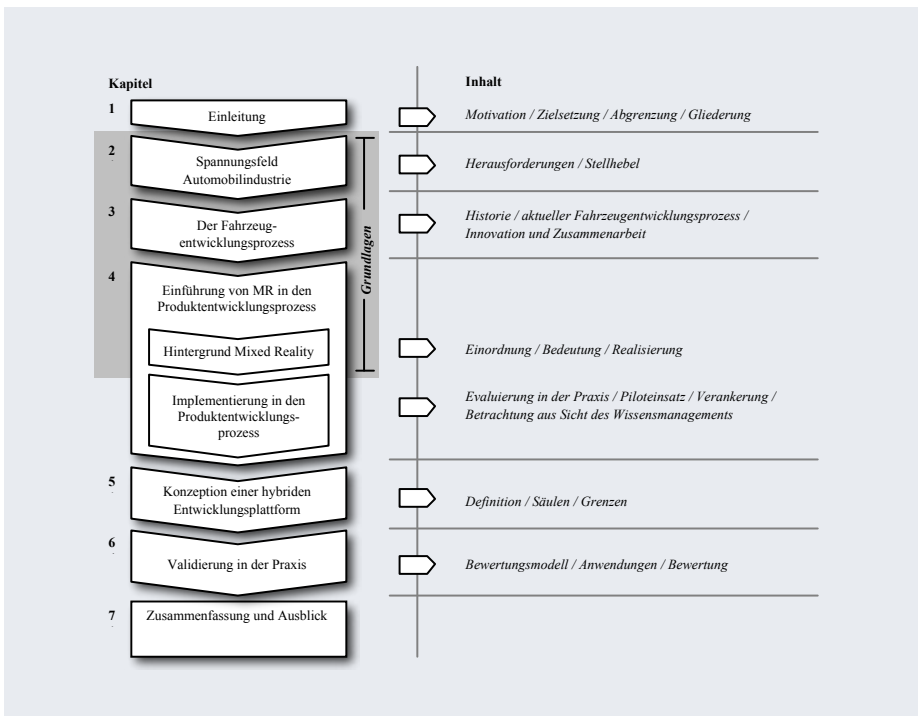


Abbildung 1.2: Gliederung der Dissertation

Zusammenhang wird die Rolle der Informationstechnologie beleuchtet, zudem werden die zentralen Entwicklungsplattformen Digital Mock-Up und Physical Mock-Up vorgestellt. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Betrachtung der Innovationskraft im Kontext der Produktentwicklung. Dabei wird insbesondere die Stellung der Zusammenarbeit hervorgehoben und aus dieser Perspektive die Bedeutung von informationstechnischen Werkzeugen betrachtet.

Das anschließende **Kapitel 4** stellt zunächst die im Rahmen dieser Dissertation zu betrachtende Technologie Mixed Reality näher vor. Dabei wird sowohl auf die technologische Umsetzung als auch die Potentialen von Mixed Reality sowie die vorhandenen Erwartungen hinsichtlich des Einflusses auf die Produktentwicklung eingegangen. Im Folgenden wird die schrittweise Integration der Technologie in die Produktentwicklung bei Mercedes-Benz Cars dargestellt. Der Bogen erstreckt sich hierbei von ersten praktischen Anwendungen bis hin zur durchgängigen Durchdringung des Produktentwicklungsprozesses. Kapitel 4 endet mit einer Reflexion der Technologieimplementierung aus der Sicht des Wissensmanagements sowie der daraus abgeleiteten Erkenntnis einer aus der Technologieintegration resultierenden Etablierung einer neuartigen Entwicklungsplattform.

Kapitel 5 beschreibt die aus dem systematischen Einsatz von Mixed Reality resultierende neue Entwicklungsbasis in Form des Konzeptes des automotivem Mixed Mock-Ups. Die Entwicklungsplattform wird charakterisiert sowie deren Säulen – Mixed Reality

sowie Reverse Engineering – näher vorgestellt. Im Anschluss werden die Grenzen dieser Plattform näher beleuchtet sowie der Anspruch auf die Eigenständigkeit der Plattform gegenüber DMU und PMU erhoben.

Kapitel 6 beinhaltet die Validierung des in Kapitel 5 dargestellten Konzeptes mittels einer Darstellung der Wirkung der neuen Entwicklungsplattform auf die Produktentwicklung. Zu Beginn wird ein Bewertungsmodell – basierend auf den zentralen Wettbewerbsfaktoren – vorgestellt. Mit dessen Hilfe wird im Anschluss die Wirkung der Plattform anhand ausgewählter Beispiele aus dem Spektrum der realisierten Anwendungen erfasst. Kapitel 6 endet mit einer Übertragung der in den repräsentativen Anwendungen ermittelten Auswirkungen auf den gesamten Prozess der Produktentwicklung und bestätigt die Rolle der neuen Entwicklungsplattform als weitere zentrale Entwicklungsbasis in der Produktentwicklung

Kapitel 7 fasst die wesentlichen Resultate dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf die weitere Entwicklung sowie Ansatzpunkte künftiger Arbeiten.

2.0 Spannungsfeld Automobilindustrie

Die Automobilindustrie steht zu Beginn des 21. Jahrhunderts vor den größten Herausforderungen in ihrer Geschichte. Die großen Automobilkonzerne befinden sich in einem harten gegenseitigen Wettbewerb, während sie von der größten Rezession seit Ende des zweiten Weltkriegs unter den Industrieunternehmen mit am stärksten getroffen wurden. Dieses Kapitel skizziert diese Herausforderungen und zeigt mögliche Handlungsfelder zur Verbesserung der Wettbewerbssituation auf.

2.1 Herausforderungen

2.1.1 Globaler Wettbewerb

Die Globalisierung der Märkte schreitet weiter voran. Die Industrie, insbesondere die exportorientierte deutsche Automobilindustrie, ist inzwischen einem harten internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Ging in den vergangenen Jahrzehnten die weltweite Anzahl an Automobilmarken zurück, so erfährt sie in den letzten Jahren einen Zuwachs durch die nunmehr auch international konkurrenzfähigen asiatischen Wettbewerber. Deren Produktangebote erobern durch umfangreiche Serienausstattungen und einem guten Preis-Leistungsverhältnis einen immer größer werdenden Marktanteil [VDA07, S.5]. Gleichzeitig befinden sich die Volumenmärkte der Automobilindustrie, die Triade, in einer strukturellen Wachstumschwäche. Die Märkte in den USA, Westeuropa und Japan befinden sich in einem gesättigten Zustand und verzeichnen seit mehreren Jahren, teilweise sogar seit über einem Jahrzehnt, kein oder lediglich ein geringes Wachstum. In einzelnen Fällen ist im Gegenteil sogar ein Schrumpfen der Märkte zu verzeichnen [BEC07, S.9]. Aus diesen Rahmenbedingungen resultiert ein anhaltender und zunehmend härterer

Wettbewerb um die Gunst des einzelnen Kunden [GUE07, S.4].

2.1.2 Konsequente Kundenorientierung

Der Ausbaus oder zumindest die Verteidigung der Marktanteile bis in die letzte Marktnische [BEC07, S.9] erfordert eine konsequente Ausrichtung auf die diversen heterogenen internationalen Kundenschichten sowie den jeweiligen Trends innerhalb dieser Schichten. Die Fokussierung auf den Kunden zeigt sich beispielsweise:

- » einer steigenden Modell- und Variantenzahlen
- » kürzeren Produktlebenszyklen
- » steigenden Qualitätsstandard und wachsender Lebensdauer
- » sowie einer steigende technische Komplexität des Produktes Automobil beispielsweise durch eine Zunahme der Sicherheitssysteme aber auch des Infotainmentumfangs.

Die genannten Faktoren sind unter zusätzlicher Berücksichtigung der Entwicklungsressourcen schematisch in Abbildung 2.1 nach [KAB09, S.4] dargestellt.

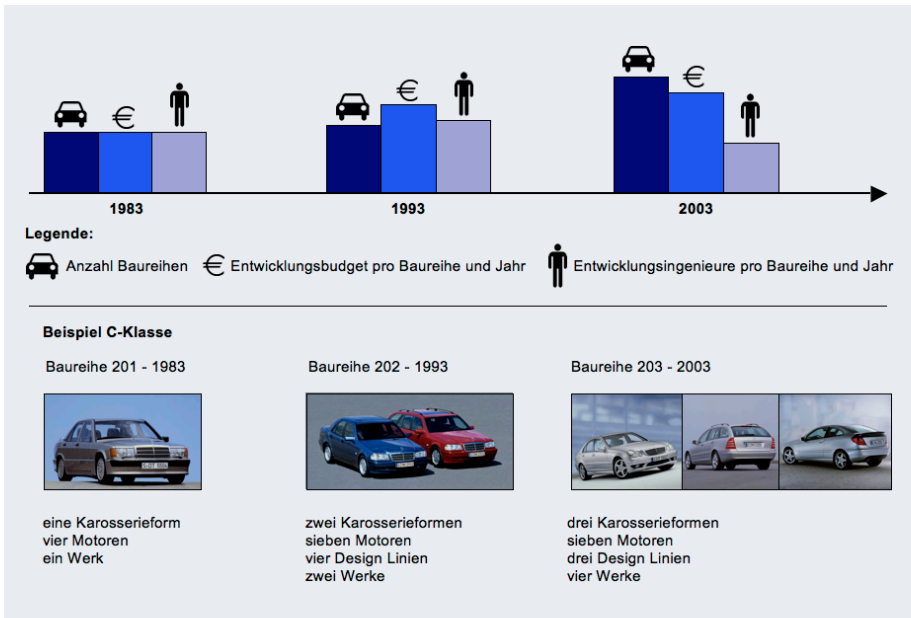


Abbildung 2.1: Gegenüberstellung Produktvarianz und Entwicklungsressourcen

2.1.3 Nachhaltige Mobilität / Go Green

Aus einem gestiegenen ökologischen Bewusstsein innerhalb der Gesellschaft resultieren weitere Herausforderungen der bereits angespannten Wettbewerbssituation. Angetrieben durch den Kundenwunsch, die Gesetzgebung sowie das wachsende Bewusstsein der gesellschaftlichen Verantwortung werden weltweit alternative Fahrzeug- und Antriebskonzepte forciert. Derzeit steht die Branche am Beginn des Aufbruchs zu einer emissionsfreien individuellen Mobilität. Um dieses Ziel zu erreichen bedarf es zunächst hohen Aufwendungen und

Belastungen, die positiven Ertragseffekte stehen dabei erst mittelfristig in Aussicht. Um sich auch künftig im Wettbewerb durchzusetzen, ist dieses Engagement jedoch unerlässlich [DFI09].

Die Forcierung nachhaltiger Mobilitätskonzepte spiegelt sich wieder in:

- » einem sprunghafter Anstieg neuer Fahrzeugkomponenten
- » einer zunehmenden Elektrifizierung des Automobils

- » hohen Investitionen in ein breites Technologieportfolio bei mittel- bis langfristigem Return on Invest
- » der Koexistenz verschiedener Antriebstechnologien über einen langen Zeitraum.

Fokus steht, gilt es in den Entwicklungsabteilungen der Automobilkonzerne zusätzlich ein breites Spektrum weiterer Antriebstechnologien voranzutreiben. Multiantriebsplattformen sind eine Antwort auf diese Herausforderung. Abbildung 2.2 zeigt eine solche Multiantriebsplattform am Beispiel des Forschungsfahrzeugs F800 Style von Mercedes-Benz.

Während der Verbrennungsmotor noch auf lange Zeit eine wichtige Rolle spielen wird und somit seine Optimierung weiterhin im

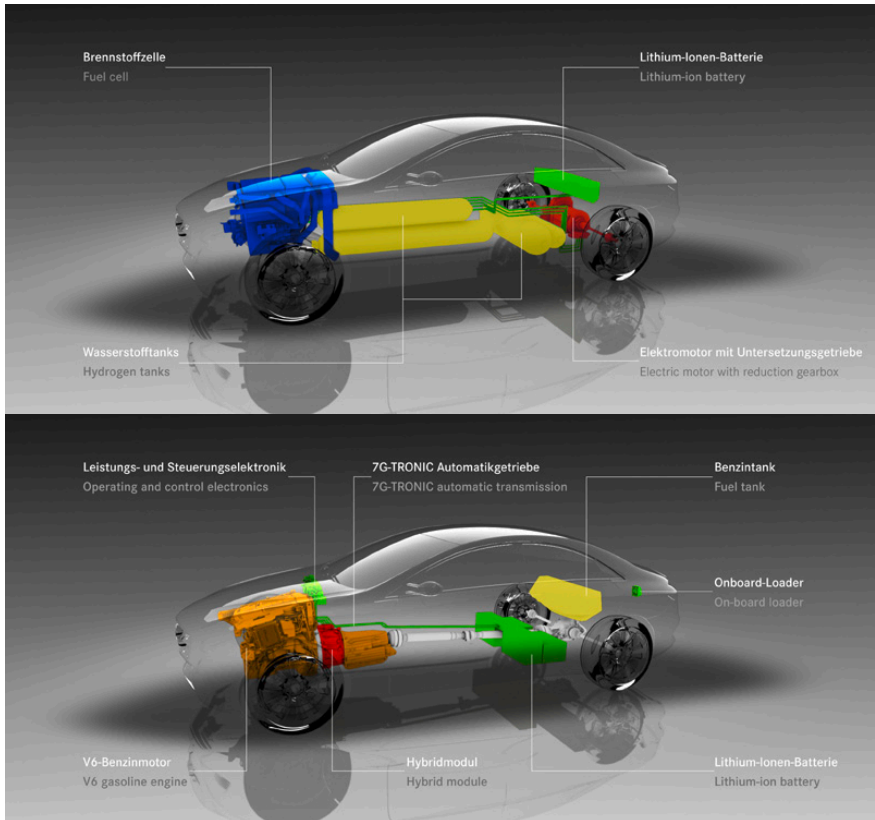


Abbildung 2.2: Multiantriebsplattform am Beispiel des F800 Style [DAI10]

2.1.4 Einbruch der Weltwirtschaft

Neben den bereits geschilderten Herausforderungen geriet die Automobilindustrie im Jahr 2008 in den Strudel der um sich greifenden Finanzkrise. Zeigten sich die ersten Symptome zunächst in Form einer Krise des amerikanischen Immobiliensektors, weitete sich diese schnell auf die gesamte Finanzindustrie aus und bewirkte in Folge eine tiefe Rezession der Weltwirtschaft. Rund um den Globus brachen 2008/2009 die Volkswirtschaften ein, zum ersten Mal seit Ende des zweiten Weltkriegs schrumpfte 2009 die Weltwirtschaft. Diese Entwicklungen trafen die Automobilindustrie mit voller Wucht und zeigen auch im Jahre 2010 noch ihre Auswirkungen. Im Zuge der auf die Realwirtschaft übergreifenden Finanzkrise veränderte sich das Umfeld für die Automobilindustrie radikal. Das reduzierte Absatzvolumen führte zu einem sinkenden Liquiditätsfluss aus dem laufenden Geschäft, zudem verschlechterten sich die

Bedingungen für die Aufnahme von Fremdkapital [HVD09, S. 2]. Im Gegensatz zu bisherigen Krisen beschränkte sich diese nicht auf ein Land oder eine Region, sondern erfasste alle wichtigen Märkte weltweit. Auf den Pkw-Märkten zeichnete sich durch den starken Absatzeinbruch auf den etablierten Triademärkten ein dramatisches Bild ab. Im vierten Quartal 2008 erreichten die Pkw-Märkte dort historische Tiefstände: In den USA fielen die Verkäufe auf den tiefsten Stand seit 26 Jahren, in Westeuropa auf den tiefsten Stand seit 12 Jahren und in Japan auf das tiefste Niveau seit 21 Jahren [JPK09, S.2]. Auch die bis dato wachstumsstarken Schwellenländer verloren teilweise sehr deutlich. Weltweit befanden sich die Pkw-Märkte in einer bislang noch nicht da gewesen Abwärtsspirale gleichzeitig nach unten [BRA09, S.16-17]. Abbildung 2.4 zeigt die Weltproduktion der deutschen Automobilindustrie über die Jahre 2005 bis 2009.

Real GDP growth [% change p.a.]

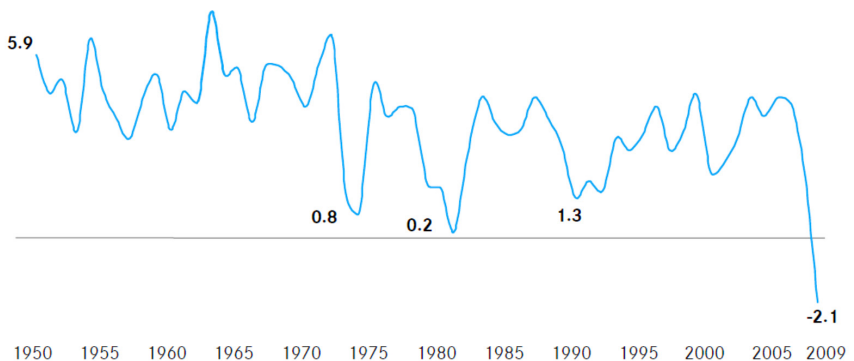


Abbildung 2.3: Rückgang der Weltwirtschaftsproduktion [JPK10, S. 2]

Zu Beginn des Jahres 2010 entspannte sich die Lage auf dem Weltmarkt. Ende des ersten Halbjahres konnten die deutschen Automobilkonzerne in den Exportmärkten im Vergleich zum Vorjahr deutliche Zuwächse verzeichnen [DAG10, S. 6], [VWH10, S.8], [BMW10, S. 3]. In den USA konnten im Bereich der Light-Vehicle (Pkw und Light Trucks) ein Zuwachs um 17 Prozent bei dem Absatz verzeichnet werden, in Japan stiegen die Pkw-Zulassungen um 24 Prozent, China verbuchte bei den Pkw einen Zuwachs von 57 Prozent, Indien trug mit 32 Prozent Wachstum ebenfalls zu den drastischen Exportsteigerungen der deutschen Automobilhersteller bei. Der Absatz Westeuropa blieb von diesen Entwicklungen weitgehend abgekoppelt, insgesamt bewegte sich das Wachstum im Bereich von drei Prozent, in Deutschland war es aufgrund von Sondereffekten durch die sogenannte Abwrackprämie sogar rückläufig

[VDA10], [VWH10, S.8]. Trotz der enormen Wachstumsbelebung in den Exportländern konnte bis zur Jahreshälfte des Jahres 2010 das Rekordniveau des Jahres 2008 nicht erreicht werden. Die Folgen der Wirtschaftskrise sind weiterhin spürbar, die Unsicherheit über die Nachhaltigkeit des Aufschwungs ist weiterhin vorhanden [DAG10, S. 6].

Fazit

In der Automobilindustrie zeichnet sich mit der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebs sowie der Entwicklung alternativer Antriebe ein technologischer Paradigmenwechsel ab. Dieser verschärft gemeinsam mit den bis heute andauernden Folgen der weltweiten Rezession den Druck auf die Automobilkonzerne [WMF09]. Das Spannungsfeld ist dabei gekennzeichnet von:

Weltproduktion der deutschen Konzerne

	2005	2006	2008	2009	+/- % jährl.	+/- % 2. Hj.
Inlandsproduktion						
Personenkraftwagen	5.350	5.399	5.532	4.965	-10,3	6,0
Nutzfahrzeuge	408	421	514	245	-52,2	-43,5
Insgesamt	5.757	5.820	6.046	5.210	-13,8	1,8
Auslandsproduktion deutscher Hersteller						
Personenkraftwagen	4.232	4.749	5.287	4.858	-8,1	11,2
Nutzfahrzeuge	709	720	725	368	-49,3	-43,0
Insgesamt	4.941	5.469	6.011	5.226	-13,1	4,3
Weltproduktion						
Personenkraftwagen	10.205	10.148	10.819	9.823	-9,2	8,5
Nutzfahrzeuge	1.116	1.141	1.238	613	-50,5	-43,2
Insgesamt	13.453	11.289	12.057	10.436	-13,4	3,0

Abbildung 2.4: Weltproduktion der deutschen Automobilindustrie [JAB10, S.34]

- » der Verschärfung des Wettbewerbs
- » der steigende technische und organisatorische Komplexität des Produktes Automobil sowie
- » dem Kostendruck durch einen globalen Wettbewerb.

Die eigentliche Kunst in der automobilen Entwicklung liegt heutzutage in der parallelen Entwicklung von neuen Fahrzeuggenerationen mit wachsender Anzahl an Funktionen und Ausstattungsvarianten in immer kürzerer Zeit und der damit verbundenen Koordination aller Beteiligten. Die hohe Komplexität im Produktentstehungsprozess spiegelt sich in der Vielzahl von parallelen und seriellen Teilprozessen wieder. Allein die Beherrschung dieser komplexen und vernetzten Prozesse ermöglicht es Unternehmen und ihren Netzwerken, sich im weltweiten Markt besser zu positionieren, da unter diesen Voraussetzungen eine Reaktion auf die volatilen Kundenwünsche sehr viel schneller und effektiver erfolgen kann [GUE07, S.10].

2.2 Handlungsfelder

Um als Automobilkonzern unter den geschilderten Randbedingungen bestehen zu können, rücken drei Kernfaktoren in den Fokus [GUE07, S.15]:

- » Innovation
- » Kooperation
- » Agilität

Innovation

Innovationen sind heute mehr denn je die treibende Kraft für wirtschaftliches Wachstum in hoch entwickelten Industrienationen. Qualitätsvorsprung und Produktivitätsfortschritt allein reichen nicht länger aus. Im Wettbewerb mit Niedriglohnländern können im speziellen die deutschen Unternehmen nicht über Lohnkosten konkurrieren. Stattdessen ist die Innovationsfähigkeit ein wesentlicher Faktor, mit dem eine Abgrenzung im internationalen Wettbewerb erreicht werden kann. Dabei sind es nicht allein innovative Produkte und oder Technologien, die erfolgreich machen. Innovative Geschäftsmodelle oder Prozesse tragen hierzu ebenso wesentlich bei [GUE07, S.6-7]. Als Beispiel hierfür können in der Automobilindustrie neue Geschäftsmodelle wie beispielsweise das Modellprojekt zur Kurzzeit-Automiete car2go [C2G10] genannt werden, welche das bisherige Kerngeschäft erweitern. Gerade unter den Eindrücken der weltweiten Wirtschaftskrise hat sich die Innovationskraft erneut als überlebensnotwendiger Faktor bestätigt. Kurz gefasst: Das beste Mittel gegen schlechte Zeiten sind gute Ideen [IHK09] und in deren Konsequenz gute Produkte [JPK09, S. 7].

Kooperation

Die Bewältigung der vorherrschenden Herausforderungen lässt sich nicht im Alleingang erreichen. Innovation erfordert Kooperation [IHK09]. Nur mit Spitzentechnologie, die vermehrt in enger Kooperation zwischen Fahrzeugherstellern und Zulieferern bzw. zwischen den OEM

selbst geschaffen werden, kann die deutsche Automobilbranche neue Kunden und Marktanteile gewinnen und so wiederum neue und hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen [GUE07, S.7]. Ein Beispiel für eine derartige Kooperation findet sich in der 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“, mit der die deutsche Industrie den Weltmarkt für Elektromobilität erobern möchte [NPE10]. Unter den 20 Mitgliedern befinden sich Vertreter der Automobilindustrie wie BMW oder Daimler, aber darüber hinaus auch Energieunternehmen wie E.ON oder der Umweltverband WWF. Gerade die Elektromobilität ist ein Thema, welches nicht von einem Hersteller im Alleingang bewältigt werden kann. Es beginnt bei einfachen Fragestellungen wie einem weltweit einheitlichen Ladeanschluss und geht bis hin zu der Gewinnung der Primärenergie.

Agilität

Vor dem Hintergrund eines sich immer schneller bewegenden Marktes nehmen Flexibilität und die daraus resultierende Handlungsgeschwindigkeit einen hohen Stellenwert ein. Nur wer innerhalb kürzester Zeit sowohl auf die einem starken Wandel unterworfenen Kundenwünsche als auch auf das wirtschaftliche Umfeld reagiert, kann sich weiterhin am Markt behaupten.

2.3 Zusammenfassung

- » Aktuelle Herausforderungen der Automobilindustrie sind der globale Wettbewerb, eine konsequente Kundenorientierung, nachhaltige Mobilität sowie die Folgen der Weltwirtschaftskrise im Jahr 2008 / 2009.
- » Das Spannungsfeld ist gekennzeichnet durch eine Verschärfung des Wettbewerbs, der steigende technische und organisatorische Komplexität des Produktes sowie einem enormen Kostendruck
- » Handlungsfelder bei der Begegnung der aktuellen Herausforderungen sind Innovation, Kooperation und Agilität

3.0 Der Fahrzeugentwicklungsprozess

Die Entwicklung eines neuen Fahrzeuges bedarf immenser personeller Ressourcen sowie organisatorischer Aufwendungen. Die Abstimmung und Orientierung dieser Aktivitäten mittels eines zu Grunde liegenden Prozessmasterplans ist in diesem Kontext eine Notwendigkeit. In diesem Kapitel soll nach einem Blick auf die historische Entwicklung die Ausprägung der modernen Fahrzeugentwicklung am Beispiel Mercedes-Benz Cars aufgezeigt werden.

3.1 Historischer Rückblick: Die Evolutionsstufen der Konstruktion

Zu Beginn der Industrialisierung erfolgte die konstruktive Gestaltung der technischen Produkte in der Werkstatt und hier vor allem durch den Meister. Diese frühe Phase der Produktentwicklung war durch die Einheit von Konstruktion und Fertigung gekennzeichnet. Dabei spielte über Jahre erworbene technische Erfahrung eine wesentliche Rolle. Mündliche Anweisungen, Modelle aus Holz und Skizzen bis zu Werkstattzeichnungen auf Papier oder auf Holzbrettern dienten als Kommunikationsmittel. Damit konnten jedoch nur grobe Hinweise auf die Entwicklung der Produkte gegeben werden, so dass der Werkstatt umfangreiche Gestaltungsmöglichkeiten erhalten blieben.

Im Laufe der industriellen Entwicklung wurden erste technische Büros eingerichtet, die Konstruktion begann sich aus der Fertigung herauszulösen. Dennoch hatte die Fertigung aufgrund mangelnder Exaktheit der Zeichnungen, die als wichtiges Kommunikationsmittel dienten, sowie der im Betrieb kumulierten Erfahrungen weiterhin eine hohe Bedeutung.

Ende des 19. Jahrhunderts entstanden in den Maschinenbaubetrieben von der Fertigung scharf getrennte Konstruktionsbereiche.

Während die Produktentwicklung zuvor wesentlich in der Werkstatt durch Veränderungen und Verbesserungen erfolgte, fand sie nun weitgehend auf dem Papier statt. Empirische Erfahrungen wurden folgend durch theoretische Kenntnisse wesentlich ergänzt. Die Berücksichtigung der kumulierten Praxiserfahrung wurde durch die organisatorische Trennung allerdings erschwert.

In den folgenden Jahren wurden Normteile eingeführt und der Produktionsprozess durch immer weiterführende Untergliederung und Differenzierung stetig analysiert und rationalisiert. Komplexe Erzeugnisse wurden arbeitsteilig entwickelt und konstruiert. Bis in die 60er Jahre blieb dabei die Werkstattzeichnung das verbindende Element, welchem sämtliche für die Produktion relevanten Informationen entnommen werden konnten.

In den 20er Jahren reifte der Gedanke einer Systematisierung des Konstruktionsprozesses, der sich Anfang der 40er Jahre in Form der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik wiederfand. Der Konstruktionsprozess wurde hierbei in aufeinanderfolgende Konstruktionsphasen gegliedert. Die beinhalteten Arbeitsschritte wurden der Reihe nach ausgeführt, wobei die Ergebnisse nach

jedem Schritt geprüft und bei Bedarf einzelne Arbeitsschritte wiederholt wurden.

In den 70er Jahren hielt die elektronische Datenverarbeitung (EDV) Einzug in die Produktentwicklung und Produktionsplanung, in den 80er Jahren folgte die CAD-Technologie in der Konstruktion.

Mit der rechnergestützten Konstruktion veränderten sich die Hilfsmittel der Produktentwicklung auf gravierende Weise. Komplexe Algorithmensysteme wie die Finite Elemente Methode wurden möglich, geometrische Modellierer lieferten Modelle, die in vielfältiger Form zur Herstellung von Zeichnungen, Berechnungsergebnissen und Fertigungsplänen sowie NC- und Roboteranweisungen verwendet werden konnten.

Mit den wachsenden informationstechnischen Möglichkeiten hielt des Weiteren die rechnerunterstützte Produktmodellierung Einzug. Sie beinhaltet eine gemeinsame Behandlung der für die Konstruktion wichtigen Aspekte von Funktion, Geometrie und Technologie. Produktmodellierungsprozesse stellen dabei Produktdaten zur Verfügung und nicht, wie die rechnergestützte Konstruktion, lediglich Geometriedaten. Mit dieser Systemgestaltung wurde eine neue Phase beim Aufbau von Anwendungssystemen eingeleitet: die Entwicklung virtueller Produkte [SPK97, S.35-38].

Abbildung 3.1 skizziert den beschriebenen Wandel der Produktentwicklung im Laufe der Zeit.

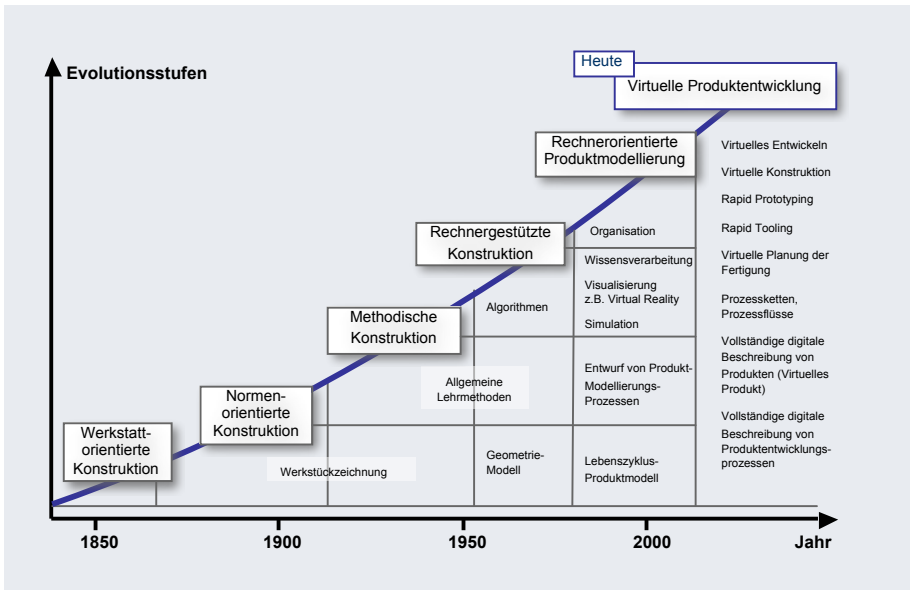


Abbildung 3.1: Evolutionsstufen der Konstruktion, nach [SPK97, S. 44]

3.2 Der moderne Fahrzeugentwicklungsprozess

Während sich zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der zitierten Literaturquelle [SPK97] der nächste Evolutionsschritt der Produktentwicklung in ersten Zügen andeutete, ist er heute in der Realität angekommen: Die Virtualisierung der Produktentwicklung. Mittlerweile ist der Konstruktionsprozess in einen rechnerintegrierten Ablauf mit gleichzeitiger Darstellungsmöglichkeit des wirklichen Verhaltens der zu entwickelnden Umfänge überführt. Der gesamte Ablauf der Produktentwicklung und Produktentstehung lässt sich deshalb heute wie vorausgesagt in eine virtuelle Phase und eine reale Phase untergliedern [SPK97, S.47]. Dieser Zusammenhang lässt sich Abbildung 3.2 entnehmen, welche den schematischen Produktentwicklungsprozess (PEP) nach VDI Richtlinie 2243 zeigt [VDI43, S.4].

Die Darstellung veranschaulicht die elementaren Bestandteile des modernen Produktentwicklungsprozesses. Der Kernprozess ist gekennzeichnet durch mehrere ineinander-greifende – zum Teil simultan verlaufende

– Entwicklungsphasen. Der Rahmen innerhalb der einzelnen Entwicklungsphasen wird von einem Meilensteinplan vorgegeben. Meilensteine kennzeichnen dabei entscheidende Zwischenziele eines Projektes und dienen der Überwachung und Verfolgung des Entwicklungsfortschritts. Ein entsprechendes Projektmanagement legt hierfür verbindlich fest, in welchen Schritten und jeweiligen Meilensteinen Produkte von den ersten Ideen bis hin zur Serienfertigung entstehen [VDI43, S.5]. Eine weitere wichtige Säule des modernen Produktentwicklungsprozesses stellt das Produktdatenmanagement (PDM) dar. Die übergreifende Informationsbereitstellung durch ein PDM-System ermöglicht es schon frühzeitig im Produktentstehungsprozess mit Optimierungen zu beginnen und so die Produktentwicklung zu beschleunigen bzw. eine höhere Produktreife zu erzielen. Somit ist das PDM eine wichtige Basis für die parallele, abgestimmte Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben, wie beispielsweise im Fall von Simultaneous Engineering erforderlich [SMA10].

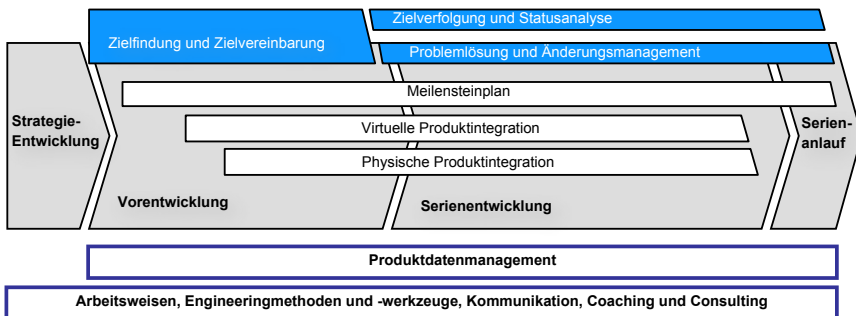


Abbildung 3.2: Gesamtdarstellung Produktentstehungsprozess [VDI43, S.4]

Abbildung 3.3 verdeutlicht die Ausprägung des vorgestellten Schemas des Produktentwicklungsprozesses in der Praxis anhand eines ausgewählten Beispiels. Dargestellt ist der Fahrzeugentwicklungsprozess bei Mercedes-Benz Cars. Dort wurde die virtuelle Produktentwicklung erstmals ganzheitlich für die BR204 (C-Klasse) angewendet. Für die Disziplinen Design, Entwicklung, Produktion und Versuch sind ausgewählte Arbeitsinhalte explizit aufgeführt.

Ein wichtiger Schritt bezüglich der Virtualisierung der Produktentwicklung stellte der durchgängige Einsatz des „Digitalen Prototypen (DPT)“ dar, welcher dank der Bereitstellung aller erforderlichen Geometrie- und Funktionsdaten bereits rein virtuelle Erprobungs- und Absicherungsprozesse auf einheitlicher, zentraler Datenbasis ermöglicht. Während bis zu diesem Zeitpunkt Simulationstechniken lediglich eine unterstützende Funktion einnahmen, wurde der Entwicklungsprozess mit Start der

genannten Baureihe neu aufgestellt und für diese sowie alle folgenden, neuen Baureihen in zwei Entwicklungsphasen gegliedert: Einerseits der digitalen Entwicklungsphase mit den Digitalen Prototypen, andererseits die hardware-orientierte Entwicklungsphase mit realen Prototypen [DAI09, S.1 ff].

Der Digitale Prototyp (DPT) beinhaltet dabei Berechnungsmodelle aller Fahrzeugfunktionen, welche auf einem einheitlichen geometrischen- und Funktionsdatenstand aufgebaut werden. Beispielhaft werden folgende Berechnungsdisziplinen durch den DPT berücksichtigt [MDS09, S. 21]:

- » Motorprozess / Antriebsstrang
- » Noise Vibration Harshness (NVH)
- » Steifigkeit / Betriebfestigkeit, Fabriklastfälle (Karosserie)
- » Crash

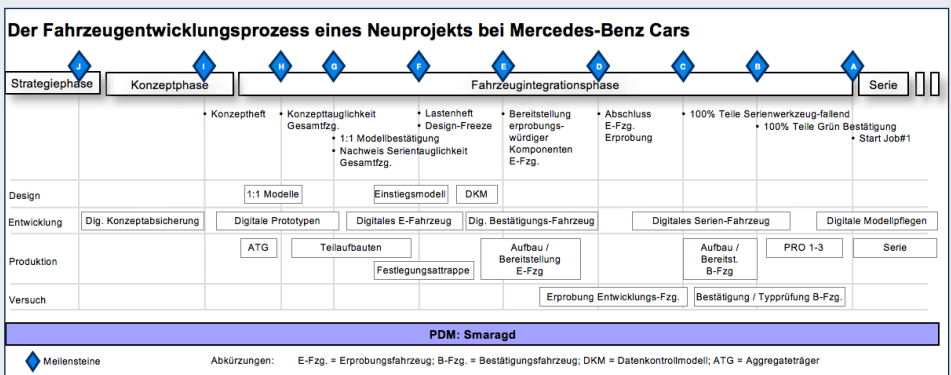


Abbildung 3.3: Schematischer Produktentstehungsprozess bei Mercedes-Benz Cars

- » Energiemanagement / Klima / thermischer Komfort
- » Fahrleistung/ Verbrauch
- » Betriebsfestigkeit Fahrwerk
- » Dynamik Gesamtfahrwerk
- » Ride und Handling, Lastkollektive
- » Kühlung / Aerodynamik
- » Lackierung
- » Thermische Absicherung Gesamt-fahrzeug incl. E/E-Komponenten

erforderlich gewesen wären, so lässt sich diese Simulation heute mittels Höchstleistungsrechenzentren in einem Tag durchführen [ODE10, S.14].

Wie gezeigt wurde, ist der moderne Fahrzeugentwicklungsprozess stark geprägt von den Möglichkeiten der virtuellen Produktentwicklung, reale Prototypen sind jedoch nach wie vor unerlässlich. Im Folgenden werden die zentralen Elemente innerhalb der virtuellen sowie der realen Entwicklung näher vorgestellt.

Abbildung 3.4 [DGM10] enthält ausgewählte Einsatzfelder des Digitalen Prototyps in der Entwicklung bei Mercedes-Benz Cars.

Möglich wurden diese neuen Ansätze durch die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Informationstechnologie. Während beispielsweise für eine Crash-Simulation zum Stand von 1990 eine Million Tage

Digitaler Prototyp (DPT)

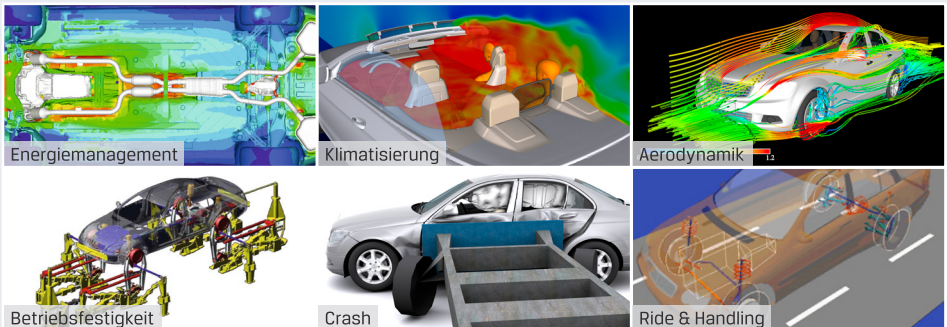


Abbildung 3.4: Anwendungen des DPT bei Mercedes-Benz Cars

3.2.1 Zentrale Entwicklungsplattformen der Automobilindustrie

Bei der Frage nach den der Automobilindustrie zu Grunde liegenden Entwicklungsplattformen bedarf es zunächst einer näheren Klärung der Begrifflichkeit. In Lexika wird der Begriff einer Plattform mit Synonymen wie „Ausgangsbasis“ [DWD10, Eintrag: Plattform] oder Umschreibungen wie „Grundlagen welchen sich eine Gemeinschaft von Personen teilt“ [EBR10, Eintrag: platform] geführt.

Wird dieses Bild auf die Fahrzeugentwicklung übertragen, so ist unter einer Entwicklungsplattform der Automobilindustrie eine gemeinsame Ausgangsbasis zu verstehen, welche den an der Fahrzeugentwicklung beteiligten Personen zu Grunde liegt. Für eine weitere Konkretisierung des Begriffes gilt es im Folgenden die Unterscheidung zwischen spezifischen Entwicklungsplattformen sowie den zentralen Entwicklungsplattformen der Fahrzeugentwicklung vorzunehmen.

Während sich spezifische Entwicklungsplattformen in ihrem Umfang und ihrem Nutzerkreis auf einzelne Teilbereiche, beziehungsweise einzelne Entwicklungsphasen oder -schritte beschränken, dienen die zentralen Entwicklungsplattformen den involvierten Personen als gemeinsame Entwicklungsbasis über sämtliche Entwicklungsschritte. Im Kontext der Fahrzeugentwicklung stellen sie ganzheitliche Repräsentanten des zu entwickelnden Produktes, und somit des Fahrzeuges, dar.

Die zentralen Entwicklungsplattformen:

- » dienen als gemeinsame Entwicklungsbasis über sämtliche Entwicklungsschritte
- » stellen ganzheitliche Repräsentanten des zu entwickelnden Produktes dar
- » spiegeln somit in ihrem Umfang und ihrer Detaillierung (Reifegrad) den Entwicklungsfortschritt des jeweiligen Produktes wieder
- » sind das Ergebnis der bisherigen Entwicklungsaktivitäten und bilden gleichzeitig das Fundament aller kommenden Aktivitäten
- » stellen eine eigenständige Wissensplattform innerhalb der Produktentwicklung dar, die einerseits der Archivierung und andererseits dem Transfer und der Generierung neuen Wissens dienen
- » haben in ihrer Ausprägung und Anwendung folglich entscheidenden Einfluss auf die Wettbewerbsfaktoren Qualität, Kosten und Zeit.

Bei der Frage nach der Benennung den zentralen Entwicklungsplattformen gilt es zwischen der virtuellen Entwicklungsumgebung auf der einen Seite sowie den Entwicklungsumfängen an der Hardware auf der anderen Seite zu unterscheiden.

In der realen Entwicklungsumgebung wird das Entwicklungsprodukt durch den Physical Mock-Up repräsentiert. In der virtuellen

Entwicklungsumgebung findet sich das entsprechende Pendant in Form des Digital Mock-Ups (DMU).

3.2.1.1 Der Physical Mock-Up (PMU)

Der Begriff Mock-Up steht im Allgemeinen für ein maßstäblich aufgebautes 1:1 Strukturmodell welches hauptsächlich der Analyse, der Erprobung oder der Darstellung eines Produktes dient [EBR10, Eintrag: Mock Up]. Im Kontext der Fahrzeugentwicklung wird unter dem Begriff des Physical Mock-Up, kurz PMU, ein breites Spektrum an Hardwareaufbauten zusammengefasst, welche der Konzept-, Komponenten- und Gesamtfahrzeugfestlegung sowie -absicherung dienen. Für ein Entwicklungsprojekt erstreckt sich dieses Spektrum von einzelnen Bauteilattrappen oder Musterteilen über Festlegungsfahrzeuge bis hin zu den fahrbaren Versuchsträgern [VAP10, S.4]. Abbildung 3.5 zeigt exemplarisch einen Auszug aus dem Spektrum des PMU bei Mercedes-Benz Cars.

Aus dem breiten Spektrum des PMU sollen

im Folgenden ausgewählte Umfänge näher vorgestellt werden, die für diese Arbeit von Bedeutung sind [MDS09, S. 6 ff]:

» Datenkontrollmodell (DKM)

Das DKM ist ein gefrästes Referenzmodell, basierend auf CAD-Daten (Interieur und Exterieur), welches auf die Qualität der von den Design-Modellen abgeleiteten Fahrzeug-Aussenform unter Berücksichtigung des Maßkonzepts optimiert ist. Ziel ist die Visualisierung und finale Abstimmung der Serienoberflächendaten.

» Festlegungsattrappe

Festlegungsattrappen stellen 1:1 Modelle des Rohbaus eines in der Entwicklung befindlichen Fahrzeuges dar. Je nach Ausprägung des Entwicklungsprojektes können diese entweder mit Hilfe von Rapid Prototyping erstellt werden oder bereits als Stahl- bzw. Aluminiumkarosse zur Verfügung stehen. Diese fahr- und in der Regel funktionsuntüchtigen Attrappen dienen in erster Linie der

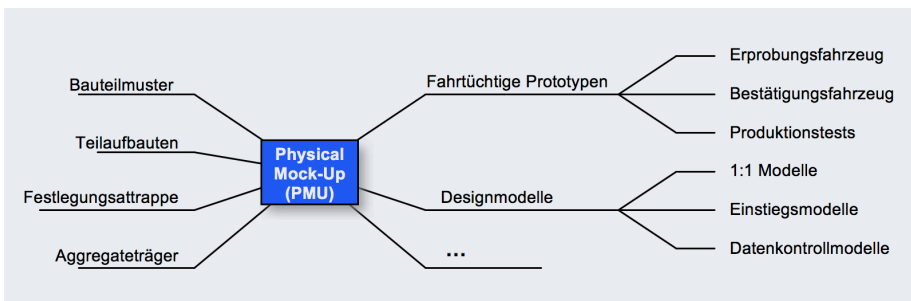


Abbildung 3.5: Umfang des Physical Mock-Ups bei Mercedes-Benz Cars

finalen Festlegung des Leitungssatzes inklusive der elektrischen Komponenten. Darüber hinaus stehen sie allen Fachbereichen für weitere Abstimmungs- und Festlegungsaktivitäten zur Verfügung.

» **Aggregateträger**

Aggregateträger stellen ein Gerüst dar, in dem zu erprobende Komponenten verbaut und im Fahrbetrieb erprobt werden können. Schwerpunkt liegt hierbei auf den Komponenten des Antriebsstrangs. Aggregateträger können auf einem aktuellen Serienfahrzeug und/oder auf einer anderen, für den Erprobungszweck geeigneten Plattform basieren.

» **Fahrtüchtige Prototypen**

Das Spektrum der fahrtüchtigen Prototypen reicht von den ersten Erprobungsfahrzeugen bis hin zu den Produktionstests:

- *Erprobungsfahrzeug (E-Fzg.)*

Das Erprobungsfahrzeug ist der erste Gesamtfahrzeugprototyp und wird mit erprobungswürdigen Komponenten ab Meilenstein E (siehe Abbildung 3.3) aufgebaut. Die Erprobungswürdigkeit wurde zuvor auf Prüfständen bzw. an Aggregateträgern bestätigt. Im E-Fzg. wird das Zusammenspiel der Einzelkomponenten geprüft, abgestimmt und bestätigt.

- *Bestätigungsfahrzeug (B-Fzg.)*

Das B-Fahrzeug wird als erstes Fahrzeug mit serienwerkzeugfallenden Teilen unter der Regie des Prototypenbaus im Auftrag des Zielwerks aufgebaut und

ist damit auf Serienstand. Dieser Bereich des Prototypenbaus wird bei Mercedes-Benz Cars als Anlauffabrik bezeichnet. Das B-Fzg. dient der Bestätigung der Erreichung aller im Lastenheft geforderten Funktionalitäten und Ziele.

- *Produktionstests (PRO)*

Die Produktionstests dienen der ersten Überprüfungen und Absicherung der Prozessfähigkeit eines neuen Fahrzeugs in der vorgesehenen Linie des Zielwerks. Dabei wird die Herstellbarkeit vor Produktionsstart (Job Number One) unter normalen Serienbedingungen überprüft und abgesichert. Zudem wird das Personal in der Montage für das neue Modell geschult und trainiert.

3.2.1.2 Der Digital Mock-Up (DMU)

Während über einen langen Zeitraum der Physical Mock-Up die Produktentwicklung dominierte, kam es mit der informationstechnischen Weiterentwicklung in den vergangenen Jahrzehnten vermehrt zum Einsatz von computergestützten Entwicklungsmethoden in der Fahrzeugindustrie. Unter dem Eindruck der ständig wachsenden technischen Möglichkeiten innerhalb der Produktentwicklung und der immer stärkeren Durchdringung wurde der Begriff des Digital Mock-Ups in der Automobilindustrie eingeführt.

Im Rahmen des EU Projektes AIT (Advanced Information Technology) wurde der Begriff Digital Mock-Up für die Produktentwicklung unter Beteiligung zahlreicher namhafter Hersteller wie folgt definiert:

Allgemeine Definition nach [AIT97, S.4]:

Der Digital Mock-Up (DMU) ist eine realistische Computersimulation eines Produktes mit allen erforderliche Funktionalitäten zur Unterstützung von:

- » Konstruktion
- » Planung
- » Fertigung und
- » Wartung

Der Digital Mock-Up dient dabei als Plattform für die:

- » Produkt- und Prozessentwicklung
- » Kommunikation und
- » Entscheidungsfindung

während des gesamten Lebenszyklus vom ersten Konzept bis zum Recycling.

Ergänzend beschreibt der **VDA** [DMU10, S.2 ff] den Begriff Digital Mock-Up bezüglich der Fahrzeugentwicklung als vollständige strukturelle Beschreibung eines Fahrzeugs in einem CAD-System.

Der DMU ermöglicht demnach den virtuellen Zusammenbau von Bauteilen mit den dazugehörigen Baugruppenstrukturen und dient der Analyse und Absicherung im Gesamtfahrzeug hinsichtlich Kollisionsfreiheit, Mindestabständen und Montagefähigkeit.

Die Aufgabe des DMU liegt dabei in der Durchführung der fachübergreifenden Abstimmung zwischen den Fachabteilungen und Entwicklungspartnern mittels Baugruppenmanagement. Dies garantiert kurze

Informationswege und schnelle Reaktionszeiten in den Entwicklungsphasen.

Ziel ist die vollständige Absicherung des Entwicklungsprozesses durch die virtuelle Verbauung und Simulation aller 3D-Geometriedaten.

Durch die parametrisierte Verwaltung aller 3D-Geometriedaten im VPM (Virtual Product Management) lassen sich gezielt Bauräume oder Fahrzeuge mit Hilfe von CAD-Systemen auf dem Computer darstellen.

Im VPM werden alle Informationen zu den Bauteilen wie 3D-Daten, Strukturinformationen, kinematische Mechanismen, Werkstoffinformationen, administrative Attribute (z.B. Entwicklungsstatus, Berechtigungen) etc. verwaltet. In Verbindung mit dem VPM Configuration Management und dem Produkt-Struktur-Navigator (PSN) können konfigurierte Fahrzeuge, wie z.B. verschiedenen Ausstattungsvarianten oder Ländertypen, zu jedem Entwicklungsstatus abgegriffen und mittels CA-Technologien auf dem Computer dargestellt werden.

Im Produkt-Struktur-Navigator (PSN) werden die Daten für ein konfiguriertes Fahrzeug ausgewählt und in ein CAD-System geladen. Anschließend können umfangreiche Bauraumuntersuchungen, Simulationen und Kollisionschecks zur virtuellen Absicherung durchgeführt werden.

Dem **VDA** folgend resultieren aus dem Einsatz des DMU eine hohe Qualität und ein hoher Reifegrad der Bauteile. Entwicklungszeiten verkürzen sich und Kosten werden reduziert. Oberstes Ziel ist der Bau von

seriennahen Erprobungsfahrzeugen.

Als Vorteile werden genannt:

- » Visualisierung der Bauräume für alle Fachabteilungen und Entwicklungspartner im Bauraummanagement,
- » Frühzeitige Erkennung und Beseitigung von Problemen,
- » Verkürzte Entwicklungszeiten,
- » Hohe Qualität der entwickelten Produkte,
- » Frühzeitige Einbeziehung von Produktion und Kundendienstanforderungen,
- » Kostenreduzierung.

Anwendung:

Die Einführung und stetigen Weiterentwicklung der DMU-Plattform ermöglicht eine stärkere Parallelisierung der Prozesse, so dass Produktoptimierungen früher als zuvor vorgenommen oder Problemstellen am Modell vorzeitig erkannt werden können. Die Erprobung eines Physical Mock-Ups setzt später als bisher im Entwicklungsprozess ein. Da die Bauteile im DMU durch Berechnungs- und Simulationsverfahren bereits intensiv getestet worden sind, haben die physischen Bauteile zu Beginn ihrer Erprobung bereits einen hohen Reifegrad. Somit lässt sich durch den konsequenten Einsatz des DMU die Entwicklungszeit eines Produktes deutlich verkürzen [SYS06, S. 42-43] [KBA07, S. 66-67].

3.2.2 Herausforderungen des Simultaneous Engineering

Der moderne Fahrzeugentwicklungsprozess ist gekennzeichnet durch die parallele Bearbeitung der einzelnen Entwicklungsumfänge, das Simultaneous Engineering. Dabei ist das Simultaneous Engineering eine Reaktion auf den wachsenden Druck hinsichtlich kürzerer Produktentwicklungszyklen. Während der mittels des zentralen PDM-Systems verwaltete DMU das Rückgrad des Hauptentwicklungspfades bildet, finden beim Simultaneous Engineering sowohl im DMU als auch im PMU parallel die erforderlichen entwicklungsbegleitenden Absicherungen statt. Jede dieser Absicherungsaktivität wird dabei vom Hauptentwicklungsprozess mit den Ausgangsdaten versorgt und spielt ihre Ergebnisse in diesen zurück. Der gesamte Absicherungsprozess benötigt dabei eine gewisse Zeitdauer, darin liegt eine große Herausforderung für den gesamten Entwicklungsablauf [KAB04, S. 1-2].

Absicherungen innerhalb des DMU

Werden Absicherung innerhalb des DMU durchgeführt, beispielsweise mittels der digitalen Prototypen, so gliedern sich die Schritte in die Datenversorgung, die Datenaufbereitung, die Datennutzung (Analyse, Berechnung, Simulation) und die Ergebnisdarstellung. Je nach Komplexität der Aufgabe – beispielsweise bei der frühzeitigen Crashabsicherung mit der Notwendigkeit ein nahezu komplettes Modell des Gesamtfahrzeugs zu erstellen und der aufwändigen Modellaufbereitung, Berechnung und Ergebnisdarstellung – kann diese Parallelaktivität durchaus einen Zeitraum von

mehreren Wochen einnehmen, siehe Abbildung 3.6.

Absicherungen innerhalb der PMU

Finden Absicherungen mittels des PMU statt, so müssen die bereitgestellten Daten zunächst aufbereitet und entsprechende Werkzeuge erstellt werden. Es folgt die Fertigung des PMU, die Nutzung im Zuge der Absicherung sowie die Darstellung der Ergebnisse. Im Vergleich zu Absicherungen innerhalb des DMU sind diese Absicherungen aufgrund der Fertigung zeitaufwändiger, jedoch für einzelne Umfänge – beispielsweise die Festlegung des elektrischen Leitungssatzes (siehe Kapitel 6.3) – nach wie vor nicht zu ersetzen.

Aus dem erforderlichen Zeitbedarf der Aktivitäten und der Tatsache der zahlreichen parallelen Prozesse resultieren dabei folgende Problematiken [KAB04, S.1-2]:

- » Die Arbeit der unterschiedlichen Organisationseinheiten zur Absicherung des Fahrzeugs in den verschiedenen

Entwicklungsphasen erfolgt auf nicht synchronisierten Datenständen. Während der Phase der Absicherung werden die Aktivitäten im Hauptentwicklungsprozess fortgesetzt und somit neue Datenstände erarbeitet. Notwendige Änderungen zur Aktualisierung des Absicherungsmodells werden dabei zunächst nicht berücksichtigt.

- » Aufgrund der Weiterentwicklung im Hauptentwicklungspfad sind die produzierten Ergebnisse der Absicherungsphasen mit zusätzlichem Zeitaufwand zu übertragen. Der Synchronisationsaufwand zur Interpretation bzw. Anpassung des Ergebnisses auf den aktuellen Datenstand ist enorm und steigt mit der Dauer des „abgekoppelten“ parallelen Prozesses.

Lösungsansätze dieser Problematik liegen in folgende Handlungsweisen:

- » Vermeidung paralleler Prozesse: Ver-

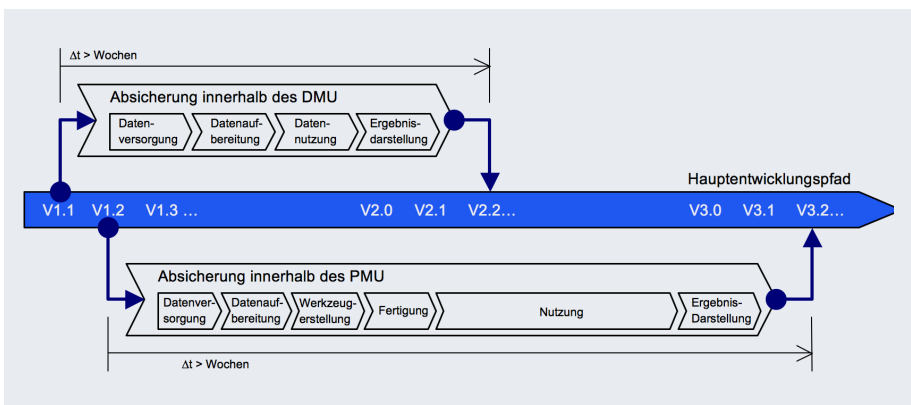


Abbildung 3.6: Entwicklungsbegleitende Absicherungsaktivitäten, nach [KAB04, S. 1]

lagerung der Aufgaben in den Hauptentwicklungspfad. Ein Nettogewinn resultiert jedoch nur bei Vermeidung signifikanter Mehraufwände.

- » Verkürzung der Parallelaktivitäten: Minimiert die Probleme bezüglich Ergebnisanpassung und Interpretation
- » Synchronisation zwischen parallelen Prozessphasen und dem Hauptentwicklungspfad: Führt zu einem permanenten Abgleich und damit einer Anpassung der Modelle.
- » Ergebnisvorhersage: Vermeidung eines zu starken Auseinanderlaufens von Absicherungsprozessen und Hauptentwicklungspfad durch Prognosen bis zur Bereitstellung der finalen Ergebnisse.

Resümee

Bei der Zusammenfassung des Kapitel 3.2 wird deutlich:

- » Der moderne Fahrzeugentwicklungsprozess ist geprägt von der virtuellen Produktentwicklung
- » Zentrale Entwicklungsplattformen sind der Digital Mock-Up sowie der Physical Mock-Up
- » Die einzelnen Entwicklungsphasen werden zunehmend kürzer, eine entscheidende Rolle spielt hierbei das Simultaneous Engineering
- » Bei entwicklungsbegleitenden Absicherungen, im speziellen die zeitintensiven Absicherungen an der Hardware, kommt es zwangsläufig zu einer Abkopplung vom Hauptentwicklungsprozess

Soll die Produktentwicklung in der Automobilindustrie ganzheitlich optimiert werden, so spielen hierbei folglich die virtuelle Produktentwicklung, die zentralen Entwicklungsplattformen DMU und PMU sowie das Dilemma der Abkopplung einzelner Entwicklungsschritte eine wichtige Rolle. Während auf Seiten des DMU durch die fortwährende Weiterentwicklung der zu Grunde liegenden Informationstechnologie kontinuierlich Verbesserungen hinsichtlich der Verkürzung von Parallelaktivitäten, der permanenten Synchronisierung sowie der Ergebnisvorhersage möglich sind, ist eine derartige Optimierung auf Seiten des PMU nur begrenzt möglich, diese Thematik wird in Kapitel 4.1.2 erneut aufgegriffen.

Zunächst soll jedoch im folgenden Kapitel 3.3 näher auf das Thema Innovation und Innovationskraft innerhalb der Fahrzeugentwicklung eingegangen werden, der Grundvoraussetzung für eine nachhaltige und fortwährende Neuausrichtung der Entwicklung.

3.3 Innovation und Zusammenarbeit in der Fahrzeugentwicklung

3.3.1 Bedeutung der Zusammenarbeit

Innovationskraft sowie Wissensprozesse stellen entscheidende Stellhebel im internationalen Wettbewerb der Automobilunternehmen dar, siehe Kapitel 2.2. Dieses Kapitel widmet sich der Frage, auf welche Weise Innovation gezielt gefördert werden kann und welche Rolle der IT in diesem Kontext beigemessen wird.

In der gängigen Fachliteratur finden sich verschiedene organisatorischer Größen die auf Innovation und Wissensprozesse wirken [HUR95, S. 57-75]. Die Kollaboration oder Zusammenarbeit, allgemein definiert als das Organisationsvermögen, welches es Personen ermöglicht reibungslos zusammenzuarbeiten [BBK05, S. 1021-1046] wird dabei als eine der einflussreichsten Größen genannt [GRA96, S. 109-122], [SNS99, S. 262-275].

Als Chancen, die aus einer Förderung der Zusammenarbeit erwachsen können, werden aufgeführt:

- » die Förderung der Kommunikation zwischen Gruppen und des Informationsaustauschs
- » die Anregung der Risikobereitschaft durch Abbau von Ängsten und einer größeren Offenheit
- » die Steigerung der wechselseitigen Befruchtung sowie das Nähren und Bestärken innovativer Ideen
- » die Ermutigung der Mitarbeiter, sich im Sinne des Unternehmens für

Innovationen zu interessieren

- » das Bewirken einer gemeinsamen Anstrengung, eines gemeinsamen Leitbilds und des Wissenstransfers sowie die Gegenüberstellung und Kombination von Sichtweisen durch die Schaffung einer gemeinsamen Basis, der Klarstellung von Sichtweisen sowie Annäherungsmechanismen [LOT06, S.4].

Die Schlussfolgerung Zusammenarbeit, beziehungsweise Interaktion, führe per se unaufhaltsam zu Verbesserungen, trägt dabei. Interaktion neigt oftmals nicht nur dazu die Aufnahmefähigkeit, die Schnelligkeit der Problemlösung sowie die Kreativität zu erhöhen, sondern fördert zudem ebenfalls die Interpretationsfreiheit, Meinungsverschiedenheiten bezüglich der Aufgaben und schließlich das Risiko des Scheiterns. [HEG95, S. 305-325], [LAB06, S. 807-819].

Soll die Innovationskraft gestärkt werden, besteht die Notwendigkeit einer Förderung der Zusammenarbeit innerhalb der Mitarbeiter eines Konzerns, zwischen Geschäftseinheiten sowie über das Unternehmen hinaus mit Lieferanten sowie möglichen Kooperationspartnern. Dabei bedarf es einer aktiven Steuerung der gemeinsamen Zusammenarbeit, sollen die genannten negativen Folgen unterbunden werden.

3.3.2 Die Rolle der Technologien

Zusammenarbeit, oder aus dem Englischen „Collaboration“, wird selten auf bewusste und systematische Weise ausgestaltet, sondern stellt vielmehr ein zufälliges Resultat von formellen und informellen Veränderungen in Organisationssystemen, -praktiken, -konzepten, -bildung und -kultur dar. In diesem Zusammenhang, im speziellen bei der Veranlassung von Veränderungen der menschlichen Gewohnheiten und organisatorischer System, spielen Werkzeuge [MIV05, S. 437-456] eine wichtige Rolle und die Einführung eines neuen technologischen Werkzeugs kann institutionalisierte Rollen und Verhaltensmuster neu definieren [BAR86, S. 78-108].

Soll die Zusammenarbeit im Hinblick auf die Stärkung der Innovationskraft eines Unternehmens gezielt gefördert werden, stellen neue technologische Werkzeuge somit einen möglichen Ansatz dar. Mit Fokus auf die Fahrzeugentwicklung und deren weiter wachsende Virtualisierung – mit einer starken Durchdringung der Entwicklung mittels informationstechnischer Werkzeuge – erscheint ein Ansatz im Bereich der Informationstechnologien in diesem Kontext besonders reizvoll.

3.3.3 Die Bedeutung der Informationstechnologie im Speziellen

Wird die Rolle von IT-Tools im Hinblick auf ihren Einfluss bezüglich der sozialen Interaktion betrachtet, so lassen sich in der Literatur zwei Tendenzen erkennen:

- » einerseits können IT-Tools die Qualität sozialer Interaktion steigern
- » andererseits können sie diese ebenso hemmen

Auf der einen Seite können IT-Tools einen virtuellen Begegnungsraum schaffen, in dem sich einzelne Individuen an einem besseren Austausch sowie einer besseren Form der Zusammenarbeit beteiligen können [STE02]. Informationstechnologien erlauben zudem die Schaffung von gemeinsamen Foren, in welchen Prozesse und Aktivitäten externalisiert werden können (siehe hierzu Kap. 4.3) [KCB01, S. 180-194]. Auf der anderen Seite können durch den Einsatz von IT-Tools die direkte Einbindung, die soziale Interaktion, die Zusammenarbeit sowie reflektierende Gespräche abnehmen, welche traditionell innovative Prozess innerhalb von Unternehmen zur Folge haben [ROR09], [GIL95, S. 41-60]. An dieser Stelle ist es allerdings wichtig darauf hinzuweisen, dass es nicht das IT-Tool an sich ist, welches diese positiven oder negativen Effekte auf ein Unternehmen ausübt, sondern die Art und Weise mit der ein Tool, in Verbindung mit den zugehörigen Mitarbeitern, angewendet wird [MAT05, S. 709-718], [ORL92, S. 362-369]. Diese Feststellung spielt eine wichtige Rolle für die weiteren Ausführungen dieser Arbeit.

Resümee

Kapitel 2.2 zeigt: Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur kontinuierlichen Anpassung der Produktentwicklung an die sich verändernden Rahmenbedingungen ist die Innovation bzw. Innovationskraft. Kapitel 3.3 präzisiert: Soll die Innovationskraft innerhalb eines Unternehmens gefördert werden, so ist hierbei die Zusammenarbeit als eine entscheidende Größe zu sehen. Werden wiederum die Einflussfaktoren auf die

Zusammenarbeit herangezogen, so stellen sich technologische Werkzeuge als einflussreicher Ansatzpunkt dar. Im Kontext der virtuellen Fahrzeugentwicklung lohnt es sich dabei, die Informationstechnologie mit ihren Werkzeugen näher zu betrachten. Kapitel 4 beschäftigt sich in diesem Kontext mit einer vielversprechenden Technologie, der Mixed Reality.

3.4 Zusammenfassung

- » Der moderne Produktentwicklungsprozess ist geprägt durch die virtuelle Produktentwicklung
- » Reale Prototypen bleiben neben den virtuellen Prototypen nach wie vor unerlässlich
- » Die zentralen Entwicklungsplattformen der modernen Produktentwicklung sind der Digital Mock-Up sowie der Physical Mock-Up
- » Die einzelnen Entwicklungsphasen werden zunehmend kürzer, eine entscheidende Rolle spielt hierbei das Simultaneous Engineering
- » Bei entwicklungsbegleitenden Absicherungen, im speziellen die zeitintensiven Absicherungen an der Hardware, kommt es zwangsläufig zu einer Abkopplung vom Hauptentwicklungsprozess
- » Zusammenarbeit wird als wichtige organisatorische Größe hinsichtlich Innovation und Wissensprozessen genannt
- » Technologische Werkzeuge stellen ein mögliches Instrument der Förderung der Zusammenarbeit dar. Im Hinblick auf die virtuelle Produktentwicklung rücken Informationstechnologien in den Fokus.
- » Die Wirkung eines IT-Tools wird maßgeblich durch die Art und Weise bestimmt, mit der es angewendet wird.

4.0 Einführung von MR in den Produktentwicklungsprozess

Die Informationstechnologie ist wie in Kapitel 3 gezeigt ein entscheidender Stellhebel bei der Anpassung der Produktentwicklung an die aktuellen Herausforderungen. Dieses Kapitel widmet sich in diesem Kontext einer ausgewählten Technologie mit hohem Potential, der Mixed Reality.

Im Folgenden wird zunächst die Technologie selbst sowie deren Eigenschaften näher vorgestellt. Anschließend soll verdeutlicht werden, welche Potentiale diese Technologie hinsichtlich der Flexibilisierung der Produktentwicklung in sich birgt. Es folgt die Darstellung der schrittweisen Einführung von Mixed Reality in die Produktentwicklung bei Mercedes-Benz Cars. An deren Ende resultiert aus der durchgängigen Implementierung eine neue Entwicklungsplattform, welche künftigen Entwicklungsprojekten als ein zentraler Baustein zur Verfügung steht.

4.1 Hintergrund Mixed Reality

4.1.1 Technologischer Hintergrund

Mixed Reality (MR) steht für eine Kombination der realen mit der virtuellen Welt. Nach Milgram [MIL94, S.282-292] gibt es dabei einen fließenden Übergang zwischen den Extrema der realen und der virtuellen Umgebung. Diesen Zusammenhang

veranschaulicht das Virtuality Continuum - Konzept, dargestellt in Abbildung 4.1. Während aktuell ein Schwerpunkt auf der visuellen Kombination beider Welten liegt, umfasst Mixed Reality grundsätzlich jede Kombinationsform realer und virtueller

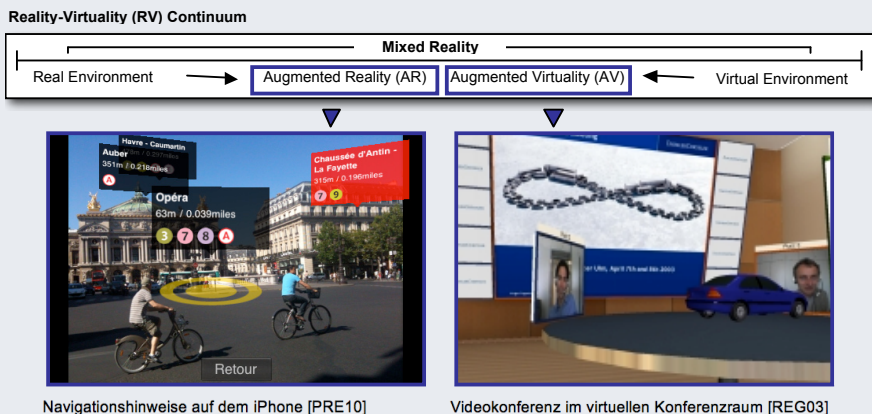


Abbildung 4.1: Reality-Virtuality Continuum

Elemente, so kann beispielweise neben dem Sehsinn auch die Haptik oder die akustische Wahrnehmung adressiert werden. Entsprechend den jeweiligen Beiträgen der realen sowie der virtuellen Welt erfolgt eine weitere Untergliederung des Mixed Reality Spektrums in die Bereiche Augmented Reality, in dem der Anteil des realen Umfelds überwiegt, und Augmented Virtuality, in dem die virtuellen Inhalte überwiegen. Abbildung 4.1 zeigt aus dem Bereich der Augmented Reality eine Anwendung für das iPhone, bei der Informationen über das öffentliche Verkehrsnetz in Paris im Kamerabild eingeblendet werden. Stellvertretend für den Bereich der Augmented Virtuality ist ein virtueller Konferenzraum abgebildet, in den Teilnehmer einer Videokonferenz [siehe REG03; REG06] integriert werden.

Ronald Azuma konkretisiert den Teilbereich Augmented Reality losgelöst von technologischen Ansätzen mittels dreier Merkmale. Ein AR System ist seiner Auffassung folgend gekennzeichnet durch [AZU97, S. 2], [AZU01, S.34]:

- » Kombination realer und virtueller Objekte in einer realen Umgebung
- » Interaktion in Echtzeit
- » Ausrichtung realer und virtueller Objekte miteinander (in drei Dimensionen)

Anmerkung:

Diese Definition kann unter Verallgemeinerung des ersten Punktes auf eine „reale oder virtuelle Umgebung“ analog auf die übergeordnete Kategorie Mixed Reality übertragen werden.

Wird das allgemeine Schema von Milgram auf die automobilen Fahrzeugentwicklung angewendet, so ist anstelle eines allgemein gehaltenen Umfelds die Entwicklungsumgebung der Produktentwicklung zu setzen. Das reale Umfeld wird folglich durch den Physical Mock-Up (PMU), die virtuelle Entwicklungsumgebung durch den Digital Mock-Up (DMU) repräsentiert (siehe Kapitel 3.2.1). MR ermöglicht somit im Kontext der Fahrzeugentwicklung die Kombination dieser beiden Hauptentwicklungsplattformen, dargestellt in Abbildung 4.2.

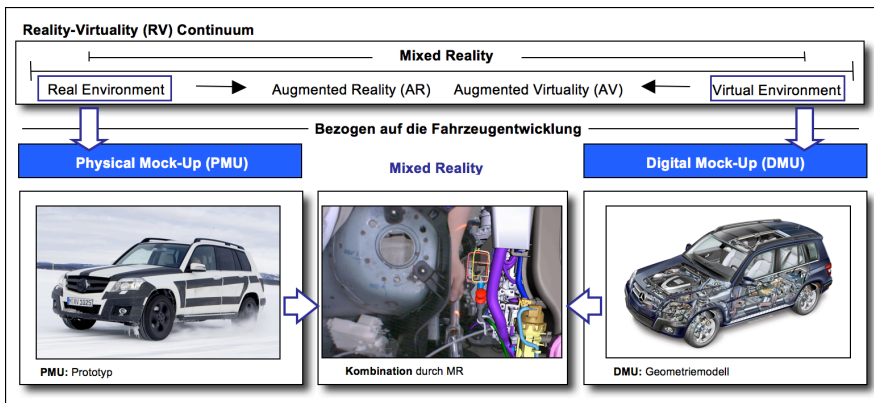


Abbildung 4.2: Mixed Reality im Kontext der Fahrzeugentwicklung

4.1.2 Bedeutung für die Produktentwicklung

Eine Technologie, welche – wie in Abbildung 4.2 dargestellt – das Potential in sich birgt, die beiden zentralen Entwicklungsplattformen der Fahrzeugentwicklung stärker miteinander zu verknüpfen verspricht unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.4 zusammengefassten Punkte enormes Potential in sich zu bergen. Mixed Reality ermöglicht dabei theoretisch im Sinne der Augmented Reality (AR) die Überlagerung von Inhalten des DMU unmittelbar am PMU und im Sinne der Augmented Virtuality (AV) die Einbettung von einzelnen PMU-Umfängen in den DMU.

Dieser theoretische Ansatz verspricht:

- » eindeutige Schnittstellen und damit eindeutige Abstimmungsgrundlagen zwischen DMU und PMU (MR)
- » eine unmittelbare Bereitstellung von Informationen des DMU am PMU (AR)
- » eine frühzeitige Integration des PMU in den DMU (AV)

Derartige Einsätze der Technologie lassen positive Auswirkungen auf die gesamte Entwicklung annehmen. Interessante Aspekte sind in diesem Zusammenhang:

- » Eine Steigerung der Prozesssicherheit durch fokussierten Informationsaustausch zwischen DMU und PMU
- » Eine Reifegradsteigerung des DMU
- » Eine Reifegradsteigerung des PMU

- » Eine Effizienzsteigerung durch die Bereitstellung einer eindeutigen Entscheidungsbasis an der Schnittstelle zwischen PMU und DMU sowie durch die dadurch mögliche Synchronisierung von DMU und PMU
- » Eine weitere Verbesserung der Prozesstransparenz mittels gezielter Informationsbereitstellung

Betrachten wir an dieser Stelle erneut die Herausforderungen des Simultaneous Engineering aus Kapitel 3.2.2:

Die unmittelbare Kombination von DMU und PMU mittels Mixed Reality verspricht im Kontext der entwicklungsbegleitenden Absicherungen eine Optimierung der Synchronisierung zwischen den Absicherungen innerhalb des DMU und PMU mit dem Hauptentwicklungspfad sowie direkt zwischen Absicherungen in DMU und PMU. Diese Synchronisierung kann sich ebenfalls positiv auf die Ergebnisvorhersage einzelner Absicherungen auswirken. Aufgrund der vielfältig vorstellbaren Unterstützung innerhalb einzelner Absicherungen durch fokussierte Informationsbereitstellung scheinen zudem eine Verbesserung der Effizienz und damit eine Verkürzung der einzelnen Absicherungen möglich.

Abbildung 4.3 veranschaulicht einige dieser Punkte anhand einer Absicherung mittels des PMU.

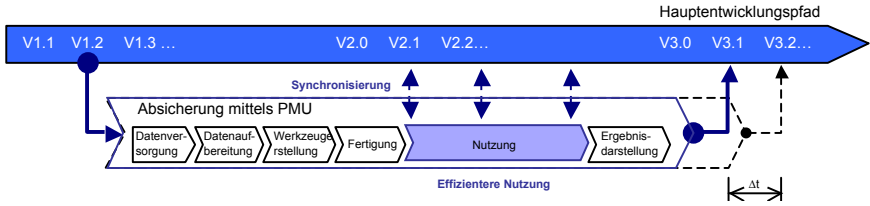


Abbildung 4.3: Potentielle Wirkung von MR auf eine Absicherung mittels PMU

Der Einsatz von Mixed Reality verspricht in der Fahrzeugentwicklung folglich weit mehr als eine reine Einführung eines neuen IT-Werkzeuges mit begrenzten, lokalen Effekten. Vielmehr sind, wie gezeigt, durch die in Aussicht stehende Kombination der Hauptentwicklungsplattformen DMU und PMU positive Veränderungen in der gesamten Prozesslandschaft zu erwarten.

Neben den bereits angesprochenen Themen ist als ein weiterer wesentlicher Faktor das Thema Zusammenarbeit zu nennen. Auf deren Bedeutung sowie die Rolle von IT-Tools wurde in diesem Zusammenhang bereits in Kapitel 3.3 eingegangen. Das Potential liegt hierbei in der Vereinigung von DMU und PMU und damit nichts Geringerem als der Zusammenführung der Arbeitsumgebungen der Fachkräfte der virtuellen Entwicklung sowie der Fachkräfte der Hardwareentwicklung und -erprobung. In der Bereitstellung einer gemeinsamen Arbeitsumgebung, welche sämtliche erforderlichen Informationen für beide Parteien gleichzeitig zur Verfügung stellt, liegen große Potentiale der Stärkung der Zusammenarbeit an der Schnittstelle der klassischen Entwicklungsplattformen.

Bei der Potentialbewertung eines neuen IT-Werkzeuges im Kontext der Zusammenarbeit

darf das in Kapitel 3.3.3 geschilderter Risiko einer negativen Beeinflussung der Zusammenarbeit nicht vernachlässigt werden. Im Falle der Mixed Reality sind derartige negative Folgen im Sinne einer Hemmung der Zusammenarbeit allerdings nicht zu erwarten. Im Gegenteil: Die Kombination der virtuellen Entwicklungsumgebung mit der realen Entwicklungsumgebung verspricht eine erleichterte Abstimmung und Interaktion zwischen diesen Entwicklungsbereichen und macht diese zudem unerlässlich, da nur auf diese Weise eine sinnvolle Kombination des DMU und PMU möglich wird. Eine Stärkung der Zusammenarbeit zu beiderseitigem Vorteil ist zu erwarten.

Die in der Mixed Reality ruhenden Potentiale für die Produktentwicklung im Allgemeinen und die Fahrzeugentwicklung im Speziellen scheinen zahlreich. Grund genug, den Schritt aus der Theorie in die Praxis zu wagen. Zunächst soll jedoch im Folgenden näher auf den technologischen Ansatz eingegangen werden.

4.1.3 Technologische Realisierung

Zunächst sollen die Grundkomponenten eines Mixed Reality Systems vorgestellt werden. Es erfolgt hierbei eine Beschränkung auf ein MR-System zur visuellen Kombination der virtuellen mit der realen Welt. Wie in Kapitel 4.1 bereits erwähnt, umfasst MR grundsätzliche jegliche Kombinationsmöglichkeit der virtuellen mit der realen Welt. Im Umfeld der Fahrzeugentwicklung sind für jede dieser Ausprägungen Anwendungen vorstellbar, vor dem Hintergrund einer initialen Einführung in die Fahrzeugentwicklung verspricht allerdings die visuelle Kombination die Adressierung des größten potentiellen Anwenderkreises. Grundsätzlich existiert eine große Bandbreite an technischen Realisierungsmöglichkeiten eines MR-Systems. Die einzelnen Komponenten lassen sich dabei den Kategorien Darstellung, Tracking und Interaktion zuordnen. Folgende allgemeine Systemkomponenten sind dabei in jedem MR-System enthalten:

- » ein optisches System:
 - » Das optische System dient der Wahrnehmung der realen Umgebung
- » ein Ortungssystem / Trackingsystem:
 - » Das Ortungssystem dient der Verfolgung der Relativbewegungen zwischen dem realen Umfeld und dem optischen System. Diese Informationen sind für eine passgenaue Kombination der virtuellen mit der realen Welt erforderlich.
- » ein visuelles Ausgabesystem:

- » Das visuelle Ausgabesystem dient der Darstellung der kombinierten Umgebung für die Anwender.
- » ein Computer:
 - » Der Computer verarbeitet die Trackinginformationen, dient der Berechnung der virtuellen Bildinhalte und generiert den kombinierten Datenstrom
 - » sowie Benutzerschnittstellen:
 - » Die Benutzerschnittstellen dienen der Interaktion mit der kombinierten Umgebung in Echtzeit.

Abbildung 4.4 zeigt anhand dieser Komponenten den schematischen Aufbau eines MR-Systems zur optischen Kombination der realen und virtuellen Umgebung.

Bei der visuellen Kombination beider Welten lassen sich zwei grundlegende Anwendungstypen unterscheiden: eine anwenderbezogene sowie eine anwenderunabhängige Systemausrichtung. Während bei den anwenderbezogenen Systemen die visuelle Darstellung an die Sichtperspektive einzelner Anwender gekoppelt ist, wird die reale Umgebung bei den unabhängigen Systemen losgelöst von den Perspektiven einzelner Anwender erfasst.

4.1.3.1 Perspektivengebundene Systeme

Bei dieser Form der Systemausrichtung nimmt der Anwender die reale Umgebung unmittelbar aus der eigenen Perspektive (egozentrisch) wahr, virtuelle Inhalte werden in sein persönliches Sichtfeld eingeblendet. Für diese Ausprägung lassen sich zwei weitere Abwandlungen aufführen:

- » die unmittelbare Wahrnehmung der realen Umgebung und
- » die indirekte Wahrnehmung der realen Umgebung.

Im ersten Fall nimmt der Anwender sein Umfeld unmittelbar mittels seiner eigenen Augen wahr. Dieser Vorgang ist in Abbildung 4.4 mittels der schwarz gestrichelten Linie symbolisiert. Die zusätzlichen virtuellen Inhalte werden dem Anwender in sein eigenes Sichtfeld eingeblendet. Dies kann beispielsweise mittels eines Head-Mounted

Displays (HMD) erfolgen. Dabei trägt der Anwender eine Vorrichtung mit kleinen Bildschirmen unmittelbar vor seinen Augen. Bei der Variante der unmittelbaren Wahrnehmung sind diese Displays semitransparent, so dass der Anwender durch sie hindurch sein reales Umfeld wahrnimmt. Diese Ausführungsart wird als optical see-through HMD bezeichnet. Die virtuellen Inhalte werden dabei über die Displays ergänzt [siehe AZU97, S.11]. Eine weitere Methode ist die Aufprojektion der virtuellen Inhalte mittels Laser direkt auf die Netzhaut des Anwenders, sogenannte Retina Displays.

Im Falle der indirekten Wahrnehmung erfolgt die Erfassung der realen Umgebung zunächst mit Hilfe einer Kamera. Dieses Kamerabild wird dabei ebenfalls in Abhängigkeit zu der Anwenderperspektive aufgenommen und dem Anwender gekoppelt an das Sichtfeld seiner Augen zur Verfügung gestellt. Hierfür werden ebenfalls Head-Mounted Displays eingesetzt, in diesem Fall sind die Bildschirme jedoch nicht

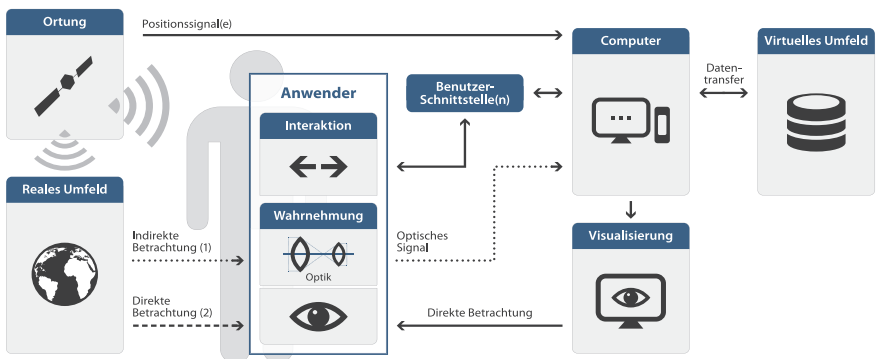


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung eines visuell-orientierten MR-Systems

transparent. Diese Ausführungsart wird als video see through HMD bezeichnet. Die Kameras befinden sich im Optimum in Verlängerung der Blickachse, unmittelbar vor den Bildschirmen des HMD's. Das Kamerabild wird bereits im Computer mit den virtuellen Inhalten angereichert und anschließend auf den Bildschirmen vor den Augen des Anwenders angezeigt [siehe AZU97, S.11]. Die indirekte Wahrnehmung des realen Umfelds ist in Abbildung 4.4 symbolisch mittels der gepunkteten Linien dargestellt.

Bei beiden Varianten der an die Anwenderperspektive gekoppelten Systeme spielt eine exakte Erfassung dieser Perspektive mittels geeigneter Ortungsverfahren eine entscheidende Rolle. Nur bei einer exakten, in Echtzeit der Anwenderperspektive folgenden Überlagerung entsteht für diesen der Eindruck einer kombinierten Umgebung mit realen und virtuellen Inhalten.

4.1.3.2 Perspektivenentkoppelte Systeme

Bei den von der Anwenderperspektive unabhängigen Systemen wird die reale Umgebung losgelöst von den individuellen Perspektiven der Anwender erfasst. In diesem Fall kann die Erfassung der realen Umgebung ebenfalls mittels einer Kamera erfolgen. Die Kamera kann sich dabei unabhängig von den Anwendern im Raum bewegen. Das Ortungs- oder Trackingsystem verfolgt in diesem Falle die Relativbewegung der Kamera innerhalb der realen Umgebung. Das Videobild wird dabei analog der Vorgehensweise bei den video see-through

HMD's ebenfalls bereits im Computer mit den zusätzlichen virtuellen Inhalten versehen und diese kombinierte Szene anschließend visualisiert. Dies kann beispielsweise mittels Monitoren oder Beamern nahe der betrachteten Objekte erfolgen.

Der Aktionsradius sowie die Bewegungsfreiheit werden sowohl bei den perspektivgebundenen als auch bei den entkoppelten Systemen maßgeblich durch das verwendete Trackingsystem begrenzt.

4.2 Implementierung in den Entwicklungsprozess

Das Einführungskonzept bezüglich Mixed Reality in die Entwicklungsbereiche bei Mercedes-Benz Cars kann in zwei Phasen untergliedert werden. Eine vorgelagerte Phase sowie die eigentliche Implementierung in konkreten Anwendungsfeldern:

- » Phase 1: Grundsätzliche Evaluierung von Einsatzfeldern und Mehrwert von MR innerhalb der Entwicklung
- » Phase 2: Evaluierung und Implementierung innerhalb ausgewählter Anwendungsfelder

Zu Beginn der ersten Phase wurde ein Arbeitskreis Mixed Reality von der IT initiiert, dem Vertreter der IT for Engineering Mercedes-Benz Cars selbst, Vertreter der Konzernforschung sowie der Anwendungsbereiche in der Pkw-Entwicklung angehörten. Innerhalb dieses Arbeitskreises wurden potentielle Einsatzfelder der Technologie

in den verschiedenen Entwicklungsdisziplinen identifiziert und bewertet. Resultat der zweijährigen Arbeit dieses Arbeitskreises stellt ein Portfolio vielversprechender Anwendungsfelder dar. Für jedes Feld wurden dabei aus Kundensicht die Aufgabenstellung und Herausforderung dargestellt. Aus technologischer Sicht wurde eine Begegnung der Herausforderungen mittels MR dargestellt, der technische Ansatz inklusive Aussagen hinsichtlich der Machbarkeit beschrieben sowie der Kundennutzen ausgewiesen. Der Arbeitskreis behandelte das Thema Mixed Reality dabei hauptsächlich theoretisch, für einzelne Felder wurden erste Demonstratoren realisiert.

Zu Beginn der zweiten Phase wurde ein neues Projekt ins Leben gerufen, das Projekt Werkstatt der Zukunft. Dieses Projekt widmete sich der Herausforderung der Übertragung der theoretischen Erkenntnisse in die Praxis. Umfang waren ausgewählte Anwendungsfelder, basierend auf den Erfahrungen und dem Portfolio des Arbeitskreises. Die Leitung dieses Projektes lag bei der Entwicklung, umfasste jedoch ebenfalls Vertreter aus der Anlauffabrik, Konzernforschung und IT. Für die allgemeine Koordination sämtlicher Mixed Reality Aktivitäten bei Mercedes-Benz Cars wurde zudem ein weiteres Projekt unter Leitung der IT ins Leben gerufen. Die Inhalte dieser Arbeit stellen ein Kernelement des Projektes Werkstatt der Zukunft dar und sind somit in Phase 2 angesiedelt.

Innerhalb dieser Implementierungsphase wurde die Einführung von MR in die praktische Anwendung in drei Schritten vollzogen:

- » Schritt 1: Evaluierung in der Anwendung
- » Schritt 2: Piloteinsatz
- » Schritt 3: Verankerung

Diese Schritte sowie die jeweilige Herangehensweise sollen im Folgenden näher vorgestellt werden.

4.2.1 Evaluierung in der praktischen Anwendung

Die Evaluierung der praktischen Anwendung von Mixed Reality innerhalb ausgewählter Anwendungsfelder dient einer Bestätigung des in Phase 1 postulierten technologischen Mehrwerts. Die Evaluierung sollte dabei anhand nachgestellter Aufgabenstellungen aktueller Entwicklungsprojekte mittels eines praxisnahen Demonstrationsaufbaus unter Einbeziehung der jeweils verantwortlichen Experten durchgeführt werden. Die Konzeption dieses Demonstrationsaufbaus erforderte zunächst:

- » die Identifikation des geeignetsten Anwendungsfeldes für die initiale Aufnahme von MR als neues Werkzeug in der Fahrzeugentwicklung
- » die Zusammenstellung einer den dortigen Anforderungen gerechten MR-Systemkonfiguration

4.2.1.1 Identifikation des initialen Anwendungsfeldes

Um dem Anspruch einer ganzheitlichen Neuausrichtung der Fahrzeugentwicklung bei Mercedes-Benz Cars gerecht zu werden, galt es im Hinblick auf spätere Synergieeffekte hinsichtlich einer Übertragung von Methoden und Erfahrungen auf weitere Prozesse innerhalb der Entwicklung sowie einer maximalen Informations- und Wissensgenerierung während der ersten Einführungsphase, ein Anwendungsfeld innerhalb eines Entwicklungsprozesses auszuwählen, welches folgende Anforderungen erfüllt:

- » Ausdehnung über den gesamten Produktentwicklungsprozess
- » Interdisziplinäre Ausprägung
- » Ausgangsbasis für zahlreiche Folgeprozesse
- » Vielfache Schnittstellen zu parallelen Entwicklungsprozessen
- » Ansiedlung an der Schnittstelle zwischen den Entwicklungsumfängen innerhalb des DMU und den Umfängen an dem PMU.

Ein Abgleich mit dem Anwendungsportfolio des Arbeitskreises Mixed Reality aus Phase 1 ergab, dass der Prozess der Digitalen Baubarkeit sämtliche Merkmale aufweist und zudem eine kurz- bis mittelfristige Realisierungschance des Technologieeinsatzes vorweisen konnte. Die Digitale Baubarkeits-Absicherung, kurz Digitale Baubarkeit, rückt somit in den Fokus kommender Aktivitäten und wird im Folgenden zunächst vorgestellt.

In dem Prozess der **Digitalen Baubarkeit** bündeln sich die Kompetenzen aller bei Mercedes-Benz Cars für die Baubarkeit eines Fahrzeuges verantwortlichen Organisationseinheiten. Sie begleiten dabei ein Fahrzeugprojekt von den ersten Schritten im virtuellen Umfeld bis hin zu der Serienfertigung im Werk. Dabei kann es sich sowohl um ein Fahrzeugneuprojekt, Folgeprojekte, Derivate, Modellpflegen aber auch um neue Antriebskonzepte handeln.

Aufgaben der Digitalen Baubarkeit sind dabei [GAG08, S.175-189]:

- » Die gesamtheitliche, Interdisziplinäre Beurteilung des aktuellen Entwicklungsstandes
- » Die frühzeitige Bewertung und Begleitung von Konzepten
- » Die Reifegradsteigerung durch frühzeitige Absicherung der Baubarkeit Montage und des Montageablaufs in der digitalen Fahrzeugentwicklung
- » Die Berücksichtigung von bereits vorhandenen oder in der Entwicklung befindlichen Betriebsmitteln für die Produktgestalt
- » Die Identifikation, Dokumentation, Adressierung, Abarbeitung und das Controlling von offenen Punkten während der Hardware-Phase

Die Steuerung der Aktivitäten erfolgt durch ein interdisziplinäres Kernteam, wobei die Treiberrolle jeweils durch die für den aktuellen Fortschritt im Entwicklungsprozess

verantwortlichen Vertreter wahrgenommen wird. Durch die weiter wachsende Virtualisierung der Fahrzeugentwicklung gewinnt dabei die digitale Entwicklungsphase weiter an Bedeutung, unterstützt durch PMU-Aufbauten. In dieser Phase liegt der Schwerpunkt auf den virtuellen Konzepten und ersten Rückmeldungen aus den Aktivitäten am PMU. Die Bereitstellung fahrbarer Prototypen verschiebt sich zunehmend in die letzten Phasen der Entwicklung. Mit Start des Prototypenaufbaus sowie der Erprobung im Feld verschiebt sich der Schwerpunkt der Digitalen Baubarkeit auf die dabei gesammelten Erfahrungen und Rückmeldungen, dieser Zusammenhang ist in Abbildung 4.5 nach [MOA06] dargestellt.

Aufgrund ihrer zentralen Stellung innerhalb der Pkw-Entwicklung sowie ihrer Ausdehnung über den gesamten Entwicklungsprozess bestehen bei der Absicherung der Digitalen Baubarkeit in ihrem Verlauf Schnittstellen zu nahezu sämtlichen an

der Fahrzeugentwicklung beteiligten Fraktionen. Dies stellt sowohl für eine fundierte Bewertung im Rahmen der Evaluationsphase als auch bei der späteren Erweiterung des technologischen Einsatzspektrums eine wichtige Größe dar.

4.2.1.2 Auswahl der Systemkonfiguration

Kapitel 4.1.3 beschreibt die allgemeinen Ausführungsarten sowie Komponenten eines MR-Systems. Die konkrete Systemkonstellation resultiert dabei jeweils aus anwendungsbezogenen Randbedingungen. Bezüglich der Ausführung bedarf es für den Einsatz im Rahmen der Digitalen Baubarkeit zunächst eines Systems, welches entkoppelt von der Perspektive der einzelnen Anwender agiert. Da bei den Absicherungen eine größere Anzahl an Vertretern (> 5 Personen) der unterschiedlichen Fraktionen anwesend ist, ist eine auf einen Anwender zentrierte Visualisierung nicht zielführend.

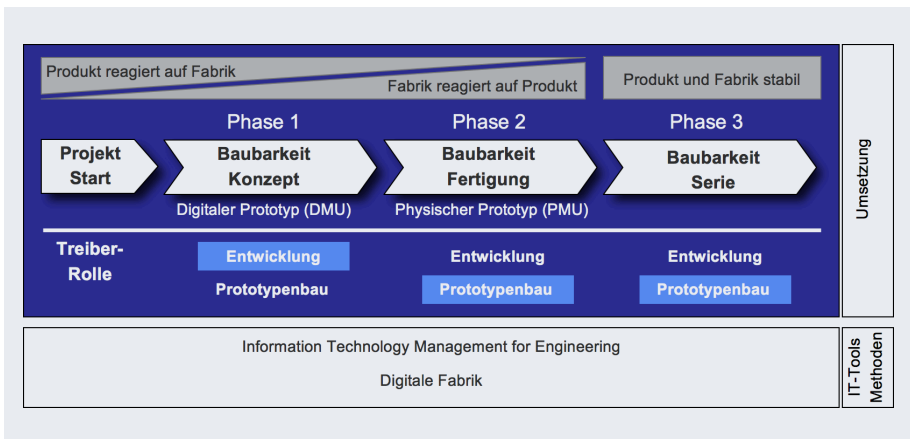


Abbildung 4.5: Phasenmodell der Digitalen Baubarkeit bei Mercedes-Benz Cars

Eine gleichzeitige egozentrische Visualisierung der Szene für jeden einzelnen Teilnehmer ist aus heutiger Sicht bezüglich der Ergonomie entsprechender Ausgabe-geräte (HMD) nicht hinreichend [WEI03, S.889] und hinsichtlich der Performance zu ressourcenintensiv und instabil.

Die Komponenten des Systems haben in dem beschriebenen Umfeld folgende Bedingungen zu erfüllen:

- » **Robustheit** der einzelnen Komponenten unter den gegebenen Randbedingungen (Beleuchtung, Schmutzpartikel, flüssige Medien etc.) in den Werkstattflächen der Entwicklung (Prototypenbau) sowie der Produktion
- » **Hohe Genauigkeit** der Überlagerung durch ein schnelles, kontinuierliches Tracking [WEI03, S.890]
- » **Mobilität** des Gesamtsystems aufgrund des zu erwartenden Einsatzes an häufig wechselnden Einsatzorten in Entwicklung und Produktion
- » **Flexibilität** hinsichtlich der zu integrierenden Hardware-Umfänge des Entwicklungsprojektes (von einzelnen Komponenten bis zum Serienfahrzeug)
- » **Kompakte Abmaße** des Gesamtsystems um eine Behinderung parallel laufender Aktivitäten an Betrachtungsobjekten auszuschließen sowie den Transport zu erleichtern.
- » **Anwenderfreundlichkeit** in seiner gesamten Handhabung, vom Transport

über Aufbau und der Bedienung über die Benutzerschnittstellen

- » Eignung hinsichtlich **Reverse Engineering** für die notwendige Informationsrückführung in den DMU

Anmerkung:

Reverse Engineering (RE) ist im Allgemeinen kein integraler Bestandteil eines MR-Systems, im Kontext eines Einsatzes innerhalb der Produktentwicklung jedoch ein wesentliches Element. Ermöglicht MR an sich den Brückenschlag aus der virtuellen Welt des DMU an den PMU, so eröffnet Reverse Engineering die erforderliche Rückkopplungsschleife aus dem PMU in den DMU, siehe Abbildung 4.6. Nur durch den Einsatz von Reverse Engineering können die Potentiale von MR vollständig ausgeschöpft werden, näheres hierzu in Kapitel 5.2.2.

Die Auswahl der MR-Software erfolgte ebenfalls unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen, anhand eines entsprechenden Beurteilungsschemas, das Vorgehen hierzu wird in Kapitel 5.2.1.1 vorgestellt. Im Rahmen der Evaluierung wurde zu Beginn ein kommerziell erhältliches Produkt eingesetzt, welches die für die ersten Schritte erforderlichen Grundfunktionalitäten aufweisen konnte.

Es folgt eine Vorstellung der für den Einsatz in der Digitalen Baubarkeit ausgewählten Hardware-Komponenten. Abbildung 4.7

zeigt die dabei zu Grunde liegende Konfiguration, Abbildung 4.8 den Aufbau selbst.

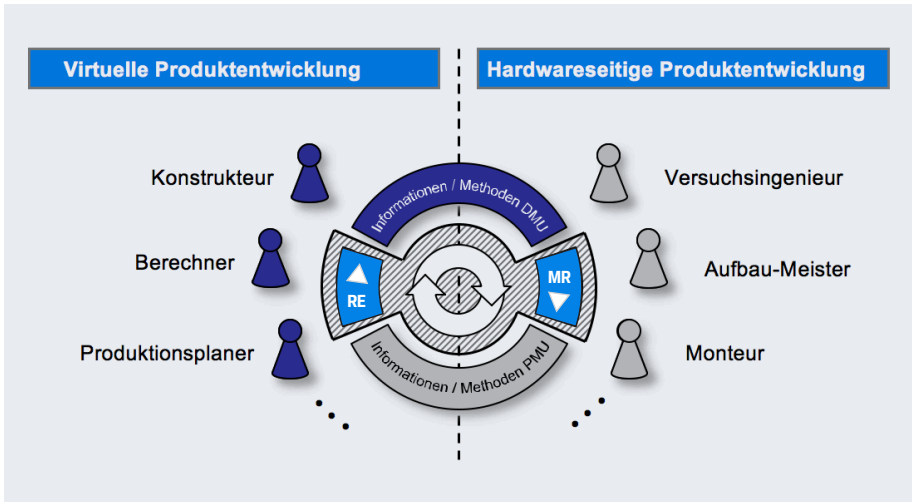


Abbildung 4.6: Geschlossener Wissenstransfer mittels MR und RE

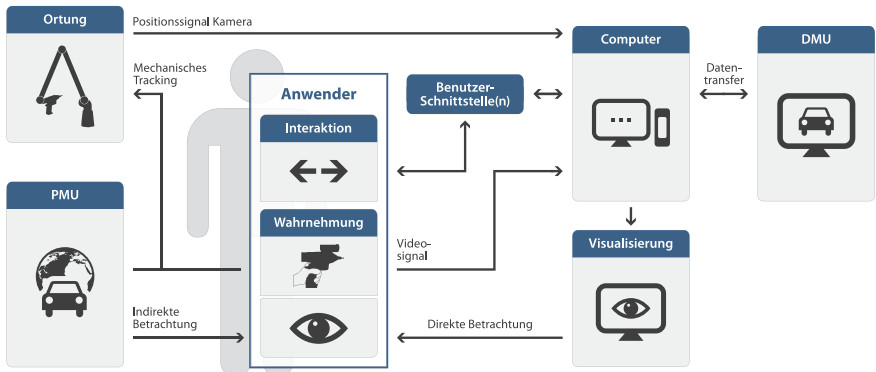


Abbildung 4.7: Schematische Darstellung des vorgestellten MR-Systems

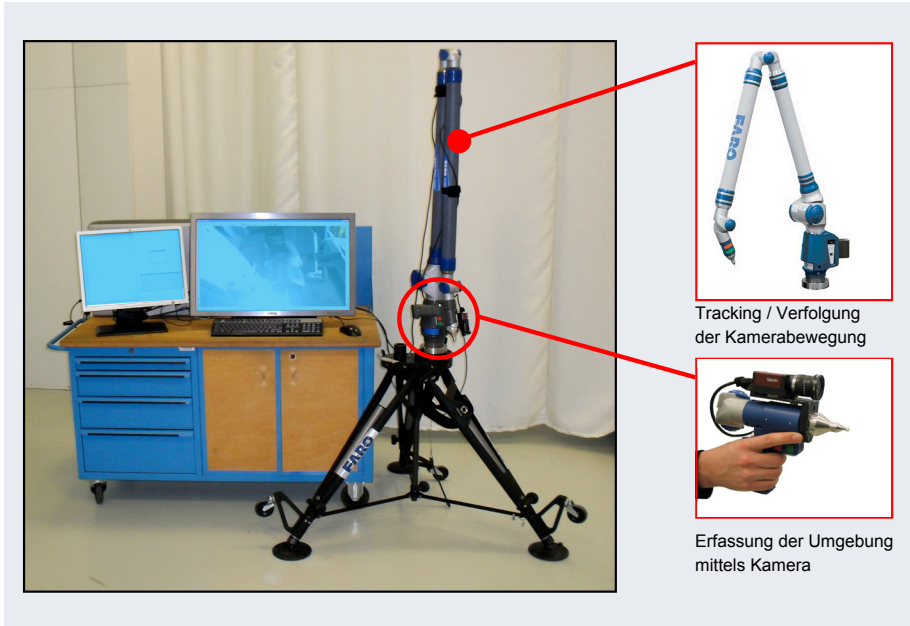


Abbildung 4.8: Mobiles MR-System der Digitalen Baubarkeit

Im Zuge einer Recherche [siehe WEI03, S.889-890] und Marktanalyse mit Fokus auf die genannten Anforderungen wurde das in Abbildung 4.8 dargestellte System wie folgt zusammengestellt:

Optisches System:

Erfassung eines Abbilds der realen Umgebung mittels einer gängigen Industriekamera.

Ortungssystem:

Mechanisches Trackingsystem zur Erfassung der Kamera-Perspektive sowie deren Verfolgung in Echtzeit. Das mechanische System wird den Anforderungen einer hohen Genauigkeit, Datenrate sowie

Robustheit [WEI03, S.890] sowie der Mobilität, Flexibilität und Anwenderfreundlichkeit gerecht [siehe hierzu: NOE06, S.30-43]. Die Erfassung und Verfolgung der Perspektive wird mittels eines mechanischen Messarms realisiert, auf dessen Messpistole die Kamera arretiert ist.

Computersystem:

Berechnung der Mixed Reality Visualisierung unter Einbindung virtueller Datenmodelle sowie Interaktion mit dieser Szene über gängige CAD-fähige Computer.

Visuelles Ausgabesystem:

Darstellung der kombinierten MR-Szene mittels Großbildschirm, Darstellung

der Benutzeroberfläche auf separatem Bildschirm.

Benutzerschnittstellen:

Steuerung der Kameraperspektive durch manuelles Führen der Messpistole. Interaktion mit der visualisierten MR-Szene über das mechanische Trackingsystem mittels an der Messpistole angebrachter Drucktaster sowie über das Computersystem mittels (Space-)Mouse und Tastatur.

Vor der ersten Inbetriebnahme erfolgt eine interne Kamerakalibrierung sowie eine Kalibrierung der Kamera zu der Messpistole des Messarms, näheres hierzu in Kapitel 5.2.1. Vor jedem Einsatz wird zudem der Messarm nahe den betrachtungsrelevanten PMU-Umfängen positioniert und, durch das Anfahren von Referenzpunkten, kalibriert. Ab diesem Augenblick lässt sich die Relativbewegung der Kamera zu ihrem PMU-Umfeld verfolgen. Über die eingesetzte MR-Software erfolgt eine Überlagerung des Kamerabildes mit zusätzlichen virtuellen Inhalten, z.B. Bauteilgeometrien, in Echtzeit. Die Darstellung des überlagerten Video-Bildes erfolgt über die Monitore, welche ebenfalls neben der Hardware platziert werden.

Vorteile dieser Systemkonfiguration liegen in der kompakten Ausführung, die sich innerhalb kürzester Zeit demontieren, transportieren und an einem neuen Standort in Betrieb nehmen lässt. Das mechanische Tracking garantiert einen permanenten Signalfluss mit den erforderlichen Informationen über Position und Orientierung der Kamera in Bezug zu den betrachteten, realen Objekten in Echtzeit. Sowohl das mechanische Ortungssystem

als auch das optische System sind für den Einsatz in anspruchsvollen Umgebungen ausgelegt, so dass ihre Funktionstüchtigkeit beispielsweise durch Verschmutzung oder Stöße nicht beeinträchtigt wird. Der mechanische Messarm ermöglicht des Weiteren eine schnelle Datenrückführung aus den MR-Einsätzen heraus in den DMU. Durch den Einsatz eines mit dem Messarm kompatiblen Linienscanners lassen sich dabei ohne erneute Kalibrierung neben Regelgeometrien auch komplexe Bauräume zurückführen.

Auf die Nachteile dieser Systemkonfiguration wird in Kapitel 5.3 näher eingegangen.

4.2.1.3 Ergebnisse der Evaluierungsphase

Die Evaluierung von Mixed Reality für die Digitale Baubarkeit wurde mit dem zuvor vorgestellten System in einer speziell hierfür ausgesuchten Testumgebung anhand einer Festlegungskarosse durchgeführt. Potentielle Aufgabenstellungen für einen MR-Einsatz wurden dabei unter anderem gemeinsam mit den Baubarkeitskoordinatoren der verschiedenen Baureihen bei Mercedes-Benz Cars definiert. Im Rahmen der Evaluierung kristallisierten sich dabei zwei grundsätzliche, übergeordnete Anwendungsfälle für die Digitale Baubarkeit heraus:

- » die Überlagerung realer Objekte mit ihren entsprechenden virtuellen Abbildern sowie
- » die Ergänzung des realen Umfelds um zusätzliche virtuelle Objekte

Eine Überlagerung vorhandener PMU-Aufbauten mit ihren entsprechenden Gegenständen im DMU, siehe Abbildung 4.9, ermöglicht einen visuellen Abgleich zwischen der virtuellen Entwicklungswelt und dem PMU [siehe auch NOE06]. MR kann in diesem Zusammenhang im Sinne von Lehren beispielsweise für Qualitätskontrollen der Hardware und umgekehrt eingesetzt werden.

Eine weitere Möglichkeit stellt die erwähnte Ergänzung von PMU-Aufbauten um zusätzliche, teilweise noch nicht real verfügbare Bauteile sowie weitere Informationen aus dem DMU dar, siehe Abbildung 4.10. Mit diesem Vorgehen lassen sich hybride (partiell reale, partiell virtuelle)

Absicherungsaufbauten bereitstellen, die beispielsweise für die Bewertung von neuen DMU-Konzeptständen oder auch von Fahrzeugvarianten eingesetzt werden können [siehe auch FRU05, S.289-298].

Für die Evaluierung der Technologie wurden in Abstimmung mit den beteiligten Fachbereichen sowie den Baubarkeitskoordinatoren und den Projektleitern der Anlaufabrik folgende Schwerpunkte gesetzt:

- » Abnahme von PMU-Umfängen (z.B. Festlegungskarossern)
- » Identifikation von Bauteilständen
- » Umbau von Festlegungskarossern auf neue Entwicklungsstände

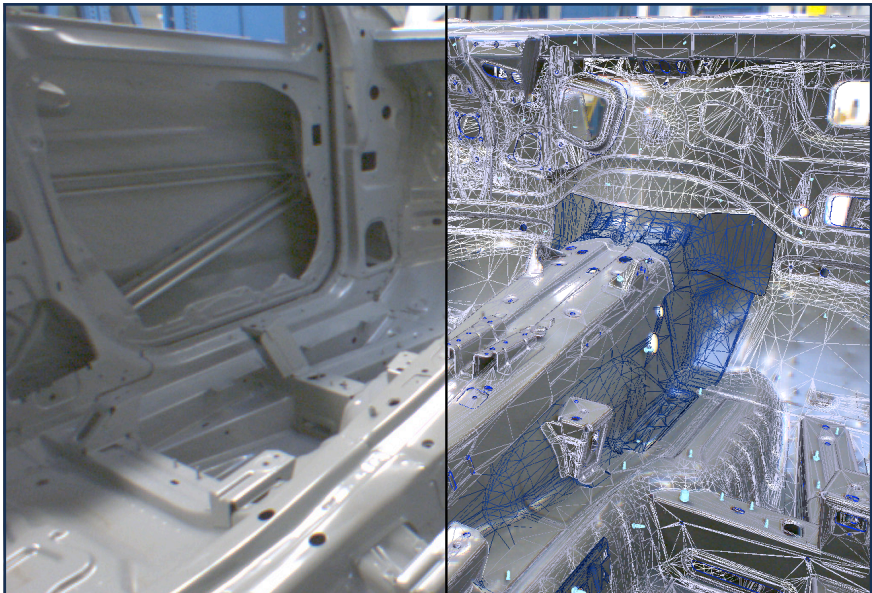


Abbildung 4.9: Überlagerung realer Objekte mittels MR

- » Konstruktive Absicherung der Bau-räume von Anbauteilen (Packaging)
- » Festlegung des elektrischen Lei-tungssatzes
- » Ergonomische Konzept-Beurteilung aus Kundensicht (Werk / Käufer)
- » Visualisierung von Montageabfolgen
- » Absicherung von Montagevorgängen

Verantwortlichen durchgeführt. Nach Abschluss der Untersuchungen erfolgte eine Bewertung sowie Ergebnispräsen-tation gegenüber dem Management, in dessen Rahmen die Entscheidung einer Integration der Mixed Reality Technologie in die Ent-wicklungsaktivitäten einer Pilotbaureihe bei Mercedes-Benz Cars getroffen wurde.

4.2.2 Piloteinsatz in der praktischen Anwendung

Über die Dauer von einem Monat wur-den zu diesen Schwerpunkten Untersu-chungen mit den jeweiligen Experten und

Die Entscheidung MR als weiteres Absiche-rungswerkzeug in den digitalen Baubar-keitsuntersuchungen einer ausgewählten

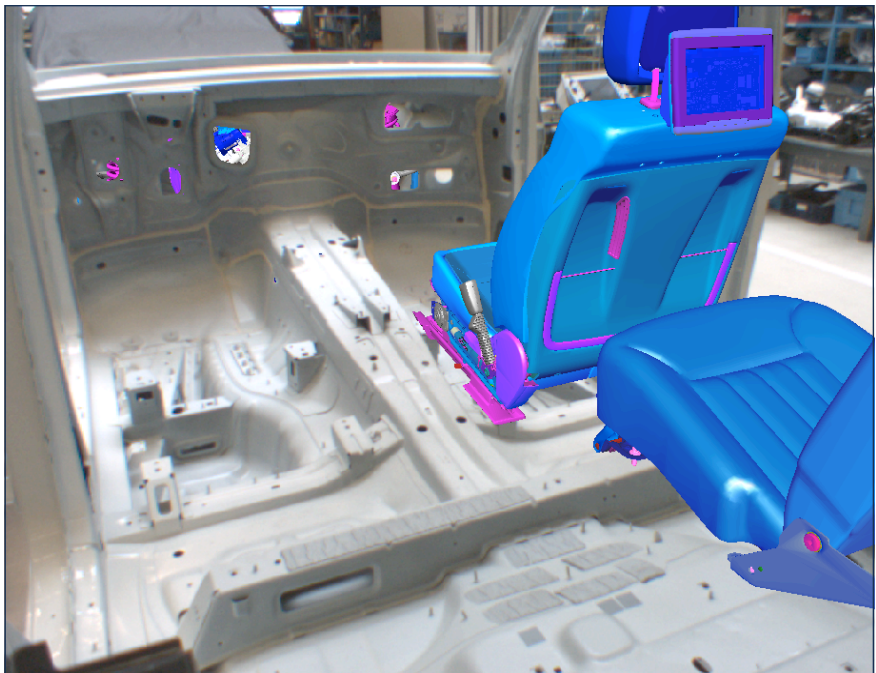


Abbildung 4.10: Ergänzung des realen Umfelds mittels MR

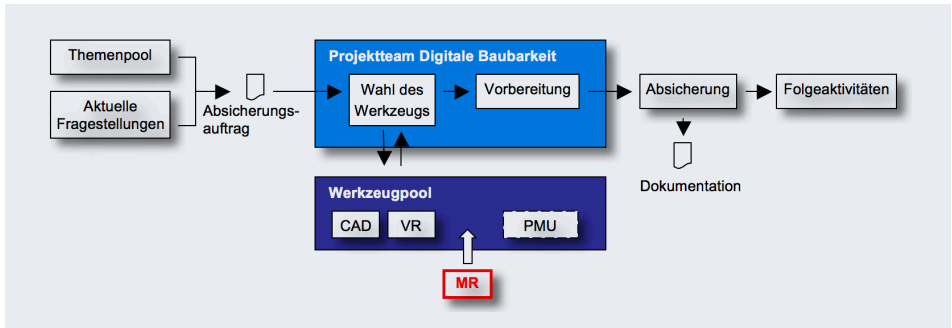


Abbildung 4.11: Integration von MR in die Digitale Baubarkeit

Baureihe einzusetzen, bildet den Ausgangspunkt der Aufnahme von Mixed Reality in den produktiven Entwicklungsbetrieb. An dieser Stelle soll zunächst auf die prozessuale Einbindung der Technologie in der Digitalen Baubarkeit eingegangen werden.

Die Digitale Baubarkeit an sich ist absicherungsorientiert. Ihre einzelnen Absicherungsaufträge entstammen dabei einem Themenpool bekannter Absicherungsumfänge aus Vorgängerprojekten sowie Erfahrungen weiterer Baureihen innerhalb des Konzerns. Darüber hinaus kann jederzeit die Absicherung aktueller Fragestellungen von den einzelnen Fachbereichen in Auftrag gegeben werden. Über die Annahme und die Art und Weise der Durchführung einer Absicherung entscheidet dabei ein interdisziplinäres Projektteam. Für eine erfolgreiche Bewertung der einzelnen Teilaspekte eines Auftrags hat das Team Zugriff auf einen Pool verschiedenster Werkzeuge, die sich den Kategorien CAD und VR zuordnen lassen. Ist eine Absicherung mit diesen Werkzeugen nicht zielführend oder nicht möglich, erfolgt die Absicherung an

PMU-Aufbauten. Die Treiberrolle hinsichtlich der PMU-Absicherungen hat dabei der Prototypenbau (Anlauffabrik) inne, die Absicherungen selbst erfolgen unter Beteiligung aller relevanten Fachbereiche. Mixed Reality wurde durch seine Aufnahme in den Werkzeugkasten der Digitalen Baubarkeit in den laufenden Fahrzeugentwicklungsprozess integriert. Die zuvor geschilderten Abläufe sowie die Integration sind in Abbildung 4.11 dargestellt.

Die Aufnahme des neuen Werkzeuges MR setzt somit keine Anpassung der Prozesse voraus, die grundsätzliche Vorgehensweise innerhalb der Digitalen Baubarkeit bleibt bestehen, wodurch eine reibungslose Integration ermöglicht wurde. Aus der Aufnahme von MR resultiert allerdings eine stärkere Integration des PMU in die digitalen Absicherungen, die mittelfristigen Konsequenzen dieser Integration auf den Prozess werden zu einem späteren Zeitpunkt aufgezeigt. Die Einführung von MR wirkt zudem auf die Konstellation innerhalb des Absicherungsspektrums. Neben den etablierten Absicherungen mittels des CAD- sowie des

VR-Umfelds erweitert sich das Spektrum um die Absicherungen mittels Mixed Reality. Im Zusammenspiel mit den bisherigen Absicherungsinstrumenten ergeben sich dabei folgende Typen einer MR-Absicherung:

- » Alternativer MR Einsatz anstelle einer CAD- oder VR-Untersuchung
- » Ergänzender Einsatz zusätzlich zu einer CAD- oder VR-Untersuchung
- » Einsatz über das Leistungsspektrum von CAD- und VR-Untersuchungen hinaus (in diesem Fall ist der MR-Einsatz alternativlos).

Die Entscheidung zu Gunsten eines MR-Einsatzes wird dabei individuell, jeweils anhand der spezifischen Ausgangssituationen getroffen.

Die Einführung von MR bedeutet dabei in keinem Fall eine Ablösung der bereits bewährten Werkzeuge, vielmehr erweitert MR das bis dato mögliche Absicherungsspektrum. Wie bereits zwischen CAD und VR existieren mit dem neuen Werkzeug MR gemeinsame Schnittbereiche, innerhalb derer es einer situativen Entscheidung für eine der Technologien bedarf. Partiiell kommt es zu Verlagerungen einzelner Absicherungen aus dem bisherigen CAD- oder VR-Spektrum zur Mixed Reality, die Mehrzahl an Absicherungen innerhalb des MR-Spektrums stellen dagegen neue Absicherungstypen dar, die auf diese Weise mit den bisherigen Werkzeugen nicht möglich waren. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 4.12 dargestellt.

Nach der Einführung des DMU in die Produktentwicklung wurden VR-Werkzeuge mit

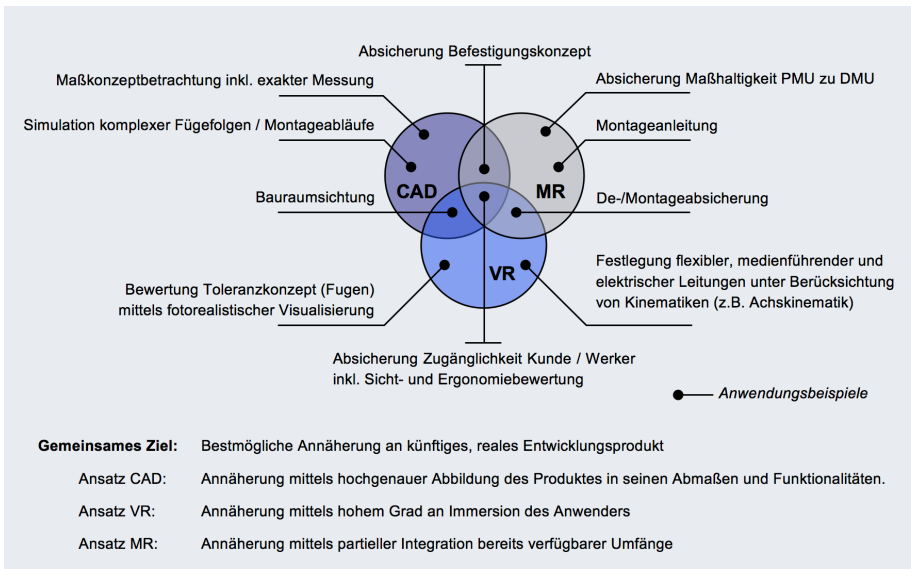


Abbildung 4.12: Zusammenspiel der Absicherungswerkzeuge

dem Ziel entwickelt, das künftige Produkt bereits in der virtuellen Entwicklungsumgebung möglichst realitätsgetreu abzubilden. Angestrebt wird dabei ein hoher Immersionsgrad des Anwenders in die virtuelle Entwicklungsumgebung.

Der Einsatz von Mixed Reality verfolgt ebenfalls das Ziel, sich dem späteren Produkt bereits in frühen Phasen bestmöglich anzunähern und auf dieser Basis Entscheidungen und Absicherung mit einer hohen Güte zu treffen. Im Gegensatz zu VR geschieht dies bei MR jedoch durch die partielle Integration verfügbarer PMU-Umfänge des in der Entwicklung befindlichen Produkts.

Die prozentuale Aufteilung der einzelnen Absicherungen innerhalb der Digitalen Baubarkeit zu den nunmehr drei verschiedenen Werkzeugen steht dabei:

- » in Abhängigkeit zu dem aktuellen Fortschritt des betrachteten Entwicklungsprojektes innerhalb des Fahrzeugentwicklungsprozesses (Reifegrad DMU/PMU)
- » sowie zu technologischen Weiterentwicklungen innerhalb der einzelnen den Werkzeugen zu Grunde liegenden Technologien

Zielführende Fragestellungen bei der Auswahl des Werkzeuges sind hierbei:

- » Welche Bewertungskriterien gelten für die geforderte Absicherung?
- » Welche PMU- und DMU-Umfänge stehen hierfür derzeit zur Verfügung,

bzw. können fristgerecht zur Verfügung gestellt werden?

- » Welches der vorhandenen Werkzeuge erlaubt unter diesen Randbedingungen eine bestmögliche Beurteilung der Kriterien bei gleichzeitig minimalem Aufwand?

Während bei Nachfolgeprojekten oder Derivaten bereits in den ersten Entwicklungsphasen Hardware in Form von Übernahmeumfängen zur Verfügung steht, war dies bei Neuprojekten in der Vergangenheit nur in geringem Umfang der Fall. Mit der Einführung von Modulkonzepten sowie Plattformstrategien gibt es auf diesem Gebiet jedoch Veränderungen, so dass auch bei diesen Entwicklungsprojekten heutzutage frühzeitig auf erste Hardwareumfänge zurückgegriffen werden kann. Waren bis dato Aufgrund der rein virtuellen Konzeptwürfe bei Neuprojekten die Untersuchungen auf die CAD- und VR-Umgebung beschränkt, so ermöglicht dieser Wandel den Einsatz von MR auch in den ersten Entwicklungsphasen dieser Projekte.

4.2.2.1 Systematische Einsatzbegleitung

Beginnend mit den ersten Einsätzen von MR in der Digitalen Baubarkeit der Pilotbaureihe erfolgte eine durchgängige Erfassung sowie Bewertung und Auswertung des Technologieeinsatzes.

Das gestaltete Bewertungsschema des Technologieeinsatzes gliedert sich dabei in zwei Bewertungsblöcke: Einerseits ist die

Technologie allgemeinen hinsichtlich eines Einsatzes innerhalb der Fahrzeugentwicklung zu bewerten, andererseits werden spezifische Fragen hinsichtlich der Bewertung der einzelnen Baubarkeits-Absicherungen mit MR gestellt.

Die allgemeinen Bewertungsbögen werden nach einer Demonstration von Mixed Reality oder (einmalig) einem Einsatz im Rahmen der Digitalen Baubarkeit durch die Teilnehmer ausgefüllt. Das Bewertungsschema enthält dabei Fragen nach:

- » der grundsätzlichen Einstellung gegenüber der Technologie
- » dem prognostizierten Einsatzspektrum innerhalb der Fahrzeugentwicklung
- » den potentiellen Effekten bezüglich der Wettbewerbsfaktoren Qualität, Kosten, Zeit
- » dem erwarteten Mehrwert der Technologie sowie
- » möglichen Verbesserungspotentialen des vorgestellten Ansatzes

Jeweils nach einem Einsatz von MR im Rahmen einer Digitalen Baubarkeitsabsicherung wurden durch Befragung der Auftraggeber sowie Teilnehmer folgende Informationen erfasst:

- » das Absicherungsziel
- » der Nutzungskontext (Benutzer, Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel und Umgebung)
- » die Gebrauchstauglichkeit

(Effektivität, Effizienz sowie Zufriedenstellung)

Als Basis hierfür diente DIN EN ISO 9241-11:1998 [DIN98]

Auszüge der Auswertung dieser einsatzbegleitenden Erfassung sind in Kapitel 6.6 zu finden.

4.2.3 Verankerung in der praktischen Anwendung

Am Ende der Pilotphase waren in nahezu sämtlichen Absicherungsfeldern der Digitalen Baubarkeit der ausgewählten Pilotbaureihe MR-Absicherungen durchgeführt und anhand der Fragebögen dokumentiert und bewertet. Diese Rückmeldungen bildeten gemeinsam mit den gesammelten Erfahrungen die Basis einer umfassend Dokumentation der Einsatzmöglichkeiten sowie der daraus resultierenden Potentiale innerhalb der Digitalen Baubarkeit. Diese Dokumentation wurde gemeinsam mit den Baubarkeitskoordinatoren abgestimmt und im Anschluss dem Management präsentiert.

Im Rahmen einer Vorstellung der Ergebnisse sowie des der Technologie innewohnenden Potentials für den Vorstand und die Direktoren der Konzernforschung und Entwicklung bei Mercedes-Benz Cars fiel die Entscheidung eines durchgängigen Einsatzes von Mixed Reality über sämtliche Baureihen bei Mercedes-Benz Cars.

Nach dieser Entscheidung galt es den entsprechenden Wissenstransfer aus der

Pilotbaureihe in die weiteren Baureihen sicherzustellen. Zu diesem Zweck wurden unter anderem die CAx-Ansprechpartner der Baureihen mit den Möglichkeiten sowie der Anwendung der Technologie vertraut gemacht. Neben weiteren Aufgaben beraten die CAx-Sprecher die einzelnen Baureihen hinsichtlich der Werkzeuge, Methoden und Prozessen innerhalb des DMU. Ein weiteres Element des Wissenstransfers war die Begleitung der ersten Einsätze innerhalb einer neuen Baureihe durch Vertreter der bereits erfahrenen Pilotmannschaft. Des Weiteren unterstützte ein geschultes Team aus den Querschnittsbereichen der IT for Engineering sowie der Anlaufabrik mittels einem zusätzlichen MR-System gleicher Bauart die Einsätze der Technologie außerhalb der Pilotbaureihe.

4.3 Betrachtung aus Sicht des Wissensmanagements

Die Einführung und Implementierung von Innovationen in den Fahrzeugentwicklungsprozess ist stets ein komplexer Vorgang und alles andere als ein Selbstläufer. Aufgrund der Vielschichtigkeit der heutigen Produktentwicklung bedarf ein solcher Schritt einer bedachten, systematischen Vorgehensweise. Die Vorgänge bei der Einführung von Mixed Reality bei Mercedes-Benz Cars soll im Folgenden mit Hilfe von Modellen aus dem Bereich des Wissensmanagements veranschaulicht werden.

4.3.1 Aufbau und Wandlung von Wissen in der Digitalen Baubarkeit

Bei der Einführung von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit galt es Wissen bezüglich der Technologie selbst, bezüglich Methodiken sowie bezüglich dem Zusammenspiel mit den bestehenden Entwicklungsprozessen aufzubauen und jeweils auf neue Anwendungen innerhalb der Digitalen Baubarkeit zu übertragen. Die Vorgänge, an deren Ende eine vollständige Implementierung einer neuen Technologie in den Produktentwicklungsprozess steht, sollen zunächst anhand des SECI-Konzeptes nach Nonaka und Takeuchi [NOT95, S. 56 ff.; NT003, S. 2-10] dargestellt werden.

Nach Nonaka und Takeuchi wird Wissen durch das eigene Handeln und die Interaktion mit der Umwelt erweitert sowie neues Wissen geschaffen. Dies geschieht dabei durch den kontinuierlichen Prozess der Wissenswandlung zwischen explizitem und implizitem Wissen. An dieser Stelle sollen zunächst die Begriffe des expliziten sowie des impliziten Wissens näher vorgestellt werden:

Bei **explizitem Wissen** handelt es sich um übertragbares Wissen, welches in formaler, systematischer Sprache vorliegt. **Implizites Wissen** ist im Gegensatz dazu kontextspezifisches, personengebundenes Wissen, welches sich dadurch schwerer formalisieren oder kommunizieren lässt. Während implizites Wissen im „hier und jetzt“ innerhalb eines spezifischen, praktischen Kontextes erschaffen wird, bezieht sich das explizite Wissen auf vergangene

Ereignisse oder Objekte im „da und damals“ und orientiert sich an einer kontext-unabhängigen Theorie. Die Weitergabe von implizitem Wissen zwischen Individuen mittels Kommunikation erfordert eine simultane Verarbeitung der Komplexität der geteilten Belange durch die Individuen, diese Eigenschaft bezeichnen Nonaka und Takeuchi in Bezug auf Gregory Bateson als eine analoge Qualität. Im Gegensatz dazu sprechen sie bei der Schaffung von explizitem Wissen von einem sequentiellen, sogenannten „digitalen“ Vorgang [NOT95, S. 59-61].

Die Charakteristiken von implizitem und explizitem Wissen sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Beispiele für implizites Wissen sind gesammelte Erfahrungen und Erkenntnisse wie sie beispielsweise eine Fachkraft für ihr

Fachgebiet vorweisen kann, Beispiele für explizites Wissen sind gedruckte oder digitale Dokumente wie Lexika, Handbücher etc.. Das bereits erwähnt SECI-Modell der Wissenswandlung von Nonaka und Takeuchi beschreibt den Zusammenhang der beiden Wissensarten bei der Wandlung und Erschaffung neuen Wissens. Der Name des Modells entspringt dabei den vier zu Grunde liegenden Formen des Wissenstransfers: der Sozialisierung, Externalisierung, Kombination und Internalisierung (engl.: Socialization, Externalization, Combination, Internalization) welche iterativ mehrmals durchlaufen werden, wobei die Dimension und Bedeutung der angedeuteten Wissensspirale dabei zunimmt, nicht zuletzt durch die Durchschreitung immer höherer ontologischer Organisationsebenen. Das SECI-Modell wird in Abbildung 4.13 erklärt.

<p>Implizites Wissen (Subjektiv)</p>	<p>Explizites Wissen (Objektiv)</p>
<p>Erfahrungswissen (Körper)</p>	<p>Verstandeswissen (Geist)</p>
<p>Simultanes Wissen (hier und jetzt)</p>	<p>Sequentielles Wissen (da und damals)</p>
<p>Analoges Wissen (Praxis)</p>	<p>Digitales Wissen (Theorie)</p>

Tabelle 4.1: Zwei Arten des Wissens [NOT95, S.61]

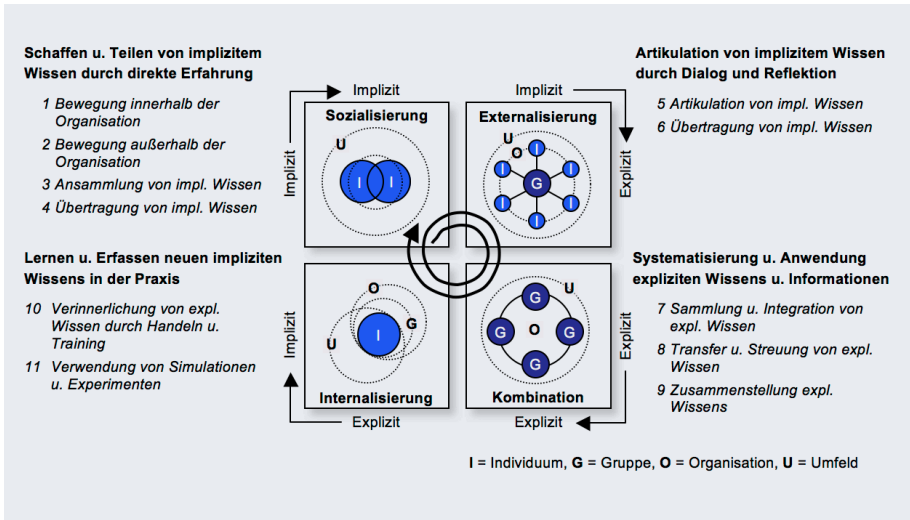


Abbildung 4.13: SECI-Modell nach [NT003, S. 5]

Im Folgenden wird dieses Modell der Wissenswandlung auf die systematische Einführung von Mixed Reality im Bereich der Digitalen Baubarkeit angewendet. Abbildung 4.14 zeigt die resultierende Wissensspirale.

Die Inhalte der einzelnen Schritte sind im Folgenden in Kürze dargestellt:

- Evaluierung
- Piloteinsatz
- Verankerung

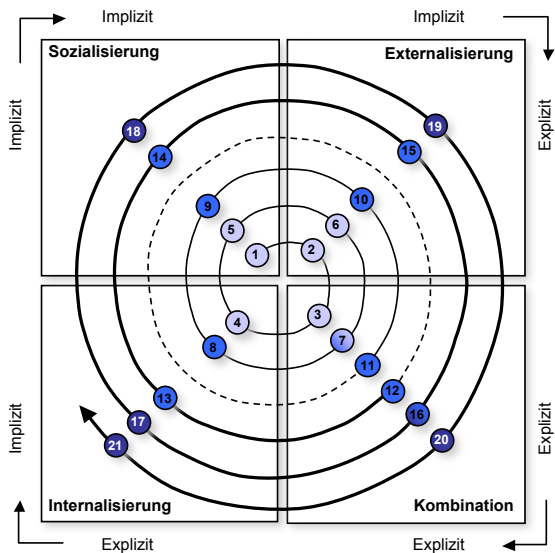


Abbildung 4.14: Wissensspirale der MR Einführung in die Digitale Baubarkeit

Nr.	Phase	Inhalt
1	Sozialisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Idee der Technologieeinführung in die Pkw-Entwicklung; » Gemeinsame Konzeptdiskussion (Konzern-IT, Forschung, Entwicklungsbereiche)
2	Externalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Aufsatz eines Einführungsprojektes » Zusammenstellung eines Projektteams mit Vertretern aus der Konzern-IT, der Konzernforschung sowie verschiedenen Entwicklungsbereichen » Gemeinsame Diskussion der vorhandenen Informationen vorgelagerter Projekte » Definition und Dokumentation der Projektziele
3	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Definition und Dokumentation des Projektumfangs sowie einzelner Unterpakete » Festlegung eines Referenzprozesses (Digitale Baubarkeit) » Recherche verfügbarer MR-Systeme, Auswahl eines kommerziellen Systems » Konzeption einer Evaluierungsphase inklusive Evaluierungsinhalten
4	Internalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Durchführung von Evaluierungsuntersuchungen mit verschiedenen Experten der relevanten Entwicklungsbereiche » Simulation ausgewählter Digitaler Baubarkeitsabsicherung mittels Mixed Reality
5	Sozialisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Nachbereitende Gespräche zu den einzelnen Evaluierungsumfängen mit den beteiligten Experten » Austausch der Teilnehmer mit unbeteiligten Fachkollegen

Nr.	Phase	Inhalt
6	Externalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Zusammenfassung der Ergebnisse der Evaluationsphase » Ableitung einer Handlungsempfehlung
7	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Vorstellung der Ergebnisse in einem Entscheidungsgremium » Beschluss einer Integration in die Pkw-Entwicklung im Rahmen eines Pilotprojekts » Aufnahme von MR als ein weiteres Werkzeug der Digitalen Baubarkeit für eine ausgewählte Baureihe
8	Internalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Einsatz von MR für die mittels der Evaluierungsphase definierten Anwendungen in der Pilotbaureihe » Sammeln von Erfahrung im Umgang mit MR bei Tool-Verantwortlichen, Prozesseignern und Absicherungsteilnehmern hinsichtlich Leistungsvermögen, Methodiken sowie Einbettung in die Entwicklungsprozesse
9	Sozialisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Gemeinsamer Austausch von Absicherungsteilnehmern und Projektteam bezüglich der einzelnen Technologieeinsätze » Bericht einzelner Teilnehmer an weitere, nicht anwesende, Fachexperten
10	Externalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Dokumentation sowie Bewertung der einzelnen Einsätze mittels Befragungsbögen » Dokumentation von Referenzprozessen für die Einbindung in die laufenden Entwicklungsprozesse » Gemeinsame Identifikation offener Potentiale und Anwendungsfelder (Projektteam sowie Vertreter beteiligter Entwicklungsbereiche)

Nr.	Phase	Inhalt
11	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Bestätigung eines ausreichenden Leistungsvermögens von MR die ausgewählten Anwendungen durch die Prozesseigner » Aufnahme weiterer potentieller Anwendungsfelder in das MR-Portfolio durch Projektteam sowie jeweilige Prozesseigner » Vorstellung des aktuellen Status in diversen entwicklungsübergreifenden Gremien

Wiederholung der Schritte 8 bis 11 mit jeweils neu identifizierten und abgestimmten Anwendungsfeldern bis zu einer vollständigen Abdeckung der MR-Anwendungsfelder mit dem Gesamtspektrum der Digitalen Baubarkeit.

Nr.	Phase	Inhalt
12	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Zusammenstellung offener Anwendungspotentiale sowie Grenzen der eingesetzten MR-Software » Erstellung eines Funktionskatalogs mit Anforderungen an eine MR-Software für einen bestmöglichen Einsatz in der Digitalen Baubarkeit » Beschluss der Durchführung eines Toolvergleichs unter den verfügbaren Software-Alternativen » Ausgestaltung einer Vergleichsmethodik mit entsprechenden Analyseinstrumenten
13	Internalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Durchführung des Tool-Vergleichs anhand festgelegter Referenzuntersuchungen
14	Sozialisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Diskussion des Tool-Verhaltens unter den Beteiligten, Vertretern der Entwicklungsbereiche, der Forschung sowie der IT for Engineering

Nr.	Phase	Inhalt
15	Externalisierung	» Dokumentation der Ergebnisse des Tool-Vergleichs in einer dafür geschaffenen Auswertungsmatrix
16	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Aufbereitung der Vergleichs-Ergebnisse, übersichtliche Darstellung des individuellen Leistungsvermögens der einzelnen Tools sowie der Unterschiede untereinander » Vorstellung der Ergebnisse gegenüber den Baubarkeits-Koordinatoren der einzelnen Fahrzeugprojekte bei Mercedes-Benz Cars sowie der Direktionsleitung der IT for Engineering » Ablösung des bisherigen MR-Tools » Darstellung des aktuellen Status bezüglich des Technologieeinsatzes in der Digitalen Baubarkeit für die Direktionsleitung der Pilotbaureihe » Präsentation des aktuellen Status bezüglich dem Entwicklungsvorstand Mercedes-Benz Cars » Entwicklungsweite Einführung von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit bei Mercedes-Benz Cars
17	Internalisierung	» Baureihenweiter Einsatz von MR gesteuert durch die Baubarkeitskoordinatoren der einzelnen Entwicklungsprojekte, unterstützt durch die CAX-Sprecher
18	Sozialisierung	» Gemeinsamer Austausch über aktuelle Einsätze, Erfahrungen sowie neu identifizierte, potentielle Anwendungsfelder im Rahmen einer gemeinsamen Regelkommunikation der Baubarkeitskoordinatoren

Nr.	Phase	Inhalt
19	Externalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Dokumentation sowie Bewertung der einzelnen Einsätze mittels Befragungsbögen » Dokumentation von Referenzprozessen für die Einbindung in die laufenden Entwicklungsprozesse » Gemeinsame Dokumentation offener Potentiale und Anwendungsfelder (Projektteam, Baubarkeitskoordinatoren sowie Vertreter der relevanten Entwicklungsbereiche)
20	Kombination	<ul style="list-style-type: none"> » Baureihenübergreifende Dokumentation des aktuellen Status bezüglich des Technologieeinsatzes bei Mercedes-Benz Cars » Regelmäßige Vorstellung des Status in diversen entwicklungsübergreifenden Gremien » Übertragung der Ergebnisse des Technologieeinsatzes bei einzelnen Baureihen auf die Gesamtheit der Entwicklung
21	Internalisierung	<ul style="list-style-type: none"> » Einsatz von MR in der Digitalen Baubarkeit der einzelnen Baureihen auf Basis der bisherigen Erkenntnisse » Gemeinsame Erschließung neuer Anwendungsfelder durch abgestimmte Pilotprojekte

Tabelle 4.2: Wissenstransfer im Zuge der MR-Einführung

Wiederholung der Schritte 18 bis 21

Der dargestellte schrittweise Aufbau und Transfer von Wissen beschränkt sich dabei nicht auf einen kleinen Personenkreis innerhalb der Organisation. Mit dem Verlauf der wiederholten Wissenswandlung erfolgt eine Ausweitung des vorhandenen Wissens auf weitere ontologische Ebenen innerhalb des Unternehmens sowie deren Einbeziehung in die Generierung neuen Wissens. Dieser Zusammenhang wird anhand des ontologischen Modells in Abbildung 4.15 verdeutlicht.

Anhand des ontologischen Modells lässt sich die Ausweitung der Aktivitäten sowie der Wissensgenerierung und -wandlung bezüglich des Einsatzes von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit erkennen.

Ausgehend von einem Projektteam umfassen die Aktivitäten am Ende sämtliche mit der Digitalen Baubarkeit betrauten Experten und Anwender innerhalb von Mercedes-Benz Cars. Die Einführung der Technologie beschränkt sich dabei allerdings nicht auf die Digitale Baubarkeit. Der Prozess der Digitalen Baubarkeit war nicht zuletzt aufgrund seiner zahlreichen Schnittstellen zu weiteren Entwicklungsprozessen als Referenz ausgewählt worden, so dass ein Wissenstransfer in weitere Anwendungen mit geringem Aufwand erfolgen konnte. Dabei wurde bei der Einführung von MR in weitere Anwendungsfelder analog der Einführung bei der Digitalen Baubarkeit nach folgendem Bottom-Up Ansatz vorgegangen:

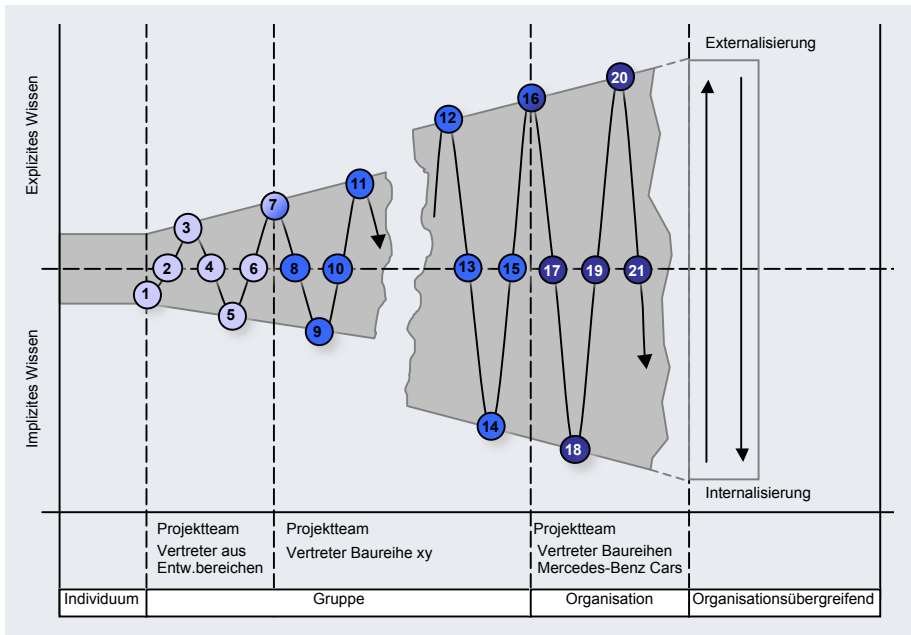


Abbildung 4.15: Ontologisches Modell der MR-Einführung nach [NOT95, S. 57]

- » Erfassung des Nutzungskontextes
- » Konzeption eines möglichen MR-Ansatzes
- » Überzeugung der Anwender
- » Überzeugung des Managements
- » Aufnahme von MR als neue Entwicklungsmethode

Im Anhang wird in diesem Zusammenhang exemplarisch das Vorgehen bei der Konzeption eines möglichen MR-Ansatzes beschrieben.

Der Prozess des Wissenstransfers selbst wird im Folgenden anhand des „Ba“-Konzeptes nach Nonaka und Toyama [NT003, S. 6 ff.] dargestellt.

4.3.2 Wissenstransfer sowie Initiierung von Folgeinnovationen

Wissensschaffende Prozesse sind kontextspezifisch in Bezug auf Zeit und Ort. Wissen entsteht nicht im luftleeren Raum, sondern benötigt einen Ort, an dem Informationen durch Interpretation eine Bedeutung erhalten um zu Wissen zu werden. Nonaka und Toyama bezeichnen diesen Kontext, aus dem heraus Wissen entsteht beziehungsweise eine neue Bedeutung erhält - in Anlehnung an die Arbeiten des japanischen Philosophen Kitaro Nishida - als „Ba“, was sinngemäß mit „Ort“ übersetzt werden kann. Dennoch sollte dieser „Ba“ nicht als physikalischer Raum sondern vielmehr als vielfältiger Interaktionsmechanismus

aufgefasst werden, der die Tendenzen für bestimmte Interaktionen erklärt, die an einem definierten Ort zu einer definierter Zeit auftreten und aus denen heraus neues Wissen resultiert.

In diesen „Ba“ bringen die Teilnehmer oder Mitglieder ihren individuellen Kontext, ihren persönlichen Hintergrund mit ein, teilen diesen mit anderen und schaffen durch die Interaktion mit den weiteren Teilnehmern sowie dem Umfeld des „Ba“ neue Bedeutungen. Dadurch verändert sich wiederum der gemeinsame Kontext innerhalb des „Ba“, so dass dieser einem steten Wandel unterzogen ist. Ein „Ba“ kann dabei zwischen einzelnen Individuen - innerhalb einer Arbeitsgruppe, innerhalb von Projektteams, Informationsrunden etc. - entstehen, beziehungsweise gezielt geschaffen werden. Ein optimaler „Ba“ ermöglicht es den Teilnehmern, sich von der Tagesroutine zu lösen, ihr persönliches Wissen zu externalisieren und vorgegebene Phänomene gleichzeitig aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten. Zusammengefasst ermöglicht der „Ba“ einen dialektischen Prozess zwischen den Akteuren. Der „Ba“ stellt dabei Energie, Beschaffenheit und den Ort zur Verfügung um die individuelle Wissenswandlung zu vollbringen und dabei entlang der bereits dargestellten Wissensspirale zu wandern. Er stellt somit den Kontext dar, innerhalb dessen eine erfolgreiche Wissenswandlung entlang der Wissensspirale möglich wird [NT003, S. 6 ff.]. Abbildung 4.16 zeigt eine schematische Darstellung des „Ba“-Konzeptes.

Innerhalb eines Unternehmens existiert eine Vielzahl an „Ba's“ die untereinander in Wechselwirkung stehen und als ein

organisches System aufgefasst werden können. Einzelne „Ba's" können sich dabei über Unternehmensgrenzen hinaus erstrecken und so zu unternehmensübergreifenden Wissensprozessen führen.

Mit Hilfe des Konzeptes des „Ba" lässt sich anschaulich der gewählte Ansatz der Technologieimplementierung sowie der begleitenden Wissensgenerierung und des Wissenstransfers bei der Einführung von MR darstellen. Abbildung 4.17 zeigt (in Auszügen) das organische Geflecht der zusammenhängenden „Ba's" bei der Einführung von Mixed Reality.

Die initiale Wissensgemeinschaft innerhalb des Ausgangs-„Ba" stellt das interdisziplinäre Projektteam dar, welches sich der Implementierung von MR in den Entwicklungsprozessen angenommen hat. Über den ausgewählten Referenzprozess, der Digitalen Baubarkeit der Pilotbaureihe,

fand zunächst ein Wissenstransfer und im Anschluss die Generierung neuen Wissens auf dem Gebiet des Technologieeinsatzes innerhalb dieses Anwendungsfeldes statt. Im weiteren Verlauf erfolgte eine schrittweise Erweiterung der Anwenderkreise und somit eine Ausdehnung auf weitere „Ba's" innerhalb des Unternehmens.

Wird zunächst die initiale Baureihe betrachtet, so wurden durch die Aufnahme von Mixed Reality als Werkzeug der Digitalen Baubarkeit die Wissensprozesse zunächst auf die Anwender der Digitalen Baubarkeit innerhalb dieser Baureihe erweitert. Aufgrund des stark interdisziplinären Charakters der Digitalen Baubarkeit konnte im Anschluss eine effiziente Streuung in benachbarte Anwendungen sowie Disziplinen erfolgen. Ein entscheidender Schritt hierbei war die Einbeziehung der Baubarkeit Hardware (Baubarkeits-Absicherungen am PMU) als weiteres Mixed

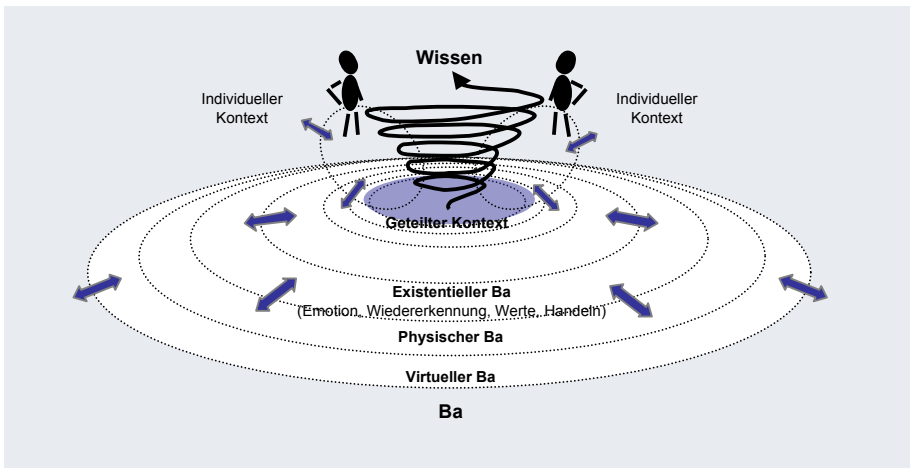


Abbildung 4.16: Schematische Darstellung des „Ba"-Konzeptes [NT003, S.7]

Reality Anwendungsfeld. Innerhalb dieses Anwendungsfeldes sowie darüber hinaus in dessen weiterem Umfeld ergaben sich zahlreiche neue Einsatzfelder für MR. Mit diesen Schritten war bereits eine große Anzahl an „Ba's" innerhalb der Organisation Mercedes-Benz Cars in die Wissensprozesse bezüglich des Einsatzes von MR in der Entwicklung involviert.

Parallel zu diesen Aktivitäten fand mittels eines baureihenübergreifenden „Ba's" der Baubarkeitskoordinatoren (Digitale Baubarkeit) – in Form einer Regelkommunikation – der Wissenstransfer sowie der Anstoß neuer Wissensprozesse innerhalb der benachbarten Baureihen statt. Über ein gemeinsames Gremium mit allen CAx-Anwendern bei Mercedes-Benz Cars

erfolgte anschließend die Erweiterung auf „Ba's" außerhalb der Digitalen Baubarkeit. Mit dieser gewählten Vorgehensweise, einerseits einer schrittweisen, divisionsinternen (baureiheninternen) Implementierung, andererseits einer divisionsübergreifenden Implementierung, konnte innerhalb eines kurzen Zeitfensters von weniger als drei Jahren eine breite Anwenderschicht innerhalb Mercedes-Benz Cars erreicht werden.

Die Grenzen des „Ba's" innerhalb dessen sich das Projektteam Mixed Reality bewegt sind dabei in Abbildung 4.17 in deren Anfangszustand dargestellt. Analog der fortschreitenden Implementierung erweitern sich diese Grenzen. Zudem entstehen durch den Einsatz von MR in neuen Anwendungsfeldern ebenfalls neue Wissensgemeinschaften

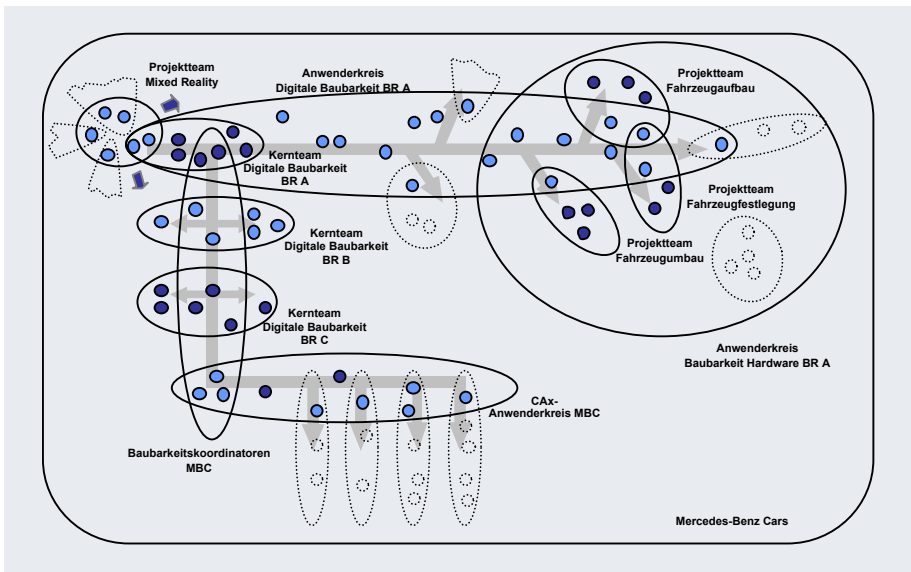


Abbildung 4.17: Organische „Ba" – Anordnung für die Digitale Baubarkeit

innerhalb eines neuen „Ba's", welcher wiederum eine gemeinsame Schnittmenge mit dem „Ba" des Projektteams aufweist.

Das vorgelegte Beispiel der Einführung von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit greift Merkmale eines weiteren Fallbeispiels der Einführung eines IT-Werkzeugs bei Mercedes-Benz Cars auf und erweitert dies. Im Rahmen eines Buchbeitrags untersuchten dabei Longhitano und Testa die Rolle eines IT-Werkzeuges innerhalb einer Organisation am Beispiel der Einführung eines neuen Werkzeugs in den Prozess der digitalen Vorrichtungsabnahme. Sie konzentrieren sich dabei auf neue interne Prozesse der Zusammenarbeit, welche durch die Einführung des neuen IT-Werkzeugs hervorgerufen wurden [LOT06, S. 227-253]. Durch die Einführung von Mixed Reality wird analog der damaligen Einführung eines Simulationstools ein gemeinsamer Raum über verschiedenste Organisationseinheiten geschaffen, welcher sich positiv auf die Zusammenarbeit sowie die Innovationskraft innerhalb der Organisation auswirkt. Im Fall der MR-Einführung wurde dieser Raum mit Hilfe des „Ba"-Konzeptes beschrieben.

Trotz der Gemeinsamkeiten wäre es nicht richtig, die Erkenntnisse aus diesen spezifischen Studien zu generalisieren, hierfür bedarf es umfassenderer Ansätze. Beide Studien wurden dahingegen mit der Intension durchgeführt, die spezifischen Prozesse zu erfassen und zu verstehen. In beiden Fällen geschah dies mit dem Ziel ein Phänomen zu verstehen und greifbar zu machen, welches bislang noch nicht umfassend untersucht wurde: Die Rolle, Wirkung und das Zusammenspiel

von Innovations- und Wissensprozessen in Unternehmen. In diesem Fall ist die gewählte qualitative Erforschung der quantitativen Vorgehensweise vorzuziehen.

4.3.3 Konsequenzen aus der Einführung von MR

Im Rahmen von Kapitel 4 wird die interdisziplinäre Verankerung von Mixed Reality innerhalb der Entwicklung bei Mercedes-Benz Cars beschrieben. Dabei gilt es die Einführung dieser Technologie nicht lediglich aus der Perspektive der Einführung eines neuen IT-Werkzeuges in Form einer MR-Software zu betrachten.

Ausgehend von einzelnen, punktuellen Einsätzen etablierte sich MR zunehmend bei Absicherungen der einzelnen Fahrzeugprojekte, so dass mit der Zeit neben den punktuellen Einsätzen ein systematischer Einsatz von MR resultierte. Das Einsatzspektrum umfasst somit:

- » den bedarfsgesteuerten Einsatz sowie
- » den langfristig terminierten Einsatz abgeleitet von den Meilensteinen des Produktentwicklungsprozesses

Während bei dem bedarfsgesteuerten Einsatz die Technologie auf Abfrage zum Einsatz kommt – beispielweise im Sinne einer Problempunktverfolgung oder Ursachenforschung – lassen sich die langfristig terminierten Einsätze anhand der Meilensteine sehr frühzeitig aus dem Prozessmasterplans eines Entwicklungsprojektes ableiten.

Mit der breitgefächerten Durchdringung von MR innerhalb der Entwicklung gewann ein weiterer Punkt an Bedeutung. Der Fokus lag fortan nicht länger auf der Technologie selbst, sondern dem Resultat deren Anwendung. Durch die Kombination verschiedenster Umfänge aus dem DMU mit Umfängen aus dem PMU stehen der Entwicklung nunmehr hybride Prototypen zur Verfügung, welche sich nach Belieben konfigurieren lassen. Diese hybriden Prototypen beschränken sich dabei nicht auf einzelne Teilbereiche innerhalb der Entwicklung sondern erstrecken sich, aufgrund des breiten Einsatzspektrums, analog DMU und PMU von ersten Konzeptdarstellungen über Teilmfänge bis hin zu den Serienfahrzeugen. Das Ergebnis dieses systematischen Technologieeinsatzes ist die Erschaffung einer vollkommen neuen Entwicklungsplattform, welche im folgenden Kapitel 5 erläutert wird.

4.4 Zusammenfassung

- » Die Implementierung in die Produktentwicklung erfolgt in drei Stufen: Evaluierung / Pilotierung / Verankerung
 - » Die Digitale Baubarkeit wurde als repräsentativer Referenzprozess identifiziert
 - » Das konfigurierte MR-System arbeitet mit einer video-basierten, perspektivenentkoppelten Erfassung des realen Umfelds wobei das Tracking über einen mechanischen Messarm sichergestellt wird.
 - » Aus der Evaluierungsphase kristallisieren sich zwei übergeordnete Anwendungsarten heraus: Die Überlagerung (Soll/Ist) sowie die Ergänzung von DMU-Daten am PMU
 - » Die Einführung von MR bedeutet keine Ablösung bereits bewährter Werkzeuge, sondern erweitert vielmehr das bis Absicherungsspektrum
 - » Anhand der Wissensspirale sowie des ontologischen Modells lässt sich die Ausweitung der Aktivitäten sowie der Wissensgenerierung und -wandlung bezüglich des Einsatzes von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit erkennen.
 - » Der Wissenstransfer im Zuge der Implementierung von Mixed Reality lässt sich anhand des „Ba“-Konzeptes darstellen
 - » Neben dem bedarfsgesteuerten Einsatz etablierten sich langfristig terminierbare Einsätze
- » Mixed Reality (MR) steht für eine Kombination der realen mit der virtuellen Welt
 - » Bezogen auf die Produktentwicklung lässt Mixed Reality durch eine mögliche Kombination der Hauptentwicklungsplattformen DMU und PMU positive Veränderungen in der gesamten Prozesslandschaft erwarten
 - » Die Bereitstellung einer gemeinsamen Arbeitsbasis für die Fachkräfte der virtuellen sowie der hardwareseitigen Entwicklung verspricht eine positive Beeinflussung der Zusammenarbeit

5.0 Konzeption einer hybriden Entwicklungsplattform: Der Automotive Mixed Mock-Up

Aus der im Rahmen dieser Dissertation vorangetriebenen Einführung und anschließendem systematischen und kontinuierlichen Einsatz von Mixed Reality, begleitend über den vollständigen Entwicklungsprozess, resultiert eine neue Entwicklungsumgebung, welche den Charakter einer eigenständigen Plattform neben PMU und DMU aufweist. Dieser Plattform – in Analogie zu ihren Partner sowie der zu Grunde liegenden Technologie als Automotive Mixed Mock-Up bezeichnet – widmet sich dieses Kapitel.

5.1 Definition und Charakteristik

Der Automotive Mixed Mock-Up (AMMU, kurz MMU) ist eine hybride Entwicklungsplattform, welche sich:

- » der Werkzeuge und der Datenbasis des DMU bedient
- » und diese mit Methoden und verfügbaren Umfängen des PMU kombiniert.

Der Mixed Mock-Up stellt dabei eine direkte Schnittstelle zwischen PMU und DMU dar und erweitert deren Funktionsspektrum. Die Schnittstelle selbst wird dabei realisiert durch:

- » die Technologie Mixed Reality
- » sowie die Methodiken des Reverse Engineerings.

Eine konkrete Instanz der Entwicklungsplattform resultiert folglich im Wesentlichen aus:

- » den gewählten Inhalten des Digital Mock-Ups (DMU)
- » den gewählten Inhalten des Physical Mock-Ups (PMU)

sowie

- » der technologischen Umsetzung des MR-Ansatzes
- » und der Ausprägung des gewählten Reverse Engineering Ansatzes [GLK10].

Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Analog zu DMU und PMU (siehe Kapitel 3.2.1) stellt der MMU ganzheitliche Repräsentanten des zu entwickelnden Produktes dar. Durch die beliebige Kombination von Elementen des DMU und Elementen des PMU eines Entwicklungsprojektes erzeugt er hybride Darstellungen an der Grenze zwischen DMU und PMU und ermöglicht auf

diese Weise neue Ansätze bei der Absicherung aktueller Entwicklungsthematiken.

Anmerkung:

Während sich diese Arbeit hauptsächlich mit der Kombination geometrischer Elemente sowie deren Interaktion befasst, ist die hybride Plattform Mixed Mock-Up offen für jede Kombinatorik der realen mit der virtuellen Welt. Darunter fallen beispielsweise die Überlagerung von Berechnungs- oder Simulationsergebnissen aus der virtuellen Produktabsicherung über den realen PMU [siehe beispielsweise REJ02, BEN04 S.21-25].

Der Mixed Mock-Up repräsentiert eine direkte Schnittstelle zwischen DMU und PMU. Diese besondere Stellung ermöglicht:

- » einen bidirektionalen Informations- und Wissenstransfer zwischen DMU und PMU
- » die Bereitstellung einer eindeutigen Arbeits- und Diskussionsgrundlage

an der Schnittstelle zwischen PMU und DMU

- » eine Hardwareintegration bereits in frühen Entwicklungsphasen
- » eine unmittelbare Integration des DMU in Hardwarephasen
- » eine erhöhte Aussagekraft verfügbarer PMU-Umfänge

Ziele des Einsatzes des Mixed Mock-Ups sind:

- » eine Steigerung der Produktqualität
- » eine Steigerung der Prozessqualität
- » eine Reduktion der Entwicklungs- sowie Produktionskosten
- » eine Reduktion des erforderlichen Zeitbedarfs für Entwicklung und Produktion
- » sowie die Schaffung einer gemeinschaftlichen Arbeitsumgebung zur Förderung der Zusammenarbeit und damit Stärkung der Innovationskraft.

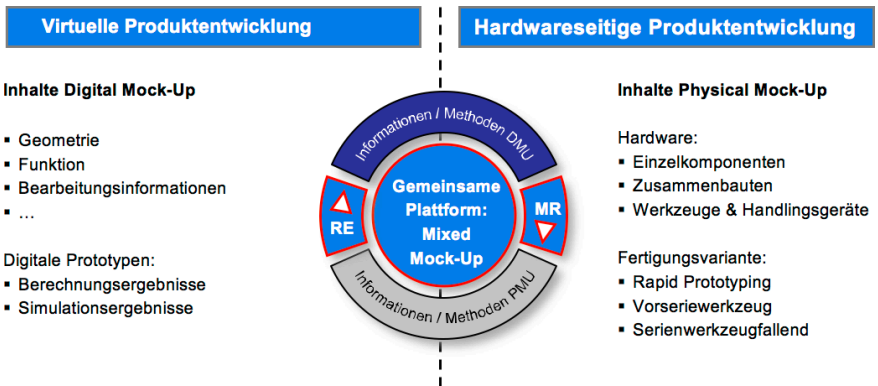


Abbildung 5.1: Schnittstellenfunktion des MMU

5.2 Die Säulen des Mixed Mock-Up

Das Fundament des Mixed Mock-Ups wird wie bereits zuvor erwähnt von zwei Säulen getragen, welche sich aus der Schnittstellenfunktion des MMU ergeben:

- » Mixed Reality (MR)
- » sowie Reverse-Engineering (RE)

Wie bereits in Abbildung 5.1 dargestellt, wird mittels MR der Informations- und Wissenstransfer aus dem DMU an den PMU realisiert. Mittels RE erfolgt der umgekehrt Transfer von dem PMU in den DMU. Soll das Leitungsspektrum des Mixed Mock-Ups dargestellt werden, so resultiert dies aus dem Leistungsspektrum der MR-Software, dem Leistungsspektrum der RE-Software sowie der jeweils zu Grunde liegenden Hardwarebasis, dargestellt in Abbildung 5.2. Optimaler Weise teilen sich sowohl die MR- als auch die RE-Software dieselbe Hardwarebasis, es ergibt sich auf diesem Wege ein einheitliches Gesamtsystem. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der (partiellen) Integration von

Reverse-Engineering-Elementen in den Leistungsumfang der MR-Software.

Im Folgenden sollen die Säulen des Mixed Mock-Ups näher betrachtet werden.

5.2.1 Die Mixed-Reality Software

Abbildung 5.3 zeigt den schematischen Aufbau einer MR-Software auf Basis eines bei Mercedes-Benz Cars eingesetzten Systems. Die einzelnen Module erfüllen dabei folgende Funktion:

Datenschnittstellen

Für eine nahtlose Einbettung des Mixed Mock-Ups in die Entwicklungsprozesse und -methoden sind Schnittstellen für den Import und Export kompatibler Datenformate wie beispielsweise dem JT-Format erforderlich. Neben der Datenversorgung aus dem DMU sind Schnittstellen zur Einbettung des Videobildes der Kamera sowie zur Übernahme der erforderlichen Positionsinformationen aus dem Trackingsystem

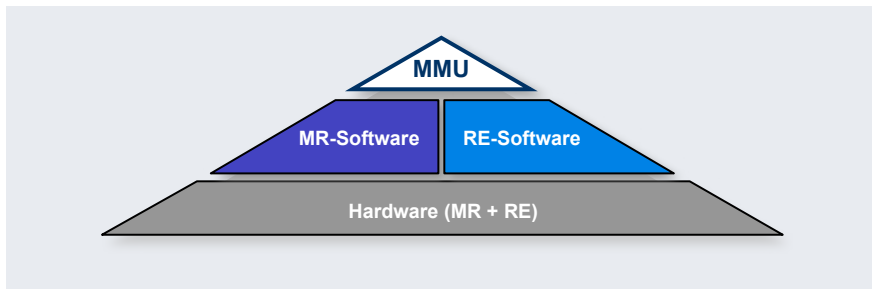


Abbildung 5.2: Die Säulen des Mixed Mock-Up

notwendig. Etwas abgesetzt ist die Schnittstelle zur Anbindung eines Reverse Engineering Systems. Hier gilt es zwischen einer vollständigen Einbettung einer RE-Software inklusive zugehörigem Hardware-System, einem Zusammenspiel sowie einer kompletten Trennung zwischen MR und RE abzuwägen. Bei der im Rahmen dieser Dissertation konzipierten MR-Software wurde ein Zusammenspiel gewählt, bei dem einfache Messfunktionalitäten in die MR-Software integriert wurden, wohingegen für umfangreichere Reverse Engineering Aktivitäten auf eine eigenständige Software zurückgegriffen wird.

Datenmanagement

Die importierten Daten werden innerhalb des Datenmanagements verwaltet. Das Datenmanagement steuert den Zugriff auf die Daten sowie die Möglichkeiten der Dateninteraktion oder Datenmanipulation. Beispiele für die Ausprägung bei der Arbeit mit Geometriedaten sind:

Dateninteraktion

- » Selektieren von Elementen im Strukturbaum
- » Umbenennen von Elementen
- » Kopieren und Gruppieren von Elementen

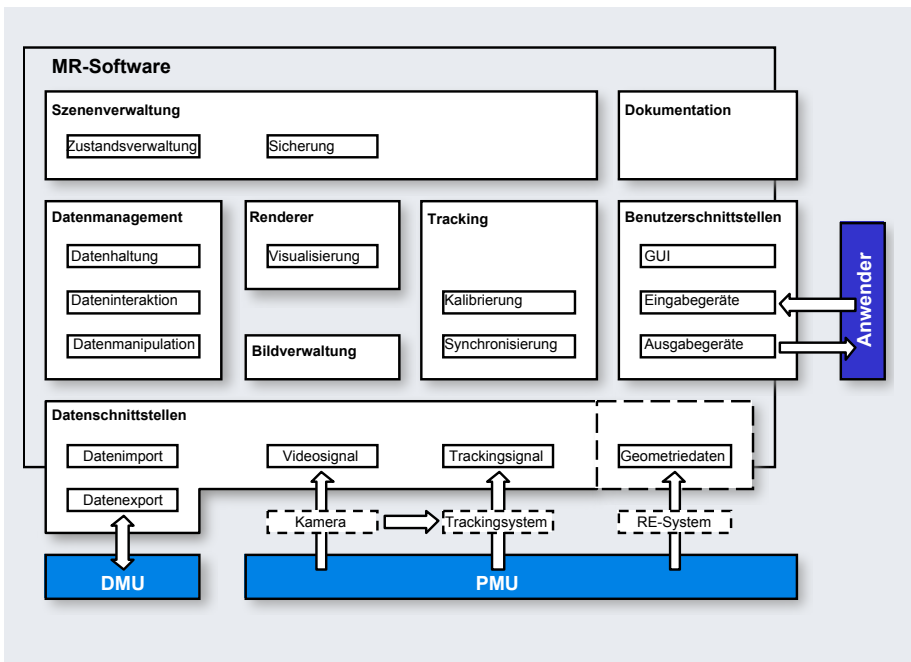


Abbildung 5.3: Schematischer Aufbau der MR-Software

- » Distanzmessung zwischen Elementen
- » Kollisionsbetrachtungen zwischen Elementen
- »

Datenmanipulation

- » Manipulation des Shaders (Texturen, Umgebungen, Reflektionen,..).
- » Anpassung der Darstellung von Geometrieobjekten (Vollvolumen, Drahtgitter, Transparent)
- » Transformation, Rotation und Skalierung von Geometrieobjekten
- » Erzeugung von Schnitten (2D-Schnitt, Vollschnitt, Segmentschnitt)
- » ...

Bildverwaltung

Da bei einer MR-Anwendung nicht von konstanten Beleuchtungsverhältnissen ausgegangen werden kann, sollte eine Anpassung der Parameter des Videobildes auch während eines Einsatzes aus der MR-Software heraus möglich sein. Diese Parameter sind beispielsweise die Shutter-Einstellungen, sowie Helligkeit und Kontrast.

Tracking

Für eine optimale Kombination der realen mit der virtuellen Welt sind innerhalb des Tracking zwei wesentliche Faktoren relevant: Einerseits die eindeutige Kalibrierung der Kamera zu der Hardware, andererseits eine reibungslose Synchronisierung zwischen Videobild und überlagerten DMU-Daten.
...

Kalibrierung

Hierfür sind bei der in Kapitel 4.2.1.2 vorgestellten Systemkonfiguration vier Kalibrierungsschritte erforderlich:

- » eine interne Kalibrierung der Kamera zur Korrektur der objektivbedingten Verzerrungen des aufgenommenen Bildes
- » eine Kalibrierung der Messsonde zur Messsondenaufnahme
- » eine Kalibrierung der Kamera in Bezug auf die Messsonde
- » eine Kalibrierung des Trackingsystems zur Hardware

Die einzelnen Kalibrierungsschritte sind in Abbildung 5.4 dargestellt.

Synchronisierung

Die Berechnung der virtuellen Bildanteile in Abhängigkeit der jeweiligen Kameraperspektive benötigt je nach Umfang des virtuellen Anteils eine gewisse Zeitspanne. Würden Kamerabild und virtuellen Bildinhalte nicht synchronisiert, würden folglich die virtuellen Bildinhalte stets mit einer zeitlichen Verzögerung dem Videobild folgen. Bei statischen Aufnahmen ist dieser Effekt ohne Relevanz, befindet sich die Kamera jedoch in einer Bewegung, entsteht der optische Eindruck von Relativbewegungen zwischen realer und virtueller Welt [TOE10, S.83; siehe Kapitel 5.3.2.2].

Renderer

Der Renderer dient der Berechnung der Bildansichten der virtuellen Bildanteile. Dabei wird die Perspektive innerhalb des Renderers auf Basis der übermittelten Daten der Kameraposition kontinuierlich angepasst.

Benutzerschnittstellen

Die Benutzerschnittstellen dienen der Interaktion zwischen der MR-Software und dem Anwender. Wesentliches Element für eine anwenderfreundliche Bedienung ist dabei eine anwendergerechte Benutzeroberfläche, bei Bedarf mit hinterlegten Anwender- und / oder Anwendungsprofilen.

Szenenverwaltung

Die Szenenverwaltung beschäftigt sich mit allen Einstellungen und Änderungen, welche innerhalb der MR-Software bei einem Einsatz vorgenommen werden. Innerhalb einer Szene sind beispielsweise die Kalibrierungsinformationen sowie der Szenengraph

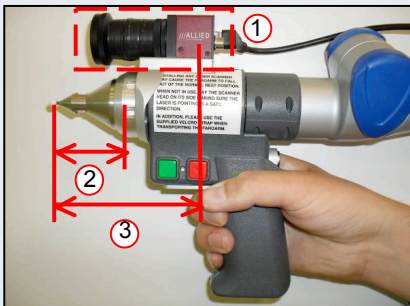
mit den importierten DMU-Daten hinterlegt.

Dokumentation

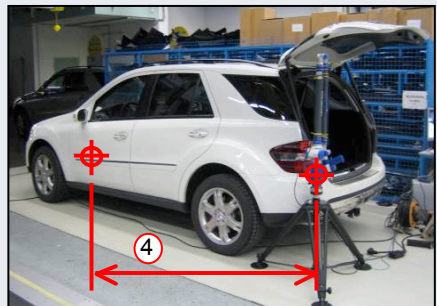
Die Dokumentation eines Einsatzes ist ein entscheidender Aufsattpunkt für alle nachgelagerten Aktivitäten. Innerhalb einer Software bieten sich die Aufnahme von „Screenshots“ – also Abzüge des Reendererfensters innerhalb der MR-Software – sowie der Mitschnitt von Videos an. Die Beschreibung einer Erweiterung dieses konventionellen Spektrums folgt in Kapitel 5.2.1.2.

5.2.1.1 Auswahl einer geeigneten Softwarebasis

Als eine der beiden zentralen Säule des Mixed Mock-Ups ist das Leistungsspektrum der MR-Software entscheidend für die Aussagekraft der einzelnen Einsätze. Sowohl auf dem Markt erhältliche als auch intern konzipierte MR-Werkzeuge befinden



- 1) Interne Kamerakalibrierung
- 2) Kalibrierung der Messspitze zur Messsondenaufnahme
- 3) Kalibrierung von Kameraposition zu Messsondenspitze



- 4) Kalibrierung von lokalem Messarmkoordinatensystem zu Fahrzeugkoordinatensystem

Abbildung 5.4: Kalibrierungsschritte

sich aktuell in einer Phase permanenter Weiterentwicklung.

Werkzeuge entworfen. Bei der Konzeption wurde auf einen allgemeinen Ansatz Wert gelegt, durch den ein kontinuierlicher und konsistenter Abgleich mit neuen Versionsständen / Tools möglich wird. Ziele des entworfenen Schemas sind:

- » die Ermittlung des individuellen Leistungsvermögens
- » die Gegenüberstellung alternativer Werkzeuge sowie
- » die anwendungsabhängige Identifikation des geeignetsten Werkzeugs

Allgemeine Qualitätsanforderungen				Tool A		Tool B		Tool C	
Kategorie	Gewichtung	Bewertungskriterien	Gewichtung	Bewertung	Σ	Bewertung	Σ	Bewertung	Σ
Funktionalität		Angemessenheit							
		Richtigkeit							
		Interoperabilität							
		Sicherheit							
		Ordnungsmäßigkeit							
Zuverlässigkeit		Reife							
		Fehlertoleranz							
		Wiederherstellbarkeit							
		Konformität							
Benutzbarkeit		Verständlichkeit							
		Erlernbarkeit							
		Bedienbarkeit							
		Attraktivität							
Effizienz		Zeitverhalten							
		Verbrauchsverhalten							
		Konformität							
Änderbarkeit		Analysierbarkeit							
		Modifizierbarkeit							
		Stabilität							
		Prüfbarkeit							
		Konformität							
Übertragbarkeit		Anpassbarkeit							
		Installierbarkeit							
		Koexistenz							
		Austauschbarkeit							
		Konformität							
				Gesamt	<input type="text"/>	Gesamt	<input type="text"/>	Gesamt	<input type="text"/>

Tabelle 5.1: Allgemeines Bewertungsschema nach ISO/IEC 9126-2:2003 [ISO26]

Ansatz der **ersten Beurteilungsstufe** ist die Bewertung der Softwarequalität anhand der allgemeinen Qualitätsanforderungen nach ISO/IEC 9126-2:2003-07 [ISO26, S. 14 ff.]. Das Bewertungsschema ist in Tabelle 5.1 abgebildet.

In der **zweiten Beurteilungsstufe** erfolgt eine Bewertung der Software hinsichtlich des **Leistungsspektrums in einem spezifischen Anwendungsfeld**, beispielsweise im Rahmen der Digitalen Baubarkeit. Das Leistungsspektrum wird dabei einerseits auf Basis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN

EN ISO 9241-11:1998 [DIN98, S.4 ff.] sowie andererseits auf Basis der Benutzbarkeit nach ISO/IEC 9126-2:2003 [ISO26, S.33] ermittelt. Die Bewertungsgrundlage der Gebrauchstauglichkeit ist in Abbildung 5.5 dargestellt. Die Bewertung der Benutzbarkeit erfolgte auf Basis der Kriterien Erlernbarkeit, Verständlichkeit und Bedienbarkeit.

Abbildung 5.6 zeigt in Auszügen das ausgearbeitete Bewertungsschema für die zweite Beurteilungsstufe. Die Vorgehensweise bei der Bewertung wird im anschließenden Text erklärt.

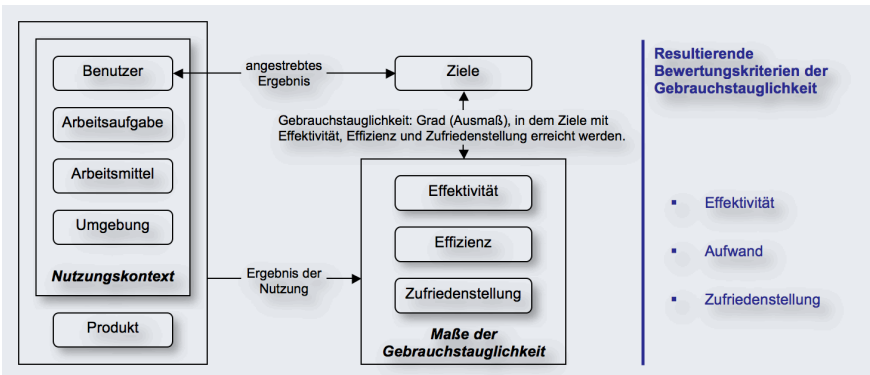


Abbildung 5.5: Anwendungsrahmen für die Gebrauchstauglichkeit nach [DIN98]

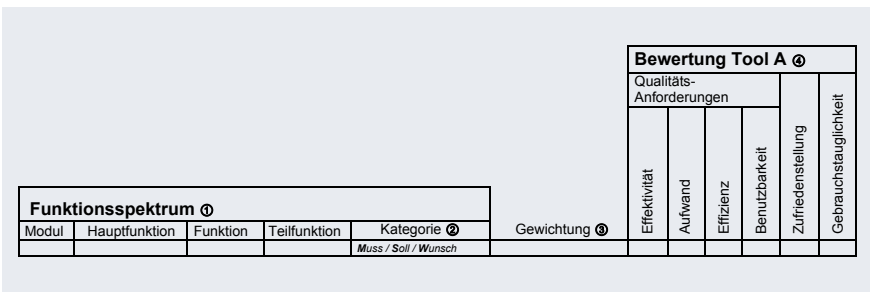


Abbildung 5.6: Nutzungskontextbezogenes Bewertungsschema

Die Bewertung erfolgte dabei anhand einer Punkteskala von 0 (unbefriedigend) bis 4 Punkten (sehr gut) nach VDI Richtlinie 2225 – Blatt 3 [VDI22, S.4].

Die vier Schritte der Bewertung – gekennzeichnet in Abbildung 5.6 – sind:

1. Toolunabhängige Beschreibung des erforderlichen Funktionsspektrums für einen Einsatz in dem ausgewählten Nutzungskontext. Hierarchische Gliederung in Module, Hauptfunktionen, Funktionen und Teilfunktionen.
2. Kategorisierung der einzelnen, idealen Teilfunktionen in Muss-, Soll- und Wunschfunktionen
3. Ermittlung der jeweiligen Funktionsrelevanz (Gewichtung) innerhalb des Gesamtspektrums
4. Erfassung des vorhandenen Funktions- sowie Leistungsspektrums der verfügbaren MR-Werkzeuge

Die Beschreibung des erforderlichen Funktionsspektrums für den Einsatz von MR in einem ausgewählten Nutzungskontext enthält idealisierte Funktionen, die sich von den Zielen einer Anwendung ableiten. Innerhalb des zu bewertenden Werkzeugs kann eine dieser idealen Funktionen als Ergebnis der Kombination mehrere Funktionen des Werkzeugs bzw. mehrerer Bearbeitungsschritte mittels verschiedener Funktionen abgebildet werden. Innerhalb des idealen Funktionsspektrums besteht zudem die Möglichkeit einer Klassifizierung nach Muss- / Soll- und Wunschfunktionen, dies

erleichtert eine spätere Gewichtung der einzelnen Bewertungen. Für das Beispiel der Digitalen Baubarkeit erfolgten die Festlegung des idealen Funktionsspektrums sowie die Klassifizierung gemeinsam mit den Baubarkeitskoordinatoren der einzelnen Fahrzeugprojekte bei Mercedes-Benz Cars.

Die Ermittlung der Funktionsrelevanz basiert einerseits auf der gewählten Klassifizierung sowie der Relevanz der Funktion bezüglich der einzelnen Arbeitsaufgaben über die Historie eines Einsatzes. Aus diesen zwei Faktoren errechnet sich der Gewichtungsfaktor der einzelnen Teilfunktionen in Prozent. Die Summe sämtlicher Gewichtungsfaktoren aller Teilfunktionen ergibt folglich 100%.

Wird wiederum das Beispiel des Nutzungskontexts Digitale Baubarkeit angeführt, so existieren dort die Arbeitsschritte Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung einer Digitalen Baubarkeitsabsicherung. Diese Schritte gliedern sich wiederum in einzelne Arbeitsaufgaben. Die Ermittlung der Funktionsrelevanz bezüglich dieser Arbeitsaufgaben erfolgte ebenfalls gemeinsam mit den Baubarkeitskoordinatoren auf Basis einer Gewichtungsmatrix.

Aus den dargestellten ersten drei Arbeitsschritten resultiert eine umfangreiche Bewertungsmatrix. Sie enthält eine Auflistung sämtlicher erforderlichen, idealen Funktionen sowie deren Relevanz. Abbildung 5.6 stellt einen stark vereinfachten Auszug diese Matrix dar. Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit und Benutzbarkeit erfolgt auf der Ebene der Teilfunktionen. Die gewichtete Summe der Ergebnisse der einzelnen Teilfunktionen ergibt die Bewertung

einer Funktion, die gewichtete Summe hier von wiederum die Bewertung einer Hauptfunktion. Aus der gewichteten Summe der jeweiligen Hauptfunktionen resultiert die Bewertung eines Moduls, aus der Summe der gewichteten Bewertungen der einzelnen Module setzt sich schließlich das Gesamtergebnis zusammen.

Sämtliche Bewertungen – sowohl der ersten, als auch der zweiten Beurteilungsstufe – erfolgten anhand der in VDI-Richtlinie 2225 – Blatt 3 [VDI22, S.4] definierten Punkteskala von 0 Punkten (unbefriedigend) bis 4 Punkten (sehr gut). Die Punktevergabe wird dabei jeweils von Urteilsschemata nach Pahl/Beitz [PAB07, S.173] unterstützt.

Beispiel Digitale Baubarkeit

Zu Beginn der Einführung von Mixed Reality in der Digitalen Baubarkeit wurde zunächst ein kommerzielles IT-Werkzeug eingesetzt, mit der stetigen Erweiterung des Anwendungsspektrums nach der Pilotphase kam dieses jedoch an seine Grenzen. Es galt an dieser Stelle nach Alternativen zu suchen und diese mittels des Beurteilungsschemas zu bewerten und einander gegenüberzustellen. Die Bewertung konzentrierte sich am Ende auf zwei Tools: Einerseits eine verbesserten Version der bisherigen Software-Lösung sowie andererseits eine intern entwickelt Lösung. Die konzerninterne Lösung entstammt der Konzernforschung und ist das Ergebnis zahlreicher Forschungsprojekte über die vergangenen Jahre. Die bis dahin durchgeführten MR-Einsätze wurden regelmäßig von der Forschung begleitet, wodurch es möglich wurde, erste Erkenntnisse aus dem praktischen Einsatz unmittelbar in dieses

Tool einfließen zu lassen. Zudem wurden im Rahmen dieser Dissertation für konkrete Anwendungen Spezifikationen erstellt, die ebenfalls bei der Weiterentwicklung dieses Tool berücksichtigt wurden.

Für eine Bewertung des gesamten Leistungsspektrums beider Tools im Umfeld der Digitalen Baubarkeit wurde, wie bereits zuvor erwähnt, der Nutzungskontext gemeinsam mit den Baubarkeitskoordinatoren der einzelnen Fahrzeugprojekte definiert und daraus das zweite Beurteilungsschema abgeleitet. Die Bewertung der einzelnen Funktionen erfolgte bei beiden Tools anhand zuvor definierter Aufgabenstellungen innerhalb eines reproduzierbaren Umfelds.

Aus dem Ergebnis der Bewertung konnten im Vergleich zwischen den beiden Alternativen drei wesentliche Unterschiede festgestellt werden, diese sind:

- » die Ergebnisqualität der einzelnen für das Tracking erforderlichen Kalibrierungsschritte
- » die Umsetzung des Datenmanagements inklusive der Datenschnittstellen sowie
- » die Leistung des eingebetteten Renderers.

Das Ergebnis der zweiten Beurteilungsstufe ist qualitativ in Abbildung 5.7 dargestellt.

Als Resultat der gewonnenen Erkenntnisse aus der zweistufigen Bewertung der alternativen Werkzeuge erfolgte der Wechsel des Werkzeuges in den praktischen Anwendungen.

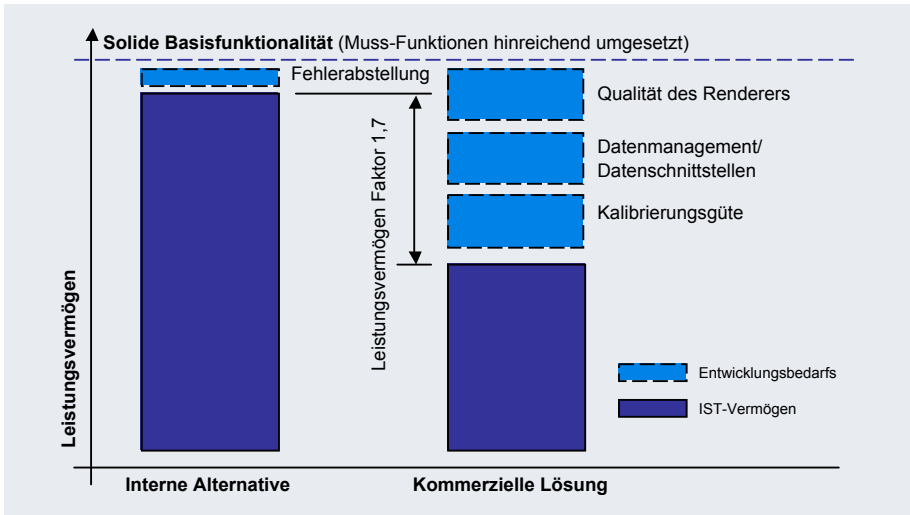


Abbildung 5.7: Toolvergleich für den Nutzungskontext Digitale Baubarkeit

5.2.1.2 Erweiterung der Dokumentation

Die Archivierung durchgeführter Absicherung ist eine wichtige Voraussetzung für alle darauf aufbauenden Entwicklungsaktivitäten. Aus diesem Grund wurden die Dokumentationsmöglichkeiten mittels Mixed Reality im Rahmen dieser Dissertation untersucht und erweitert.

Konventionelle Ansätze der visuellen Dokumentation innerhalb von Software-Werkzeugen sind das Anfertigen von Screenshots oder entsprechender Videomitschnitte. Für MR-Einsätze wurde ergänzend das Konzept interaktiver Screenshots entwickelt und umgesetzt.

Während bei einem konventionellen Screenshot virtuelle und reale Bildinhalte einmalig abgezogen und in diesem Zustand

unveränderlich gespeichert werden, sieht das Konzept der interaktiven Screenshots vor, die Flexibilität innerhalb der virtuellen Bildinhalte aufrecht zu erhalten.

Die Umsetzung

Interaktive Screenshots sind zunächst Screenshots des reinen Kamerabildes (ohne MR-Überlagerung) mit zusätzlich hinterlegten Informationen über die Position und Orientierung der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme.

Diese interaktiven Screenshots können im Nachgang eines Einsatzes mit Hilfe der MR-Software auf jedem CAD-fähigen Rechner am Arbeitsplatz geöffnet werden. Wird zudem die zugehörige Szene geladen, werden die virtuellen Bildinhalte auf Basis der

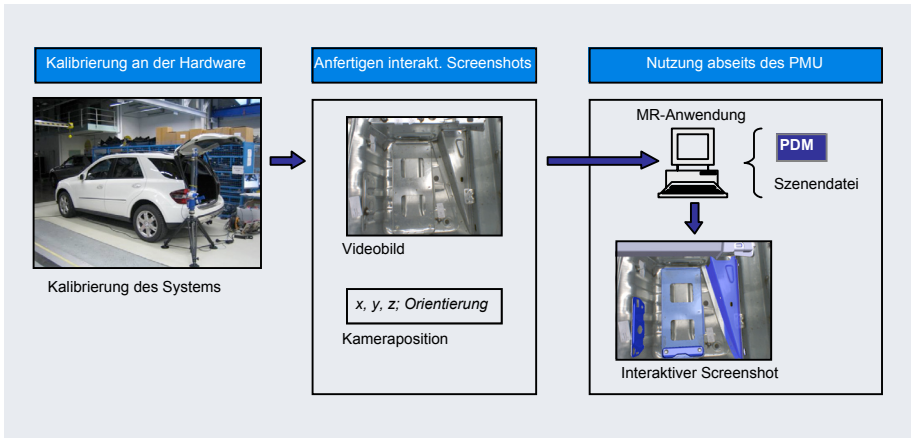


Abbildung 5.8: Arbeit mit interaktiven Screenshots

im Videobild hinterlegten Trackinginformationen passend auf die Kameraperspektive zum Zeitpunkt der Aufnahme ausgerichtet. Die Vorgehensweise bei der Nutzung von interaktiven Screenshots ist schematisch in Abbildung 5.8 dargestellt.

In diesem speziellen Bild-Modus sind nahezu sämtliche Operationen möglich, die bei einem Einsatz zur Verfügung stehen. Ein interaktiver Screenshot entspricht in seiner Funktionalität einer MR-Anwendung mit pausiertem Videobild und Tracking.

In diesem speziellen Bild-Modus sind nahezu sämtliche Operationen möglich, die bei einem Einsatz zur Verfügung stehen. Ein interaktiver Screenshot entspricht in seiner Funktionalität einer MR-Anwendung mit pausiertem Videobild und Tracking.

Anwendung

Die interaktiven Screenshots erweitern das klassische Dokumentationsspektrum

innerhalb einer MR-Anwendung. Konkret ermöglichen sie:

- » die Archivierung definierter PMU-Aufbauzustände

Mittels der kalibrierten MR-Software erfolgt die Aufnahme von definierten Ansichten des PMU. Zu einem späteren Zeitpunkt können so innerhalb der MR-Software PMU-Aufbauzustände abgerufen werden, die real – beispielsweise Aufgrund eines fortgeschrittenen Montagezustands – bereits nicht mehr in dieser Form zur Verfügung stehen.

- » Folgeuntersuchungen abseits des PMU

Interaktive Screenshots ermöglichen die Durchführung von Folgeuntersuchungen abseits des PMU. Wurde beispielsweise während eines Einsatzes eine Kollision zwischen Umfängen des PMU und des DMU festgestellt, so können

im Nachgang die überarbeiteten Bauteile des DMU mittels der interaktiven Screenshots auf die Behebung der Kollision überprüft werden, ohne das eine vollständige Inbetriebnahme des MR-System erforderlich wird. Dies ermöglicht einen hohen Grad an Flexibilität und bedeutet eine Effizienzsteigerung.

- » Präsentationen und Dokumentationen mit erhöhtem Informationsgehalt

Da bei einem interaktiven Screenshot nahezu sämtliche Funktionalitäten der MR-Software erhalten bleiben, ermöglichen sie interaktive Dokumentationen. So ist es beispielsweise möglich, die virtuellen Bildinhalte vollständig auszublenken, um die Sicht auf die dahinter verborgenen PMU-Umfänge frei zu geben. Weitere Möglichkeiten sind beispielsweise die Definition beliebiger Schnitte durch die virtuellen Inhalte oder das hinzuladen weiterer DMU-Daten wie Bauteilvarianten oder alternativer Konzeptvorschläge.

Innerhalb der MR-Software wurden die unterschiedlichen Dokumentationsmöglichkeiten standardmäßig gekoppelt. Bei der Anfertigung eines Screenshots werden somit sowohl ein statischer, als auch ein interaktiver Screenshot abgelegt. Effektiv stehen damit drei verschiedenen Dokumentationsergebnisse gleichzeitig zur Verfügung: Ein identischer Abzug des Bildschirms zum Zeitpunkt der Aufnahme, das reine Videobild zum Zeitpunkt der Aufnahme sowie eine interaktive Aufnahme mit fester Perspektive. Die reine Ansicht des Videobildes erhält man dabei bei Betrachtung der interaktiven Aufnahme (.png-Format) außerhalb der MR-Software.

5.2.2 Das Reverse Engineering

Der Begriff des Reverse Engineering umfasst nach Raja [RFE08, S. 2] den Prozess der Erzeugung eines geometrischen CAD-Modells aus 3-D Punkten, welche durch das Digitalisieren existierender Bauteile oder Produkte gewonnen

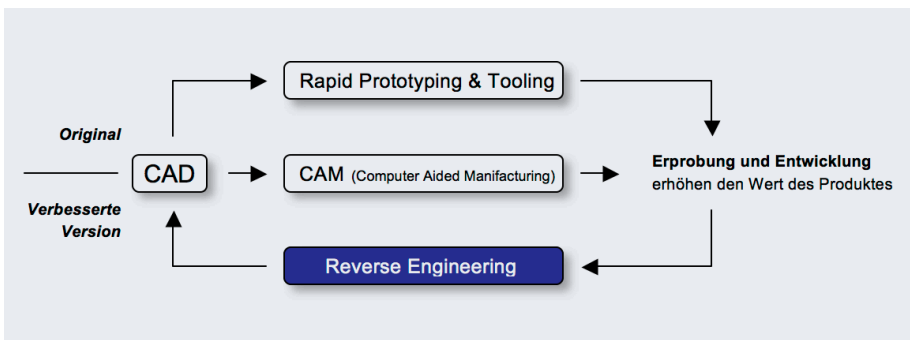


Abbildung 5.9: Reverse Engineering im Produktentwicklungsprozess [RFE08, S. 1]

wurden. Teilweise wird zudem der Prozess der digitalen Erfassung der physikalischen Beschaffenheit eines Objektes als Reverse Engineering bezeichnet. Abbildung 5.9 zeigt die Einordnung des Reverse Engineerings im Produktentwicklungsprozess.

Auf die Bedeutung des Reverse Engineerings für den Einsatz von Mixed Reality wurde bereits in Kapitel 4.2.1.2 eingegangen. Erst der Einsatz des RE ermöglicht die Rückkopplungsschleife aus dem PMU in den DMU. Der Mixed Mock-Up als bidirektionales Schnittstellenelement existiert folglich nur auf Basis beider Technologien, MR und RE. Dieser Zusammenhang ist erneut in Abbildung 5.10 dargestellt.

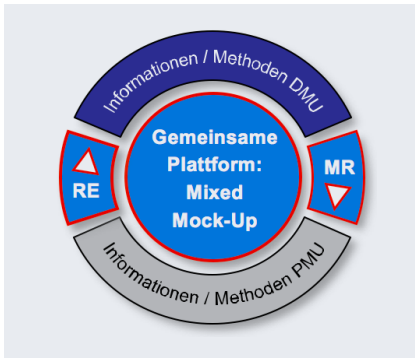


Abbildung 5.10:
Schnittstellenfunktion des Mixed Mock-Ups

Im Rahmen des Einsatzes des vorgestellten MR-Systems existieren zwei Ausprägungen des Reverse Engineering:

- » die Rückführung einfacher Regelgeometrien sowie
- » die Rückführung komplexer Oberflächen

Die Rückführung einfacher Regelgeometrien erfolgt mittels der Messsonde des mechanischen Messarms. Durch Abtasten lassen sich einfache Regelgeometrien wie Punkte, Linien, Kreise oder beispielsweise Ebenen digitalisieren und im Anschluss in das CAD-System einlesen. Eine weitere Option ist die Aufnahme offener oder geschlossener Linienzüge durch Abtasten der Oberfläche.

Gilt es ganze Bauräume oder komplexe Oberflächen zu digitalisieren – beispielsweise für das Packaging – kommt ein Linienscanner zum Einsatz, welcher an Stelle der Kamera auf dem Messarm befestigt werden kann. Abbildung 5.11 zeigt den Aufbau sowie Scanner, Abbildung 5.12 ein Beispiel für die Rückführung eines Bauteils in den DMU.

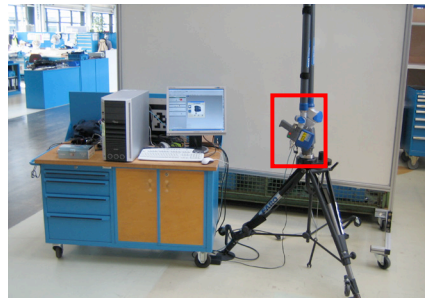


Abbildung 5.11: RE-System mit Linienscanner

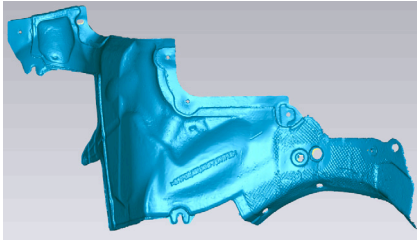


Abbildung 5.12: Digitalisiertes Abschirmblech

Durch die Kombination des Reverse Engineerings mit einem MR-Einsatz wird eine fokussierte Digitalisierung ermöglicht. Mittels MR lassen sich beispielsweise Abweichungen zwischen DMU und PMU visuell sehr schnell identifizieren, diese Bereiche können im Anschluss gezielt erfasst und in das CAD-System eingelesen werden. Da sowohl die MR-Anwendung als auch das RE auf dasselbe Trackingsystem in Form des mechanischen Messarms zurückgreifen, entfällt hierbei die erneute Kalibrierung vor Start des Reverse Engineerings.

Analog der Vorgehensweise für die erste Säule des Mixed Mock-Ups, die MR-Software, wurde hinsichtlich des RE ebenfalls eine Analyse verfügbarer Instrumente sowie Software durchgeführt. Diese beschränkte sich auf kommerziell erhältliche Systeme und berücksichtigte eine Kompatibilität zu dem vorhandenen MR-System. Der vorgestellte Linienscanner erwies sich dabei als das beste Instrument für die Anforderungen der Digitalen Baubarkeit.

5.3 Grenzen des Mixed Mock-Ups

Die Grenzen des Mixed Mock-Ups resultieren aus den Beschränkungen seiner Säulen, der Mixed Reality und dem Reverse Engineering. Diese ergeben sich wiederum aus den Beschränkungen des eingesetzten Hardware-Systems sowie der eingesetzten Software.

Im Folgenden sollen einige Begrenzungen der vorgestellten Systemkonfiguration, wie es unter anderem für die Digitale Baubarkeit zum Einsatz kommt, aufgezeigt werden.

5.3.1 Resultierende Beschränkungen der Hardware

Aus dem Hardware-System resultierenden vier markante Beschränkungen, diese sind:

- » Eine fehlende Tiefenerfassung in Echtzeit

Das beschriebene System ist aufgrund seiner Komponenten nicht in der Lage, Tiefeninformationen der betrachteten Szene in Echtzeit zu generieren. Das mechanische Trackingsystem mit montierter Kamera ist begrenzt auf die Erfassung von singulären Punkten innerhalb des Raumes, bei der Kamera selbst handelt es sich um eine gängige Industriekamera ohne stereoskopische Bilderfassung.

Die Bereitstellung von Tiefeninformationen ist Grundvoraussetzung für nahezu alle MR-Einsätze. In Kapitel 5.3.3 wird beschrieben, mit welchen Möglichkeiten die hier geschilderte Problematik einer

fehlenden Tiefenerfassung von Seiten der Hardware in Echtzeit umgangen werden kann.

» Die Genauigkeit

Hinsichtlich der Genauigkeit gilt es entsprechend der Anwendung des Hardware-Systems drei unterschiedliche Fälle zu unterscheiden:

- » die Genauigkeit des mechanischen Systems bei Datenerfassung über die Messsonde
- » die Genauigkeit des mechanischen Systems bei Datenerfassung mittels des aufgesetzten Scanners
- » die Genauigkeit der visuellen Überlagerung innerhalb der MR-Anwendung

Bei der Aufnahme von Einzelpunkten entspricht die Einzelpunktgenauigkeit des eingesetzten Messarms $\pm 0,124$ mm bei einem Messvolumen von 3,7 Metern. In Kombination mit dem Laserscanner wird eine Genauigkeit von $\pm 0,159$ mm erreicht.

Die Genauigkeit der visuellen MR-Darstellung liegt bei dem vorgestellten System – eine optimale Kalibrierung vorausgesetzt – im Bereich unterhalb eines Millimeters. Die Genauigkeit steht dabei in Abhängigkeit zu der Auflösung der Kamera, eine höhere Auflösung ermöglicht eine exaktere Kalibrierung der Kamera. Dabei gilt es jedoch zwischen einer hohen Auflösung auf der einen Seite und einer hohen Bildfrequenz auf

der anderen Seite abzuwägen.

Im Falle des Einsatzes für die Digitale Baubarkeit wurde eine Kamera mit einer Auflösung von 1032x778 Pixel gewählt, im praktischen Einsatz wird mit dieser Auflösung eine Bildfrequenz von 32 Hz erreicht. Die dabei aus der Auflösung resultierende, maximale Abweichung von 1 mm ist tolerierbar. Sind exaktere Aussagen erforderlich, kann jederzeit auf die Aufnahme von Regelgeometrien mittels des Messarms oder das Einscannen von Oberflächen mittels des Linienscanners zurückgegriffen werden.

» Die Begrenzung des Bewegungsraums

Aus der Wahl eines mechanischen Trackingsystems in Form eines Messarms resultiert einerseits in Abhängigkeit der Segmentlängen des Armes ein begrenzter Aktionsradius. Während dieser Radius für einen Großteil der Anwendungen ausreichend ist, können dennoch mitunter eine neue Ausrichtung des Armes und damit ebenfalls eine erneute – jedoch vereinfachte – Kalibrierung erforderlich werden. Auf der anderen Seite begrenzen die Glieder des Armes in Kombination mit den Abmaßen der Messpistole inklusive Kameraadapter die Zugänglichkeit bei Bauräumen mit Hinterschneidungen.

Trotz dieser Einschränkungen hat sich die Entscheidung für einen mechanischen Messarm als Trackingsystem bewährt. Die permanente Aufrechterhaltung des Signalflusses sowie die Möglichkeit einer direkten Datenrückführung rechtfertigen seinen Einsatz für das

beschriebene Einsatzfeld.

Ein vielversprechender Ansatz bei der Erweiterung des Bewegungsfeldes liegt in bildverarbeitenden Systemen, welche Trackinginformationen anhand von Objekterkennung gewinnen und bereitstellen [siehe hierzu MAC05]. Derzeit sind diese Systeme allerdings in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt und noch nicht für eine praktische Anwendung in einem hochdynamischen industriellen Umfeld mit hohen Anforderungen bezüglich der Genauigkeit einsetzbar [GAU03, S.139; BRU03, S.9]

» Die Ergonomie

Der eingesetzte Messarm ist nicht mit einem automatischen Gewichtsausgleich ausgestattet. Aufgrund des zusätzlichen Gewichtes der Kamera auf der Messpistole treten bei langen Systemeinsätzen Ermüdungserscheinungen zu Tage. Insbesondere bei Überkopfarbeiten macht sich dieser Effekt bemerkbar.

5.3.2 Resultierende Beschränkungen der Software

5.3.2.1 Grenzen der RE-Software

Bei der eingesetzten RE-Software handelt es sich um eine kommerzielle, etablierte Software. Diese wurde wie bereits in Kapitel 5.2.2 erwähnt im Rahmen eines Benchmarks aus dem breiten Spektrum kommerziell erhältlicher Anwendungen ausgewählt. Ihr Leistungsspektrum geht dabei weit über die geforderten Funktionalitäten im Rahmen

eines MR-Einsatzes hinaus. Neben der Gebrauchstauglichkeit war die Benutzbarkeit im spezifischen Nutzungskontext ein wesentliches Auswahlkriterium. Aufgrund der breiten Palette kommerzieller Angebote konnte somit für die RE-Software auf ein bereits sehr reifes Produkt zurückgegriffen werden, weshalb für die RE-Software keinen Einschränkungen zu nennen sind.

5.3.2.2 Grenzen der MR-Software

Im Vergleich mit der RE-Software zeigt sich bei der MR-Software eine abweichende Ausgangssituation. Im Gegensatz zu RE ist die Anzahl erhältlicher kommerzieller MR-Software überschaubar. Mit Fokus auf einen Einsatz im Rahmen laufender Entwicklungsprojekte reduziert sich die Anzahl verfügbarer Alternativen abermals. Die einzelnen Tools entwickeln sich dabei schnell weiter, wodurch jede Aussage hinsichtlich der Grenzen eine Momentaufnahme darstellt.

Grundsätzlich zeigen sich bei AR-Anwendungen drei wesentliche Herausforderungen: ein hoch qualitatives Rendering, eine präzise Ausrichtung (Position sowie Orientierung) sowie eine interaktive Bereitstellung in Echtzeit [REH02, S. 1]. Diese Aussagen lassen sich auf das übergeordnete Themengebiet der MR übertragen. Werden die grundlegenden Grenzen der MR-Software auf Basis der gesammelten Erfahrungen im Zuge der Implementierung von MR in den Produktentwicklungsprozess betrachtet, so sind in diesem Zuge zwei wesentliche Merkmale zu nennen, welche beide den visuellen Störeffekten [siehe TOE10, S.82-87] zugerechnet werden können:

- » Der Schwimmeffekt
- » Die Verdeckung

Schwimmeffekt

Schwimmeffekte entstehen bei einer Discrepanz zwischen den Zeitpunkten der Bereitstellung zugehöriger visueller sowie realer Bildinhalte. Werden zusammengehörige reale und virtuelle Bildinhalte nicht zeitgleich sondern zeitlich versetzt zur Anzeige gebracht, entsteht der visuelle Eindruck einer Relativbewegung zwischen diesen Inhalten, welche als „schwimmen“ wahrgenommen wird [TOE10, S.83]. Üblicherweise tritt dieser Versatz bei den virtuellen Bildinhalten zu Tage. Für eine Bereitstellung der virtuellen Bildinhalte ist zunächst eine Auswertung der Tracking-Signale erforderlich, anschließend benötigt der Renderer eine gewisse Berechnungszeit bis zur Ausgabe der Daten.

Verdeckung

Ein bei den derzeit eingesetzten Systemen weiterhin bestehendes Problem ist die Thematik einer fehlerhaften Verdeckung [TOE10, S.84]. Da das virtuelle Bild grundsätzlich zunächst stets im Vordergrund der realen Szene liegt, ist eine korrekte Wechselwirkung zwischen realen und virtuellen Objekten für einen realistischen Eindruck einer hybriden Umgebung entscheidend. Virtuelle Objekte, welche räumlich in der Szene partiell oder vollständig hinter realen Objekten liegen, dürfen nur teilweise bzw. nicht zu sehen sein und müssen somit entsprechend ausgeblendet werden. Hierzu Bedarf es kontinuierlicher Informationen über die Zusammensetzung des realen Umfelds,

wodurch das Problem einer fehlerhaften Verdeckung auf das eigentliche Problem der mangelhaften Bereitstellung von Tiefeninformationen in Echtzeit zurückgeführt werden kann.

Werden diese grundlegenden Grenzen betrachtet, so konnten diese im Laufe der Implementierung von MR in die Produktentwicklung überwunden werden, siehe Kapitel 5.3.3. Das positive Resultat bei der Bewertung des Leistungsspektrums – dargestellt in Kapitel 5.2.1.1 – bekräftigt dies. Bei einer näheren Betrachtung spezifischer Anwendungen der Technologie im Zuge der in Kapitel 4 beschriebenen kontinuierlichen Erweiterung deren Einsatzfelder sind neben den genannten grundlegenden Grenzen anwendungsbezogene Grenzen festzustellen, welche durch die Basisfunktionalität der MR-Anwendung nicht abgedeckt und jeweils situativ anzugehen sind. Ein Beispiel hierfür ist der Bedarf einer direkten Importschnittstelle für Simulationen aus dem CAD-Werkzeug CATIA V5 für spezielle Absicherung der Digitalen Baubarkeit. Auf diese spezifischen Anforderungen sowie deren Begegnung soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

5.3.3 Überwindung bestehender Grenzen

Die beiden grundlegenden Grenzen im Bereich der visuellen Darstellung wurden bereits genannt. Dieses Kapitel greift die geschilderten Problematiken auf und zeigt die gewählten Lösungsansätze zu deren Begegnung.

Schwimmeffekt

Der auftretenden Problematik einer wahrgenommenen Relativbewegung zwischen virtuellen und realen Szeneninhalten wurde einerseits durch den Austausch des eingesetzten Renderers begegnet. Der bis dato verwendete Renderer verstärkte den bereits vorhandenen Effekt durch die sequentielle Visualisierung der virtuellen Bildinhalte, wodurch neben der bereits erwähnten Relativbewegung zwischen realen und virtuellen Bildinhalten zusätzlich gleichartigen Effekten innerhalb der virtuellen Bildinhalte hervorgerufen wurden. Diese Doppelung des Schwimmeffektes wurde durch die Anwender durchweg als untragbar bewertet. Die synchrone Daten-Bereitstellung mittels eines neuen Renderers eliminierte diesen Effekt. Der Relativbewegung zwischen virtuellen und realen Bildinhalten konnte durch eine Zeitstempelung der Videobilder und eine anschließende gezielt verzögerte Darstellung des Videobildes begegnet werden. Dabei werden die Videobilder zunächst mit Zeitstempeln versehen, anschließend werden sie für die Dauer der Berechnung zugehöriger virtueller Bildinhalte zurückgehalten und gemeinsam mit diesen virtuellen Inhalten zur Anzeige gebracht. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise kann dabei der abweichenden

Berechnungsdauer der darzustellenden virtuellen Datenumfänge abhängig von deren Anteil am Gesamtbild – beispielsweise bei einem Kameraschwenk – dynamisch begegnet werden. Durch diese Optimierung wurde der Schwimmeffekt auf ein Maß begrenzt, welches durch das menschliche Auge nicht länger wahrgenommen wird. Einzig bei der Betrachtung sehr großer virtueller Datenmengen tritt der Schwimmeffekt erneut wahrnehmbar zu Tage. Diese Daten-schwelle liegt allerdings derart hoch, dass sie in der praktischen Anwendung bislang nicht erreicht wurde.

Erfassung von Tiefeninformationen des realen Umfelds in Echtzeit

Während sich die Grenze des Schwimmeffektes in der praktischen Anwendung faktisch eliminieren ließ, ist dies bei der zweiten Grenze mit den aktuell verfügbaren Möglichkeiten über das gesamte Anwendungsspektrum nicht möglich. Dennoch kann die Grenze durch geeignete Herangehensweisen partiell überwunden werden. Diese Thematik soll in den folgenden zwei Kapiteln dargestellt werden. Dabei betrachtet Kapitel 5.3.3.1 die statische (einmalige) Bereitstellung der erforderlichen Informationen wohingegen Kapitel 5.3.3.1 auf einen dynamischen Ansatz im Kontext einer spezifischen Ausgangssituation eingeht.

5.3.3.1 Die Verdeckungsgeometrie

Soll ein virtuelles Objekt in der realen Umwelt mittels MR eingefügt werden, so sind hierfür Tiefeninformationen des realen Umfelds erforderlich. Die MR-Software benötigt diese Informationen zur Berechnung des

zu visualisierenden, virtuellen Bildanteils. Wird der Sichtstrahl auf das virtuelle Objekt in der gewählten Kameraperspektive teilweise theoretisch durch die reale Geometrie behindert, so benötigt die MR-Software diese Information um nur diejenigen Bereiche des virtuellen Objektes anzuzeigen, auf die die Sicht ungehindert möglich ist. Fehlen der Software diese Informationen, so visualisiert sie die virtuellen Inhalte stets vollständig im Vordergrund der realen Welt. Für einzelne Anwendungen – beispielsweise die reine Einblendung von Annotationen in das Sichtfeld – ist dies akzeptabel, eine räumliche Kombination sich teilweise verdeckender virtueller und realer Objekte ist dadurch jedoch unmöglich.

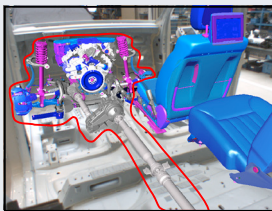
Da derzeit noch kein praxistaugliches Verfahren zur performanten Bereitstellung von Tiefeninformationen des betrachteten Bildausschnitts existiert, werden diese Informationen anderweitig innerhalb der Software zur Verfügung gestellt. Bei dem Verfahren der Verdeckungsgeometrie wird ein virtuelles Abbild der relevanten realen Umgebung in die MR-Software geladen. Diese Geometrie bleibt für den Anwender im Normalfall unsichtbar, dient jedoch der

Berechnung der sichtbaren virtuellen Bildanteile. Plastisch gesprochen verhält sich diese Verdeckungsgeometrie wie eine dreidimensionale Schablone, welche sämtlichen durch den PMU verdeckten Bereiche ausschneidet und diese somit nicht visualisiert werden. Abbildung 5.13 veranschaulicht das Prinzip der Verdeckungsgeometrie.

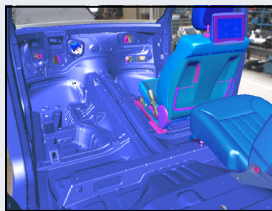
Die Verdeckungsgeometrie selbst kann dabei auf zwei Weisen zur Verfügung gestellt werden:

- » Variante 1: Einscannen der Hardware mittels RE
- » Variante 2: Abbildung des PMU mit entsprechenden Daten des DMU

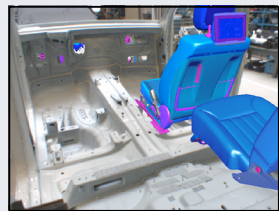
Bei letzterer Variante müssen allerdings Abweichungen zwischen der Verdeckungsgeometrie und dem PMU in Kauf genommen werden, da der DMU stets ein ideales Abbild darstellt, der PMU jedoch toleranzbehaftet ist. Je nach Einsatz gilt es zwischen Variante 1 mit einer hohen Genauigkeit jedoch ebenfalls hohem Aufwand und Variante 2 mit einer geringeren Genauigkeit, dafür ebenfalls geringerem Aufwand abwägen.



Reine Überlagerung ohne Tiefeninformationen



Berücksichtigung einer Verdeckungsgeometrie



Überlagerung mit hinterlegter Verdeckungsgeometrie

Abbildung 5.13: Wirkweise der Verdeckungsgeometrie

Obwohl der Ansatz der Verdeckungsgeometrie ein exaktes Einbetten der virtuellen Bildinhalte in die reale Umgebung ermöglicht, wird die aufgezeigte Grenze nur partiell überwunden. Der Ansatz der Verdeckungsgeometrie ist statisch. Verändert sich nach deren Bereitstellung der betrachtete Bildausschnitt der realen Umgebung, so treten dennoch Fehler in der Überlagerung auf und die Verdeckungsgeometrie muss angepasst werden. Dieses Problem wird im folgenden Teilkapitel aufgegriffen.

5.3.3.2 Anwenderintegration in Echtzeit

Ziel eines MMU-Einsatzes ist eine bestmögliche Annäherung an das reale Entwicklungsprodukt. Ein Aspekt ist dabei die Interaktion zwischen Anwender und Produkt. Aufgrund der fehlenden Bereitstellung

von Tiefeninformationen stößt die MR-Anwendung mit dem vorgestellten Systemaufbau jedoch an ihre Grenzen. Da die Verdeckungsgeometrie – und somit Informationen über die geometrische Zusammensetzung des realen Umfelds – statischen Charakter hat, können reale Objekte, welche nachträglich in dem Sichtfeld der Kamera positioniert werden, nicht durch die Software berücksichtigt werden. Hält der Anwender beispielsweise seine Hand mit dem Ziel einer Zugänglichkeitsüberprüfung in das Sichtfeld der Kamera, so erhält die MR-Software in diesem Fall keine Rückmeldung. Die Hand des Anwenders wird folglich nicht berücksichtigt, was sich in einer steten Überlagerung der Hand durch die virtuellen Bildinhalte – unabhängig von der Position der Hand – ausdrückt. Ansätze bei der Begegnung der geschichterten Problematik sind in der Forschung

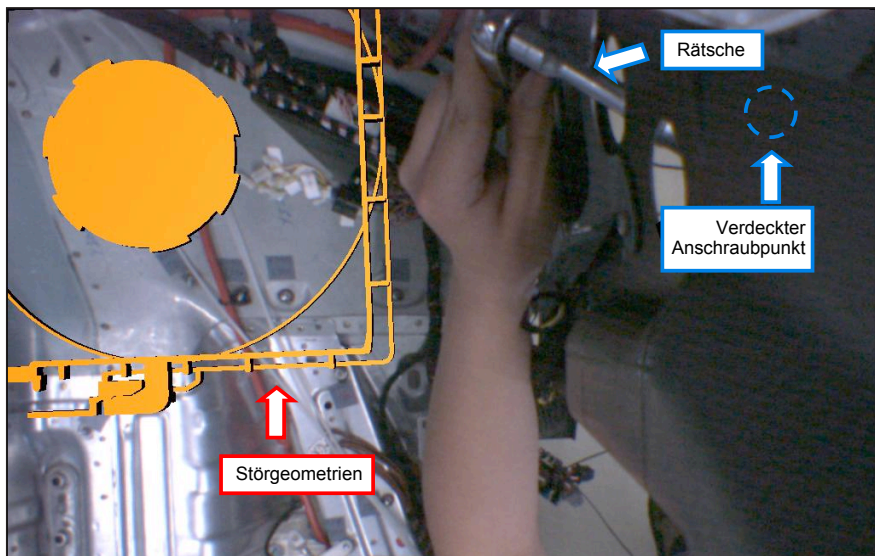
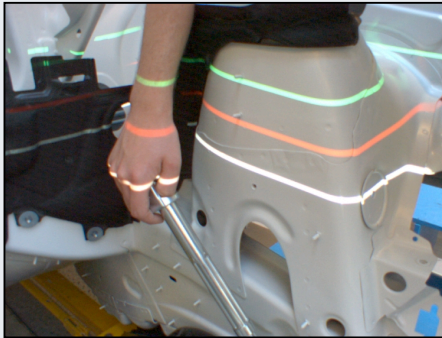
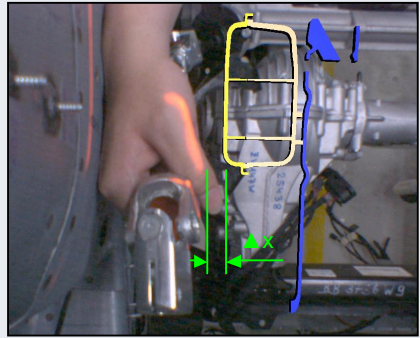


Abbildung 5.14: Zugänglichkeitsprüfung mittels Schnittdarstellung



Aufprojektion der Schnittebenen



Beurteilung der Zugänglichkeit

Abbildung 5.15: Aufprojektion der Schnittebenen

bereits vorhanden, jedoch aufgrund verschiedenster Einschränkungen noch nicht in der Praxis anwendbar [siehe FIS03, S.8]. Da die Interaktion zwischen Anwender und Produkt ein wesentlicher Aspekt bei der Beurteilung der Digitalen Baubarkeit darstellt, wurde im Rahmen dieser Dissertation eine Methodik entwickelt, welche es dennoch erlaubt, den Anwender partiell in die MR-Visualisierung zu integrieren.

Dabei wird das dreidimensionale Umfeld zunächst auf zwei Dimensionen begrenzt und diese anschließend wiederum in die dritte Dimension eingebettet. Für das Beispiel einer Zugänglichkeitsüberprüfung wird dabei der relevante Bauraum mittels eines 2-D- Schnitts zunächst auf eine reine Schnittkontur begrenzt. Diese Schnittkontur wird anschließend mittels MR dem PMU überlagert. Der Anwender kann in dieser Form der MR-Darstellung durch die Schnittkontur hindurch auf seine Hand, seinen Arm oder beispielsweise reale Werkzeuge blicken. Er kann zudem visuell Kollisionen zwischen diesen Objekten und den geschnittenen virtuellen Bildinhalten

erfassen. Abbildung 5.14 zeigt hierzu exemplarisch die Überprüfung der Zugänglichkeit eines Anschraubpunktes. Die Überlagerung der virtuellen Störkontur als Schnittgeometrie ermöglicht dem Anwender die Untersuchung der Zugänglichkeit am PMU mit realem Werkzeug, dabei kann die Zugänglichkeit mit verschiedenen Werkzeugkonfigurationen – in diesem Fall Verlängerungen der Ratsche – abgesichert werden.

Nicht jede Durchdringung entspricht dabei einer Kollision, diese treten nur dann zu Tage, wenn sich das bewegte reale Objekt – in diesem Beispiel Hand und Werkzeug – sowie die virtuelle Schnittkontur in derselben Ebene befinden. Das reale Umfeld muss folglich für eine eindeutige Beurteilung ebenfalls auf den zweidimensionalen Raum des Schnitts reduziert werden. Für dieses Verfahren wird auf die Aufprojektion zurückgegriffen, dabei werden auf Höhe der Schnitte Streifenlichter mittels eines Beamers auf die Hardware projiziert. Diese Vorgehensweise ist in Abbildung 5.15 dargestellt.

Bei der Prüfung der Zugänglichkeit achtet der Anwender einerseits auf die virtuelle Schnittkontur, andererseits auf die aufprojizierte Schnittlinie. Durchdringen sich die aufprojizierte Linie auf der Hand, dem Arm oder dem bewegten Objekt und die virtuelle Schnittkontur, so liegt eine Kollision vor. Der Anwender kann auf diese Weise alternative Zugangsmöglichkeiten prüfen. Die Schnittebene ist dabei frei beweglich, es können zudem gleichzeitig mehrere Schnittebenen mit zugehörigen Projektionslinien eingeblendet werden. In diesem Fall erfolgt eine farbliche Codierung der Schnittebenen zur einfacheren Handhabung.

Anmerkung:

Die geschilderte Herangehensweise ist ein plakatives Beispiel für die in Kapitel 3.3.3 angeführte Aussage: Es ist nicht das Tool an sich, aus dem positive oder negative Effekte

resultieren, sondern die Art und Weise mit der ein Tool, in Verbindung mit den zugehörigen Mitarbeitern, angewendet wird [MAT05, S. 709-718], [ORL92, S. 362-369].

5.4 Anspruch einer eigenständigen Entwicklungsplattform

Die Instanzen des Mixed Mock-Ups bestehen stets aus einer Kombination von DMU und PMU, der Rückfluss der Ergebnisse aus den Anwendungen des Mixed Mock-Ups erfolgt dabei ebenfalls entweder in den DMU und / oder den PMU. Der Mixed Mock-Up selbst existiert somit lediglich im Moment der Kombination von DMU und PMU mittels Mixed Reality. Und doch stellt der Mixed Mock-Up nicht lediglich ein Werkzeug, sondern eine eigenständige Entwicklungsplattform dar, da sein Leistungsspektrum über

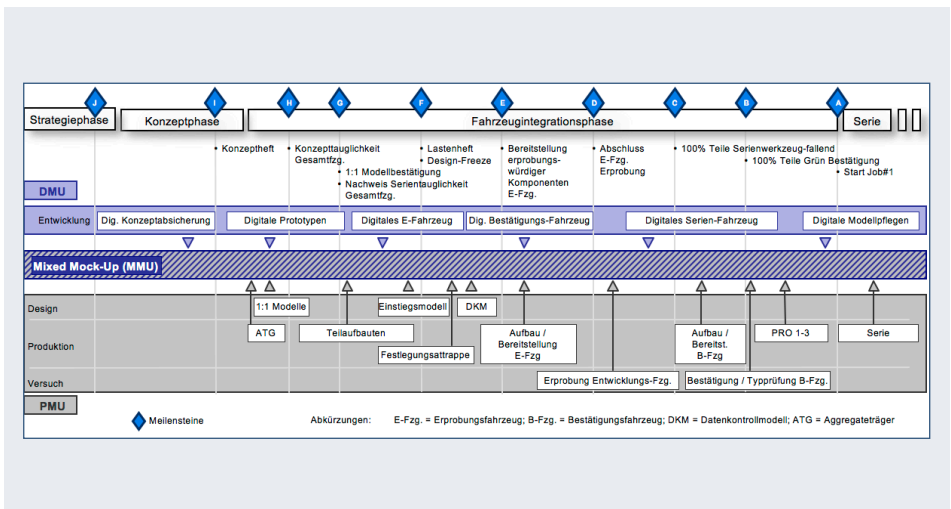


Abbildung 5.16: Anwendung des Mixed Mock-Ups über den Entwicklungsprozess

das des DMU und des PMU hinausreicht.

Um selbst eine zentrale Entwicklungsplattform darzustellen, muss der MMU die in Kap. 3.2.1 dargestellten Kriterien erfüllen:

- » Widerspiegelung des aktuellen Entwicklungsfortschritts
- » Ergebnis bisheriger Entwicklungsaktivitäten und Fundament aller kommenden Aktivitäten
- » Eigenständige Wissensplattform der Produktentwicklung

Die Erfüllung der beiden ersten Kriterien resultiert zwangsläufig aus der Kombination von PMU und DMU. Als Konsequenz erstreckt sich der MMU analog DMU und PMU ebenfalls über den gesamten Entwicklungsprozess. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 5.16 dargestellt.

Um den Charakter des Mixed Mock-Ups als zentrale Plattform innerhalb der Produktentwicklung zu bestätigen, gilt es das dritte Kriterium – die Eigenständigkeit – zu belegen. Dies erfolgt im Rahmen des angrenzenden Kapitels 6.

5.5 Zusammenfassung

- » Aus dem systematischen und kontinuierlichen Einsatz von Mixed Reality resultiert die Schaffung einer neuen Entwicklungsplattform neben DMU und PMU, der automotive Mixed Mock-Up (kurz MMU)
- » Der MMU repräsentiert eine direkte Schnittstelle zwischen DMU und PMU
- » Mixed Reality sowie Reverse Engineering bilden die Säulen des MMU
- » Die Grenzen des MMU resultieren aus den Beschränkungen der eingesetzten Mixed Reality Hardware und Software
- » Wesentliche Herausforderungen ergeben sich bei der Behebung visueller Störeffekte in Form von Schwimmeffekten sowie der Verdeckung
- » Bestehende Grenzen der Software konnten durch geeignete Vorgehensweisen partiell überwunden werden
- » Der Mixed Mock-Up erhebt den Anspruch auf die Rolle einer eigenständigen zentralen Entwicklungsplattform innerhalb der Produktentwicklung

6.0 Bewertung des MMU in der praktischen Anwendung

Dieses Kapitel beschreibt anhand ausgewählter Beispiele die Wirkung des Mixed Mock-Up Einsatzes auf die Fahrzeugentwicklung. Da es sich bei dieser Dissertation um eine Grundlagenarbeit handelt, welche den Einsatz von Mixed Reality erstmals in diesem umfassenden Spektrum betrachtet und dabei in seiner Gesamtheit aufgezeigt werden soll, erfolgt die Darstellung der Einflüsse des Mixed Mock-Ups in qualitativer Form. Die angeführten qualitativen Aussagen basieren dabei auf kontinuierlich erfassten Rückmeldungen der jeweiligen Prozesseigner, Auftraggeber sowie Teilnehmer eines Mixed Mock-Up Einsatzes. Die qualitative Erfassung orientiert sich an einem allgemeinen Schema welches sowohl die Beurteilung des Einsatzpotentials für ausgewählte Anwendungen nach einer Pilotphase als auch die eintretende Wirkung in den ersten Phasen der praktischen Anwendung zu erfassen vermag.

Die folgenden Beispiele entstammen – soweit nicht gesondert erwähnt – aus Anwendungen aktueller Entwicklungsprojekte. Der Einsatz von Mixed Reality in diesen Entwicklungsbereichen wurde maßgeblich im Rahmen dieser Dissertation vorbereitet und in den praktischen Einsatz überführt sowie anschließend begleitet.

- » Eine ausgewählte Anwendungen innerhalb der Digitalen Baubarkeit
- » Die Qualitätssicherung des Rohbaus
- » Die Elektrikfestlegung
- » Den Aggregatträgeraufbau

Der Einsatz des Mixed Mock-Ups wird in den Kapiteln 6.1 bis 6.4 für folgende Entwicklungsaktivitäten vorgestellt:

Die Einordnung dieser Themen in den Fahrzeugentwicklungsprozess ist in Abbildung 6.1 wiedergegeben.

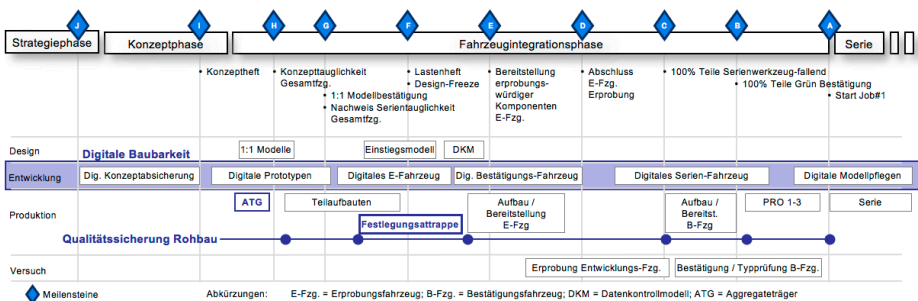


Abbildung 6.1: Ausgewählte Anwendungsfelder im Fahrzeugentwicklungsprozess

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
Prozess		Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
		Erhöhte Transparenz	[→QT]
Kosten [K]		Reduzierte Herstellkosten	[→KH]
		Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]
		Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]
Zeit [T]		Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]
		Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]

Tabelle 6.1: Bewertungsschema MMU

Die qualitative Einordnung der durch den Mixed Mock-Up erzielten Veränderungen erfolgt dabei anhand der Erfolgsfaktoren Qualität, Kosten und Zeit. Zunächst soll das gewählte Erfassungsschema, abgebildet in Tabelle 6.1, vorgestellt werden.

Erfassung der Wirkung auf die Qualität

Zunächst gilt es den Begriff Qualität zu präzisieren. Nach DIN EN ISO 9000:2005 [DIN05] ist die Qualität definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter (einer Einheit innewohnender) Merkmale Anforderungen erfüllt“. Anforderungen sind in diesem Kontext definiert als „Erfordernisse oder Erwartungen, welche festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend sind“.

Da in dieser Arbeit nicht allein das Entwicklungsprodukt, sondern zudem die dahinter stehenden Prozesse betrachtet werden,

soll im Weiteren zwischen Produkt- und Prozessqualität unterschieden werden.

» Produktqualität

Hinsichtlich des Produktes gilt es verschiedene Kunden und somit unterschiedliche „Erfordernisse oder Erwartungen“ zu berücksichtigen. Der erste Kundenkreis ist die Entwicklung selbst. Jeder Entwicklungsstand des Produktes bildet die Basis für darauf aufbauende Schritte und hat aus diesem Grund gesetzte Anforderungen zu erfüllen. Das Produkt setzt sich in diesem Fall aus den beiden Hauptentwicklungsplattformen DMU und PMU zusammen, welche gemeinsam jeweils den aktuellen Entwicklungsstand verkörpern. Der nächste Kunde ist das Zielwerk. Das Werk bekommt das Produkt in Form des

ausgearbeiteten DMU zur Verfügung gestellt. Die Anforderungen des Werkes lassen sich unter dem Stichwort „Produktionsgerechte Produktgestalt (PPG)“ zusammenfassen. Bei Mercedes-Benz Cars existiert hierzu eine eigene Datenbank, welche sämtlichen PPG-Anforderungen an ein Fahrzeugprojekt enthält. Ein weiterer Kunde ist der Käufer nach Produktion des Fahrzeugs im Werk, dieser hat wiederum spezifischen Kundenanforderungen an das Endprodukt. Da sowohl die PPG-Anforderungen als auch die Kundenanforderungen bereits bei der Entwicklung anhand des PMU und des DMU berücksichtigt werden, erfolgt bei dem gewählten allgemeinen Bewertungsansatz die Erfassung des Mixed Mock-Up-Einflusses auf den Reifegrad von DMU und PMU.

» Prozessqualität

Hinsichtlich der Prozessqualität können als „Erfordernisse oder Erwartungen, welche üblicherweise vorausgesetzt sind“ die allgemeinen Erfolgskriterien Effizienz, Sicherheit, und Flexibilität aufgenommen werden. Im Sinne der Zusammenarbeit wurde des Weiteren der Punkt „Transparenz“ aufgenommen.

Erfassung der Wirkung auf die Kosten

Die Produktgesamtkosten können auf Basis der Differenzierten Zuschlagskalkulation nach VDI Richtlinie 2235 [VDI35, S.8] einerseits in die Kosten des Produktherstellers, die Selbstkosten sowie andererseits in die Kosten des Produktnutzers unterteilt werden.

Die Selbstkosten des Herstellers umfassen nach [VDI34, S.25] die:

- » Herstellkosten
- » Entwicklungs- und Konstruktionskosten
- » Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten
- » Sondereinzelkosten des Vertriebs

Die Kosten des Produktnutzers umfassen nach [VDI35, S.7-8]:

- » Einkaufspreis
- » Einmalige Kosten (beispielsweise Transport)
- » Betriebskosten
- » Instandhaltungskosten

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt eine Beschränkung auf die für den Hersteller anfallenden direkt zurechenbaren Kosten. Für die Selbstkosten bedeutet dies eine Reduktion auf die Herstellkosten sowie die Entwicklungs- und Konstruktionskosten. Die Herstellkosten umfassen dabei die Materialkosten, Fertigungskosten sowie die in diesem Fall ebenfalls nicht berücksichtigten Sondereinzelkosten der Fertigung [VDI34, S.25]. Die Entwicklungs- und Konstruktionskosten umfassen die Kosten für Gehälter, Miete, Materialverbrauch etc. die in den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen entstehen [VDI25, S.10].

Anmerkung

Die Kosten des Produktnutzers enthalten einen Posten, welcher ebenfalls auf Herstellerseite zu beachten ist, dies sind die Instandhaltungskosten. Im Falle von Garantie oder Kulanz fallen diese Kosten ebenfalls auf Seiten des Herstellers an.

Erfassung des Einflusses auf die Zeit

Hinsichtlich der Zeit wurde im Rahmen dieser Arbeit der Fokus einerseits auf die Beeinflussung der gesamten Entwicklungsdauer eines Projektes sowie andererseits die Durchlaufzeiten bei der Fahrzeugmontage gelegt. Diese umfassen sowohl die Montage der Prototypen als auch der Serienfahrzeuge im Werk.

Kennzeichnung

In den anschließenden Kapiteln werden ausgewählte Anwendungsbeispiele des Mixed Mock-Ups in der Produktentwicklung vorgestellt. Der Einfluss des Mixed Mock-Ups wird dabei nach jeder geschilderten Anwendung anhand der in Tabelle 6.1 dargestellten Systematik zusammengefasst. Dabei werden realisierte Verbesserungen durch eine farbliche Hinterlegung der entsprechenden Zeile hervorgehoben. Auf die einzelnen Wirkungen wird dabei bereits im Verlauf der Einsatzschilderung des Mixed Mock-Up mittels der Anführung der im Bewertungsschema enthaltenen Referenzen auf die Erfolgsfaktoren hingewiesen. So bezieht sich beispielsweise die Referenz [QD] in einer Anwendungsbeschreibung auf eine Verbesserung des DMU-Reifegrades durch den geschilderten Einsatz des Mixed Mock-Ups.

Anmerkung:

Wie erwähnt erfolgt in dieser Arbeit eine erste qualitative Bewertung der praktischen Anwendung des Mixed Mock-Ups. Bei einer künftigen quantitativen Betrachtung spezifischer Anwendungsfelder gilt es die gewählten Erfolgsfaktoren weiter aufzuschlüsseln, um auf diese Weise für die quantitative Erfassung geeignete messbare Erfolgsfaktoren zu erhalten. Für eine erste Erfassung der Gesamtwirkung ist dieser Ansatz weder zielführend noch realisierbar, für künftige Arbeiten in thematisch abgegrenzten Anwendungsfeldern jedoch erforderlich.

6.1 Digitale Baubarkeit

Der Prozess der digitalen Baubarkeit wurde bereits in Kapitel 4.2.1.1 vorgestellt. Im Rahmen dieses Unterkapitels soll der Einsatz des Mixed Mock-Ups anhand eines praktischen Beispiels vorgestellt werden.

Bei einer Baubarkeitsprüfung werden Untersuchungen an verschiedenen Fahrzeugvarianten durchgeführt. Der Fokus der Absicherungen liegt dabei unter anderem auf:

- » Der Montagereihenfolge
- » Der Toleranzbetrachtung
- » Dem Bewegungsraum
- » Der Ergonomie
- » Dem Ein- und Ausbau im Montage- und Kundendienstfall

- » Dem Ein- und Ausbau von Zubehörteilen
- » Der Prozesssicherheit (z.B. Wiederholbarkeit)

Diese Liste an Themen zeigt, die Absicherungen der Baubarkeit sind äußerst vielfältig und heterogen. Für die Darstellung der Wirkweise des Mixed Mock-Up Ansatzes auf die Absicherung der Digitalen Baubarkeit wird daher auf einen wiederkehrenden Absicherungstypus zurückgegriffen – der Absicherung der Zugänglichkeit und Ergonomie bei der Montage einzelner Komponenten im Zielwerk.

Zunächst soll der ausgewählte Absicherungstypus anhand eines repräsentativen Beispiels näher vorgestellt werden.

6.1.1 Absicherung von Ergonomie und Zugänglichkeit

Im Rahmen der Montageabsicherung im Zielwerk, galt es bei einem Fahrzeugprojekt die Kontaktierung der Lenkungskuppelung abzusichern. Dabei stellt sich nach der Hochzeit im Werk – der Verbindung von Antriebsstrang und Achsen mit der Karosserie – die Aufgabe, die an dem Lenkgetriebe der Vorderachse befestigte Lenkungskuppelung zu greifen, den Teleskopschaft auszuziehen und das freie Ende mit der Lenkspindel des Lenkrades zu verbinden. Die Schwierigkeit besteht dabei in einem stark eingeschränkten Bewegungsraum, da sich der Motor zu diesem Zeitpunkt bereits ebenfalls im Fahrzeug befindet.

Ein derartiger Untersuchungstyp befindet sich in dem in Kapitel 4.2.2 bereits beschriebenen Grenzbereich des Leistungsspektrums von MR- und VR-Untersuchungen, er eignet sich deshalb im Besonderen, das Zusammenspiel dieser beiden Absicherungsmethoden vorzustellen.

In einem ersten Schritt erfolgte in der Virtual Reality die Identifikation möglicher Greifräume für den Werker. In einem nachgelagerten Schritt wurden diese theoretischen Greifbewegungen hinsichtlich ihrer Ergonomie untersucht. Dies erfolgte anhand virtueller Menschmodelle, welche Aussagen über die Beanspruchung der einzelnen Körperpartien liefern. Abbildung 6.2 zeigt zwei

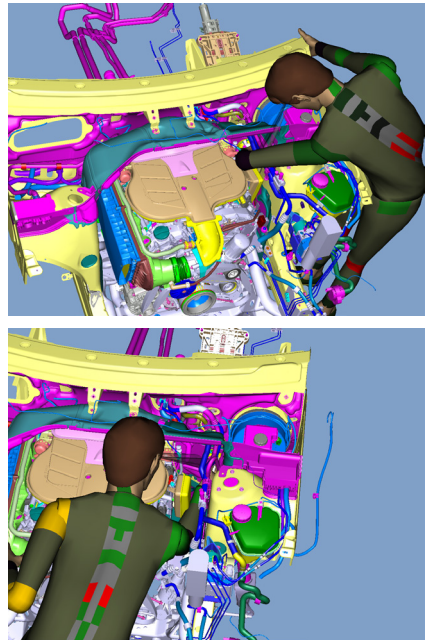


Abbildung 6.2: Überprüfung von Zugänglichkeit und Ergonomie mit VR

mögliche Greifposition des Werkers innerhalb der VR-Umgebung. Dargestellt ist der Vorbau des Fahrzeuges mit eingebautem Motor.

Eine entscheidende Fragestellung bei dieser Absicherung lautete: Ist es dem Werker bei den ermittelten Kontaktierungsalternativen jeweils möglich ein ausreichendes Kraftpotential bereitzustellen, um die Kontaktierung wie vorgesehen durchzuführen? An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass das Ausziehen des Teleskopschafts in dem begrenzten Bauraum eine hohe Kraft erfordert. Es genügt somit nicht eine Aussage hinsichtlich der Ergonomie der reinen Haltung des Werkers, erforderlich ist vielmehr eine Aussage des in dieser Position abrufbaren Kraftpotentials des greifenden Armes. Mittels VR konnten die möglichen Greif- und Kontaktierungsbebewegungen auf zwei alternative Vorgänge eingegrenzt werden, eine finale Aussage mittels VR war jedoch an dieser Stelle aufgrund der beengten Bauraumverhältnisse in Kombination mit der eingeschränkten Flexibilität des Menschmodells nicht möglich. Einerseits wären eine Simulation des partiellen Anliegens des Unterarms an den Rohbau und damit auch eines leichten Nachgebens des Gewebes sowie andererseits die Simulation der inneren Hemmung des Teleskopschafts erforderlich. Diese Anforderungen gehen über

das Leistungsvermögen der eingesetzten VR-Anwendung hinaus, weshalb in einem Folgetermin eine ergänzende Überprüfung mittels MR angesetzt wurde.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung konnte bereits auf einen Teilaufbau des künftigen Fahrzeugvorbaus in Form eines PMU zurückgegriffen werden. Da die Lenkungs-kupplung selbst ein Übernahmebauteil ist, stand diese ebenfalls bereits als reales Bauteil zur Verfügung. Für die Absicherung der Montage wurde der PMU mit einer Achse sowie der entsprechenden Lenkungs-kupplung bestückt und anschließend mittels MR mit dem relevanten virtuellen Umfeld – in diesem Fall dem bauraumkritischsten Motor – erweitert. Abbildung 6.3 zeigt einen Blick von oben in Fahrtrichtung auf den entsprechenden Motorraum.

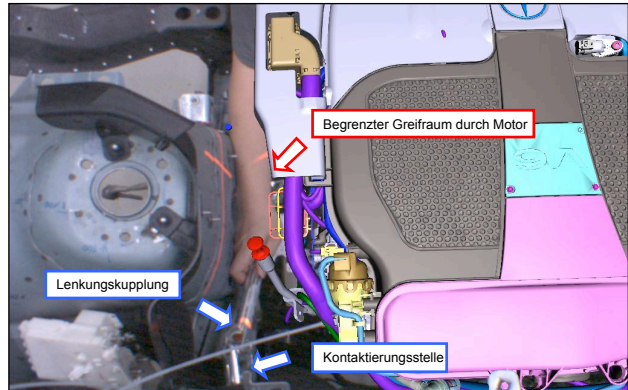


Abbildung 6.3: Gesamtansicht in MR

Vor Start der eigentlichen Absicherung erfolgte eine Reduktion der virtuellen Bildinhalte auf die eigentlichen Störkonturen, in diesem Fall seitliche Anbauteile des Motors. Zudem wurden die in VR bereits

identifizierten Greifmöglichkeiten zunächst visuell anhand von Armmodellen dargestellt. Abbildung 6.4 zeigt diese Ansicht mit Blickrichtung aus der Mitte des Motorraums.

Im Anschluss wurde die Geometrie entsprechend dem in Kapitel 5.3.3.2 bereits geschilderten Ansatz auf Schnittebenen reduziert und die Greifbewegung durch die Absicherungsteilnehmer und Auftraggeber nachgestellt. Abbildung 6.5 zeigt einen der Teilnehmer bei der Kontaktierung des Teleskopschafts.

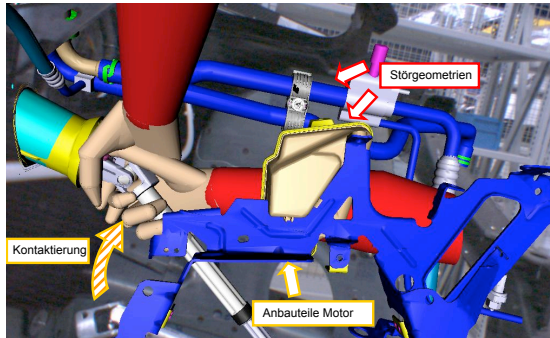


Abbildung 6.4: Übernahme der identifizierten Greifräume

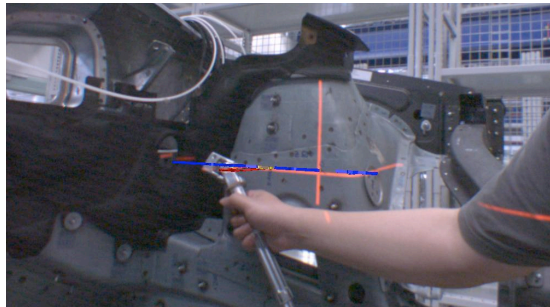


Abbildung 6.5: Überprüfung von Zugänglichkeit und Ergonomie mit MR

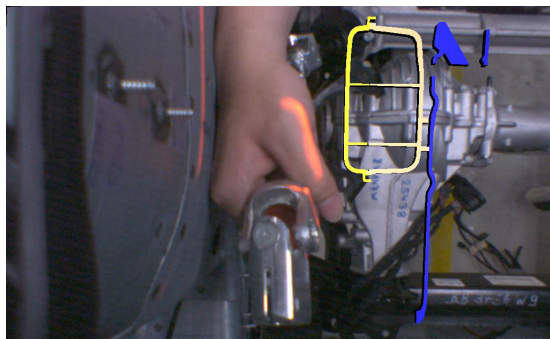


Abbildung 6.6: Betrachtung der Engstelle mit MR

Der Schnitt durch die Störkontur kann dabei beliebig im Raum positioniert und beispielsweise während der Greifbewegung mitbewegt werden. Als zielführend hat sich die parallele Darstellung mehrerer statischer Schnitte an den kritischen Engstellen erwiesen.

Abbildung 6.6 zeigt in der Ansicht von oben die Hand des Anwenders an der engsten Stelle. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, kann bei Anlegen der Handfläche an den seitlichen Rohbau die Engstelle passiert werden.

Dieses Beispiel veranschaulicht, wie durch das Zusammenspiel von VR und MR eine erfolgreiche Absicherung eines Montagevorgangs zu einem sehr frühen Zeitpunkt innerhalb des Entwicklungsprojektes durchgeführt werden kann. In der Virtual Reality alleine war die Aussagekraft für eine finale Absicherung nicht gegeben. Ohne den Einsatz des Mixed Mock-Ups hätte eine Absicherung an einem der ersten vollständigen Prototypen mit entsprechendem Motor

erst zu einem sehr viel späteren Zeitpunkt erfolgen können [→ QD, QS, QE, KE].

Der Einsatz von MR ermöglicht an dieser Stelle die ergonomische Beurteilung der späteren Montagesituation mittels des eigenen Körpers, die erforderlichen Kräfte bei der Kontaktierung sowie die Ergonomie der Körperhaltung können somit leicht nachvollzogen werden [→ QS].

Ein Blick auf das Absicherungsspektrum der Digitalen Baubarkeit zu Beginn dieses Kapitels verdeutlicht, dass bereits in der Anwendung des MMU die Überprüfung von Zugänglichkeit und Ergonomie große Potentiale ruhen. Dies ist allerdings nur eine von vielen möglichen Anwendungen bei der Absicherung der Digitalen Baubarkeit, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann.

Tabelle 6.2 fasst die Wirkung des MMU-Ansatzes bei Ergonomie- und Zugänglichkeitsabsicherungen der Digitalen Baubarkeit zusammen.

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
	Prozess	Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
Erhöhte Flexibilität		[→QF]	
Erhöhte Prozesssicherheit		[→QS]	
Erhöhte Effizienz		[→QE]	
Erhöhte Transparenz		[→QT]	
Kosten [K]	Reduzierte Herstellkosten	[→KH]	
	Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]	
	Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]	
Zeit [T]	Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]	
	Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]	

Tabelle 6.2: Wirkung des MMU auf die Zugänglichkeits- und Ergonomieabsicherung

6.2 Qualitätssicherung Rohbau

Der Rohbau bildet die Grundlage eines jeden Fahrzeugaufbaus. Die Qualität des gelieferten Rohbaus hat somit maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der folgenden Arbeitsschritte. Im Rahmen der Produktentwicklung entscheidet die Rohbauqualität über die Aussagekraft der darauf aufbauenden Absicherungen, von einzelnen Festlegungen bis hin zur Erprobung im Fahrbetrieb. Die Qualitätssicherung des Rohbaus ist somit ein wichtiges Instrument der Produktentwicklung. Seit Einsatz des MMU umfasst sie dabei:

- » Die Abnahme des gefertigten Rohbaus
- » Die Synchronisierung des PMU-Rohbaus mittels partieller Adaption

Eine Abnahme des Rohbaus erfolgt dabei bei Anlieferung des jeweils ersten Rohbaus vor einer neuen PMU-Phase wie beispielsweise der Elektrikfestlegung, dem Aufbau

der Erprobungsfahrzeuge oder der Bestätigungsfahrzeuge. Dabei wird der gefertigte Rohbau dem der Beauftragung zu Grund liegenden DMU-Datenstand gegenübergestellt und abgeglichen.

Aus dem erforderlichen Zeitbedarf bis zur Bereitstellung des Rohbaus resultiert die bereits in Kapitel 3.2.2 beschriebene Problematik der Arbeit auf nicht synchronisierten Datenständen. Während der Rohbau auf den Daten des Hauptentwicklungspfades zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe beruht, haben sich die Daten innerhalb des Hauptentwicklungspfades bereits weiterentwickelt. Aus diesem Grund erfolgt nach der Bereitstellung des Rohbaus neben der Eingangskontrolle mittels MR ein Quervergleich bezüglich des aktuellen Datenstands. Dieser Schritt wird nach Bedarf während der Nutzung des Rohbaus mehrfach wiederholt. Abbildung 6.7 zeigt die Aktivitäten der Qualitätssicherung anhand einer schematischen Darstellung.

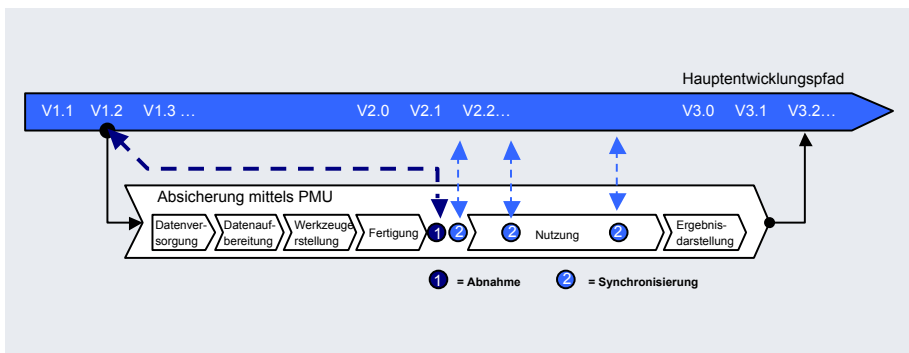


Abbildung 6.7: Einordnung der Qualitätssicherung Rohbau

6.2.1 Rohbauabnahme

Die Abnahme des Rohbaus erfolgt unmittelbar nach dessen Bereitstellung. Inhalte sind dabei unter anderem:

- » die Überprüfung von Bauteilständen
- » die Überprüfung der Maßhaltigkeit
- » die Überprüfung der Befestigungselemente
- » die Überprüfung der Nahtabdichtungen

Bei der Überprüfung der Bauteilstände erfolgt ein Abgleich zwischen dem Bauteilstand der verbauten Bleche und Träger sowie dem Beauftragungsstand, abgezogen aus dem DMU. Im Rahmen der Kontrolle der Maßhaltigkeit erfolgt der Abgleich mit den vorgegebenen Toleranzfeldern. Die Überprüfung der Befestigungselemente beinhaltet die Kontrolle von Schweißbolzen, Schweißmuttern etc. hinsichtlich Vollständigkeit und Lage. Bei der Begutachtung der Nahtabdichtungen erfolgt ein Abgleich zwischen realem Verlauf und im DMU hinterlegtem Toleranzfeld.

Während diese Überprüfungen bislang nur mit erhöhtem Aufwand durch Einsatz von mobilen CAD-Systemen, Ausdrucken, der Vermessung mittels stationärer Messmaschinen etc. möglich waren, werden sie durch den Einsatz des Mixed Mock-Ups wesentlich vereinfacht. Dabei erfolgt in allen genannten Arbeitsschritten eine Überlagerung des PMU mit abgezogenen Daten des DMU zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe.

Abbildung 6.8 zeigt die Abnahme der Bauteilstände mittels einer Überlagerung der DMU-Vorgaben als Drahtgittermodell.



Abbildung 6.8: Überprüfung des Rohbaustandes

In Abbildung 6.9 ist die Überprüfung des Dichtraufenverlaufs abgebildet. Das Toleranzband des DMU's wird dabei dem PMU als transparente Geometrie überlagert. Abbildung 6.10 zeigt exemplarisch die Absicherung der Schweißpunktlage an einer Festlegungskarosserie, welche in diesem Fall allerdings aufgrund der Rapid Prototyping Umfänge nur eine begrenzte Anzahl an Schweißpunkten enthält.



Abbildung 6.9: Überprüfung der Maßhaltigkeit der Dichtraupe

Die Abbildungen veranschaulichen dabei die Vorteile des MMU-Ansatzes. Durch die visuelle Überlagerung der Vorgaben – im Sinne einer virtuellen Lehre – lassen sich Abweichungen schnell identifizieren und gezielt korrigieren [→.QE, QT]. Gleichzeitig erleichtert die MR-Überlagerung den bisherigen Abgleich, da durch das automatische Tracking stets die erforderlichen Daten hinsichtlich des betrachteten Bauraums zur Verfügung stehen, eine Suche innerhalb des CAD oder in ausgedruckten Screenshots entfällt [→.QE, QT]. Durch den Einsatz der visuellen MMU-Abnahme konnte der benötigte Zeitaufwand trotz eines erhöhten Abnahmeumfangs in der Praxis um bis zu 70% reduziert werden, der Durchschnitt liegt insgesamt bei annähernd 50% gegenüber der bisherigen Vorgehensweise. Diese drastische Reduktion der erforderlichen Zeit [→.TE, TD] erlaubt eine detaillierte Überprüfung der einzelnen Rohbauten sowie eine häufigere Überprüfung von Stichproben. In

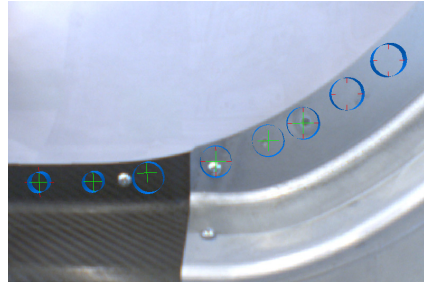


Abbildung 6.10: Überprüfung der Schweißpunktlage

Summe erhöht sich dadurch die Qualität des PMU-Rohbaus und somit ebenfalls die Qualität der darauf aufbauenden Absicherungen [→.QP, QS, QE]. Da die Resultate der durchgeführten Absicherungen wiederum in den DMU zurück gespielt werden, wirkt sich der MMU-Einsatz folglich mit zeitlicher Verzögerung ebenfalls positiv auf den Reifegrad des DMU aus [→ QD].

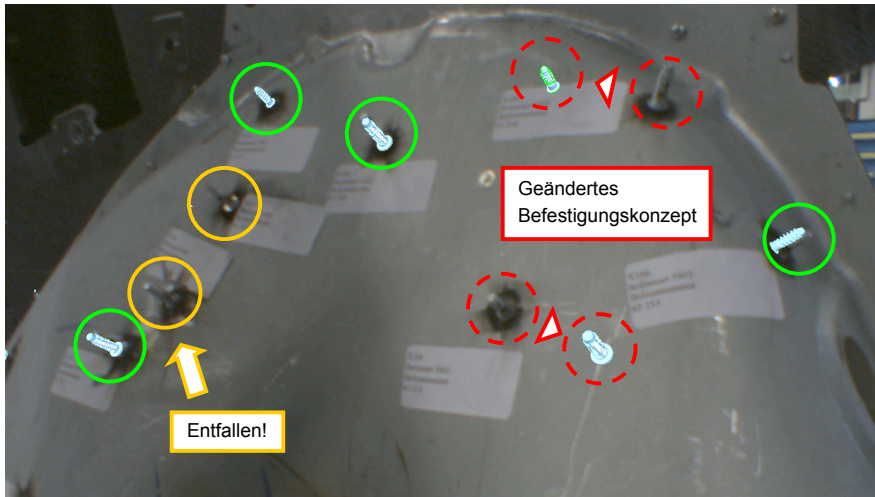


Abbildung 6.11: Überlagerung des aktuellen DMU-Bolzensatzes

6.2.2 Synchronisierung

Die Vorgehensweise bei der Synchronisierung des PMU-Rohbaus mit dem aktuellen Datenstand des Hauptentwicklungspfades entspricht der Vorgehensweise bei der Rohbauabnahme, der Unterschied liegt in dem dafür herangezogenen DMU-Datensatz. Anstelle des Beauftragungsstandes wird dem PMU der aktuelle Datenstand überlagert. Gemeinsam mit den späteren Nutzern des PMU erfolgt dabei eine Identifikation und Bewertung abweichender Stände zwischen PMU und DMU. Ist eine Anpassung des Rohbaus auf den aktuellen Datenstand für die kommenden Absicherungsaktivitäten zielführend, so erfolgt eine partielle Adaption des Rohbaus auf den aktuellen Entwicklungsstand.

Abbildung 6.11 zeigt exemplarisch die Überlagerung eines neuen Bolzenstandes. Mittels dieser Visualisierung können Veränderung wie beispielsweise der Entfall von Bolzen, die Aufnahme zusätzlicher Bolzen oder eine Umpositionierung unmittelbar erfasst, dokumentiert und bei Bedarf angepasst werden. Die Umrüstung selbst kann dabei ebenfalls durch das Anreißern neuer

Bolzenpositionen auf Basis der MMU-Darstellung beschleunigt werden [→.ID].

Wurde der vorgestellte Schritt der Synchronisierung bislang auf Grund des erforderlichen Zeitbedarfs – und damit einer zeitlichen Verzögerung der Absicherungen – für einzelne Umfänge durchgeführt, so erfolgt mittels des MMU die Überprüfung des gesamten PMU-Rohbaus zu Beginn einer jeden Hardwarephase [→QP, QS, QE, QT]. Zudem wird – wie bereits in Abbildung 6.7 dargestellt – abhängig vom dem jeweiligen Bedarf auch während der Nutzung eine Synchronisierung mit den aktuellsten DMU-Entwicklungsständen durchgeführt [→QP, QF, QS, QT]. Dieser Ansatz ermöglicht neben der bereits beschriebenen Erhöhung der Absicherungsqualität am PMU durch die stete Adaption im Bereich der Festlegungsphasen eine längere Nutzung der einzelnen PMU-Rohbauten und somit auf diesem Weg eine verbesserte Effizienz des Hardware-Einsatzes [→QE, KH].

Tabelle 6.3 fasst die Wirkung des MMU-Einsatzes bei der Qualitätssicherung des Rohbaus zusammen:

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
Prozess		Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
		Erhöhte Transparenz	[→QT]
Kosten [K]		Reduzierte Herstellkosten	[→KH]
		Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]
		Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]
Zeit [T]		Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]
		Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]

Tabelle 6.3: Wirkung des MMU hinsichtlich der Rohbauqualitätssicherung

6.3 Festlegung der Elektrik

6.3.1 Bedeutung der Elektrikfestlegung für künftige Fahrzeugprojekte

Im Zuge der Entwicklung alternativer Fahrzeugkonzepte – insbesondere der alternativen Antriebe – kommt es zu einem sprunghaften Anstieg neuer Fahrzeugkomponenten, deren Integration Auswirkungen auf das gesamte Fahrzeug mit sich führt. Die aktuell erhältlichen sowie in der Entwicklung befindlichen Antriebskonzepten haben dabei eine Gemeinsamkeit: Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Sowohl Hybridfahrzeuge als auch rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge oder

Brennstoffzellenfahrzeuge führen zu einem starken Anstieg des Anteils elektrischer Komponenten. Bei aktuellen, konventionellen Fahrzeugen beansprucht die Elektrik bereits einen großen Stellenwert innerhalb der Entwicklung. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge des Premiumsegments mit ihren zahlreichen Sicherheits- aber auch Sonderausstattungen. Abbildung 6.12 zeigt zur Veranschaulichung den Leitungssatz eines aktuell erhältlichen SUV.

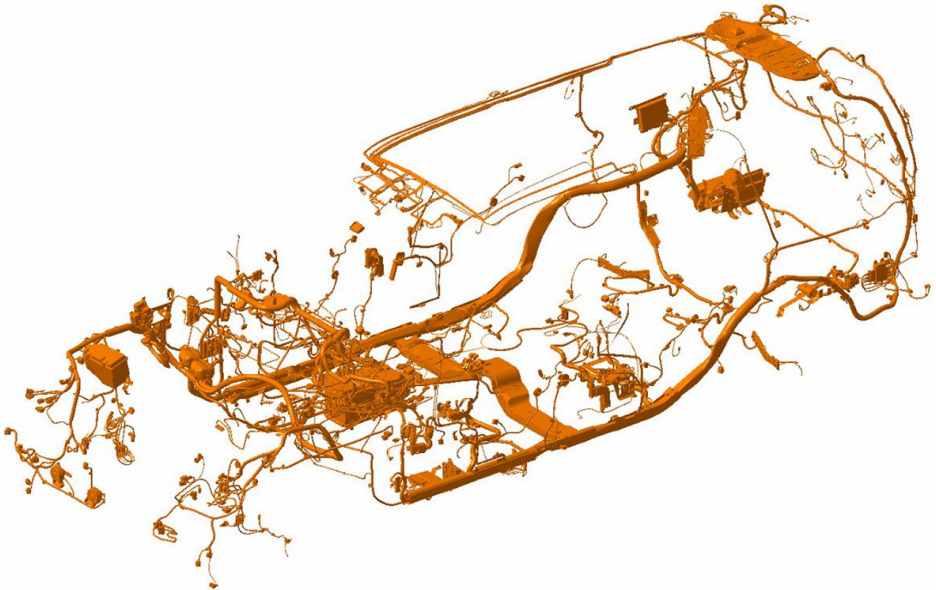


Abbildung 6.12: Umfang des elektrischen Leitungssatzes am Beispiel der GL-Klasse

6.3.2 Bedarf der Festlegung mittels PMU

Die finale Festlegung des Fahrzeugleitungssatzes erfolgt trotz weit entwickelter Möglichkeiten innerhalb des DMU nach wie vor an der Hardware. Der Grund hierfür liegt in den eingeschränkten Möglichkeiten bei der Simulation von Kabelverbänden im Fahrzeug. Während Simulationen bei einzelnen flexiblen Leitungen in einer DMU-Umgebung eine realitätsnahe Beurteilung des späteren physikalischen Verhaltens ermöglichen, stoßen sie bei Kabelverbänden an ihre Grenzen. Aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren – wie beispielsweise der manuellen Knüpfung des Leitungssatzes – scheint auch künftig eine Simulation dieser Umfänge nicht zielführend. Für die finale Festlegung bleibt somit der PMU unerlässlich.

Abbildung 6.13 zeigt einen Testaufbau zur Bewertung der Berechnungsgüte des Verhaltens flexibler Leitungen. Im Rahmen einer Diplomarbeit [TRU08] wurden mit Hilfe dieses Aufbaus die Berechnungsergebnisse dem tatsächlichen Verhalten eines Kabelverbundes gegenübergestellt. Der reale Testaufbau wurde dabei inklusive eingespanntem Leitungssatz eingescannt und in der virtuellen Umgebung mit den Berechnungsergebnis verglichen. Des Weiteren wurden im Rahmen dieser Dissertation die berechneten Leitungsverläufe mittels MR am Testaufbau den realen Leitungen gegenübergestellt, dies ist in dem eingefügten Bildausschnitt auf der linken Seite zu erkennen. MR hat in diesem Zusammenhang sein Potential hinsichtlich der Visualisierung und Verifizierung von Berechnungs- und Simulationsergebnissen bestätigt. Sowohl in der MR-Darstellung, als

auch in der virtuellen Gegenüberstellung sind die genannten Abweichungen zwischen Berechnungsergebnissen und tatsächlichem Bauteilverhalten sichtbar und bestätigen den Bedarf einer finalen Festlegung am PMU.

Für die Festlegung des Leitungssatzes erfolgt zu einem definierten Zeitpunkt ein Datenabzug des Rohbaus aus dem PMU. Auf dieser Basis erfolgt der Aufbau einer Festlegungskarosse, siehe hierzu Kapitel 6.2. Parallel erfolgt die Anfertigung eines Leitungssatzes auf Basis des DMU-Masters, der bereits einen vollständig auskonstruierten Leitungssatz enthält. Dieser DMU-Master basiert auf den Ergebnissen der Simulationen und zu einem großen Teil auf der Erfahrung der Konstrukteure.

Ist die Karosse fertig gestellt, wird dieser Leitungssatz in der Karosse montiert. Dabei erfolgt unter anderem eine Überprüfung und Anpassung:

- » der Leitungsführung
- » der Befestigungspunkt und -Elemente
- » der Lage von Kabelabgängen
- » oder auch der für die Komponententmontage erforderlichen Überlängen, beispielsweise bei der Kontaktierung von Steuergeräten.

Ziel und Ergebnis der Elektrikfestlegung ist ein widerspruchsfreier Leitungssatz inklusive Fertigungsplan, der für die Absicherung

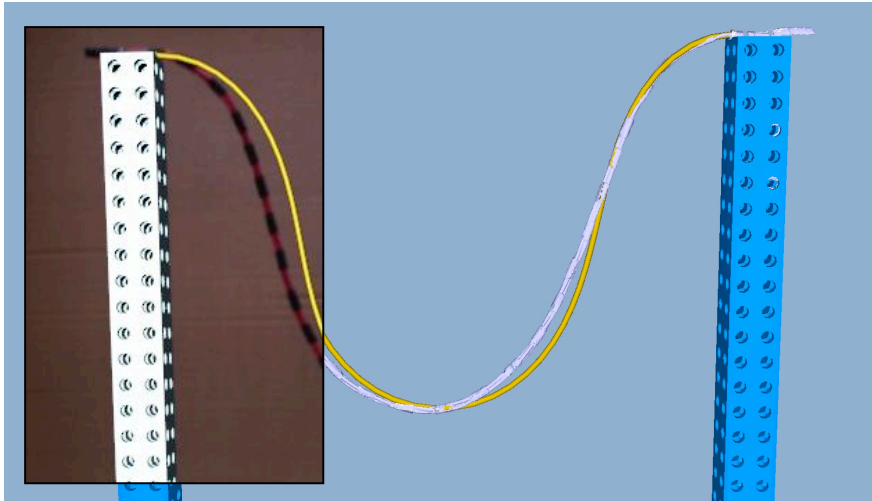


Abbildung 6.13: Berechneter Leitungsverlauf gegenüber tatsächlichem Verlauf

am Erprobungsfahrzeug einen erprobungs-würdigen Reifegrad besitzt. Nach erfolgter Festlegung ist somit eine Rückführung des Festlegungsstandes in den DMU-Masterleitungssatz erforderlich. Von diesem Leitungssatz werden im Anschluss die einzelnen Leitungssätze der fahrbaren Prototypen abgeleitet.

Im Folgenden wird Einsatz des Mixed Mock-Ups während den einzelnen Festlegungsschritten näher vorgestellt.

6.3.3 Vorbereitung der Festlegung

Die Entwicklungsphase der Elektrikfestlegung startet mit einer gemeinsamen Durchsprache der Festlegungsumfänge zwischen allen Beteiligten anhand der DMU-Master-Daten. Im Rahmen dieser Durchsprache

erfolgt die Abstimmung der kommenden Festlegungsaktivitäten, dabei sind sowohl die Konstrukteure als auch die Festlegungsmannschaft der Werkstattmeisterei als Teilnehmer anwesend. Bislang fand diese Besprechung in separaten Besprechungsräumen wie beispielsweise einer Powerwall statt, an die die Daten projiziert wurden. Nach Einführung des Mixed Mock-Ups wird diese Abstimmung nun direkt an der Hardware durchgeführt. Schwerpunkte und mögliche Problemstellungen können dabei unmittelbar am Fahrzeug diskutiert werden, wobei die Mixed Reality Darstellung allen Beteiligten eine gemeinsame Abstimmungsgrundlage bereitstellt. Da der MMU sowohl die Daten des DMU als auch den PMU beinhaltet, stellt er sämtliche für die Teilnehmer relevanten Informationen in Form der überlagerten Darstellung zur Verfügung. Im Falle des PMU erfolgt dabei

zunächst eine Qualitätssicherung wie in Kapitel 6.2 bereits beschrieben. Abbildung 6.14 und Abbildung 6.15 zeigen die Visualisierung des Leitungssatzes vor der Festlegung als Abstimmungsgrundlage. Abbildung 6.14 zeigt dabei einen Überblick über die Gesamtkarosse, Abbildung 6.15 im Detail die Betrachtung eines Tülldurchtritts sowie innerhalb des eingefügten Bildausschnitts das vorge-sehene Befestigungskonzept des Leitungssatzes am Rohbau mittels im Leitungssatz integrierter Klemmen.

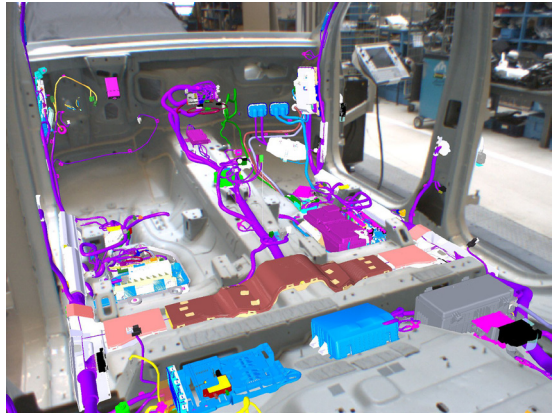


Abbildung 6.14: Sichtung des DMU-Leitungssatzes am PMU

Der Vorteil des Mixed Mock-Up-Ansatzes bei der Abstimmung der kommenden Elektrikfestlegung liegt in der Bereitstellung einer gemeinsamen Abstimmungsbasis für alle Beteiligten. Sowohl die Experten der Konstruktion als auch die Experten der Hardwarefestlegung finden die für sie erforderlichen Informationen in der Mixed Reality Darstellung.

Die Integration der Hardware, in diesem Fall der Festlegungskarosse, stellt einen deutlichen Mehrwert gegenüber einer reinen Betrachtung innerhalb des CAD-Systems dar. Einflüsse der Hardware – beispielsweise Toleranzen oder scharfe Grate an einzelnen Blechen – können bereits berücksichtigt, kritische Themen anhand der Visualisierung eindeutig aufgezeigt werden. Entstand die Kombination der vorhandenen Hardware mit

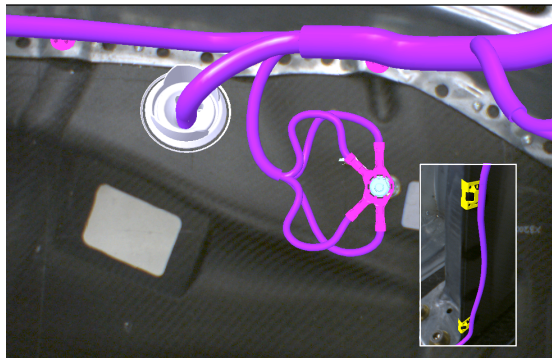


Abbildung 6.15: Sichtung von Tülldurchritten, Masse- sowie Befestigungspunkten

dem DMU-Leitungssatz bislang auf Basis einer Hardwaresichtung mit anschließender Betrachtung des Datensatzes innerhalb des CAD-Systems bei jedem Teilnehmer individuell innerhalb seiner eigenen Vorstellung, so steht nun ohne nennenswerten Mehraufwand eine eindeutige Visualisierung zur Verfügung [→QS, QE, QT]. Tabelle 6.4 fasst die Wirkung des Mixed Mock-Up Ansatzes für diesen Arbeitsschritt zusammen.

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
	Prozess	Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
	Erhöhte Transparenz	[→QT]	
Kosten [K]		Reduzierte Herstellkosten	[→KH]
		Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]
		Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]
Zeit [T]		Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]
		Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]

Tabelle 6.4: Wirkung des MMU im Rahmen der Festlegungsvorbereitung

6.3.4 Festlegung am PMU

Nach Anlieferung des Leitungssatzes wird dieser zunächst grob im Fahrzeug ausgebreitet, anschließend beginnt die Festlegung. Dabei wird der Leitungssatz an den vorgesehenen Befestigungspunkten arretiert und diese dabei bestätigt oder bei Bedarf angepasst. Ein weiteres Thema das bei der Festlegung berücksichtigt wird, sind die Überlängern einzelner Leitungsstränge. Diese sind erforderlich, da einzelne Komponenten bei der Montage im Werk zunächst lose kontaktiert und dann in ihrer Endposition montiert werden. Die Elektrikfachkraft legt dabei einerseits die erforderliche Überlänge final fest und bewertet andererseits diesen Leitungsstrang in seiner Endlage. Die Überlänge ist bei der Montage erforderlich, führt jedoch in montiertem Zustand zu

einem freien ungeführten Leitungsbereich, dessen Endlage unter Berücksichtigung des umgebenden Bauraums abgesichert werden muss.

Neben den bereits genannten Punkten ist ein weiteres wesentliches Element der Festlegung die Identifikation von Abweichungen zwischen DMU-Leitungssatz und realem Leitungssatz. Treten diese Abweichungen auf, so gilt es entweder sicherzustellen, dass diese Abweichungen keine Bauraumkonflikte wie beispielsweise Scheuerstellen oder Kollisionen bei der Montage verursachen oder aber bei deren Auftreten entsprechende Abhilfemaßnahmen wie zusätzliche Befestigungselemente zu definieren.

Anwendungsfelder des MMU sind in diesem Kontext:

» Überlagerung des DMU-Leitungssatzes

Die Überlagerung dient als Orientierungshilfe [→.QT, QS] bei der Verlegung des Leitungssatzes sowie zum raschen Delta-Abgleich zwischen den Leitungssätzen im DMU und am PMU. Die visuelle Überlagerung ermöglicht in diesem Kontext eine schnelle Identifikation der vorhandenen Unterschiede [→.QE] und unterstützt gemeinsam mit den im Folgenden aufgeführten Punkten eine schnelle Bewertung dieser Abweichungen [→.QE] sowie bei Bedarf die Einleitung entsprechender Abhilfemaßnahmen entweder an der Hardware oder im DMU [→.QD, QP]. Durch die unmittelbare Bereitstellung der DMU-Daten an der Attrappe kann eine erste Abstimmung gemeinsam mit den Fachbereichen bereits an der Attrappe erfolgen [→.QF, QE, QT] und die definierten Maßnahmen zielstrebig umgesetzt werden, auf diese Weise entfallen zusätzliche Iterationsschleifen [→.KE, TE]. Abbildung 6.16 zeigt die Überprüfung eines Kabelabgangs, Abbildung 6.17 die Bewertung

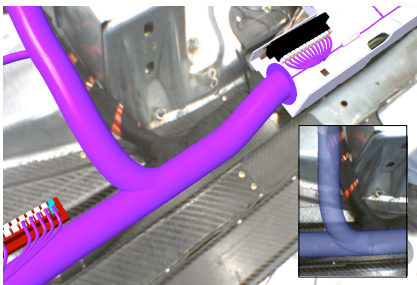


Abbildung 6.16: Überprüfung von Kabelabgängen

des Festlegungsstandes an dem bereits in Abbildung 6.15 dargestellten Tülldurchtritt mit benachbarter Massestelle.

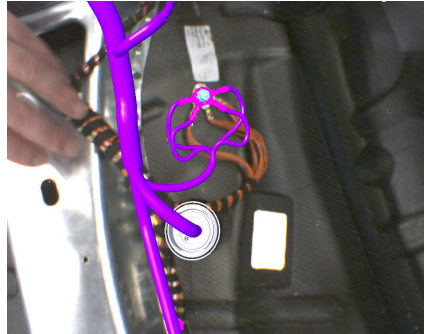


Abbildung 6.17: Bewertung eines Tülldurchtritts sowie einer Massestelle

» Berücksichtigung noch nicht verfügbarer Hardwareumfänge

Die Festlegungsattrappe ist in der Regel die erste vollständige Karosse, die im Rahmen eines Fahrzeugentwicklungsprojekts erstellt wird. Viele Komponenten wie beispielsweise die Montageteile im Innenraum sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht als Hardware verfügbar. Mittels MR können diese Umfänge dennoch visualisiert und bei der Festlegung berücksichtigt werden [→.QP, QF, QS, QE, QT]. Konventionelle Alternativen wären in diesem Fall kostenintensive Rapid Prototyping-Darstellungen, die für einzelne Schwerpunktsbereiche realisiert werden können. Durch die Überlagerung mittels MR konnte hierauf teilweise verzichtet werden [→.QE, QF, KH, TE]. Diese Form der Visualisierung kann beispielweise bei der Definition des finalen Leitungsverlaufs eine Hilfestellung sein, indem der

Bauraumbedarf der Montageteile eingeblendet und berücksichtigt werden kann [→.QP, QS, QE, QT]. Eine weitere Anwendung ist die Visualisierung des späteren Bauraumzustandes bei identifizierten Abweichungen zwischen DMU-Leitungssatz und Festlegungsstand. Für diese Abweichungen gilt es eine Beurteilung hinsichtlich deren Relevanz zu treffen. Mittels der Einblendung des späteren Umfelds kann eine Aussage getroffen werden, ob die festgestellte Abweichung unkritisch ist oder ob sie beispielsweise später zu Kollisionen, Problemen im Montageablauf oder zu möglichen Beschädigungen bzw. Scheuerstellen am Leitungssatz führen könnte [→.QD, QS, QE, QT]. Auf diese Weise lassen sich Folgekosten für eine Behebung zu einem späteren Zeitpunkt vermeiden [→.KE, KI]. Auch in diesem Fall können die Abhilfemaßnahmen mit den entsprechenden Fachabteilungen direkt an der Festlegungsattrappe abgestimmt werden. Abbildung 6.18 zeigt als Beispiel einen abweichenden Radienverlauf des realen Leitungssatzes. In dem relevanten

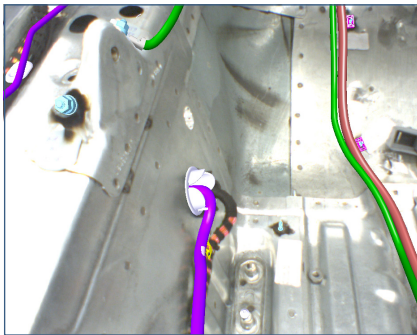


Abbildung 6.18: Identifikation und Bewertung abweichender Leitungsverläufe

Bereich befindet sich zu einem späteren Zeitpunkt der Bodenbelag, dargestellt als transparentes Objekt innerhalb des integrierten Bildausschnitts. In diesem Fall liegt der Leitungssatz größtenteils unterhalb des Belags, bei der Montage wird er lediglich durch den Schaum des Bodenbelags leicht beiseite gedrückt und stellt keine Behinderung dar. Diese Aussage lässt sich mittels des MMU leicht verifizieren, indem die Verpressung des Leitungssatz an dieser Stelle mittels manueller Kraftaufbringung simuliert und dabei die hierfür erforderliche Kraft erfasst wird. Eine seitliche Betrachtung mit entsprechender Schnittdarstellung durch den Bodenbelag ermöglicht dabei einen Abgleich zwischen aufgebrachter Kraft und resultierender relativer Lage zu dem Bodenbelag. Eine derartige Fragestellung lässt sich aufgrund der bereits dargestellten Problematik der flexiblen Leitungsverbünde am MMU mit deutlich geringerem Aufwand und höherer Ergebnisgüte als mit entsprechenden Simulationen innerhalb des DMU erörtern [→.QF, QS, QE, KE]. Berücksichtigung von Leitungssatz- und Ausstattungsvarianten.

Aktuelle Fahrzeugprojekte sind in Konsequenz der forcierten Kundenorientierung geprägt von einer großen Variantenvielfalt. Dies drückt sich einerseits in diversen Ländervarianten und andererseits in einer großen Anzahl verfügbarer Sonderausstattungen aus. Diese Variantenvielfalt spiegelt sich innerhalb des Leitungssatzes wieder. An einem Festlegungsfahrzeug war es bis heute nicht möglich, diese gesamte Varianz

abzubilden. Aus diesem Grund erfolgte eine Festlegung auf Basis des sogenannten „worst case“, d.h. der kritischsten Konfiguration für jeden einzelnen Bauraum. Mixed Reality unterstützt an dieser Stelle durch die Überlagerung der nicht in Hardware dargestellten Leitungssatzumfänge sowie elektrischer Komponenten, wie beispielsweise abweichender Steuergeräte für die einzelnen Ländervarianten. Auf diese Weise können sie bei der Festlegung mit einfließen [→.QD, QP, QF, QS, QE, QT, KE, TE].

Eine weitere Anwendung ist die Visualisierung von Ausstattungsvarianten, die zwar primär keine elektrischen Komponenten beinhalten, sich jedoch aufgrund ihres Bauraumbedarfs auf den Leitungssatz auswirken. Ein Beispiel ist die Einbringung zusätzlicher Verstärkungselemente im Rohbau bei bestimmten Sonderausstattungen. Im Bereich dieser Elemente darf es zu keiner Beeinträchtigung mit dem finalen Leitungssatz kommen, sollen zusätzliche Varianten innerhalb des Leitungssatzes vermieden werden [→.QD, QP, QF, QS, QE, QT, KE, TE]. Die genannten Beispiele

veranschaulichen, wie in diesem Fall der Einsatz des Mixed Mock-Ups zu einer effizienteren Hardwareauslastung beiträgt.

- » Berücksichtigung neuer Entwicklungsstände

In Kapitel 3.2.2 wurde bereits die Problematik entwicklungsbegleitender Absicherungen wie der Elektrikfestlegung aufgezeigt. Zwischen Datenabzug und Absicherung vergeht zwangsweise eine gewisse Zeitspanne, ebenso zwischen Absicherung und Rückfluss der Erkenntnisse in den Hauptentwicklungsprozess. Durch die Bereitstellung der aktuellen DMU-Daten mittels MR an der Festlegungskarosserie besteht erstmals die Möglichkeit einer unmittelbaren Berücksichtigung der neuen Entwicklungsstände [→.QP, QF, QE, QT, KE, TE]. Auf diese Weise wird eine direkte Synchronisierung zwischen DMU und PMU ermöglicht.

Tabelle 6.5 fasst den Einfluss des Mixed Mock-Up Einsatzes bei der Festlegung zusammen:

Tabelle 6.5:
Wirkung des MMU
bei der Festlegung

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QD] [→QP]
	Prozess	Erhöhte Flexibilität Erhöhte Prozesssicherheit Erhöhte Effizienz Erhöhte Transparenz	[→QF] [→QS] [→QE] [→QT]
Kosten [K]	Reduzierte Herstellkosten Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KH] [→KE] [→KI]	
Zeit [T]	Kürzere Entwicklungsdauer Kürzere Durchlaufzeiten	[→TE] [→TD]	

6.3.5 Rückführung des Festlegungsstands

Das Ergebnis der Festlegung in Form eines widerspruchsfreier Leitungssatz ist nach Ende der Festlegung in den DMU zu überführen. Auf Basis dieses angepassten DMU-Leitungssatzes werden im Folgenden die Leitungssätze der ersten fahrbaren Prototypen gefertigt. In diesem Zusammenhang bedeutet eine schnelle Rückführung der Festlegungsergebnisse in den DMU eine frühzeitigere Bereitstellung der realen Leitungssätze für die Prototypen.

Bezüglich des Informationstransfers von der PMU-Festlegung in den DMU kann der MMU auf zwei Arten unterstützen. Einerseits erfolgt bereits während der Festlegung die (interaktive) Dokumentation von abweichenden Umfängen, welche den Konstrukteuren zur Verfügung gestellt wird [→ QD, QF, QT]. Andererseits wird MR nach Ende

der Festlegung im Rahmen eines fokussierten Reverse Engineerings eingesetzt.

Im Zuge des Reverse Engineerings erfolgt erneut eine Überlagerung des PMU-Leitungssatzes mit dem bereits partiell angepassten DMU-Leitungssatz. Abweichungen zwischen DMU und PMU können sehr schnell visuell erfasst und anschließend zielgerichtet mittels der RE-Möglichkeiten des Messarms (siehe Kapitel 5.2.2) in dem DMU übertragen werden. Im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren ist dabei eine partielle Datenrückführung ausreichend [→ QD, QS, QE, TE].

Tabelle 6.6 fasst den Einfluss des Mixed Mock-Up Einsatzes für die Rückführung des Festlegungsstandes in den DMU zusammen:

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
Prozess		Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
		Erhöhte Transparenz	[→QT]
Kosten [K]		Reduzierte Herstellkosten	[→KH]
		Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]
		Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]
Zeit [T]		Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]
		Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]

Tabelle 6.6: Wirkung des MMU bei der Festlegungsrückführung

6.4 Aufbau der Aggregateträger

Die Aggregateträger dienen der frühzeitigen Komponentenerprobung bei Fahrzeugentwicklungsprojekten. Hierzu werden die zu erprobenden Komponenten in aktuelle Serienfahrzeuge integriert und im Fahrversuch erprobt. Durch den Rückgriff auf aktuelle Serienfahrzeuge kann die Erprobung und Abstimmung dabei bereits lange vor der Verfügbarkeit der ersten vollständigen, fahrbaren Prototypen des Entwicklungsprojektes erfolgen.

Der Aufbau der Aggregateträger stellt ein interessantes Anwendungsfeld für den Einsatz des Mixed Mock-Ups dar. Aufgrund des individuellen Charakters eines jeden Aggregateträgers – teils aktuelles Serienfahrzeug, teils Erprobungsumfänge neuer Fahrzeugprojekte – sind diese nicht in jedem Fall vollständig innerhalb des DMU abgebildet. Die Integration der zu erprobenden Komponenten erfordert stets die Adaption des Serienfahrzeugs auf die Erprobungsumfänge.

Der Mixed Mock-Up Ansatz kann bei dem Aufbau der Aggregateträger für folgende Umfänge zum Einsatz kommen:

- » Packaging-Untersuchungen wie beispielsweise Kollisionsbetrachtungen vor dem ersten Verbau
- » Abstimmung der Erprobungswürdigkeit
- » Aufbaubegleitende Unterstützung bei der Festlegung von Befestigungselementen sowie des Leitungssatzes
- » Unterstützung partieller Adaptionen

durch Bereitstellung der erforderlichen Datenstände

Wesentliche zu erprobende Komponenten eines Aggregateträgers stellen neue Motoraggregate dar. Am Beispiel dieser Aggregate lässt sich der Einsatz von MR im Sinne von Packaging-Untersuchungen darstellen. Neue Komponenten stehen oftmals im Rahmen des Aggregateträgers erstmalig als funktionsfähige Prototypen zur Verfügung. Im Falle der Aggregate wird das Rumpffaggregat angeliefert und neben dem ATG vollständig aufgerüstet. In dieser Zeit oder bereits zuvor kann mittels MR und dem DMU-Datensatz des Motors bereits eine erste Motorintegration in den bereits zur Verfügung stehenden Motorraum des ATG erfolgen. Mittels der MR-Darstellung werden Engstellen sowie Kollisionen identifiziert und können somit bereits vor dem ersten realen Verbauversuch behoben werden. Das aufgerüstete Motoraggregat lässt sich im Anschluss bereits beim ersten Versuch final im Fahrzeug montieren, der ATG kann innerhalb kürzerer Zeit aufgebaut werden [→.QP, QF, QE, KH, TD].

Oberstes Ziel bei dem Aufbau der Aggregateträger ist die Sicherstellung der Erprobungswürdigkeit. Dabei wird sichergestellt, dass Erprobungsbedingungen innerhalb des ATG den geforderten Rahmenbedingungen der einzelnen Komponenten entsprechen. Dies geschieht durch die Abnahme nach Integration der Komponenten in den ATG durch die jeweiligen Fachbereiche. Durch den MMU-Ansatz kann der spätere

Abbildung 6.19:
Kennzeichnung
von Leitungssatz-
durchtritten

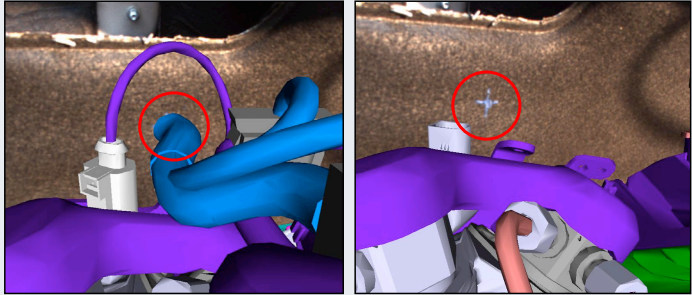
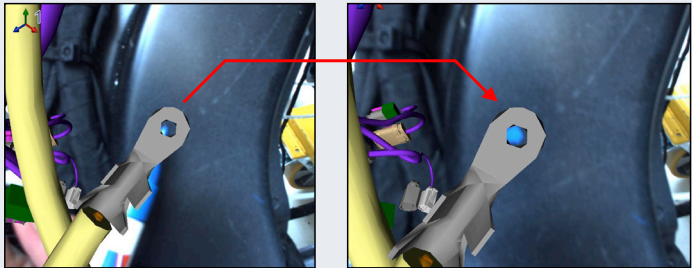


Abbildung 6.20:
Markierung eines
Massebolzens



Aufbauzustand bereits vor den Adaptionsarbeiten mit den Fachabteilungen gesichtet und bei Bedarf Korrekturen vorgenommen werden. Auf diese Weise wird die Reife des ATG bereits vor Start der Arbeiten erhöht und eine frühzeitigere Fertigstellung – und damit Übernahme in den Erprobungsbetrieb – erreicht [→.QP, QF, QS, QE, QT, KH, TD].

Bei der aufbaubegleitenden Unterstützung der Festlegung von Befestigungselementen sowie des Leitungssatzes entspricht das Vorgehen dem bei der Qualitätssicherung des Rohbaus sowie der Festlegung der Elektrik. Dabei werden die DMU-Vorgaben dem Rohbau des Serienfahrzeugs überlagert und als Unterstützung der Anpassung des Rohbaus verwendet. Dabei erspart

der MMU-Einsatz aufwendiges Abmessen und erleichtert so die Arbeit [→.QF, QS, QE, QT, KH, TD]. Abbildung 6.19 und Abbildung 6.20 zeigen exemplarisch Umfänge der Leitungssatzadaptation.

Ein weiteres Beispiel für die partielle Adaption des Serienfahrzeugs ist in Abbildung 6.21 dargestellt. Dabei galt es neue Luftführungen innerhalb der Frontschürze zu integrieren. Hierzu musste die Frontschürze zunächst passgenau beschnitten und das Prototypenbauteil anschließend in korrekter Lage eingefügt werden. Mittels MR wurde hierbei die Durchdringung des neuen Bauteils an der bisherigen Schürze visualisiert. Der erforderliche Beschnitt konnte anschließend durch nachfahren der



Überlagerung des angepassten Stossfängers



Anreisen der neuen Kontur

Abbildung 6.21: Adaption der Frontschürze

Durchdringungskurve auf der Schürze mit einem wasserfesten Marker innerhalb kürzester Zeit angezeichnet werden. Die reine Visualisierung der neuen Komponente unterstützte anschließend deren lagerechten Verbau. Auch in diesem Fall konnte wertvolle Erprobungszeit im Fahrbetrieb durch eine frühzeitigere Fertigstellung des ATG gewonnen werden [→.QP, QF, QS, QE, KH, TD].

Für den MMU-Einsatz bei den Aggregate-trägern wurde ein zweistufiges Konzept erarbeitet. Dabei werden zunächst im Rahmen eines Vorfestlegungswshops bauraumbezogene Sichtungen des ATG-Umfangs gemeinsam mit den einzelnen Auftraggebern der ATG aus den Fachbereichen der Entwicklung durchgeführt. Notwendige Anpassungen werden dabei identifiziert, weitere Anforderungen frühzeitig eingebracht. Der Aufbau profitiert von einer Reduktion der Teileabhängigkeit zu Beginn des Aufbaus sowie einer Reduktion der Durchlaufzeit durch fokussierte Adaption. Nach diesem Workshop startet

der Aufbau des ersten ATG, wobei bereits im Workshop identifizierte Schwerpunkte durch den MR-Einsatz unterstützt werden [→.QP, QF, QS, QE, QT, KH, TD].

Nach Fertigstellung des ersten ATG werden an diesem Fahrzeug kommende Variantenumfänge folgender Aufbauten visualisiert und analog dem ersten Workshop abgestimmt. Es folgt abermals die Unterstützung mittels MR bei Schwerpunktthemen während des Aufbaus der weiteren Fahrzeuge [→.QP, QF, QS, QE, QT, KH, TD].

Die geschilderte Vorgehensweise ist in Abbildung 6.22 wiedergegeben.

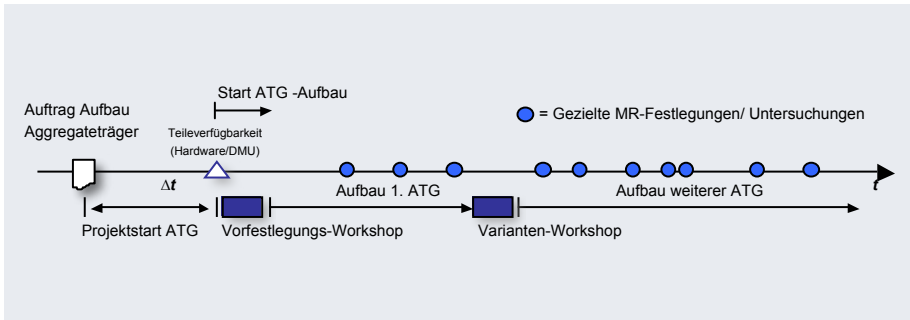


Abbildung 6.22: Einsatz des MMU für den ATG-Aufbau

Tabelle 6.7 fasst die Wirkung des MMU-Einsatzes bei den Aggregateträgern zusammen.

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
	Prozess	Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
		Erhöhte Transparenz	[→QT]
Kosten [K]	Reduzierte Herstellkosten	[→KH]	
	Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]	
	Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]	
Zeit [T]	Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]	
	Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]	

Tabelle 6.7: Wirkung des MMU bei dem Aufbau der ATG

6.5 Weitere Anwendungen in Kürze

Das tatsächliche Anwendungsspektrum des MMU geht in der Praxis weit über die vorgestellten Beispiele hinaus und lässt sich aufgrund des Umfangs nicht vollständig im Rahmen dieser Arbeit vorstellen. Dennoch soll in diesem Kapitel auf zwei weitere Anwendungsfelder des MMU in Kürze eingegangen werden. Während die bisherigen Beispiele im Bereich der konstruktiven Entwicklung sowie des Fahrzeugaufbaus im Umfeld der Digitalen Baubarkeit angesiedelt sind, wird in diesem Kapitel in Form der Thermischen Absicherung ein Beispiel aus dem Feld der Digitalen Prototypen und somit der Berechnung und Simulation aufgegriffen. Des Weiteren schildert die Anwendung innerhalb des Feuchtigkeitsschutzes einen beispielhaften Einsatz des MMU im Bereich der Fahrzeugerprobung.

6.5.1 Thermische Absicherung des Gesamtfahrzeugs

Die Thermische Absicherung des Gesamtfahrzeugs befasst sich mit dem Wärmemanagement innerhalb des Fahrzeuges. Dabei liegt der Fokus einerseits auf der Wärmebeaufschlagung der Fahrzeugkomponenten sowie andererseits auf der Wärmeabstrahlung in den Fahrgastraum. Hinsichtlich der Komponenten gilt es eine Überhitzung mit daraus resultierenden Konsequenzen wie Funktionseinschränkungen oder eine Minderung der Produktlebensdauer durch frühzeitige Absicherung zu vermeiden. Im gleichen Zuge gilt es komfortrelevante Wärmeabstrahlungen in den Innenraum zu identifizieren und diese durch geeignete

Abhilfemaßnahmen – wie zum Beispiel Abschirmbleche – zu vermeiden.

Im Rahmen der thermischen Absicherung erfolgen bereits in frühen Entwicklungsphasen Berechnungen und Simulationen des Wärmehaushalts innerhalb des Fahrzeugs unter verschiedenen extremen Randbedingungen, wie beispielsweise einer Bergfahrt mit Anhänger bei hochsommerlichen Temperaturen. Diese Berechnungen und Simulationen basieren auf dem Digitalen Prototypen (DPT). Auf Basis dieser Ergebnisse werden kritische Bauteiltemperaturen sowie komfortrelevante Wärmequellen identifiziert und Abhilfemaßnahmen eingeleitet. Die definierten Abhilfemaßnahmen werden dabei wiederum selbst anhand erneuter Berechnung und Simulation auf ihre Wirkungskraft hin überprüft.

Die Simulations- und Berechnungsergebnisse sowie die definierten Abhilfemaßnahmen werden in den folgenden Hardwarephasen im Fahrversuch verifiziert. Dazu Bedarf es der Applikation entsprechender Temperatur- aber auch Luftmassensensoren. Die Applikation erfolgt dabei auf Basis der Berechnungs- und Simulationsergebnissen, beispielsweise in Bereichen mit vorausgesagten Temperaturmaxima. Eine exakte Positionierung der Messsensoren ist in diesem Fall entscheidend für die Aussagekraft der Messergebnisse. Die Überprüfung der thermischen Verhältnisse erfolgt dabei bereits an den ersten verfügbaren fahrbaren Prototypen, den zuvor vorgestellten Aggregateträgern.

Im Rahmen eines Pilotprojektes, ebenfalls

begleitet im Rahmen dieser Dissertation [GHH08], wurde ein Autorensystem konzipiert, welches die Applikation der Messstellen mittels VR und AR unterstützt. Mittels der VR-Komponenten erfolgt hierbei unter Berücksichtigung der Berechnungs- und Simulationsergebnisse zunächst eine Definition der erforderlichen Messstellen in den einzelnen Prototypen anhand der visualisierten Bauteilumfänge. Es besteht eine Anbindung zu einer Datenbank, welche sämtliche bereits in der Vergangenheit definierten Messstellentypen enthält. Aus ihr können Informationen und Beschreibungen übernommen werden, neue Messstellentypen werden für künftige Projekte in ihr abgelegt. Resultate dieser virtuellen Messstellendefinition sind die geometrische Beschreibung der erforderlichen Messstellen, ein Messstellenplan in Listenform sowie eine interaktive 3D-Ansicht und Bilddokumentation.

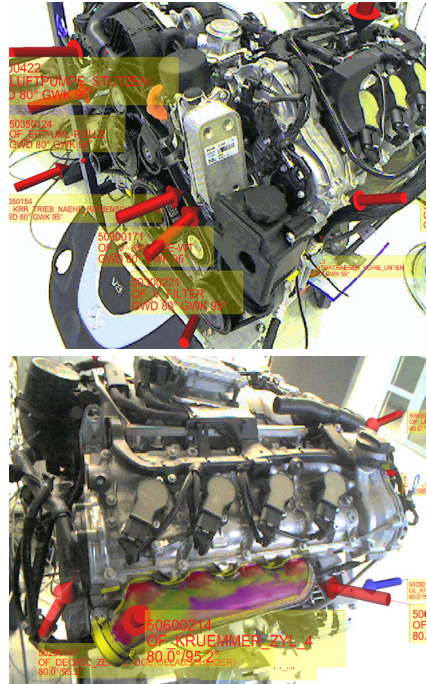


Abbildung 6.24: AR-Visualisierung der Messstellen

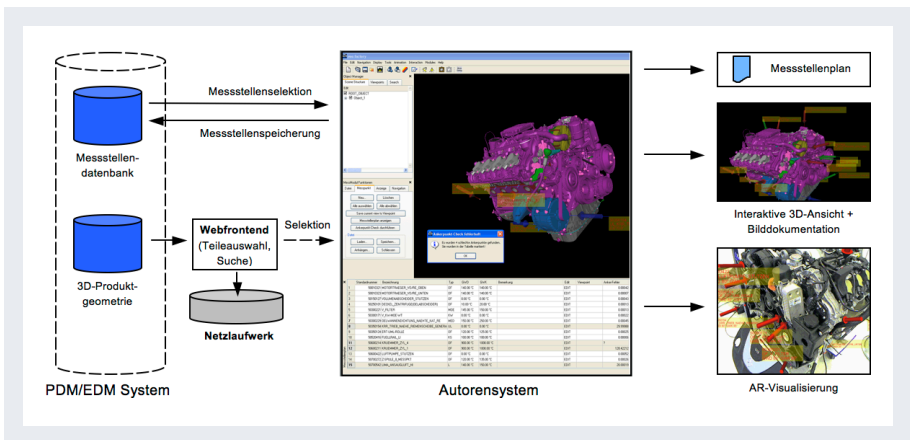


Abbildung 6.23: Konzeption eines TAG-Autorensystems

Mittels der AR-Komponenten erfolgt eine Unterstützung der Messstellenapplikation am PMU. Hierzu wird die Messstellenposition inklusive zugehöriger Informationen über den Messstellentypus am PMU mittels AR überlagert. Auf diese Weise stehen den Applikateuren eindeutige Referenzen bei der Positionierung der Messstellen zur Verfügung. Abbildung 6.23 zeigt den schematischen Aufbau des Autorensystems.

Abbildung 6.24 zeigt exemplarisch die Visualisierung von Messstellen an einem Motor.

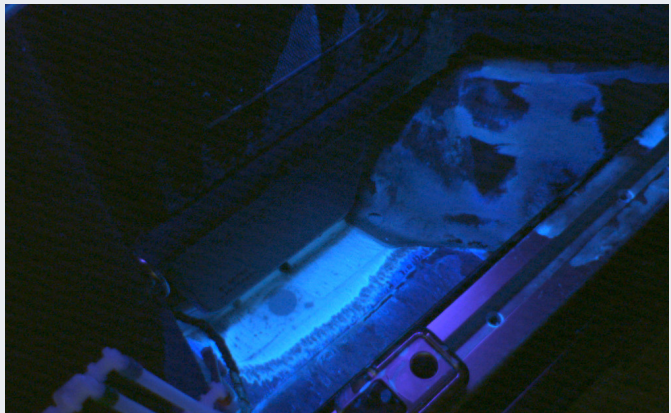
6.5.2 Feuchtigkeitsschutz

Die Absicherung des Feuchtigkeitsschutzes im Fahrzeug ist ein Beispiel der Anwendung des MMU im Bereich der Fahrzeugerprobung. Die Absicherung des Feuchtigkeitsschutzes befasst sich unter anderem mit dem Eintrag von Wasser durch unsachgemäße Handhabung des Kunden. Beispiele hierfür sind offene Fenster bei Regen oder das

Verschütten von Getränken im Innenraum.

Im Rahmen der Absicherung des Feuchtigkeitsschutzes wird in Erprobungsfahrzeugen gezielt möglicher Wassereintrag durch den Kunden nachgestellt sowie dessen Auswirkungen bewertet. Bei Bedarf erfolgen konstruktive Anpassungen wie beispielsweise das Einbringen zusätzlicher Ablaufbohrungen oder das Anbringen von Schutzkappen oder Kapselungen über elektrischen Bauteilen. Im Versuch wird dabei anhand definierter Szenarien fluoreszierende Flüssigkeit in das Fahrzeug eingebracht und für einen festgelegten Zeitraum im Fahrzeug belassen. Anschließend erfolgt eine partielle Demontage zur Begutachtung der Auswirkungen des Wassereintrags. Der Weg des Wassers kann dabei durch die Rückstände der fluoreszierenden Flüssigkeit mittels UV-Beleuchtung nachvollzogen werden. Die Folgen werden begleitend zu der Demontage mittels Fotografien dokumentiert und im Anschluss in einer Expertenrunde besprochen. Abbildung 6.25 zeigt eine solche Aufnahme.

Abbildung 6.25:
Dokumentation des
Feuchtigkeitseintrags
mittels UV-Licht



In diesem Kontext wurde der MMU erstmalig im Rahmen des Entwicklungsprojektes der kommenden M-Klasse eingesetzt [LON10]. Die Schwerpunkte liegen dabei auf:

- » Einer verbesserten Orientierung innerhalb der Aufnahmen
- » Einer Steigerung der Aussagekraft der Aufnahmen.

Zu diesem Zweck erfolgt die Aufnahme der Fotos nicht wie bisher mittels Handkamera sondern mittels des MR-Systems in Form von interaktiven Screenshots (siehe Kapitel 5.2.1.2).

Eine verbesserte Orientierung lässt sich im Nachgang durch die Überlagerung von Referenzgeometrien erreichen. Aufgrund der UV-Belichtung sind die Aufnahmen normalerweise sehr dunkel und kontrastarm, wodurch die Orientierung innerhalb der Aufnahme erschwert ist. Werden

mittels MR Bauteilkonturen in Form der Drahtgitter-Visualisierung hervorgehoben, Bauteile transparent oder als Vollvolumenmodelle eingeblendet, so erleichtert dies die Orientierung.

Eine verbesserte Aussagekraft der Aufnahmen lässt sich durch die Überlagerung bewertungsrelevanter Umfänge wie beispielsweise zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits demontierter Umfänge erreichen. Weitere Anwendungen sind die Einblendung neuer Datenstände oder abweichender Fahrzeugkonfigurationen. Ebenso lassen sich nachträglich neue Bauteil- oder Packagingstände mittels der interaktiven Dokumentation bewerten.

Abbildung 6.26 zeigt für einen ausgewählten Bereich einerseits die Überlagerung der Peripherie sowie andererseits das Einblenden eines neuen Bauteilstandes in einem von Wassereintrag betroffenen Bereich.

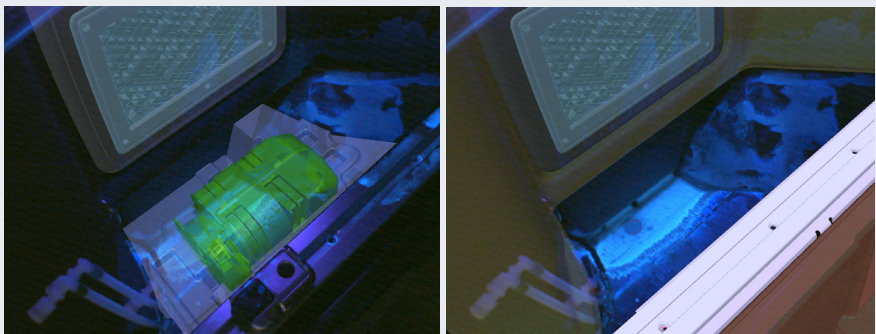


Abbildung 6.26: MMU Einsatz für die Absicherung des Feuchtigkeitsschutzes

6.6 Bewertung des Mixed Mock-Ups

Im Rahmen dieses Kapitels soll eine Bewertung des Mixed Mock-Up Einsatzes in der Produktentwicklung bei Mercedes-Benz Cars erfolgen. Dabei wird einerseits auf die Bewertungen aus Kapitel 6.1 bis 6.4 sowie andererseits die Auswertung der in Kapitel 4.2.2.1 bereits erwähnten systematischen Einsatzzerfassung zurückgegriffen. Die Erfahrung aus den vorgestellten Anwendungen wird dabei auf den gesamten Produktentwicklungsprozess übertragen

6.6.1 Bewertung hinsichtlich der Erfolgsfaktoren

Die vorgestellten Anwendungsbeispiele geben einen Einblick in das breite Einsatzspektrum des Mixed Mock-Ups. Die Zusammenfassung der einzelnen Effekte des MMU-Ansatzes in Tabelle 6.8 verdeutlicht: Der Einsatz des Mixed Mock-Ups wirkt sich positiv auf sämtliche der Wettbewerbsfaktoren Qualität, Kosten und Zeit aus.

diese Resultate lassen sich jedoch auf das gesamte Anwendungsspektrum übertragen. Abbildung 6.27 zeigt hierzu den Auszug aus einer Befragung unter verschiedenen Vertretern der Entwicklungsbereiche hinsichtlich deren Bewertung der Mixed Mock-Up Einführung in die Produktentwicklung.

Tabelle 6.8 fasst die Ergebnisse ausgewählter Anwendungsbeispiele zusammen,

Qualität [Q]	Produkt	Reifegradsteigerung des Digital Mock-Up	[→QD]
		Reifegradsteigerung des Physical Mock-Up	[→QP]
Prozess		Erhöhte Flexibilität	[→QF]
		Erhöhte Prozesssicherheit	[→QS]
		Erhöhte Effizienz	[→QE]
		Erhöhte Transparenz	[→QT]
Kosten [K]		Reduzierte Herstellkosten	[→KH]
		Reduzierte Entwicklungs- und Konstruktionskosten	[→KE]
		Reduzierte Instandhaltungskosten	[→KI]
Zeit [T]		Kürzere Entwicklungsdauer	[→TE]
		Kürzere Durchlaufzeiten	[→TD]

Tabelle 6.8: Gesamtübersicht über die Wirkung des Mixed Mock-Ups

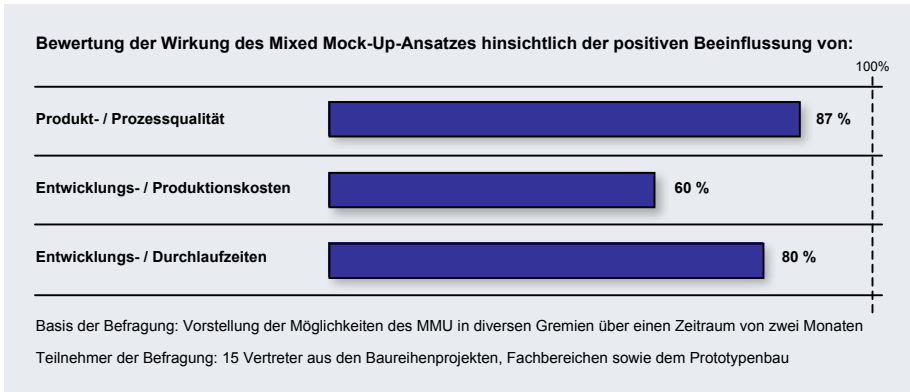


Abbildung 6.27: Allgemeine Bewertung der Wirkung des MMU

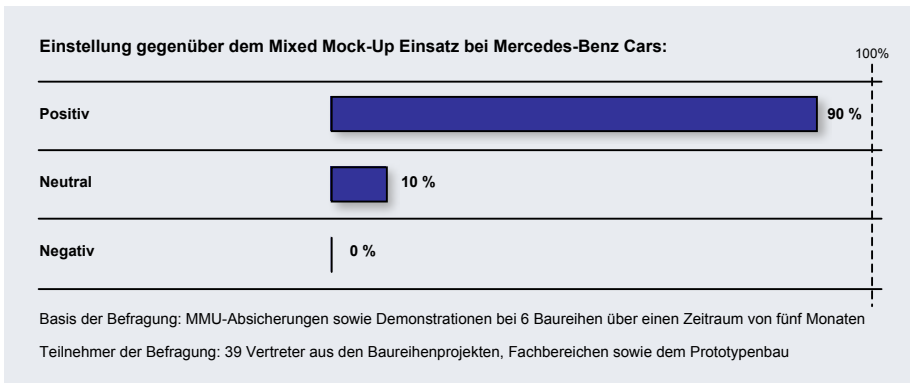


Abbildung 6.28: Einstellung gegenüber dem Mixed Mock-Up Einsatz

Diese positive Bewertung hinsichtlich der Wirkung auf die Wettbewerbsfaktoren spiegelt sich in der allgemeinen Einstellung der Entwicklungsvertreter gegenüber dem Einsatz des Mixed Mock-Ups bei Mercedes-Benz Cars wieder, dargestellt in Abbildung 6.28. Eine deutliche Mehrheit von 90 Prozent der Befragten Vertreter befürwortet den Einsatz während die verbleibenden 10 Prozent eine neutrale Haltung einnehmen.

Für das im Rahmen dieser Dissertation im Mittelpunkt stehend Anwendungsfeld der Baubarkeit wurde des Weiteren die Aussagekraft der durchgeführten MMU-Absicherungen durch Auftraggeber und Teilnehmer bewertet. Wie Abbildung 6.29 zu entnehmen ist, konnten in 56 Prozent der Fälle eine eindeutige Aussage hinsichtlich der Absicherungsziele getroffen werden, bei 40 Prozent der Einsätze konnten einzelne Teilaspekte bewertet werden und in 4 Prozent

der Fälle war nur eine unzureichende Aussagekraft gegeben. Diese Verteilung ist vergleichbar mit der Aussagekraft entsprechenden Absicherungen mittels Virtual Reality.

Wird der Aufwand in Relation zu den erzielten Ergebnissen gesetzt, so lässt sich Abbildung 6.30 entnehmen, dass lediglich in 12 Prozent der Einsätze die Effizienz als unzureichend bewertet wurde.

An dieser Stelle ist zu vermerken, dass die vorgestellten Ergebnisse auf Befragungen basieren, welche über begrenzte Zeiträume mit verschiedenen Schwerpunkten durchgeführt wurden. Eine umfassende, kontinuierliche Erfassung sämtlicher MMU-Einsätze war im Rahmen der Gegebenheiten, beispielsweise der raschen technologischen Weiterentwicklung sowie erweiterter Anwendungsfelder, nicht möglich.

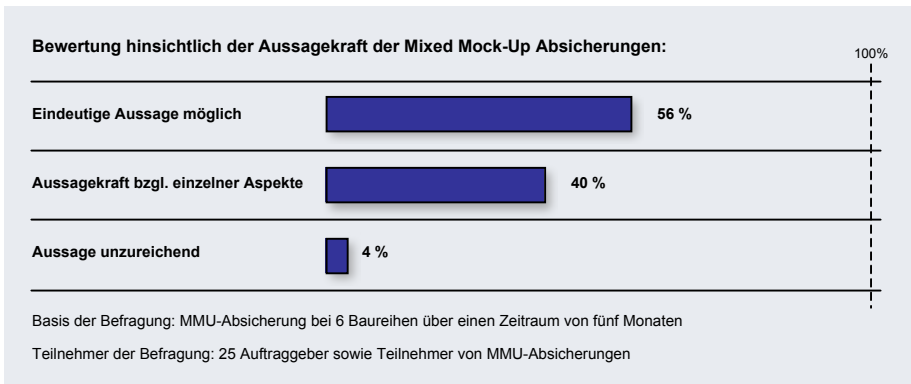


Abbildung 6.29: Aussagekraft der MMU-Absicherungen in der Baubarkeit

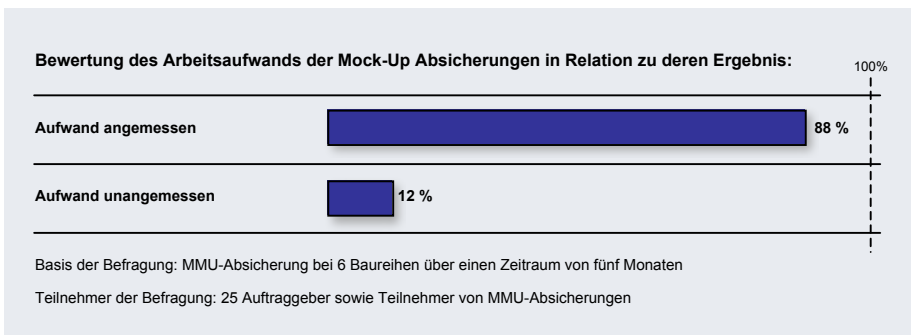


Abbildung 6.30: Effizienz des MMU im Rahmen der Baubarkeit

6.6.2 Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups als Entwicklungsplattform

In Kapitel 5.4 wurde der Anspruch einer Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups als neue zentrale Entwicklungsplattform der Automobilindustrie neben DMU und PMU erhoben. Wie bereits in Kapitel 5.4 gezeigt, erfüllt der MMU durch die Kombination von DMU und PMU bereits zwei der drei erforderlichen Merkmale einer zentralen Entwicklungsplattform. Einerseits spiegelt er den aktuellen Entwicklungsfortschritt wieder, andererseits bildet er die Basis kommender Entwicklungsaktivitäten.

Letztes zu erfüllendes Merkmal bleibt die Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups. Werden die vorgestellten Anwendungsbeispiele betrachtet, so verdeutlichen diese unter anderem die Erfüllung eben dieses letzten Merkmals. Der Mixed Mock-Up bietet eigenständige Möglichkeiten, die über die Möglichkeiten des DMU und des PMU allein hinausreichen. Ein Beispiel hierfür ist das Konzept der virtuellen Lehre bei der Überprüfung von Aufbauzuständen wie den

Bolzenpositionen oder den Verläufen der Dichtraupen.

Die Erfahrungen aus den vorgestellten Beispielen werden durch die Bewertung der Anwender, dargestellt in Abbildung 6.31, untermauert. In 92 Prozent der bewerteten Einsätze im Umfeld der Baubarkeit war ein Mehrwert gegenüber den Möglichkeiten des DMU und PMU zu erkennen.

Die gezielte Nachfrage nach dem jeweiligen Mehrwert ergab unter anderem die in Abbildung 6.32 enthaltenen Vorteile des Mixed Mock-Ups gegenüber DMU und PMU. Es gilt an dieser Stelle wie bereits in Kapitel 4.2.2 festzuhalten, dass dies keine pauschalen Aussagen über sämtliche Absicherung innerhalb der Produktentwicklung darstellen. Absicherungen bei denen von vorn herein Methoden des DMU oder des PMU gewählt wurden, entziehen sich dieser Bewertung.

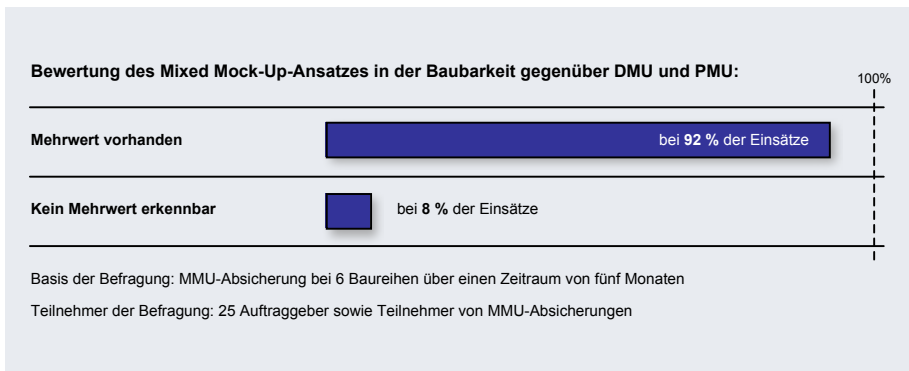


Abbildung 6.31: Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups

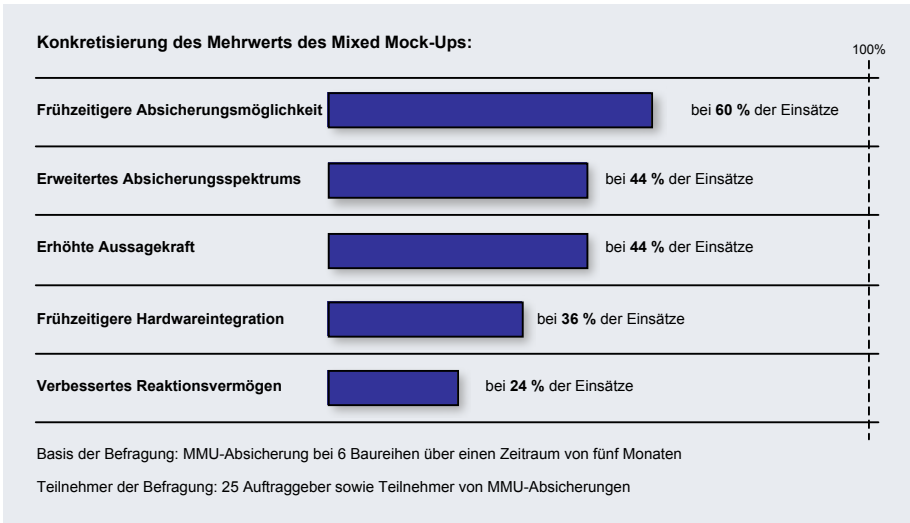


Abbildung 6.32: Ausgewählter Mehrwert des Mixed Mock-Ups

6.6.3 Bewertung hinsichtlich Zusammenarbeit und Innovation

Hinsichtlich der Förderung von Innovation und Zusammenarbeit leistet der Mixed Mock-Up einen entscheidenden Beitrag mittels der Bereitstellung einer gemeinsamen Arbeitsplattform [siehe LOT06, S.4] sowohl

für die Entwicklungspartner der virtuellen Produktentwicklung, als auch die Entwicklungspartner der Hardware-Entwicklung. Dieser Zusammenhang ist erneut in Abbildung 6.33 dargestellt.

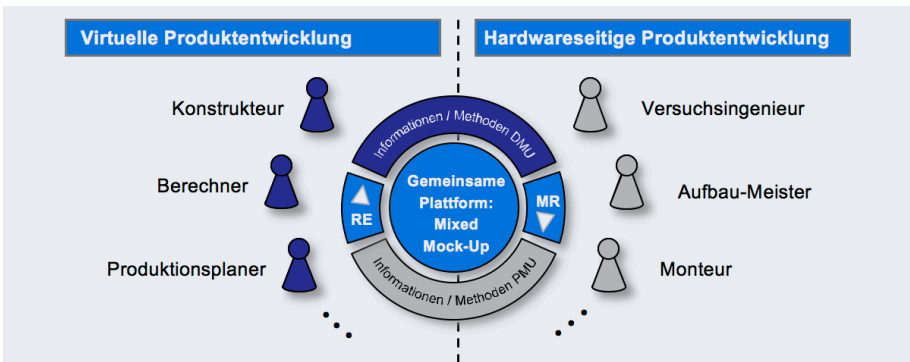


Abbildung 6.33: Gemeinsame Arbeitsplattform Mixed Mock-Up

Allg. Bewertung der Wirkung des Mixed Mock-Up-Ansatzes hinsichtlich der Zusammenarbeit:

Stärkung des Informationsaustausches  **80 %**

Basis der Befragung: Vorstellung der Möglichkeiten des MMU in diversen Gremien über einen Zeitraum von zwei Monaten

Teilnehmer der Befragung: 15 Vertreter aus den Baureihenprojekten, Fachbereichen sowie dem Prototypenbau

Abbildung 6.34: Mixed Mock-Up im Kontext der Zusammenarbeit

Aus dieser gemeinsamen Arbeitsplattform, welche eine unmittelbare Verzahnung von DMU und PMU ermöglicht, resultiert die positive Beeinflussung der Prozessqualität. Die direkte Verfügbarkeit aktuellster Informationen sowohl aus DMU als auch PMU verbessert die Flexibilität sowie die Effizienz, die eindeutige Kombination der Informationen aus DMU und PMU steigert die Prozesssicherheit. Die Bereitstellung hybrider Prototypen – teils virtuell, teils real – fördert den gegenseitigen Austausch sowie das Verständnis für den aktuellen Entwicklungsfortschritt und somit die Prozesssicherheit.

Wie eine Befragung unter den Entwicklungspartnern ergab, sehen 80 Prozent der Befragten durch den Einsatz des Mixed Mock-Ups eine Stärkung des Informationsaustausches zwischen DMU und PMU. Das Ergebnis der

Befragung ist in Abbildung 6.34 dargestellt. Die in Kapitel 6.1 bis Kapitel 6.5 aufgezeigten positiven Effekte hinsichtlich der Produktqualität, der Kosten sowie der Zeit sind im Wesentlichen auf die genannten Verbesserungen bei der Zusammenarbeit zurückzuführen.

Die Förderung der Innovationskraft durch eine verbesserte Zusammenarbeit konnte ebenfalls bestätigt werden. So etablierten sich auf Basis des Mixed Mock-Ups neue Ansätze wie beispielsweise Chargenabnahmen, Festlegungsworkshops oder Montageanweisungen mittels Mixed Reality. Diese Ansätze entstammen dabei gemeinsamen Überlegungen der Vertreter des DMU sowie des PMU und sind Reaktion sowie vorausschauende Maßnahmen zur Begegnung der in Kapitel 2.1 aufgezeigten Herausforderungen.

6.7 Zusammenfassung

- » Die Wirkung des Einsatzes des (automotive) Mixed Mock-Ups in der Produktentwicklung erfolgt auf Basis ausgewählter Anwendungen
- » Für die Erfassung und Bewertung der Wirkung des Mixed Mock-Ups auf die Produktentwicklung werden dabei die übergeordneten Erfolgsfaktoren Qualität, Kosten und Zeit herangezogen
- » Die Zusammenfassung der Erfahrungen aus der praktischen Anwendung zeigt, dass sich der Mixed Mock-Up positiv auf alle der drei genannten Wettbewerbsfaktoren auswirkt.
- » Die Möglichkeiten des MMU reichen weit über die des DMU und PMU hinaus. Die Eigenständigkeit und damit die Rolle als weitere zentrale Entwicklungsplattform ist somit belegt.
- » Durch die Breitstellung einer eindeutigen Arbeitsplattform an der Schnittstelle zwischen DMU und PMU leistet der Mixed Mock-Up einen entscheidenden Beitrag zu der Förderung der Zusammenarbeit und damit der Innovationskraft.

7.0 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit war der Aufbau eines eng verzahnten DMU / PMU Prozesses in der Pkw-Entwicklung durch die Einführung von Mixed Reality als neue Technologie in der Produktentwicklung. Dieser Schritt dient der Begegnung der Herausforderungen des globalen Wettbewerbs, der konsequente Kundenorientierung sowie der nachhaltige Mobilität in der Automobilindustrie mittels der Stellhebel Innovation, Kooperation und Agilität (siehe Kapitel 2).

Die Wirkung technologischer Werkzeuge, insbesondere IT-Tools, wurde als vielversprechender Ansatz bei der Begegnung der genannten Herausforderungen hervorgehoben (siehe Kapitel 3).

Die systematische Implementierung von Mixed Reality in den Produktentwicklungsprozess (siehe Kapitel 4) hat gezeigt, dass der durchgängige Einsatz von Mixed Reality in der Produktentwicklung eine bessere Ausgangsposition im internationalen Wettbewerb unter den Automobilherstellern ermöglicht (siehe Kapitel 6).

Die zu Beginn aufgestellte Hypothese, der Einsatz von Mixed Reality erlaube eine direkte und somit stärkere Verzahnung der virtuellen und der hardwarelastigen Entwicklungsaktivitäten und fördere auf diese Weise die Zusammenarbeit innerhalb des Unternehmens konnte bestätigt werden, darüber hinaus ergaben sich weitere synergetische Effekte welche zu Beginn der

Arbeit noch nicht absehbar waren (siehe Kapitel 6).

Aus der Einführung der Technologie Mixed Reality resultierte dabei nicht allein eine Veränderung innerhalb der Tool-Landschaft der Produktentwicklung sondern vielmehr eine Veränderung innerhalb der Prozesslandschaft. Basierend auf dem systematischen Technologieeinsatz konnte eine neue Entwicklungsplattform – der automotive Mixed Mock-Up – neben DMU und PMU bereitgestellt werden (siehe Kapitel 5).

Aus der durchgängigen Integration dieser Plattform in die Produktentwicklung resultieren:

- » eine Steigerung der Produktqualität
- » eine Steigerung der Prozessqualität
- » eine Reduktion der Entwicklungs- und Produktionskosten sowie
- » eine Reduktion des erforderlichen Zeitbedarfs für Entwicklung und Produktion

Kapitel 6 belegt diese Wirkung und zeigt darüber hinaus, dass neben diesen Effekten aus dem Einsatz des Mixed Mock-Ups die Schaffung einer gemeinschaftlichen Arbeitsumgebung resultiert, welche die Zusammenarbeit fördert und damit die Innovationskraft innerhalb der Produktentwicklung stärkt.

Neben der Verbesserung der Zusammenarbeit und Innovationskraft werden zudem die Kooperation wie auch die Agilität mit beeinflusst. Aus der Förderung der Zusammenarbeit resultiert eine Verbesserung der innerbetrieblichen Kooperation. Die Kooperation über die Unternehmensgrenzen hinaus kann durch den Einsatz des Mixed Mock-Ups als Austauschplattform beispielsweise mit Zulieferern ebenfalls positiv beeinflusst werden. Die Steigerung der Effizienz innerhalb der Entwicklung schafft Freiräume und bewirkt eine Flexibilisierung der Produktentwicklung und somit eine Verbesserung der Agilität im internationalen Wettbewerb.

Durch die direkte Integration der Anwender wurde die neue Technologie sowie die neue Entwicklungsplattform innerhalb kürzester Zeit akzeptiert sowie deren Einsatz

unterstützt. Abbildung 7.1 verdeutlicht die positive Resonanz anhand der Auflistung der jährlichen Einsätze für eine ausgewählte Baureihe ab der Einführung der Technologie für dieses Fahrzeugprojekt im Jahr 2008. Die Anzahl der Einsätze wurde hierbei normalisiert, die tatsächliche Zahl liegt mittlerweile alleine bei den Einsätzen im Rahmen der Baubarkeit über alle Pkw-Baureihen bei Mercedes-Benz im dreistelligen Bereich.

Durch den Einsatz der hybriden Prototypen – mittels des MMU – lässt sich die heutige Varianz unter und innerhalb der Entwicklungsprojekte effizient an der vorhandenen Hardware darstellen und absichern. Der Zugewinn an Effizienz schafft dabei Handlungsspielraum für kommende Herausforderungen bei der Entwicklung alternativer Fahrzeugkonzepte.

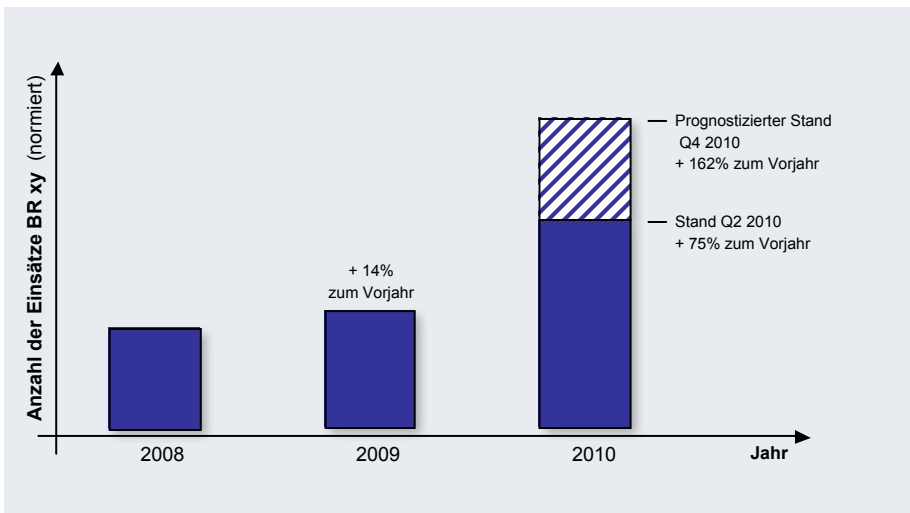


Abbildung 7.1: Anzahl der MMU-Einsätze über die Zeit

Diese Arbeit soll als Grundstein und Auf-
satzpunkt zahlreicher Folgearbeiten die-
nen. Erstmals beschreibt sie Anhand des
Konzeptes des automotive Mixed Mock-
Ups einen durchgängigen Einsatz von
Mixed Reality in der Produktentwicklung.
Die Erkenntnisse beruhen dabei auf Erhe-
bungen sowie den Erfahrungen aus der
unmittelbaren praktischen Anwendung
der Technologie bei aktuellen Fahrzeug-
entwicklungsprojekten bei Mercedes-Benz
Cars. Mixed Reality wurde dabei im Rahmen
dieser Arbeit in die Pkw-Entwicklung bei
Mercedes-Benz Cars integriert und hat sich
mittlerweile als fester Bestandteil aktueller
Fahrzeugentwicklungsprojekte etabliert.

Aus Gründen der Transparenz und Nachvoll-
ziehbarkeit beschränkt sich diese Arbeit
auf die Vorstellung einzelner ausgewählter
Anwendungen. Das tatsächliche Anwen-
dungsspektrum konnte im Rahmen der
durchgeführten Aktivitäten von ersten Kon-
zeptuntersuchungen bis hin zur Produktion
der Fahrzeuge im Zielwerk ausgedehnt
werden.

7.2 Ausblick

Mit der fortschreitenden technologischen
Weiterentwicklung sowie dem wachsen-
den Anwendungsspektrum des Mixed
Mock-Ups ergeben sich zahlreiche Anknüp-
fungspunkte kommender Arbeiten. Wäh-
rend diese Arbeit den Gesamtkontext aus
einer qualitativen Perspektive betrachtet,
werden sich künftige Arbeiten verstärkt
spezifischen, abgegrenzten Anwendungs-
feldern widmen. An dieser Stelle wer-
den quantitative Betrachtungen unter

Berücksichtigung messbarer Erfolgskrite-
rien an Bedeutung gewinnen, zudem sind
umfassende Betrachtungen aus Sicht des
Wissensmanagements lohnenswert. Wei-
tere Schwerpunkte werden auf der Wei-
terentwicklung der MR-Software – sowohl
interner Lösungen als auch externer Pro-
dukte – sowie der Auslegung und Weiter-
entwicklung der MR-Gesamtsysteme liegen.
Hinsichtlich der letztgenannten Systemkon-
figuration wird dem Tracking eine wichtige
Bedeutung zukommen. Dabei spielt sowohl
die Anbindung weiterer bereits heute in
anderem Kontext in der Produktentwick-
lung verfügbarer Trackingsysteme als auch
die Integration neuer Trackingansätze eine
Rolle.

Wird der Schwerpunkt dieser Arbeit, die Digi-
tale Baubarkeit, herangezogen so zeichnen
sich hinsichtlich künftiger Aktivitäten fol-
gende thematische Schwerpunkte ab:

- » Optimierung der Darstellung durch
stereoskopische egozentrische
Visualisierung
- » Einsatz erweiterter Trackingver-
fahren auf Basis objektsensitiver
Bildverarbeitung
- » Erfassung von Tiefeninformationen
in Echtzeit
- » Verbesserung der Interaktion in der
hybriden Entwicklungsumgebung.

Hinsichtlich der Darstellung ist die perso-
nenbezogene Bereitstellung stereoskopi-
scher Visualisierungen aus der Perspektive
des jeweiligen Anwenders (siehe Kapitel
4.1.3.1) langfristig zu verfolgen. Entschei-
dend ist an dieser Stelle die Verfügbarkeit

hochwertiger Head-Mounted Displays (HMD), welche ein geringes Gewicht, eine hohe Auflösung sowie günstige Anschaffungskosten in sich vereinen. Derzeit sind derartige Geräte nicht erhältlich [WEI03, S.889].

Bezüglich des Trackings sollte mittelfristig ein Ansatz bereitgestellt werden, welcher einen großen Aktionsradius bei gleichzeitig hoher Bewegungsfreiheit mit sich bringt. Mechanische Systeme kommen an dieser Stelle an ihre Grenzen. Vielversprechend sind hierbei Ansätze mittels bildverarbeitender Systeme [PLA07, S.75-78], welche die erforderlichen räumlichen Informationen ungebunden alleine aus dem aufgenommenen Videobild ermitteln. Soll gleichzeitig eine hohe Überlagerungsgenauigkeit erreicht werden, sind hybride Trackingansätze interessant [FIS07, S.51].

Die Erfassung von Tiefeninformationen in Echtzeit stellt ein Meilenstein bei der Erweiterung des Anwendungsspektrums des Mixed Mock-Ups dar. Ist eine derartige Bereitstellung realisierbar, so wird einerseits die geschilderte Problematik der Verdeckung (siehe Kapitel 5.3.3.1) überwunden sowie andererseits ein breites Feld neuer Absicherungen auf Basis neuer Funktionalitäten in der MR-Software eröffnet. Beispiele für dadurch realisierbare Funktionen sind die automatische Auswertung des realen Umfeldes im Vergleich zu den virtuellen Daten beispielsweise bei einem Delta-Abgleich oder aber die Durchführung dynamischer Ein- und Ausbauntersuchungen mit begleitendem Kollisionscheck bzw. einer dynamischen Abstandserfassung zwischen realer und virtueller Welt. Eine

Vielzahl derzeit rein visueller Beurteilungen ließe sich durch die Bereitstellung von Tiefeninformationen automatisieren.

Die stärkere Integration des Anwenders in die hybride Entwicklungsumgebung durch Anwender-Tracking sowie eine Verbesserung der Interaktion ist ein weiterer Schwerpunkt [WEI03, S.890]. Hierbei spielt einerseits die bereits erwähnte Darstellung der Szene sowie andererseits die Erfassung des Anwenders inklusive seiner Gestik eine wichtige Rolle. Anwenderzentrierte Visualisierungen sind hierbei ein Schritt in Richtung einer stärkeren Immersion des Anwenders in die hybride Entwicklungsumgebung. Die Verbesserung der Tiefenwahrnehmung ist in diesem Zusammenhang eine entscheidende Herausforderung [SWA07, S.440-441]. Ein interessanter Ansatz bei der perspektivengekoppelten MR-Darstellung ist die Erfassung der Blickrichtung des Anwenders mittels Verfolgung dessen Augapfelbewegung [TAT05, S.103]. Bei der Erfassung des Anwenders sowie seiner Gestik könnten bildverarbeitende Systeme Einzug halten.

Mit der weiteren Ausdehnung des Anwendungsspektrums des Mixed Mock-Ups werden zudem neben mobilen Systemen vermehrt stationäre Systeme – beispielsweise im Umfeld der Produktion – zur Anwendung kommen. Insbesondere bei Anwendungen mit einer hohen Wiederholrate bieten diese Systeme eine verbesserte Effizienz gegenüber den mobilen Systemen. Ausschlaggebend hierbei ist allerdings die genannte Auslastung der Systeme.

Es gilt die weitere Entwicklung des Einsatzes

von Mixed Reality in der Produktentwicklung sowie des Konzeptes des Mixed Mock-Ups zu verfolgen. Für einen letzten Ausblick soll hierbei erneut auf die Evolutionsstufen der Konstruktion nach [SPK97] zurückgegriffen werden. Abbildung 7.2 veranschaulicht dabei die Fragestellung nach der Einordnung der hybriden Produktentwicklung auf Basis des Mixed Mock-Ups im Kontext der bisherigen Evolutionsstufen.

Im Zuge der weiteren Entwicklungen gilt es ein Augenmerk auf die Einordnung der hybriden Produktentwicklung in Bezug auf die virtuelle Produktentwicklung zu legen. Je

nach Ausprägung und Verlauf der weiteren Integration von MR können die aktuellen Ansätze der hybriden Produktentwicklung Vorboten einer neuen Evolutionsstufe der Produktentwicklung oder aber neue Elemente innerhalb der Grenzen der virtuellen Produktentwicklung darstellen.

Der weitere Einzug von Mixed Reality in die Produktentwicklung scheint aus heutiger Perspektive festzustehen. Die daraus resultierenden – über die bereits in dieser Arbeit geschilderten Konsequenzen hinausreichenden – Folgen auf die Produktentwicklung gilt es mit Spannung zu verfolgen.

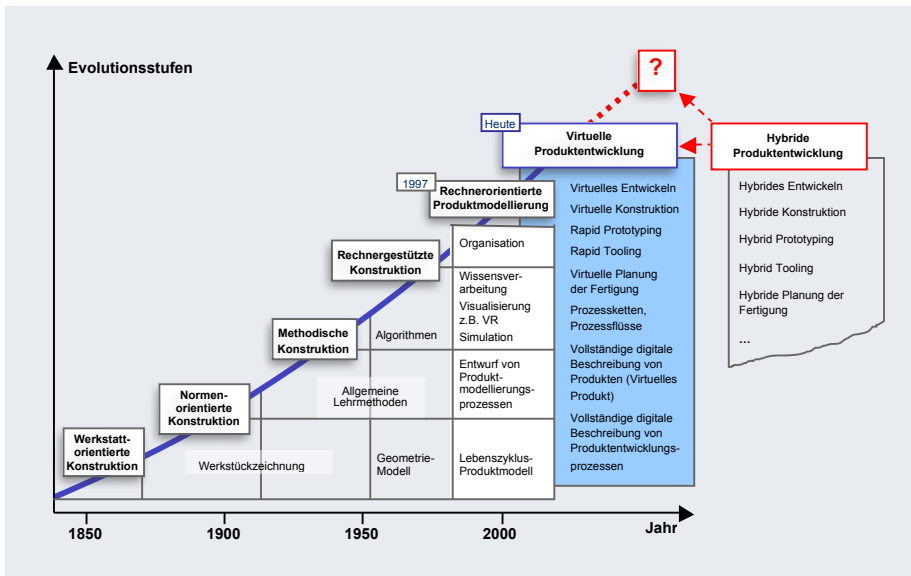


Abbildung 7.2: Einordnung der hybriden Produktentwicklung

8.0 Anhang

Erweiterung des Anwendungsspektrums

Dieser Anhang beschreibt die Vorgehensweise bei der Erweiterung des Mixed Mock-Up Anwendungsspektrums. Wie in Kapitel 4.3.1 dargestellt erfolgt die Erweiterung des Anwendungsspektrums dabei in den fünf Schritten:

- » Erfassung des Nutzungskontextes
- » Konzeption eines möglichen MR-Ansatzes
- » Überzeugung der Anwender
- » Überzeugung des Managements
- » Aufnahme von MR als neue Entwicklungsmethode

Im Rahmen dieses Anhangs soll die Konzeption eines neuen Ansatzes mittels MR vorgestellt werden.

Nutzungskontext

Das Beispiel ist im Bereich der bereits in Kapitel 6.4 beschriebenen Aggregatträgerfestlegung angesiedelt.

Arbeitsaufgabe

Im Rahmen des Aggregatträgeraufbaus gilt es die medienführenden Leitungen wie beispielsweise die hydraulischen Leitungen des Bremssystems zu adaptieren. Aufgrund der besonderen Ausprägung der Aggregatträger ist dabei in vielen Fällen eine eigene Festlegung dieser Leitungen ausschließlich für diese Prototypen erforderlichen. Einerseits lassen sich die neuen Komponenten Aufgrund abweichender Geometrien oder

Funktionsprinzipien nicht exakt analog der aktuellen Serienkomponenten in der Aggregatträgerplattform verbauen. Andererseits ermöglicht die Plattform in vielen Fällen keinen Verbau analog dem Planungsstand des Entwicklungsprojektes. Es gilt somit eine bestmögliche Annäherung an den Planungsstand unter Berücksichtigung der vorhandenen Einschränkungen der Aggregatträgerplattform zu erzielen.

Eine mögliche Vorgehensweise bei der Festlegung der medienführenden Leitungen in den Aggregatträgern ist die Abnahme der erforderlichen Geometrie mittels eines Drahtes. Hierbei werden die zu kontaktierenden Komponenten im Aggregatträger montiert und anschließend der erforderliche Verlauf der Leitungen mittels eines dünnen, biegsamen Drahtes – unter Berücksichtigung möglicher Befestigungspunkte – dargestellt. Dieser Draht dient anschließend als Referenz bei der Erstellung der Leitungen. An ihm werden die erforderlichen Informationen über Segmentlängen, Radien etc. abgenommen und anschließend in eine entsprechende Rohrbiegemaschine übertragen.

Im Rahmen eines Pilotprojektes bei der Einführung von MR für den Aufbau der Aggregatträger reifte die Idee einer Mixed Mock-Up gestützten Leitungsfestlegung.

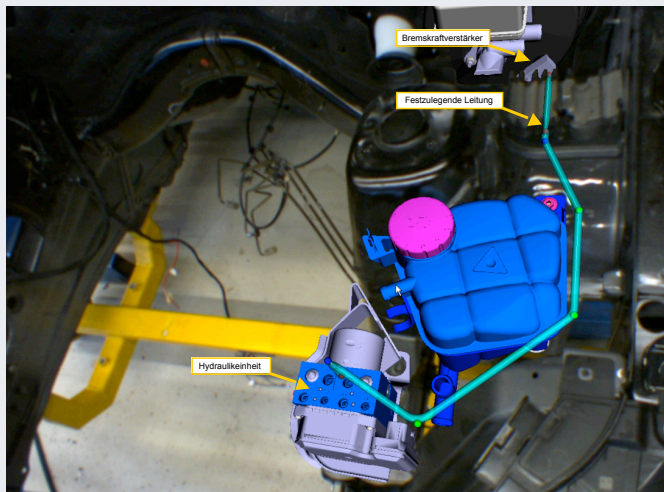
Erfassung der Anforderungen

Im Rahmen einer Evaluierungsuntersuchung wurde folgendes Szenario einer

Leitungsfestlegung mit MR-Unterstützung entwickelt:

1. Definition von Start und Endpunkt durch Vermessen der Punkte an der Hardware (falls Bauteil verfügbar) bzw. durch Abnahme der entsprechenden Punkte in den virtuellen Inhalten des Mixed Mock-Up.
2. Automatische Darstellung von erforderlichen geraden Leitungssegmente an Start- und Endpunkt in der Mixed Mock-Up Darstellung.
3. Erste Festlegung der erforderlichen Leitungs-Eckpunkte: Aufnahme der groben räumlichen Positionen mittels Messspitze des Messarms. Entscheidend ist hierbei zunächst die Anzahl der Eckpunkte, nicht deren exakte Position.
4. Eingabe der jeweils vorgesehenen Biegegraden oder Übernahme automatisch vorgeschlagener Radien.
5. Erste Visualisierung des vollständigen Leitungsverlaufs durch die gesetzten Eckpunkte der Leitung.
6. Modellierung des endgültigen Leitungsverlaufs durch Eingabe von Zwangsbedingungen (z.B. Arretierungspunkte eines geraden Segments in einem Halter) und durch Verschieben der einzelnen Eckpunkte in die gewünschten Endpositionen.
7. Überprüfung des festgelegten Verlaufs auf Kollisionen und erforderliche Mindestabstände (visuell und / oder durch einen Automatismus).

Abbildung 6.25:
Dokumentation des Feuchtigkeitsintrags mittels UV-Licht



8. Ermittlung der erforderlichen Leitungsparameter und Ausgabe der relevanten Vorgaben zur Übernahme in die Biegemaschine in einem geeigneten Datenformat.

Nach der Definition eines möglichen Konzeptes gemeinsam mit den für den Aufbau der Aggregateträger verantwortlichen Mitarbeitern erfolgte eine prototypische Darstellung des Szenarios mittels des Mixed Mock-Ups.

Grafische Umsetzung

Die folgenden Abbildungen zeigen eine prototypische Darstellung einer möglichen Umsetzung des entwickelten Konzeptes am Mixed Mock-Up. Dabei handelt es sich bei diesem Konzeptstand um eine statische Szene ohne Implementierung der visuell bereits angedeuteten Interaktionsmechanismen.

Abbildung 8.2:
Gesamtansicht
MMU-Konzept
Leitungsfestlegung

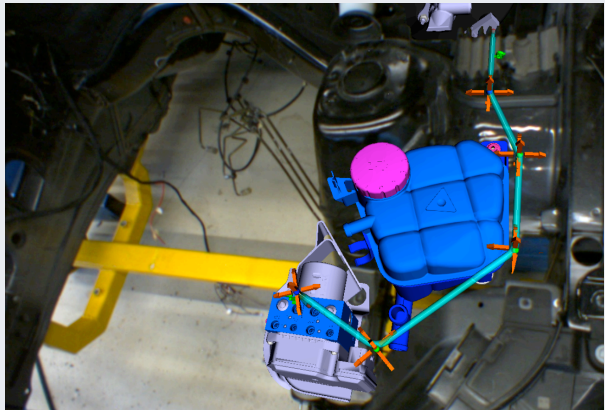


Abbildung 8.3:
Detailansicht des
Startpunktes



Abbildung 8.4:
Detailansicht einer
Eckpunktdefinition

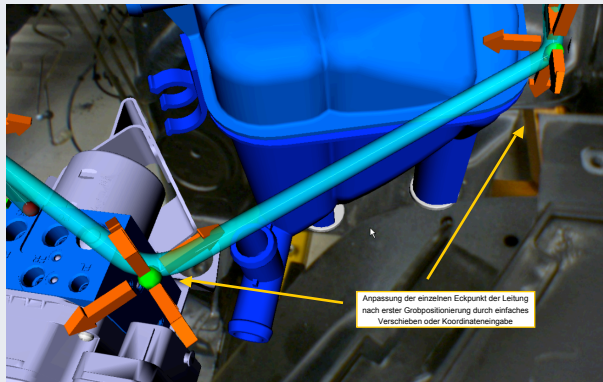
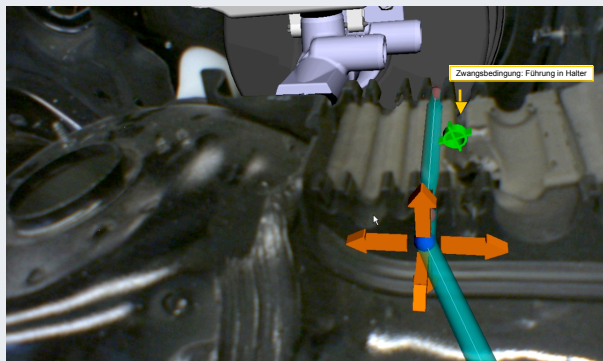


Abbildung 8.5:
Detailansicht einer
Zwangsbedingung



Auf Basis dieser ersten konzeptionellen Umsetzung wurde das weitere Vorgehen mit den Anwendern sowie dem Management abgestimmt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Konzept einer verzahnten Produktentwicklung mittels Mixed Reality	- 12 -
Abbildung 1.2:	Gliederung der Dissertation	- 14 -
Abbildung 2.1:	Gegenüberstellung Produktvarianz und Entwicklungsressourcen	- 17 -
Abbildung 2.2:	Multiantriebsplattform am Beispiel des F800 Style	- 18 -
Abbildung 2.3:	Rückgang der Weltwirtschaftsproduktion [JPK10, S. 2].	- 19 -
Abbildung 2.4:	Weltproduktion der deutschen Automobilindustrie [JAB10, S.34]	- 20 -
Abbildung 3.1:	Evolutionsstufen der Konstruktion, nach [SPK97, S. 44].	- 24 -
Abbildung 3.2:	Gesamtdarstellung Produktentstehungsprozess [VDI43, S.4].	- 25 -
Abbildung 3.3:	Schematischer Produktentstehungsprozess bei Mercedes-Benz Cars	- 26 -
Abbildung 3.4:	Anwendungen des DPT bei Mercedes-Benz Cars	- 27 -
Abbildung 3.5:	Umfang des Physical Mock-Ups bei Mercedes-Benz Cars	- 29 -
Abbildung 3.6:	Entwicklungsbegleitende Absicherungsaktivitäten, nach [KAB04, S. 1]	- 33 -
Abbildung 4.1:	Reality-Virtuality Continuum	- 38 -
Abbildung 4.2:	Mixed Reality im Kontext der Fahrzeugentwicklung.	- 39 -
Abbildung 4.3:	Potentielle Wirkung von MR auf eine Absicherung mittels PMU	- 41 -
Abbildung 4.4:	Schematische Darstellung eines visuell-orientierten MR-Systems	- 43 -
Abbildung 4.5:	Phasenmodell der Digitalen Baubarkeit bei Mercedes-Benz Cars	- 47 -
Abbildung 4.6:	Geschlossener Wissenstransfer mittels MR und RE	- 49 -
Abbildung 4.7:	Schematische Darstellung des vorgestellten MR-Systems.	- 49 -
Abbildung 4.8:	Mobiles MR-System der Digitalen Baubarkeit.	- 50 -
Abbildung 4.9:	Überlagerung realer Objekte mittels MR	- 52 -
Abbildung 4.10:	Ergänzung des realen Umfelds mittels MR	- 53 -
Abbildung 4.11:	Integration von MR in die Digitale Baubarkeit	- 54 -
Abbildung 4.12:	Zusammenspiel der Absicherungswerkzeuge.	- 55 -
Abbildung 4.13:	SECI-Modell nach [NT003, S. 5].	- 60 -
Abbildung 4.14:	Wissensspirale der MR Einführung in die Digitale Baubarkeit	- 60 -
Abbildung 4.15:	Ontologisches Modell der MR-Einführung nach [NOT95, S. 57].	- 66 -
Abbildung 4.16:	Schematische Darstellung des „Ba“-Konzeptes [NT003, S.7]	- 68 -
Abbildung 4.17:	Organische „Ba“ - Anordnung für die Digitale Baubarkeit	- 69 -

Abbildung 5.1:	Schnittstellenfunktion des MMU.	- 73 -
Abbildung 5.2:	Die Säulen des Mixed Mock-Up	- 74 -
Abbildung 5.3:	Schematischer Aufbau der MR-Software	- 75 -
Abbildung 5.4:	Kalibrierungsschritte	- 77 -
Abbildung 5.5:	Anwendungsrahmen für Gebrauchstauglichkeit nach [DIN98].....	- 79 -
Abbildung 5.6:	Nutzungskontextbezogenes Bewertungsschema.....	- 79 -
Abbildung 5.7:	Toolvergleich für den Nutzungskontext Digitale Baubarkeit	- 82 -
Abbildung 5.8:	Arbeit mit interaktiven Screenshots	- 83 -
Abbildung 5.9:	Reverse Engineering im Produktentwicklungsprozess [RFE08, S. 1].....	- 84 -
Abbildung 5.10:	Schnittstellenfunktion des Mixed Mock-Ups	- 85 -
Abbildung 5.11:	RE-System mit Linienscanner	- 85 -
Abbildung 5.12:	Digitalisiertes Abschirmblech	- 86 -
Abbildung 5.13:	Wirkweise der Verdeckungsgeometrie.....	- 91 -
Abbildung 5.14:	Zugänglichkeitsprüfung mittels Schnittdarstellung.....	- 92 -
Abbildung 5.15:	Aufprojektion der Schnittebenen	- 93 -
Abbildung 5.16:	Anwendung des Mixed Mock-Ups über den Entwicklungsprozess	- 94 -
Abbildung 6.1:	Ausgewählte Anwendungsfelder im Fahrzeugentwicklungsprozess.....	- 96 -
Abbildung 6.2:	Überprüfung von Zugänglichkeit und Ergonomie mit VR.....	- 100 -
Abbildung 6.3:	Gesamtansicht in MR	- 101 -
Abbildung 6.4:	Übernahme der identifizierten Greifräume	- 102 -
Abbildung 6.5:	Überprüfung von Zugänglichkeit und Ergonomie mit MR	- 102 -
Abbildung 6.6:	Betrachtung der Engstelle mit MR	- 102 -
Abbildung 6.7:	Einordnung der Qualitätssicherung Rohbau.....	- 104 -
Abbildung 6.8:	Überprüfung des Rohbaustandes	- 105 -
Abbildung 6.9:	Überprüfung der Maßhaltigkeit der Dichtraupe	- 105 -
Abbildung 6.10:	Überprüfung der Schweißpunktlage.....	- 106 -
Abbildung 6.11:	Überlagerung des aktuellen DMU-Bolzensatzes.....	- 106 -
Abbildung 6.12:	Umfang des elektrischen Leitungssatzes am Beispiel der GL-Klasse.....	- 108 -
Abbildung 6.13:	Berechneter Leitungsverlauf gegenüber tatsächlichem Verlauf	- 110 -
Abbildung 6.14:	Sichtung des DMU-Leitungssatzes am PMU.....	- 111 -
Abbildung 6.15:	Sichtung von Tüllendurchtritten, Masse- sowie Befestigungspunkten.....	- 111 -

Abbildung 6.16:	Überprüfung von Kabelabgängen.	- 113 -
Abbildung 6.17:	Bewertung eines Tüllendurchtritts sowie einer Massestelle.	- 113 -
Abbildung 6.18:	Identifikation und Bewertung abweichender Leitungsverläufe	- 114 -
Abbildung 6.19:	Kennzeichnung von Leitungssatzdurchritten.	- 118 -
Abbildung 6.20:	Markierung eines Massebolzens	- 118 -
Abbildung 6.21:	Adaption der Frontschürze.	- 119 -
Abbildung 6.22:	Einsatz des MMU für den ATG-Aufbau	- 120 -
Abbildung 6.23:	Konzeption eines TAG-Autorensystems	- 122 -
Abbildung 6.24:	AR-Visualisierung der Messstellen.	- 122 -
Abbildung 6.25:	Dokumentation des Feuchtigkeitseintrags mittels UV-Licht	- 123 -
Abbildung 6.26:	MMU Einsatz für die Absicherung des Feuchtigkeitsschutzes.	- 124 -
Abbildung 6.27:	Allgemeine Bewertung der Wirkung des MMU	- 126 -
Abbildung 6.28:	Einstellung gegenüber dem Mixed Mock-Up Einsatz	- 126 -
Abbildung 6.29:	Aussagekraft der MMU-Absicherungen in der Baubarkeit	- 127 -
Abbildung 6.30:	Effizienz des MMU im Rahmen der Baubarkeit	- 127 -
Abbildung 6.31:	Eigenständigkeit des Mixed Mock-Ups.	- 128 -
Abbildung 6.32:	Ausgewählter Mehrwert des Mixed Mock-Ups.	- 129 -
Abbildung 6.33:	Gemeinsame Arbeitsplattform Mixed Mock-Up	- 129 -
Abbildung 6.34:	Mixed Mock-Up im Kontext der Zusammenarbeit	- 130 -
Abbildung 7.1:	Anzahl der MMU-Einsätze über die Zeit	- 133 -
Abbildung 7.2:	Einordnung der hybriden Produktentwicklung.	- 136 -
Abbildung 8.1:	Betrachtungsgegenstand Hydraulikleitung	- 138 -
Abbildung 8.2:	Gesamtansicht MMU-Konzept Leitungsfestlegung	- 139 -
Abbildung 8.3:	Detailansicht des Startpunktes	- 139 -
Abbildung 8.4:	Detailansicht einer Eckpunktdefinition.	- 140 -
Abbildung 8.5:	Detailansicht einer Zwangsbedingung.	- 140 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Zwei Arten des Wissens [NOT95, S.61]	- 59 -
Tabelle 4.2:	Wissenstransfer im Zuge der MR-Einführung	- 61 -
Tabelle 5.1:	Allgemeines Bewertungsschema nach ISO/IEC 9126-2:2003 [ISO26].	- 78 -
Tabelle 6.1:	Bewertungsschema MMU	- 97 -
Tabelle 6.2:	Wirkung des MMU auf die Zugänglichkeits- und Ergonomieabsicherung	- 103 -
Tabelle 6.3:	Wirkung des MMU hinsichtlich der Rohbauqualitätssicherung	- 107 -
Tabelle 6.4:	Wirkung des MMU bei der Festlegungsvorbereitung	- 112 -
Tabelle 6.5:	Wirkung des MMU bei der Festlegung	- 115 -
Tabelle 6.6:	Wirkung des MMU bei der Festlegungsrückführung	- 116 -
Tabelle 6.7:	Wirkung des MMU bei dem Aufbau der ATG	- 120 -
Tabelle 6.8:	Gesamtübersicht über die Wirkung des Mixed Mock-Ups	- 125 -

Quellenverzeichnis

AIT97	Cugy, J.F.	Digital Mock-Up (DMU) For Product Conception And Downstream Processes (DMU-BP), n0 BE-96-3130, Technical Annex for a Brite-Euram III Project, Zugriff eingeschränkt auf Konsortiumsmitglieder; Datum der Bereitstellung: 21.09.1997
AZU01	Azuma, R.T.; Behring, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B.	Recent Advances in Augmented Reality; Computer Graphics and Applications, Volume 21, Issue 6; 2001; ISSN: 0272-1716
AZU97	Azuma, R. T.	A Survey of Augmented Reality; Presence: Teleoperators and Virtual Environments; Volume 6, No.4; 1997; Online im Internet: http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf ; Aufruf: 21.09.2010
BAR86	Barley, S. R.	Technology as an Occasion for Structuring: Evidence from Observations of CT Scanners and the Social Order of Radiology Departments; Administrative Science Quarterly; Volume 31, Issue 1; 1986; ISSN 0001-8392
BBK05	Beyerlein, M., Beyerlein, S., Kennedy, F. (Hrsg.)	Advances in interdisciplinary studies of work teams, Volume 11, Collaborative capital: creating intangible value; Elsevier, Oxford 2005; ISBN: 0-7623-1222-X
BEC07	Becker, H.	Auf Crashkurs, Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb; Springer, Berlin Heidelberg 2007, Edition 2., aktualisierte Auflage, ISBN 978-3-540-37351-3

BEN04	Benölken, P.; Graf, H.; Stork, A.	Texture Based Flow Visualization in Augmented and Virtual Reality Environments; WSCG Poster Proceedings, ISBN 80-903100-6-0, UNION Agency – Science Press, Plzen 2004
BMW10	BMW Group	BMW Group sales continue to accelerate in July, Pressemitteilung, BMW Group; München, 09.08.2010; Online im Internet: https://www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/pcgl/download.html?textId=101572&textAttachmen tId=128019 ; Aufruf: 21.09.2010
BRA09	Brachat, H.	AUTOHAUS, Heft 01-02/2009; Springer Automotive Media, München 2009
BRU03	Brüderlin, B.; Beier, D.; Gaßmann, F.	Modellbasierte Objekterkennung in einem AR-System, HNI Schriftenreihe, Band 107, 1. Paderborner Workshop AR/VR in der Produktentstehung", Paderborn 2002, ISBN: 3-935433-16-6
C2G10	car2go GmbH	Onlinerepräsentanz Mobilitätskonzept car2go; Online im Internet: http://www.car2go.com/?selection=new ; Aufruf: 25.07.2010
DAG10	Daimler AG	Zwischenbericht Q2 2010, Daimler AG; Online im Internet: http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/1902138.Daimler.Q2.2010.Zwischenbericht.pdf ; Aufruf: 21.09.2010
DAI09	Daimler AG (Hrsg.)	Digitale Prototypen, Frühzeitige Absicherung; Artikel RD INSIDE, Zeitung für Mitarbeiter/innen des Ressorts Group Research & Mercedes-Benz Cars Development; Ausgabe 09-10/2009; Global Corporate Media & Marketing; Sindelfingen 2009

DAI10	Daimler AG	Web Special: Genf 2010 – F800 Style, Multiantriebsplattform für zwei unterschiedliche Antriebskonzepte; Online im Internet: http://www.daimler.com/dccom/0-5-1274831-49-1274947-1-0-0-0-0-0-0-17180-7145-0-0-0-0-0-0-0.html ; Aufruf: 30.11.2010
DFI09	Münchenberg, J.; Zetsche, D.	Wir wollen keine Billigautos bauen, Interview mit dem Vorstandsvorsitzenden der Daimler AG Dr. Dieter Zetsche im Deutschlandfunk; Online im Internet: http://www.dradio.de/dlf/sendungen/idw.dlf/1036277/ ; Veröffentlichung 20.09.2009, Abruf 25.07.2010
DGM10	Daimler Global Media Site, Mercedes-Benz Cars, Special Topics	Online im Internet: http://media.daimler.com/nc/dcmedia/ ; Aufruf: 27.07.2010
DIN05	DIN	DIN EN ISO 9000:2005, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe; Beuth Verlag, Berlin 2005
DIN98	DIN	DIN EN ISO 9241-11:1998, Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze; Beuth Verlag, Berlin 1999
DMU10	VDA	VDA Band 4: Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft, 2. überarbeitete und erweiterte Ringbuch – Auflage 2009, aktualisiert März 2010; Methoden: DMU; VDA, Berlin 2010, ISSN 0943-9412
DWD10	Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften	Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache des 20. Jahrhunderts; Online im Internet: http://beta.dwds.de/?qu=plattform&view=1 ; Aufruf: 25.07.2010

EBR10	Encyclopædia Britannica, Inc.	Encyclopædia Britannica; Online im Internet: http://www.britannica.com/bps/dictionary?query=platform ; Aufruf: 25.07.2010
FIS03	Fischer, J.; Regenbrecht, H.; Baratoff, G.	Detecting Dynamic Occlusion in front of Static Backgrounds for AR Scenes; Eurographics Workshop on Virtual Environments 2003
FIS07	Fischer, J.; Eichler, M.; Bartz, D.; Strasser, W.	A hybrid tracking method for surgical augmented reality; Computer & Graphics, Volume 31, Issue 1; Elsevier 2007; ISSN: 0097-8493
FRU05	Fründ, J.; Gausemeier, J.; Matysczok, C.; Radkowski, R.	Using Augmented Reality Technology to Support the Automobile Development; Computer Supported Cooperative Work in Design I, 8th International Conference, Xiamen 2004; Springer, Berlin Heidelberg 2005; ISBN: 978-3-540-29400-9
GAU03	Gausemeier, J.; Brüderlin, B.	Development of a Real Time Image Based Object Recognition Method for Mobile AR-Devices, Proceedings of the ACM SIGGRAPH AFRIGRAPH 2003: 2nd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, Cape Town, 2003; Online im Internet: http://www.uweb.ucsb.edu/~yichuwang/ecv/paper/object...recognition_for_mobile_ar.pdf ; Aufruf: 23.09.2010
GHH08	Geißel, O.; Hein, S.; Hildebrand, A.; Scheer, F.; Specht, R.	VR/AR in der prototypischen Prozessoptimierung für die thermische Absicherung von Fahrzeugen; Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung; Westfalia Druck, Paderborn 2008; ISBN 978-3-939350-51-4

GIL95	Gill, T.	High tech hidebound: case studies of information technologies that inhibited organizational learning; Accounting, Management and Information Technologies, Volume 5, Issue 1; Elsevier; 1995; ISSN: 0959-8022; Online im Internet: http://www.sciencedirect.com/science/journal/09598022 ; Aufruf: 27.07.2010
GLK08	Geißel, O.; Longhitano, L.; Katzenbach, A.	Operativer Einsatz von Mixed Reality Technologien im Baubarkeitsprozess der Fahrzeugentwicklung; Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung; Westfalia Druck, Paderborn 2008; ISBN 978-3-939350-51-4
GLK10	Geißel, O.; Longhitano, L.; Katzenbach, A.; Resch, M.	Automotive Mixed Mock-Up – Eine neue Entwicklungsplattform der Automobilindustrie; Digitales Engineering und virtuelle Techniken zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme; 13. IFF-Wissenschaftstage; Tagungsband, Magdeburg 2010; Online im Internet: www.wissenschaftstage.iff.fraunhofer.de/Tagungsband/ ; Aufruf: 21.06.2010
GRA96	Grant, R.	Toward a knowledge-based theory of the firm. Strategic Management Journal , Vol. 17, Winter Special Issue; Online im Internet: http://www.wedb.net/download/valora-cao/aula.7/grant.1996.pdf ; Aufruf: 27.07.2010
GUE07	Günther, W. A. (Hrsg.)	Neue Wege in der Automobillogistik, VDI Buch; Springer, Berlin Heidelberg 2007, ISBN 978-3-540-72404-9
HEG95	Heath, C., Gonzalez, R.	Interaction with others increases decision confidence but not decision quality: evidence against information collection views of interactive decision making; Organizational behaviour and human decision processes, Volume 61, Elsevier, Kidlington 1995; ISSN: 0749-5978

HUR95	Hurley, R.	Group culture and its effect on innovative productivity. Journal of Engineering and Technology Management, Volume 12, Issues 1-2, Elsevier 1995; ISSN: 0923-4748; Online im Internet: http://www.sciencedirect.com/science/journal/09234748 ; Veröffentlichung: 18.11.1999; Aufruf: 27.07.2010
HVD09	Zetsche, D.	Rede des Vorstandsvorsitzenden Dr. Dieter Zetsche anlässlich der ordentlichen Hauptversammlung der Daimler AG; Berlin, 2009; Online im Internet: http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/1698387.daimler...ir.hv2009.rede.d.pdf ; Veröffentlichung: 08.04.2009 (Abruf: 25.07.2010)
IHK09	Renschler, A.	Kraft der Erneuerung – Die Automobilindustrie in Zeiten der Krise, Rede des Vorstandsmitglieds und Leiter des Geschäftsfeldes Daimler Trucks der Daimler AG Andreas Renschler anlässlich des Mitgliedertreffens des IHK-Netzwerks Automotive, Hochschule Reutlingen, 09.09.2009, Internes Dokument Daimler AG
IS026	ISO	ISO/IEC TR 9126-2:2003-07, Software-Engineering – Qualität von Software-Produkten – Teil 2: Externe Messung; Beuth Verlag, Berlin 2003
JAB10	VDA	VDA Jahresbericht 2010, Online im Internet: http://www.vda.de/de/publikationen/jahresberichte/index.html , Veröffentlichung: 02.07.2010 (Abruf: 25.07.2010)
JIN07	Jin, Y.-s.; Kim, Y.-w.; Park, J.	ARMO: Augmented Reality based Reconfigurable Mock-Up; Mixed and Augmented Reality, Proceedings, 6th IEEE and ACM Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2007, Nara; Computer Society Press 2007, ISBN: 978-1-4244-1749-0

JPK09	Zetsche, D.	Rede des Vorstandsvorsitzenden Dr. Dieter Zetsche anlässlich der Jahrespressekonferenz der Daimler AG; Stuttgart, 2009; Online im Internet: http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/1671107.dai...ir.speech_jpk2009.zetsche.d.pdf ; Veröffentlichung: 27.02.2009 (Abruf: 25.07.2010)
KAB04	Katzenbach, A.	Produkte schneller, kostengünstiger, langlebiger entwickeln – „Digitaler Prototyp“ – Chancen und Grenzen; Beitrag XI Internationales Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin 2004; Online im Internet: http://www.katzenbach-web.de/veroeffentlichungen/index.htm ; Aufruf: 26.05.2007
KAB09	Katzenbach, A.	Informationstechnik in der Produktentwicklung – Gestern, Heute, Morgen; Vortrag Prof. Alfred Katzenbach anlässlich der Diplomabschlussfeier der Universität Stuttgart, Präsentationsunterlagen; 2009; Online im Internet: http://www.katzenbach-web.de/ ; Aufruf: 03.08.2010
KBA07	Kamiske, G.F.; Brauer, J.-P.	Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagement, Hanser Verlag, München 2007, ISBN: 978-3-446-41273-6
KCB01	Knorr-Cetina, K., Bruegger, U.	Transparency regimes and management by content in global organizations. The case of institutional currency trading; Journal of Knowledge Management, Volume 5, Issue 2; 2001; ISSN: 1367-3270; Online im Internet: http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1367-3270 ; Aufruf: 27.07.2010
LAB06	Lakemond, N., Berggren, C.	Co-locating NPD? The need for combining project focus and organizational integration; Technovation, Volume 26, Issue 7; Elsevier, 2006; ISSN: 0166-4972; Online im Internet: http://www.sciencedirect.com/science/journal/01664972 ; Aufruf: 27.07.2010

LON10	Longhitano, L.	Sekundärmaßnahmen Feuchtigkeitsschutz BR166; Internes Dokument Mercedes-Benz Cars: Technischer Bericht, Ausgabe: 18.03.2010
LOT06	Longhitano, L.; Testa, S.	Creation of a Collaborative Environment for Innovation: The Effect of a Simulation Tool's Development and Use; Innovation through Collaboration – Advances in Interdisciplinary Studies of Work Teams, Volume 12; Emerald, 2006; ISBN: 0-7623-1331-5
MAC05	Matysczok, C.	Dynamische Kantenextraktion: Ein Verfahren zur Generierung von Trackinginformationen für Augmented Reality-Anwendungen auf Basis von 3D-Referenzmodellen. Dissertation, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn 2005, Volume 165, ISBN 3-935433-74-3.
MAT05	Massa, S., Testa, S.	Data warehouse in practice. Exploring the function of expectations in organizational outcomes, Information and Management, Volume 42, Issue 5; Elsevier, 2005; ISSN: 0378-7206; Online im Internet: http://www.sciencedirect.com/science/journal/03787206 ; Aufruf: 27.07.2010
MDS09	Daimler AG (Hrsg.)	Internes Dokument Mercedes-Benz Cars: Mercedes Development System – Glossar, Version 1.09; Datum der Ausgabe: 14.12.2009;
MIL94	Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F.	Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum; SPIE Proceedings, Volume 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies; Bellingham 1995; DOI: 10.1117/12.197321, ISSN: 0277-786X; Online im Internet: http://spiedl.aip.org/dbt/dbt.jsp?KEY=PSISDG&Volume=2351&Issue=1#Augmented/Virtual%20Reality ; Aufruf: 02.08.2010

MIV05	Miettinen, R., Virkkunen, J.	Epistemic Objects, Artefacts and Organizational Change; Organization; Volume 12, No. 3; 2005; ISSN: 1350-5084; Online im Internet: http://org.sagepub.com/content/12/3/437.abstract ; Aufruf: 27.07.2010
MOA06	Daimler AG (Hrsg.)	Internes Dokument Mercedes-Benz Cars: Montageabsicherung am DMU; Datum der Ausgabe: 08.11.2006
NOE06	Nölle, S.	Augmented Reality als Vergleichswerkzeug am Beispiel der Automobilindustrie, Dissertation, München 2006; Online im Internet: http://mediatum2.ub.tum.de/doc/618225/document.pdf ; Aufruf: 21.09.2010
NOT95	Nonaka, I.; Takeuchi, H.	The knowledge-creating company: How Japanes Companies Create the Dynamics of Innovation; Oxford University Press; New York 1995; ISBN: 0-19-509269-4
NPE10	Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.)	Etablierung der Nationalen Plattform Elektromobilität – Gemeinsame Erklärung von Bundesregierung und deutscher Industrie, Online im Internet: http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2010/05/2010-05-03-elektromobilitaet-erklaerung.html ; Veröffentlichung: 03.05.2010, Aufruf: 25.07.2010
NT003	Nonaka, I.; Toyama,	The knowledge-creating theory revisited: knowledge creation as a synthesizing process, Knowledge Management Research & Practice, Volume 1; Palmgrave, 2003; ISSN: 1477-8238; Online im Internet: http://www.palgrave-journals.com/kmnp/index.html ; Aufruf: 02.08.2010

ODE10	Odenwald, M.; Resch, M.	Voraus in die Zukunft; Virtuelle Realitäten, Standortmagazin der Region Stuttgart, Ausgabe 2 – 2010; Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart; Online im Internet: http://www.region-stuttgart.de/sixcms/media.php/1429/179...Ausgabe2.2010.pdf ; Aufruf: 03.10.2010
ORL92	Orlikowski, W.	Learning from notes: Organizational issues in groupware implementation, Proceedings of the Conference on Computer Supported Cooperative Work; Toronto 1992; ACM Press; ISBN: 0-89791-542-9
PAB07	Pahl, G.; Beitz, W. (Hrsg.)	Konstruktionslehre, Grundlagen, 7. Auflage; Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2007; ISBN 978-3-540-34060-7
PLA07	Platonov, J.; Langer, M.	Automatic contour model creation out of polygonal CAD models for markerless Augmented Reality; Mixed and Augmented Reality, Proceedings, 6th IEEE and ACM Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2007, Nara; Computer Society Press 2007, ISBN: 978-1-4244-1749-0
PRE10	presselite	Bildquelle: presselite; Online im Internet: http://www.presselite.com/iphone/metroparis ; Aufruf: 28.07.2010
REG01	Regenbrecht, H.; Baratoff, G.; Wagner, M.	An tangible AR desktop environment, Computer & Graphics, Volume 25, Issue 5, October 2001, ISSN : 0097-8493
REG02	Regenbrecht, H.; Wagner, M. T.; Baratoff, G.	Magic Meeting: A Collaborative Tangible Augmented Reality System; Virtual Reality, Volume 6, Number 3, ISSN 1359-4338; Springer, London 2002

REG03	Regenbrecht, H.; Ott, C.; Wagner, M.; Lum, T.; Kohler, P.; Wilke, W.; Mueller, E.	An Augmented Reality Virtuality Approach to 3D Videoconferencing; Proceedings Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Tokyo; Computer Society Press 2003; ISBN 0-7695-2006-5
REG05	Regenbrecht, H.; Baratoff, G.; Wilke, W.	Augmented Reality Projects in Automotive and Aerospace Industry; Computer Graphics and Applications, Volume 25, Issue 6; ISSN: 0272-1716; IEEE 2005
REG06	Regenbrecht, H.; Haller, M.; Hauber, J.; Billinghurst, M.	Carpino: interfacing remote collaborative virtual environments with table-top interaction; Virtual Reality, Volume 10, Number 2, ISSN 1359-4338; Springer, London 2006
REG07	Regenbrecht, H.	Industrial Augmented Reality Applications, Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces & Design, Idea Group Publisher, Hershey 2007; ISBN: 1-4392-3602-X; Online im Internet: http://www.hci.otago.ac.nz/info410/Readings/2006.Regenbrecht.IAR.BookChapter.Manuscript...lowres.pdf ; Aufruf: 23.09.2010
REH02	Regenbrecht, H.; Schubert, T.	Measuring Presence in Augmented Reality Environments: Design and a First Test of a Questionnaire; PRESENCE 2002, Portugal; Online im Internet: http://www.temple.edu/ispr/prev.conferences/proceedings/2002/Final%20papers/Regenbrecht%20and%20Schubert.pdf ; Aufruf: 23.09.2010
REJ02	Regenbrecht, H.; Jacobsen, S.	Augmentation of Volumetric Data in an Airplane Cabin; Demonstration short paper, ISMAR 2002, Darmstadt; Online im Internet: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/ismar2002/demos/ismar.regenbrecht.pdf ; Aufruf: 01.10.2010

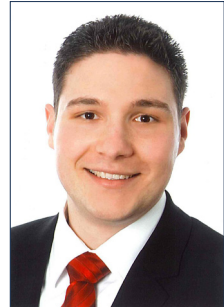
RFE08	Raja, V.; Fernandes K. J. (Hrsg.)	Reverse Engineering – An Industrial Perspective; Springer Series in Advanced Manufacturing; London 2008; ISBN: 978-1-84628-855-5
ROR09	Rorty, R.	Philosophy and the Mirror of Nature, Princeton University Press, Princeton 2009, ISBN: 978-0-691-14132-9
SMA10	Daimler AG (Hrsg.)	Internes Dokument Daimler AG, Smaragd-Intranetauftritt, Rubrik Anwendung; Aufruf: 25.07.2010
SNS99	Swann, J., Newell, S., Scarborough, H., Hislop, D.	Knowledge management and innovation: networks and networking. Journal of Knowledge Management, Volume 3, Issue 4; 1999; ISSN: 1367-3270; Online im Internet: http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1367-3270 ; Aufruf: 27.07.2010
SPK97	Spur, G.; Krause, F.-L.	Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag, München Wien 1997, ISBN: 3-446-19176-3
STE02	Stenmark, D.	Information vs. knowledge: The role of intranets in knowledge management, Proceedings of HICSS-35, 2002; Hawaii: IEEE Press; Online im Internet: http://www.viktoria.se/dixi/publ/ddoml02.pdf ; Aufruf: 27.07.2010
SWA07	Swan, J.E.; Jones, A.; Kolstad, E.; Livingston, M.A.; Smallman, H.S.	Egocentric Depth Judgments in Optical, See-Through Augmented Reality; IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 13, Issue 3; Computer Society Press 2007, ISSN: 1077-2626

SYS06	Syska, A.	Produktionsmanagement: Das A- Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute; Gabler; Wiesbaden 2006; ISBN 978-3-834-90235-1
TAD01	Tan, D. S.; Poupyrev, I.; Billinghurst, M.; Kato, H.; Regenbrecht, H.; Tetsutani, H.	On-demand, In-place Help for Augmented Reality Environment; Poster at Ubicomp 2001; Online im Internet: http://research.microsoft.com/en-us/um/people/desney/publications/Ubicomp2001-HelpforMREnvironments.pdf ; Aufruf: 23.09.2010
TAN01	Tan, D.; Poupyrev, I.; Billinghurst, M.; Kato, H.; Regenbrecht, H.; Tetsutani, N.	The Best of Two Worlds: Merging Virtual and Real for Face to Face Collaboration, 2001 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Tokyo, ISBN: 0-7695-1198-8; Online im Internet: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.93.3266&rep=rep1&type=pdf ; Aufruf: 23.09.2010
TAT05	Tateno, K.; Takemura, M.; Ohta, Y.	Enhanced Eyes for Better Gaze-Awareness in Collaborative Mixed Reality; Mixed and Augmented Reality, Proceedings, Fourth IEEE and ACM Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2005, Wien; Computer Society Press 2005, ISBN: 0-7695-2459-1
TOE10	Tönnis, M.	Augmented Reality – Einblicke in die Erweiterte Realität, Springer Reihe: Informatik im Fokus; Berlin Heidelberg 2010, ISBN: 978-3-642-14178-2
TRU08	Truckenbrod, M.	Digitale Baubarkeitsuntersuchungen von biegeschlaffen Fahrzeugbauteilen unter Berücksichtigung der physikalischen Eigenschaften, Diplomarbeit, Fakultät Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Hochschule Ulm, 2008
VAP10	Daimler AG (Hrsg.)	Internes Dokument Mercedes-Benz Cars: Technische Produktdokumentation, Verfahrensanweisung Packagingfreigabe, Ausgabe: 13.01.2010

VDA07	VDA	Das gemeinsame Qualitätsmanagement in der Lieferkette, Produktherstellung und -lieferung, Robuster Produktionsprozess; VDA-QMC Projektdokumentation; VDA, Frankfurt am Main 2007, ISSN 0943-0412
VDA10	VDA	Internationale Automobilmärkte setzen Erfolgskurs fort; Pressemeldung; Berlin 15.06.2010; Online im Internet: http://www.vda.de/de/meldungen/news/20100615.html ; Aufruf: 21.09.2010
VDI22	VDI	Konstruktionsmethodik, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Technisch-wirtschaftliche Bewertung, VDI-Richtlinie 2225 - Blatt 3, VDI-Handbuch Konstruktion; Beuth Verlag, Berlin 1998
VDI25	VDI	Konstruktionsmethodik, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Vereinfachte Kostenermittlung, VDI-Richtlinie 2225 - Blatt 1, VDI-Handbuch Konstruktion; Beuth Verlag, Berlin 1997
VDI34	VDI	Wirtschaftliche Grundlagen für Ingenieure, VDI-Richtlinie 2234, VDI-Handbuch Konstruktion; Beuth Verlag, Berlin 1990
VDI35	VDI	Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren - Methoden und Hilfen, VDI-Richtlinie 2235, VDI-Handbuch Konstruktion; Beuth Verlag, Berlin 1987
VDI43	VDI	Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI-Richtlinie 2243; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2002; ICS: 03.100.400, 13.030.50

VWH10	Volkswagen AG	Halbjahresfinanzbericht Januar – Juni 2010; Volkswagen AG; Online im Internet: http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/misc/pdf-dummies.-bin.acq/qual-DownloadFileList.Single.DownloadFile.0014.File/HY.2010.d.pdf ; Aufruf: 21.09.2010
WEI03	Weidenhausen, J.; Knoepfle, C; Stricker, D.	Lessons learned on the way to industrial augmented reality applications, a retrospective on ARVIKA; Computer & Graphics, Volume 27, Issue 6; Elsevier 2003; ISSN: 0097-8493
WMF09	Zetsche, D.	Mit Innovation gegen Rezession: Die Automobilindustrie im Darwin-Jahr 2009, Rede des Vorstandsvorsitzenden der Daimler AG Dr. Dieter Zetsche anlässlich des World Mobility Forum 2009, Stuttgart, 28.01.2009, Internes Dokument Daimler AG

Lebenslauf



Persönliche Daten

Name: Oliver Geißel
Geburtsdatum: 19.03.1982
Geburtsort: Sindelfingen
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulischer Werdegang

09/1988 – 07/1992 Wiestalschule Emmingen
 Grundschule

09/1992 – 06/2001 Otto-Hahn-Gymnasium Nagold
 Leistungskurse: Mathematik, Physik

Studium

10/2002 – 10/2007 Universität Stuttgart, Diplom-Studiengang Maschinenbau
 Fachrichtung Produktentwicklung
 und Konstruktionstechnik

Berufserfahrung

Seit 10/2010 Daimler AG

 Information Technology Management
 Group Research and Product Development
 Mercedes-Benz Cars

 Virtuelle Produktabsicherung, Mixed Reality

11/2007 – 09/2010 Daimler AG

 Group Research and
 Mercedes-Benz Cars Development
 Gesamtfahrzeugkonstruktion M-/GL-Klasse
 Doktorand

 Digitale Baubarkeit, Mixed Reality