

**UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

**SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK**

Herausgeber: H. Bley und C. Weber



---

**Band 42**

**Marco Müller**

**Reifegradbasierte Optimierung  
von Entwicklungsprozessen**

am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produkt-  
absicherung in der Automobilindustrie

**LKT**

---

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD  
Saarbrücken 2007



# Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen

am Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung  
in der Automobilindustrie

Dissertation zur Erlangung des Grades des  
**Doktors der Ingenieurwissenschaften**  
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III  
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Marco Müller**

Tag der Einreichung:

Tag des Kolloquiums: xxxxx

Dekan: Prof. Dr. Uli Müller

Vorsitzender:

1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

2. Berichterstatter:

Akademischer Mitarbeiter:

Saarbrücken 2007

Marco Müller

## **Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen**

Universität des Saarlandes  
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 42

### **Geleitwort der Herausgeber**

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird von den Inhabern der Lehrstühle für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber), für Fertigungstechnik/CAM (Prof. Dr.-Ing. H. Bley) und der Universität des Saarlandes gemeinsam herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die an den Lehrstühlen entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. C. Weber

Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2000  
Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM  
Prof. Dr.-Ing. Helmut Bley  
Postfach 15 11 50  
D – 66041 Saarbrücken  
ISBN 978-3-930429-71-4  
ISSN 0945-6244

## Vorwort des Verfassers

Die Durchführung eines Promotionsvorhabens in der Industrie ist eine spannende, aber auch anspruchsvolle Aufgabe. Ohne die fachliche und moralische und Unterstützung vieler Personen aus dem beruflichen und privaten Umfeld wäre es mir nicht möglich gewesen, diese Aufgabe zu erfüllen.

Bedanken möchte ich mich daher bei meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, für das Interesse an den von mir bearbeitenden Fragestellungen, für offene und kritische Diskussionen und hilfreiche Anregungen. Auch Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm möchte ich für die Übernahme des Koreferates danken. Die von ihm maßgeblich geprägten „Institutionen“, das Symposium Design for X und die Special Interest Group Decision Making der Design Society haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen, da Sie geeignete Foren zur Diskussion der in dieser Arbeit formulierten Ideen darstellten.

Ich möchte mich auch ganz herzlich bei den Professoren und Teilnehmern der 8th Summer School on Engineering Design Research 2005 bedanken. Die dort vermittelten Inhalte und der offene Austausch mit den Teilnehmern lieferten für mich das handwerkliche Forschungsrüstzeug einerseits, sowie Motivation und Inspiration andererseits.

Natürlich bin ich auch vielen Kollegen der DaimlerChrysler AG zu tiefem Dank verpflichtet. Besonders meinem Teamleiter Dr.-Ing. Thomas Bär möchte ich für die aktive Förderung und das mir entgegengebrachte Vertrauen danken. Ich konnte in großem Maße von seinen wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen profitieren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Holger Burr, Herrn Dr.-Ing. Michael Vielhaber und Herrn Dipl.-Ing. Jens Kiefer für die langjährige freundschaftliche Zusammenarbeit. Ihre Arbeitsweise im Spannungsfeld zwischen Industrie und Praxis war für mich stets ein Vorbild. Einen ganz wesentlichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit lieferten Herr Dipl.-Ing. Robert Meissner, Herr Dipl.-Ing. Jens Resch sowie Herr Dipl.-Inf. (FH) MBE Karl-Josef Wack durch die von Ihnen verfassten Diplom- bzw. Masterarbeiten. Überdies möchte ich Herrn Meissner für die überaus hilfreiche und konstruktive Korrektur der Arbeit danken. Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Dipl.-Math. Annika Boenisch, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Günter Schmidgall, und Herrn Dr.-Inf. Erich Müller für viele interessante fachliche Diskussionen.

Den erfolgreichen Abschluss von Schule, Studium und Promotion verdanke ich ganz wesentlich meinen Eltern Hans und Roswitha. Sie schufen mir durch Ihre tatkräftige Unterstützung den notwendigen Freiraum zur Erfüllung meiner Ziele und zeigten Verständnis und Rücksicht für den sicher nicht immer pflegeleichten Seelenzustand eines Promotionskandidaten.

Dies gilt auch und ganz besonders für Dich, liebe Uta. Ich danke Dir für Deine Geduld und Deine verständnisvolle und einfühlsame Unterstützung, das entgegengebrachte Vertrauen und dass ich Dir vertrauen kann.

Ulm, im August 2007

Marco Müller

# Kurzfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung eines Konzeptes, das wissenschaftliche Grundlagen zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie liefert. Dabei wird der Reifegrad eines Produktes als Steuergröße zur Optimierung des Absicherungsprozesses herangezogen. Dabei ist es notwendig, nicht allein den Absicherungsprozess als eigenständiges Betrachtungsobjekt zu verstehen, sondern alle relevanten Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Daher wird als wesentliches Ordnungsschema für diese Arbeit das Engineering Information Management System (EIMS) zur strukturierten Erfassung des Kontextes von Entwicklungsprozessen definiert.

Der aus der Analyse abgeleitete Handlungsbedarf lässt sich auf zwei wesentliche Handlungsfelder reduzieren. Einerseits besteht die Notwendigkeit, ein geeignetes Modell der produktionsbezogenen Produktabsicherung zu definieren, das ein bereichsübergreifendes Verständnis des Absicherungsprozesses schafft. Andererseits ist es notwendig, wirksame Stellhebel zur Optimierung des EIMS der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Praxis zu identifizieren. Diese beiden Handlungsfelder liefern die Motivation für das Konzept dieser Arbeit. Wesentlicher Bestandteil des Konzeptes ist ein Modell, die Reifegradlandkarte, mit deren Hilfe eine Reifegrad-sensitive Prozessanalyse durchgeführt werden kann und die die Basis für die Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung liefert. Die Tragfähigkeit des Konzeptes wird anhand zweier Beispiele validiert. Die in der Reifegradlandkarte dokumentierten Zusammenhänge und Abhängigkeiten werden genutzt, um eine Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen zu konzipieren sowie als Instrumentarium für eine reifegradsensitive Prozessanalyse und -optimierung.

## Abstract

The main goal of this contribution is the development of a concept, which delivers the scientific basis for the optimisation of the production-oriented product validation in automotive industry. Therefore, the degree of maturity is used as a control factor for the improvement of the validation process. Thus, it is necessary to not only aiming at the validation process itself. The consideration of all relevant influencing factors in the context of this process is also required. In order to acquire all of these influencing factors, an ordering scheme called Engineering Information Management System is defined.

The identified needs of action can be roughly reduced upon two main fields. First, it is necessary to define a suitable model of the production-oriented product validation process and second it is required to identify mechanisms in order to turn the conceptual ideas included in the model into real engineering processes. Both requirements can be fulfilled by the maturity map, which represents the key contribution of this thesis. It delivers the basis for maturity-driven optimisation of engineering processes. Two applications of the maturity map are used to provide the evidence of the concept, and both have been successfully applied into practical scenarios aiming at the analysis and improvement of engineering processes.



# Inhalt

<b>1</b>	<b><i>Einführung, Ziele und Gliederung der Arbeit</i></b>	<b>1</b>
1.1	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.2	<b>Ziele und Erfolgskriterien der Arbeit</b>	<b>4</b>
1.3	<b>Gliederung der Arbeit</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b><i>Forschungsvorgehen</i></b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b><i>Abgrenzung des Themenfeldes</i></b>	<b>11</b>
3.1	<b>Der Kontext von Entwicklungsprozessen</b>	<b>11</b>
3.2	<b>Der Kontext der produktionsbezogenen Produktabsicherung</b>	<b>12</b>
3.2.1	Das Engineering Information Management System (EIMS)	13
3.2.2	Der Baustein Prozesse	14
3.2.3	Der Baustein Methoden	15
3.2.4	Der Baustein Information	16
3.2.5	Der Baustein Daten	17
3.2.6	Der Baustein Informationssysteme	17
3.2.7	Der Baustein Organisation	18
3.3	<b>Zusammenfassung Engineering Information Management System (EIMS)</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b><i>Stand der Wissenschaft und Technik</i></b>	<b>21</b>
4.1	<b>Der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie</b>	<b>21</b>
4.1.1	Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie	21
4.1.2	Grundlagen von Entwicklungsprozessen	24
4.1.3	Absicherung eines Entwicklungsstandes	31
4.1.4	Absicherung eines Entwicklungsprojektes	36
4.1.5	Zusammenfassung zum Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung	41
4.2	<b>Absicherungsmethoden im Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung</b>	<b>42</b>
4.2.1	Grundlagen zum Beurteilen und Entscheiden	42

4.2.2	Digitale Absicherungsmethoden _____	45
4.2.3	Hardware-Absicherungsmethoden – Zusammenbau von Prototypen _____	51
4.2.4	Mixed und Augmented-Reality (MR- und AR-Methoden) _____	52
4.2.5	Zusammenfassung Absicherungsmethoden _____	54
<b>4.3</b>	<b>Informationen und Daten in der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>54</b>
4.3.1	Informationsflüsse in der Produktentwicklung _____	54
4.3.2	Relevante Informationen bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	56
4.3.3	Daten bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	58
4.3.4	Zusammenfassung Informationen und Daten _____	59
<b>4.4</b>	<b>Informationssysteme in der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>59</b>
4.4.1	Grundlagen von Verwaltungssystemen _____	60
4.4.2	Domänenübergreifende Integration von Verwaltungssystemen _____	61
4.4.3	Verwaltungssysteme in der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	62
4.4.4	Grundlagen von Autorensystemen _____	63
4.4.5	Autorensysteme der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	64
4.4.6	Zusammenfassung Informationssysteme _____	65
<b>4.5</b>	<b>Aufbauorganisation der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>65</b>
4.5.1	Grundlagen zur Organisation _____	66
4.5.2	Die Organisation der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	66
<b>5</b>	<b><i>Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie</i> _____</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Prozessbeschreibung der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>69</b>
<b>5.2</b>	<b>Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>71</b>
5.2.1	Analyse des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____	71
5.2.2	Analyse der Absicherungsmethoden der PPA _____	72
5.2.3	Analyse von Informationen und Daten der PPA _____	73
5.2.4	Analyse der Informationssysteme der PPA _____	74
5.2.5	Analyse der Organisation der PPA _____	75
<b>5.3</b>	<b>Handlungsbedarf zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung _____</b>	<b>76</b>
5.3.1	Handlungsfeld Prozess _____	76
5.3.2	Handlungsfeld Absicherungsmethoden _____	77
5.3.3	Handlungsfeld Informationssysteme _____	77
5.3.4	Handlungsfeld Informationen und Daten _____	78
5.3.5	Handlungsfeld Organisation _____	78
<b>5.4</b>	<b>Forschungsfragen und Hypothese _____</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b><i>Konzept zur produktionsbezogenen Produktabsicherung</i> _____</b>	<b>81</b>
<b>6.1</b>	<b>Modell der x-orientierten Produktabsicherung _____</b>	<b>82</b>

6.1.1	Absicherung und Reifegrad	83
6.1.2	Produktentwicklungsmethodik und Reifegrad	88
6.1.3	Einflussfaktoren auf den Reifegrad	91
6.1.4	Aussagesicherheit von x-orientierten Absicherungen	97
6.1.5	Die Reifegradlandkarte – ein Modell der x-orientierten Produktabsicherung	105
<b>6.2</b>	<b>Zusammenhang zwischen EIMS und Reifegrad</b>	<b>106</b>
6.2.1	Methoden und Reifegrad	106
6.2.2	Informationssysteme und Reifegrad	107
6.2.3	Informationen und Daten und Reifegrad	108
6.2.4	Organisation und Reifegrad	108
6.2.5	Prozess und Reifegrad	109
<b>6.3</b>	<b>Die Reifegradlandkarte und EIMS</b>	<b>110</b>
<b>7</b>	<b>Validierung des Konzeptes</b>	<b>113</b>
<b>7.1</b>	<b>Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen</b>	<b>114</b>
7.1.1	Ziele der Methodik zur Analyse von Engineeringprozessen	115
7.1.2	Absicherungsmethodenlandschaft und Modell der x-orientierten Produktabsicherung	117
<b>7.2</b>	<b>EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung</b>	<b>121</b>
7.2.1	Prozess zur Absicherung der Montagetauglichkeit eines Cockpits	122
7.2.2	Umgestaltung EIMS – Methodenanpassung	126
7.2.3	Umgestaltung EIMS – Anpassung Informationssysteme Absicherungsstruktur in EDM	130
7.2.4	Umgestaltung EIMS – Information und Daten zur Absicherung der Montagetauglichkeit eines Cockpits	134
<b>7.3</b>	<b>Absicherungsportal – ein Rahmenwerk zur produktionsbezogenen Produktabsicherung</b>	<b>135</b>
7.3.1	Definition der Absicherungsaufgabe im Absicherungsportal	137
7.3.2	Durchführung der Absicherung	138
7.3.3	Dokumentation und Monitoring der Absicherungsergebnisse	139
7.3.4	Einleiten von Folgemaßnahmen	141
<b>7.4</b>	<b>Zusammenfassung der Validierung des Konzeptes.</b>	<b>142</b>
<b>8</b>	<b>Kritische Bewertung und Diskussion</b>	<b>145</b>
<b>8.1</b>	<b>Kritische Bewertung</b>	<b>145</b>
8.1.1	Das Modell der x-orientierten Produktabsicherung	145
8.1.2	Optimierung des EIMS zu produktionsbezogenen Produktabsicherung	146
<b>8.2</b>	<b>Diskussion</b>	<b>148</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>151</b>

9.1	Zusammenfassung	151
9.2	Ausblick	153
10	<i>Literaturverzeichnis</i>	157
11	<i>Normen und Richtlinien</i>	165
12	<i>Glossar</i>	167
13	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	171
14	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	173
15	<i>Anhang</i>	A

# 1 Einführung, Ziele und Gliederung der Arbeit

## 1.1 Einführung

Die Automobilindustrie sieht sich in den letzten Jahren weltweit einer schwierigen Marktsituation ausgesetzt. Um erfolgreich am Markt bestehen zu können, sind anspruchsvolle, qualitativ hochwertige und auf den Kunden individuell zugeschnittene Produkte notwendig. Dies allein ist aber kein Garant für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. „Um langfristigen Unternehmenserfolg zu erzielen“, so Dr. Dieter Zetsche, Vorstandsvorsitzender der DaimlerChrysler AG, anlässlich der Hauptversammlung 2006, „ist eine kontinuierliche Effizienzsteigerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette notwendig“.

Optimierungspotentiale dafür werden zum Beispiel im Rahmen von Branchenreporten ausgewiesen, die beispielsweise die Produktivität verschiedener Hersteller eines Produktes vergleichen, etwa [Harb06]. Dort finden sich zum Beispiel für vergleichbare Fahrzeuge mit ähnlicher Fertigungstiefe teilweise gravierende Unterschiede. Grundlage dieser Untersuchungen sind dabei Produktivitätskennzahlen wie beispielsweise HPV (HPV = hours per vehicle, Arbeitsinhalt pro Fahrzeug) und EHPV (EHPV = engineering hours per vehicle, konstruktiv bedingter Arbeitsinhalt pro Fahrzeug).

Gerade diese beiden genannten Kennzahlen zeigen auf, dass die angestrebten Effizienzsteigerungen nicht allein durch die Optimierung der Produktion erreicht werden können. Natürlich kann auch das Produkt hierzu einen Beitrag leisten. In **Abbildung 1-1** ist dargestellt, dass schon durch die Gestaltung des Produktes in Entwicklung und Konstruktion ca. 80% der Kosten festgelegt werden. Dies äußert sich im großen Interesse daran, im Rahmen des Entwicklungsprozesses besonders produktionsfreundliche Produkte zu konzipieren und zu konstruieren. Die produktionsgerechte Produktgestaltung (PPG) wird dabei als ein wesentlicher Stellhebel zur Effizienzsteigerung verstanden.

Um eine produktionsgerechte Produktgestaltung umzusetzen, werden in der Praxis verschiedene Ansätze verfolgt. Als Beispiel lassen sich Begriffe wie Plattform- oder Modulstrategie, Produktbaukasten oder Regalentwicklung anführen. Damit werden im Wesentlichen zwei

Effekte angestrebt. Zum einen soll Entwicklungsaufwand eingespart werden, in dem möglichst viele gleiche Baugruppen oder Komponenten in verschiedenen Produkten zum Einsatz kommen können. Zum anderen ist angestrebt, das Produkt so zu gestalten, dass erst spät im Produktionsprozess Varianten erzeugt werden. Dabei ist der Einsatz von variantenneutralen Produktionsvorstufen und variantenspezifischen Produktionsendstufen angestrebt [WiGK04].

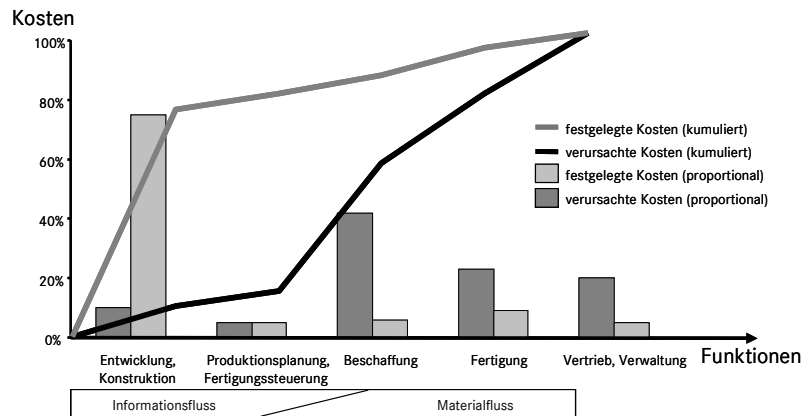


Abbildung 1-1 Kostenfestlegung und -verursachung in den verschiedenen Bereichen des Produktentstehungsprozesses [VWSS94]

Auch in der wissenschaftlichen Welt beschäftigt man sich im Rahmen der Produktentwicklungsmethodik mit diesem Thema. Die Aufgabe und die damit verbundenen Problemstellungen, werden schon seit nahezu 50 Jahren unter dem Sammelbegriff „Design for X“ diskutiert, sie stammen „bereits aus den späten 1960er-Jahren und wurden später ergänzt durch Regeln für montage-, qualitäts-, umwelt- und vertriebsgerechte Konstruktion.“ [SAKR05]“. In dieser Zeit entstanden eine Vielzahl von Richtlinien und Vorgehensmodellen mit dem Ziel, bei der Entwicklung eines Produktes eine bestimmte Eigenschaft besonders intensiv in der konstruktiven Lösung zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Arbeit ist es die produktionsgerechte Produktgestaltung, die als zentraler Aspekt behandelt und untersucht wird.

In **Abbildung 1-2** ist auf der linken Seite das Produkt, auf der rechten Seite das Produktionssystem dargestellt. Die Vorgehensweise beim klassischen Design for X geht davon aus, dass es möglich ist, ausgehend von einem vorgegebenen Produktionssystem Richtlinien abzuleiten und zu formulieren, die man dann bei der Gestaltung des Produktes berücksichtigen kann, um so eine produktionsgerechte Produktgestaltung zu erreichen.

Diese klassische Vorgehensweise wird in den im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Entwicklungsprozessen der Automobilindustrie durch eine besondere Herausforderung erschwert. Produkt und Produktionssystem entstehen im Rahmen des Simultaneous Engineering (SE) nahezu zeitgleich.

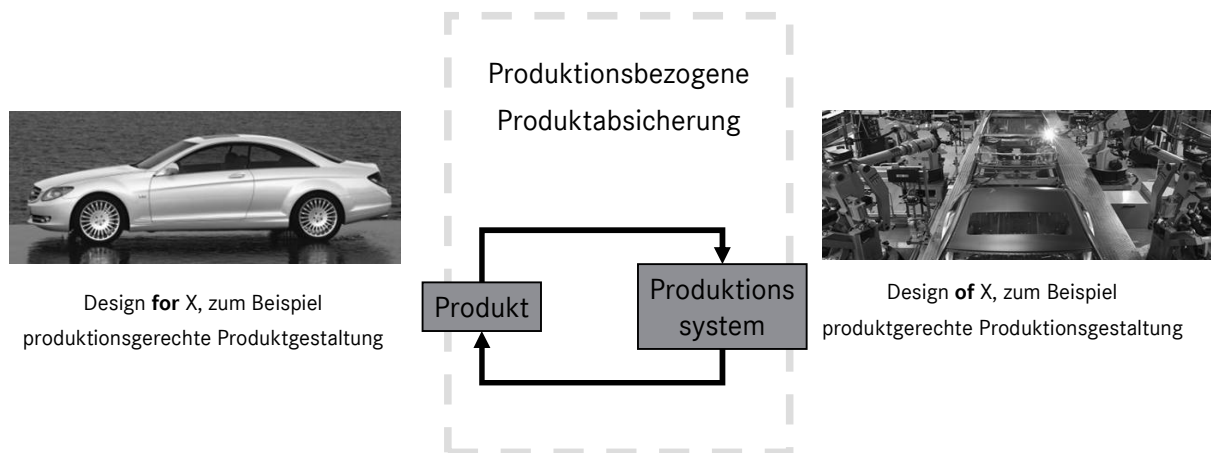


Abbildung 1-2 Die produktionsbezogene Produktabsicherung dient zur Synchronisation von Produkt- und Produktionssystem

Damit ist das Produktionssystem, das nach **Abbildung 1-2** gewissermaßen das Ziel für eine produktionsgerechte Produktgestaltung vorgibt, bei Entwicklungsbeginn nicht oder nur sehr grob bekannt. Es ist nicht möglich, hinreichend präzise und vollständige Richtlinien zu formulieren, die eine produktionsgerechte Produktgestaltung gewährleisten. Dadurch ist es in der Praxis notwendig, im Verlauf des Produktentwicklungsprozesses den Entwicklungsstand von Produkt- und Produktionssystem zu synchronisieren, um die produktionsgerechte Produktgestaltung zu beurteilen und absichern zu können.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht daher der Prozess der **produktionsbezogenen Produktabsicherung (PPA)**, der einen Teil des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie darstellt. Die PPA hat zum Ziel, die serienprozessfähige Interaktion von Produkt und Produktionssystem sicherzustellen.

**Anmerkung zur Terminologie:** Im Rahmen dieser Arbeit werden sowohl der Begriff „produktionsgerecht“ als auch der Begriff „x-gerecht“ verwendet. Dabei ist der Begriff „x-

gerecht“ als eine Verallgemeinerung des Begriffes „produktionsgerecht“ im Sinne des Design for X zu verstehen. Dem entsprechend ist das Produktionssystem das X-System, das schwerpunktmäßig im Fokus dieser Arbeit steht. Andere Beispiele für ein X-System sind das Qualitätssystem oder das Vertriebssystem.

## **1.2 Ziele und Erfolgskriterien der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und der Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung aufzuzeigen und in einem theoretischen Modell zusammenzuführen. Weiterhin ist angestrebt, ausgehend von diesem Modell, Stellhebel zur Optimierung der PPA zu identifizieren, um so einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz in der Wertschöpfungskette zu leisten. Dabei sollen besonders die Gegebenheiten des vorliegenden industriellen Kontextes und entwicklungsmethodische Erkenntnisse berücksichtigt werden. Das Konzept zur x-orientierten Produktabsicherung umfasst beide Aspekte, die Definition des Modells und die Identifikation von Stellhebeln zu Optimierung des industriellen Kontextes.

Den wissenschaftlichen Beitrag dieser Arbeit liefert in erste Linie die Darstellung der Abhängigkeit von Produkt, Produktionssystem und Absicherungen am Beispiel des betrachteten Prozesses PPA in der Automobilindustrie. Durch die Darstellung und Analyse dieser Abhängigkeiten ergeben sich neue Erkenntnisse, die man bei der zukünftigen Gestaltung dieses Prozesses berücksichtigen kann.

Im Wesentlichen wird es dadurch möglich sein, in frühen Entwicklungsphasen Probleme im Zusammenspiel zwischen Produkt und Produktionssystem aufzudecken. Laut einer internen Studie sind 40% der Produktänderungen nach Produktionsanlauf auf eine unzureichende produktionsgerechte Produktgestaltung zurückzuführen. Dies hat aufwändige und sehr teure Produktänderungen nach Produktionsanlauf zu Folge.

Das Konzept der x-orientierten Produktabsicherung ermöglicht den konsequenten Einsatz digitaler Produktmodelle und darauf basierender Absicherungsmethoden. Es wird möglich, Probleme nicht nur vor Produktionsstart, sondern schon vor dem Aufbau erster realer Prototypen zu entdecken und zu beseitigen. Geringere Änderungskosten, kürzere Änderungszyklen und robustere Fertigungsprozesse sind die Folge. Das Erfolgskriterium dieser Arbeit ist dem-



nach die günstige Beeinflussung der generellen Zielgrößen Kosten, Qualität und Zeit, des so genannten „magischen Dreiecks“ [Pfei01].

### **1.3 Gliederung der Arbeit**

Nach einer kurzen Einführung und der Formulierung der Ziele der vorliegenden Arbeit in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 das dieser Arbeit zu Grunde liegende wissenschaftliche Forschungsvorgehen vorgestellt und das Themenfeld abgrenzt. Zudem wird mit dem Engineering Information Management System (EIMS) ein Ordnungsschema zu strukturierter Erfassung des Kontextes von Entwicklungsprozessen vorgestellt, das im Rahmen dieser Arbeit eine wichtige Rolle spielt.

Die Bausteine des EIMS, Prozesse, Methoden, Informationssysteme, Information und Daten sowie Organisation, liefern die Gliederung der deskriptiven Studie. Diese umfasst den Stand der Wissenschaft und Technik in Kapitel 3 sowie die Analyse der produktionsbezogenen Absicherungsaktivitäten in der Automobilindustrie in Kapitel 4. Als Ergebnis der deskriptiven Studie werden abschließend Handlungsbedarfe abgeleitet und die für diese Arbeit relevanten Forschungsfragen und Hypothesen formuliert.

In Kapitel 5 wird das Konzept zur x-orientierten Produktabsicherung entwickelt. Der Handlungsbedarf und die Forschungsfragen führen im ersten Schritt zum Modell der x-orientierten Produktabsicherung. Ausgehend von diesem theoretischen Modell wird im zweiten Schritt aufgezeigt, welche Stellhebel zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Praxis existieren. Dies ist der eigentliche Kern der Arbeit und liefert den wissenschaftlichen Beitrag dieser Dissertation.

#### **Das Konzept der x-orientierten Produktabsicherung umfasst**

- Das Modell der x-orientierten Produktabsicherung
- Die Identifikation von Stellhebeln zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung.

Um dieses Konzept zu validieren werden in Kapitel 6 in der zweiten deskriptiven Studie drei Schwerpunkte verfolgt. Die Validierung des theoretischen Modells, die Optimierung der pro-

duktionsbezogenen Produktabsicherung ausgehend von diesem Modell sowie eine transparentere Koordination und Steuerung des Absicherungsprozesses.

### **Validierung des Konzeptes**

- Zur Validierung des Modells der x-orientierten Produktabsicherung wird eine Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen vorgestellt, die ausgehend vom Modell der x-orientierten Produktabsicherung entwickelt und erfolgreich in der Industrie angewendet werden konnte.
- Die Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung wird an einem Beispiel aus der Automobilendmontage aufgezeigt. Hierbei wurden zwei neue Absicherungsmethoden in den Absicherungsprozess eingebunden und eine EDM-basierte Absicherungsstruktur als wesentliches Kernelement umgesetzt.
- Zur verbesserten domänenübergreifenden Zusammenarbeit im Absicherungsprozess wird mit dem Absicherungsportal ein System zur Koordination und Steuerung des Absicherungsprozesses prototypisch umgesetzt.

In Kapitel 7 wird das vorgestellte Konzept ausgehend von ersten Erfahrungen kritisch bewertet und werden mögliche Erweiterungen diskutiert, und Kapitel 8 fasst die Arbeit zusammen und bietet einen kurzen Ausblick auf weitere interessante Fragestellungen und mögliche Entwicklungen in diesem Thema. Detailliertere Informationen, insbesondere zu den im Rahmen der Validierung vorgenommen Umsetzungen, befinden sich im Anhang am Ende der Arbeit.

## 2 Forschungsvorgehen

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der Tätigkeit in der Forschungsabteilung eines international aufgestellten OEM in der Automobilindustrie. Schwerpunkt der dortigen Forschungsaktivitäten ist der Einsatz von Informationssystemen zur Optimierung von Entwicklungsprozessen. Die Arbeitsweise und das Forschungsverständnis in diesem industriell geprägten Umfeld haben diese Arbeit beeinflusst. Die Zielsetzung und damit auch die erzielten Ergebnisse sind daher eher anwendungs- denn grundlagenorientiert. Das Forschungsvorgehen entspricht dabei der von Blessing vorgestellten Forschungsmethode Design Research Methodology (DRM) [Bles02].

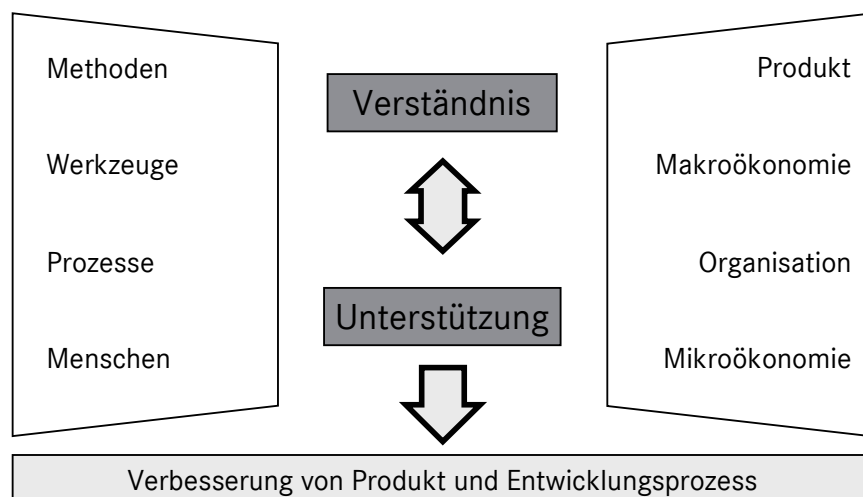


Abbildung 2-1 Ziele der Forschung in der Produktentwicklungsmethodik [Bles02]

Blessing formuliert das Ziel der Forschungsaktivitäten in der Produktentwicklungsmethodik gemäß **Abbildung 2-1** als die Verbesserung von Produkt und Entwicklungsprozess. Dabei werden zwei wesentliche Aufgabenfelder identifiziert, die auch in dieser Arbeit im Mittelpunkt stehen: Das Schaffen von Verständnis für Phänomene in der Produktentwicklung und die Unterstützung auf unterschiedlichen Ebenen mit dem Ziel, eine Verbesserung von Produkt und Produktentwicklungsprozess herbeizuführen. Diese Sichtweise korrespondiert mit den in Kapitel 1.2 vorgestellten Zielen und Erfolgskriterien dieser Arbeit. Die Verbesserung von Produkt und Entwicklungsprozess führen zu Kosteneinsparungen, Zeitersparnis und verbesserter Qualität.

Das Forschungsvorgehen DRM geht allerdings noch einen Schritt weiter. Da der direkte Nachweis der Erfolgskriterien von sehr vielen Einflussfaktoren abhängen kann, ist es häufig nicht möglich, den Effekt einer wissenschaftlichen Arbeit direkt anhand der Erfolgskriterien nachzuweisen. Es ist leicht einzusehen, dass etwa die Qualität eines Produktes nicht allein von einem geeigneten Produktentwicklungsprozess, sondern beispielsweise auch von der Maschinenfähigkeit einer Werkzeugmaschine abhängig ist. Im Rahmen von DRM ist deswegen vorgesehen, dass messbare Kriterien definiert werden müssen. Damit sollen einerseits die tatsächlichen, nur durch den Beitrag einer wissenschaftlichen Arbeit erzielten Effekte in der Praxis nachgewiesen werden. Andererseits sind die messbaren Kriterien so zu definieren, dass die positive Beeinflussung der Erfolgskriterien durch die wissenschaftliche Arbeit plausibel erscheint.

**Definition: messbare Kriterien**

Um die in dieser Arbeit anvisierten Erfolgskriterien zu erfüllen, werden folgende messbare Kriterien definiert:

- Die Verminderung der Anzahl von Produktänderungen aufgrund mangelhafter produktionsgerechter Produktgestaltung, insbesondere zu einem Zeitpunkt **nach** dem Aufbau realer Prototypen.
- Die Steigerung der Anzahl der entdeckten Fehler, die anhand digitaler Modelle im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung (PPA) entdeckt wurden, insbesondere zu einem Zeitpunkt **vor** dem Aufbau realer Prototypen.

**Anmerkung zur Terminologie:** Im Rahmen dieser Arbeit stellt der Zeitpunkt des Aufbaus des ersten Prototyps eines Fahrzeugs eine wichtige Schwelle dar. Zu diesem Zeitpunkt wird die „digitale Welt“ zum ersten Mal vollständig verlassen. Produktänderungen nach diesem Zeitpunkt sind in der Regel sehr kostenintensiv, da gegebenenfalls auch das Produktionssystem angepasst werden muss. „Frühe“ Fehlerentdeckung bezieht in diesem Kontext auf den Zeitpunkt vor dem Aufbau des ersten Prototyps.

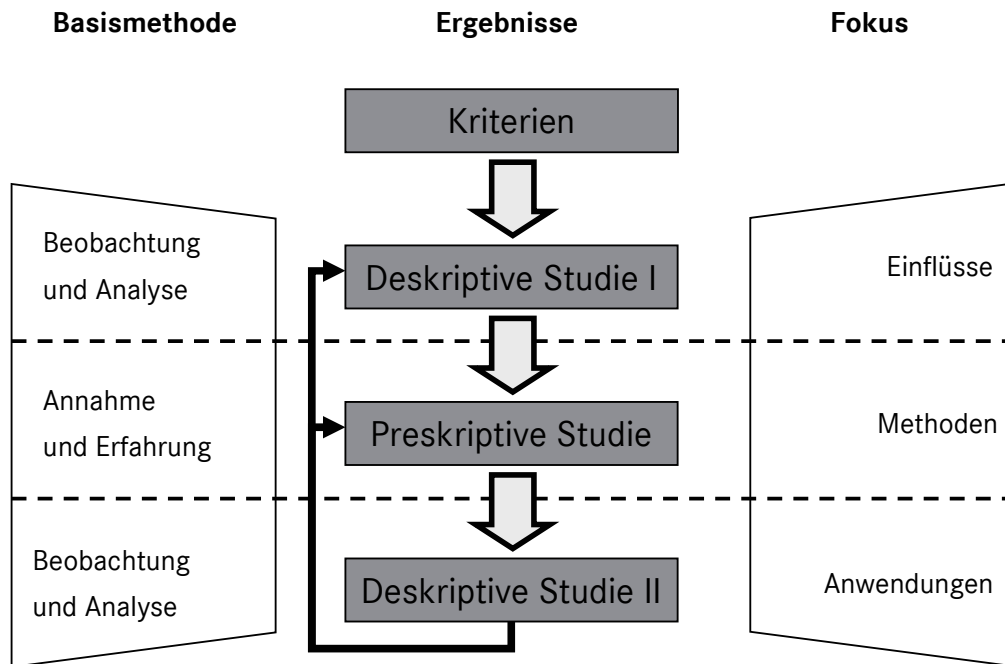


Abbildung 2-2 Forschungsvorgehen gemäß Design Research Methodology [Bles02]

Ausgehend von der Definition der Erfolgskriterien wird im Forschungsansatz DRM (**Abbildung 2-2**) vorgeschlagen, eine deskriptive Studie durchzuführen. Dabei wird der relevante Stand der Wissenschaft und Technik analysiert und werden Handlungsbedarfe ausgehend von der Ist-Situation identifiziert. Im Anschluss dieser ersten Analyse werden dann die für die Arbeit relevanten Forschungsfragen und die Forschungshypothese formuliert.

Im Rahmen der preskriptiven Studie wird das wissenschaftliche Konzept erarbeitet und beschrieben. Dabei wird, bezogen auf **Abbildung 2-1**, „neues“ Verständnis erzeugt, dessen Anwendung zu einer Verbesserung der Ist-Situation führen soll. Im Rahmen einer zweiten deskriptiven Studie wird dann beschrieben, wie dieses neue Verständnis konkret genutzt worden ist, um eine verbesserte Soll-Situation herbeizuführen. Die zweite deskriptive Studie beschreibt demnach eine Situation, bei der die Auswirkungen und Veränderungen durch die neu gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse in der Praxis sichtbar werden. Sie liefert damit die Grundlage, um anhand der messbaren Erfolgskriterien das Konzept zu validieren, Forschungsfragen zu beantworten und die Hypothese bestätigen zu können.

In **Abbildung 2-3** ist anhand des Theoretical Foundation and Concept Modells dargestellt, dass diese Arbeit die Themenfelder Produktentwicklungsmethodik, Management von Entwicklungsprozessen und Informationssysteme im Entwicklungsprozess berührt.

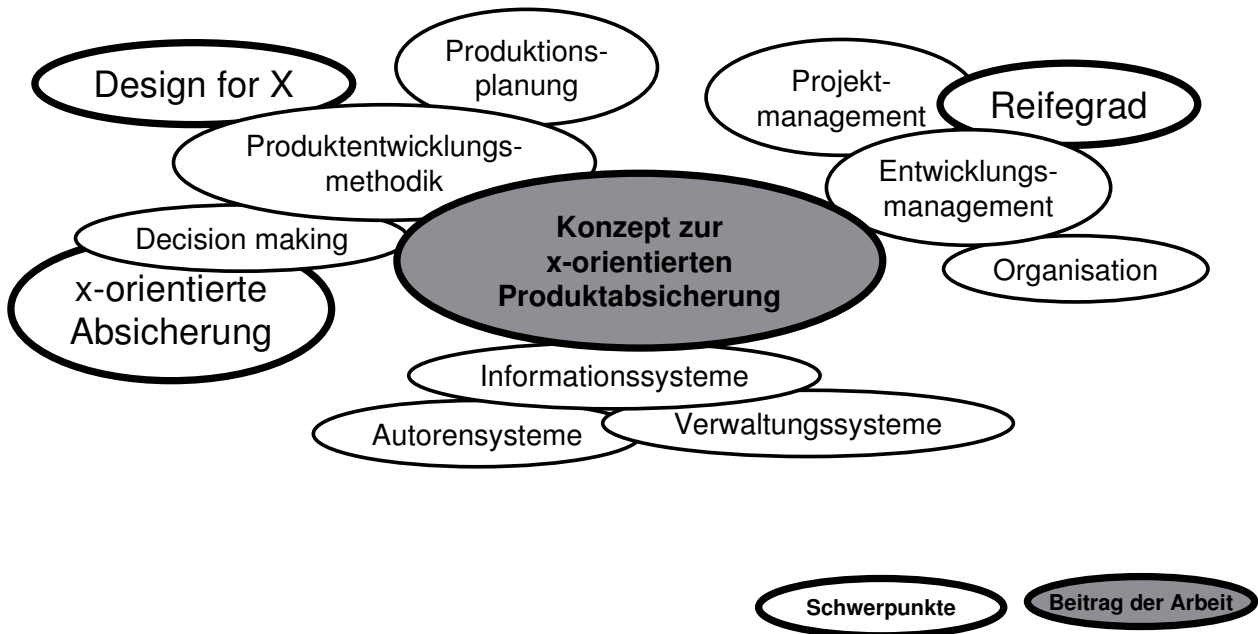


Abbildung 2-3 Theoretical Foundation and Concept (TFC) Modell nach der Design Research Methodology

Durch die detaillierte Betrachtung des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung ergeben sich die Schwerpunkte vor allem im Design for X und dem Reifegradmanagement. Da zudem angestrebt ist, viele Absicherungsaktivitäten anhand digitaler Modelle durchzuführen, spielen auch Informationssysteme eine wichtige Rolle.

### 3 Abgrenzung des Themenfeldes

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Einflussfaktoren bei der Optimierung von Entwicklungsprozessen in der Praxis berücksichtigt werden müssen. Dabei wird insbesondere auf die Besonderheiten der PPA eingegangen und mit dem EIMS ein Ordnungsschema zur strukturierten Beschreibung des Kontextes von Entwicklungsprozessen eingeführt. Zudem werden wesentliche Begriffe definiert.

#### 3.1 Der Kontext von Entwicklungsprozessen

Der Produktentwicklungsprozess wird insgesamt von vielfältigen Faktoren beeinflusst. Um den hohen Anforderungen in einem globalisierten Wettbewerb gerecht zu werden, wird die Optimierung des Produktentwicklungsprozesses unter Berücksichtigung jedes einzelnen Einflussfaktors angestrebt.

In der wissenschaftlichen Welt trägt man dieser Erkenntnis Rechnung, indem beispielsweise auf der International Conference on Engineering Design ICED 2007 dieser Sachverhalt unter dem Begriff „Context in Design“ als eigenständiges Themenfeld geführt wird. Da sich bisher keine feststehende wissenschaftliche Definition des Kontextes von Entwicklungsprozessen etabliert hat, wird der Begriff im Rahmen dieser Arbeit als das Netzwerk aller relevanten Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess definiert.

#### **Definition: Kontext von Entwicklungsprozessen**

Der Kontext von Entwicklungsprozessen umfasst das Netzwerk aller relevanten Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess. Als Beispiele lassen sich die Aufbauorganisation in einem Unternehmen, gesetzliche Vorgaben oder kulturelle Aspekte nennen.

Für weiterführende Informationen sei beispielsweise auf [Lind05] verwiesen. Dort ist beschrieben, wie der Kontext eines Entwicklungsprozesses die Auswahl und erfolgreiche Anwendung eines geeigneten Vorgehensmodells maßgeblich beeinflusst.

### 3.2 Der Kontext der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Da das in dieser Arbeit entworfene Konzept zur Optimierung des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung eingesetzt werden soll, stellt sich die Frage, welche relevanten Einflussfaktoren dabei zu berücksichtigen sind.

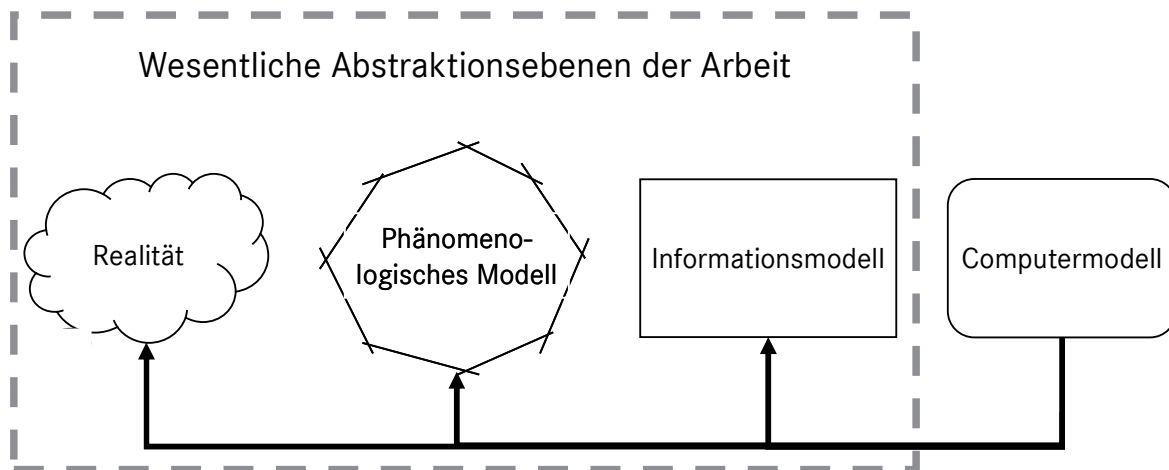


Abbildung 3-1 Entwicklungsprozesse können in verschiedene Abstraktionsebenen unterteilt werden [DuAn95]

In **Abbildung 3-1** ist veranschaulicht, dass es verschiedene Abstraktionsebenen gibt, in denen man ein Produkt oder einen Entwicklungsprozesses darstellen kann. Je nach Fragestellung variiert die geeignete Abstraktionsebene, die die notwendige Beschreibungstiefe oder den notwendigen Detaillierungsgrad repräsentiert. Dies gilt auch für den Kontext eines Entwicklungsprozesses. Auch er muss in einer geeigneten Abstraktionsebene erfasst und beschrieben werden, um alle relevanten Einflussfaktoren abbilden zu können. Im Folgenden wird die PPA in dieses Bild eingeordnet. Darauf aufbauend wird der relevante Kontext für die PPA beschrieben und wichtige Begriffe definiert.

Das Ziel des **Prozesses** der produktionsbezogenen Produktabsicherung liegt in dem Versuch, die Produktgestaltung und damit das tatsächliche, reale existierende Artefakt zu beeinflussen.

In Kapitel 2.1 wurde erläutert, dass insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen eine frühe Absicherung, also vor dem Aufbau realer Prototypfahrzeuge, anzustreben ist. Daher ist es nicht zielführend, die PPA anhand der Analyse realer Artefakte durchzuführen. Dies ist zu spät, notwendige Änderungen würden hohe Kosten verursachen.



Es ist vielmehr notwendig, die wesentlichen Aspekte der PPA in einem phänomenologischen Modell zu erfassen, um Analysen früher im Entwicklungsprozess durchführen zu können. Dazu werden **Absicherungsmethoden** angewendet. Stehen keine realen Modelle zur Analyse zur Verfügung oder kommen, wie im Falle der PPA aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Erwägung, so können mit Hilfe von **Informationssystemen** digitale Modelle zur Absicherung herangezogen werden. Dabei sind geeignete **Informations-** oder **Datenmodelle** notwendig, um Informationssysteme zielgerichtet einsetzen oder gar neue Informationssysteme entwickeln zu können. Durch die Anwendung von Absicherungsmethoden wird, unterstützt durch Informationssysteme, eine Grundlage geschaffen, aufgrund derer **Prozessbeteiligte** Entscheidungen treffen und damit die Realität beeinflussen können.

Alle diese Facetten bilden den Gesamtkontext, in dem sich der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung abspielt und die diesen beeinflussen. In Anlehnung an Svensson [Sven03] wird hierzu der Begriff **Engineering Information Management System (EIMS)** eingeführt, um den Kontext der PPA zu strukturieren zu erfassen. Im Rahmen dieser Arbeit gelten die folgenden Definitionen.

### 3.2.1 Das Engineering Information Management System (EIMS)

#### **Definition: Engineering Information Management System (EIMS)**

Das EIMS ist die Einheit der Bausteine **Prozesse, Methoden, Informationen und Daten, Informationssysteme und Organisation**. Es beinhaltet damit alle relevanten Einflussfaktoren, die im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung interagieren. Der Begriff EIMS ist ganz allgemein der Name eines Ordnungsschemas zur strukturierten Beschreibung des Kontextes von Entwicklungsprozessen, in diesem Fall der produktionsbezogenen Produktabsicherung.

**Anmerkung zur Terminologie:** Der Begriff EIMS wird in dieser Arbeit auch als Bezeichnung für die **konkrete Ausprägung des Kontextes** bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung verwendet. Daher wird auch von der „Optimierung des EIMS“ gesprochen. Damit ist nicht die Optimierung des Ordnungsschemas an sich gemeint, sondern die Optimierung der Einheit von Prozessen, Methoden, Informationen und Daten, Informationssystemen und Or-

ganisation, die im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung **konkret** interagieren.

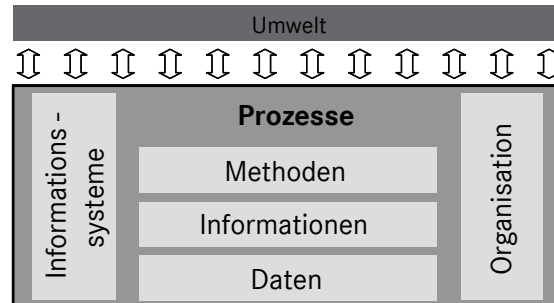


Abbildung 3-2 EIMS – Engineering Information Management System

Das in **Abbildung 3-2** dargestellte EIMS grenzt sich allgemein durch eine Systemgrenze von der Umwelt ab, und steht mit dieser in Wechselwirkung. Die Umwelt umfasst dabei die tatsächliche Unternehmensumwelt wie Markt, Gesetzgebung oder gesellschaftliche Situationen, zudem aber auch unternehmensinterne Randbedingungen. In [BuMV07] finden sich weiterführende Ausführungen zu diesem Thema, insbesondere auch ein Vergleich zu anderen gebräuchlichen Rahmenwerken zu Strukturierung des Kontextes von Entwicklungsprozessen. Die einzelnen Bausteine des EIMS sind im Rahmen dieser Arbeit wie folgt definiert.

### 3.2.2 Der Baustein Prozesse

#### **Definition: Prozesse**

Die DIN 9000 definiert den Begriff „Prozess“ als einen „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“. Ein Prozess kann aus mehreren Teilprozessen bestehen.

Der Baustein Prozesse im EIMS umfasst den Teil des Produktentwicklungsprozesses, der im Rahmen einer Analyse Gegenstand der Untersuchung ist. Dies kann im Allgemeinen den gesamten Produktlebenszyklus umfassen, oder aber wie im vorliegenden Fall, nur einen definierten Ausschnitt, einen Teilprozess.

Damit kommt dem Baustein Prozesse die Aufgabe zu, eine Skalierung des EIMS zu herbeizuführen. Der betrachtete Prozessausschnitt legt die Systemgrenze fest und definiert damit gleichzeitig, welche Methoden, Informationen und Daten, Informationssysteme und Organisationsaspekte im EIMS berücksichtigt werden müssen.

### 3.2.3 Der Baustein Methoden

#### Definition: Methoden

Eine Methode ist definiert als „ein planvolles Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels“ (VDI 2219).

Während der Bausteine Prozess beschreibt, was in der PPA getan werden soll, schreibt die Methode vor, wie die verschiedenen Aktivitäten innerhalb eines Prozesses ausgeführt werden sollen.

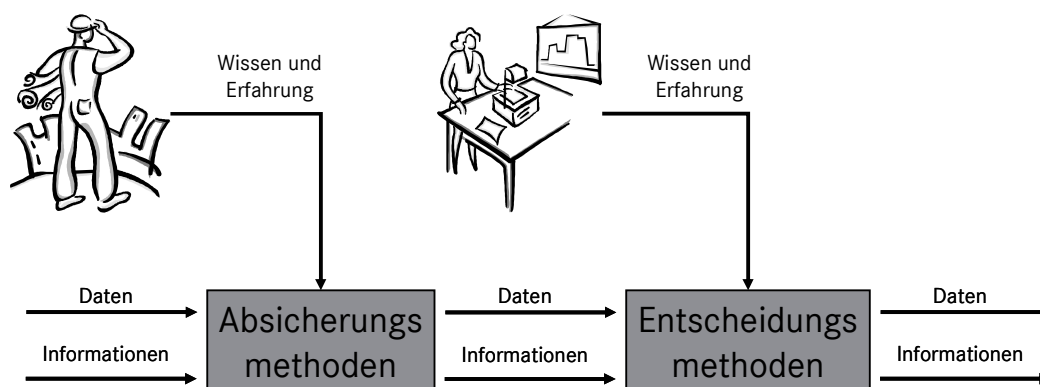


Abbildung 3-3 Methoden liefern die Grundlagen für Entscheidungen

Die Methode ist ein zentraler Baustein im EIMS. In **Abbildung 3-3** ist dargestellt, dass der Baustein Methode in engem Zusammenhang mit den Bausteinen Informationen und Daten steht, da in der Regel ein definierter Satz von Eingangsinformationen bzw. -daten zur Anwendung einer Methode notwendig ist. Gleichzeitig liefert die Anwendung einer Methode Ausgangsinformationen bzw. -daten, die von Menschen als Teil der Organisation interpretiert werden. Methoden liefern allgemein eine Basis zur Entscheidungsfindung in Entwicklungs-

prozessen. Als Ergebnis der Anwendung einer Methode kann beispielsweise eine Produktänderung initiiert werden

### 3.2.4 Der Baustein Information

Es existieren in der wissenschaftlichen Welt sehr viele unterschiedliche Definitionen der Begriffe Informationen und Daten. Dabei bleibt festzuhalten, dass die Eignung und Ausprägung einer Definition kontextabhängig ist [Webe05]. Für die PPA erweist sich insbesondere die Definition von Müller und Schappert als zielführend [MuSc99]. Diese beschreiben im „semiotischen Dreieck“ den Zusammenhang zwischen Informationen, Daten und Wissen.

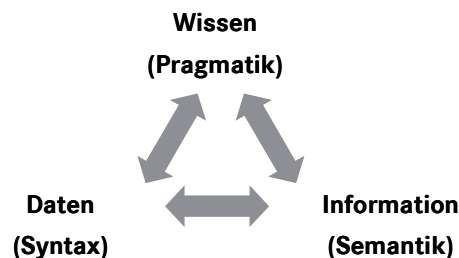


Abbildung 3-4 Semiotisches Dreieck [MuSc99]

Dabei haben Daten an sich keine Bedeutung, und stellen in gewisser Weise das Rohmaterial dar, aus dem Information generiert werden kann. Demnach sind Informationen interpretierte Daten, sie erweitern die Syntax der Daten um eine Bedeutung, eine Semantik. Dabei ist zu beachten, dass die Interpretation der Daten kontextabhängig ist, das heißt von der Erfahrung und dem Wissen des Interpreters abhängt.

#### **Definition: Informationen**

Informationen entstehen aus der Interpretation von Daten in einem definierten Kontext. Damit sind Informationen kontextabhängig.

### 3.2.5 Der Baustein Daten

#### Definition: Daten

Daten an sich haben keine Bedeutung, und stellen in gewisser Weise das Rohmaterial dar, aus dem Informationen generiert werden.

Anschaulich sind Daten Informationen, die in eine Form überführt worden sind, in der sie von Informationssystemen verarbeitet werden können. Daten ohne eine Interpretation und das Wissen um den entsprechenden Kontext sind wertlos [MuSc99]. Gleiche Informationen können in unterschiedlichen Datenformaten repräsentiert werden.

### 3.2.6 Der Baustein Informationssysteme

#### Definition: Informationssysteme

Informationssysteme sind rechnergestützte Systeme, die im Rahmen des Entwicklungsprozesses angewandt werden. Dabei erzeugen, analysieren oder verwalten sie Daten und/oder Informationen. Aus diesem Grund lassen sich Verwaltungssysteme von Autoren- oder Anwendungssystemen (Applikationen) unterscheiden ([SAKR05], VDI 2219).

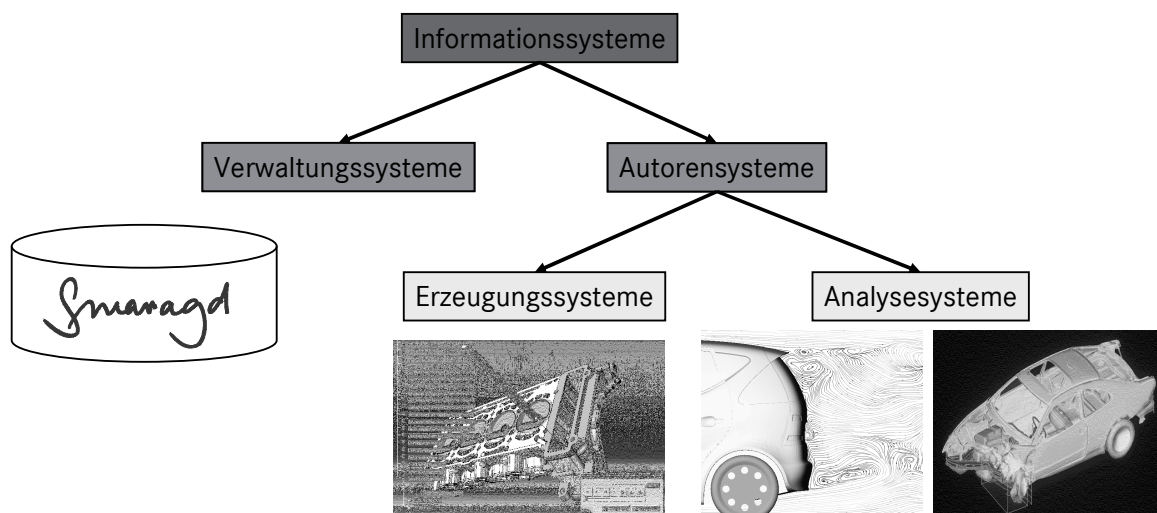


Abbildung 3-5 Übersicht über die Gliederung von Informationssystemen

**Definition: Verwaltungssysteme**

Verwaltungssysteme lassen sich als „technische Datenbank- und Kommunikationssysteme definieren. Diese dienen dazu, Informationen über Produkte, deren Entstehungsprozesse und deren Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und allen relevanten Bereichen eines Unternehmens bereitzustellen“ (VDI 2219).

**Definition: Autorensystem**

„Unter dem Begriff Autorensystem werden zusammenfassend alle Werkzeuge und Systeme der Informations- und Kommunikationstechnik verstanden, deren Zweck die Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses (Konstruktionsprozesses) in der Praxis ist [Vajn05]“. Es lassen sich zwei Kategorien, Erzeugungs- und Analysesysteme, unterscheiden.

**Erzeugungssysteme:**

- CAD-Systeme (Computer Aided Design)
- CAPP-Systeme (Computer Aided Process Planning)
- CAM-Systeme (Computer Aided Manufacturing)

**Analysesysteme:**

- CAE-Systeme (Computer Aided Engineering)
- CAT-Systeme (Computer Aided Tolerancing)
- VR-Systeme (Virtual Reality)
- DMU-Systeme (Digital Mock-up)

**Anmerkung zur Terminologie:** Die stringente Trennung der Systeme ist nicht immer gegeben. Systemhersteller bieten häufig Systempakete an, die Funktionalitäten zur Datenerzeugung und -analyse beinhalten

### 3.2.7 Der Baustein Organisation

**Definition: Organisation**

Der Begriff Organisation kann sehr allgemein als „die Art und Weise, wie die Teile eines Ganzen untereinander und zu diesem Ganzen hin orientiert sind“ definiert werden [Zing02].

Die Organisation ist die Struktur der innerbetrieblichen Gliederung aller am Prozess beteiligten Bereiche und deren Verantwortlichkeiten.

Damit umfasst dieser Baustein die Aufbauorganisation, während die Ablauforganisation den Baustein Prozesse umfasst. Der Baustein Organisation umfasst dabei auch explizit den Menschen, der in einer seiner Rolle in der Organisation im EIMS agiert. Er ist es auch, der Entscheidungen trifft, allerdings in der Regel nicht als Individuum, sondern vielmehr eingebettet in einen organisatorischen Kontext einerseits und in das EIMS andererseits.

### **3.3 Zusammenfassung Engineering Information Management System (EIMS)**

Das EIMS ist allgemein ein Rahmenwerk zur strukturierten Beschreibung des Kontextes von Entwicklungsprozessen. Im Falle der PPA beinhaltet es die Bausteine Prozesse, Methoden, Informationen und Daten, Informationssysteme und Organisation. Ziel der Arbeit ist es, das EIMS, das dem Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung zu Grunde liegt, besser zu verstehen. Dies ist eine Voraussetzung, um eine Optimierung dieses EIMS herbeizuführen.





## 4 Stand der Wissenschaft und Technik

In Kapitel 4 wird der Stand der Wissenschaft und Technik im Umfeld der produktionsbezogenen Produktabsicherung dargestellt. Dabei gibt das EIMS die Gliederung vor, auf die genannten Bausteine wird detailliert eingegangen. Die Beschreibung jedes Bausteins ist zweigeteilt. Es wird jeweils im ersten Teil auf den Stand der Wissenschaft und im zweiten Teil auf den Stand der Technik eingegangen. Gemäß dem Fokus der Arbeit ist dabei die Situation bei international aufgestellten Premiumherstellern in der Automobilindustrie dargestellt.

### 4.1 Der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie

Nach einer kurzen Einführung in den Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie wird aufgezeigt, wie die PPA in dieses Umfeld eingeordnet ist. Ausgehend von diesem praxisbezogenen Einstieg wird auf die Grundlagen von Entwicklungsprozessen eingegangen. Dabei ergeben sich die Schwerpunkte in den Themen Produktentwicklungsmethodik, Design for X und Decision making. Der Begriff der Absicherung steht dabei im Mittelpunkt der Betrachtung. Neben einer Definition des Begriffes Absicherung wird sowohl auf die theoretischen Grundlagen der Absicherung eines Entwicklungsstandes als auch auf die Absicherung im Rahmen des Managements von Produktentwicklungsprojekten eingegangen

#### 4.1.1 Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie

Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie umfasst sehr viele unterschiedliche Aktivitäten und hat das Ziel, ein Fahrzeug und das zur Herstellung notwendige Produktionssystem zu definieren. Diese Aktivitäten können gemäß **Abbildung 4-1** in die fünf Phasen Konzeptentwicklung, Detaillierung, Produktabsicherung, Produktionsplanung und Planungsabsicherung unterteilt werden.

Ist der Auftrag über den Bau eines neuen Fahrzeugmodells an das Projektteam herangetragen worden, werden erste Konzeptideen generiert. Dabei liefern Marktumfragen, Benchmarks und

unternehmensinterne Zielvorgaben den wesentlichen Input an die zu realisierenden Eigenschaften des Fahrzeuges.

In der ersten Phase, der Konzeptentwicklung, stehen dabei die Fahrzeugarchitektur, das Design und die zu verwendenden Basistechnologien im Mittelpunkt. Dabei spielen sowohl funktionale Fragen, etwa Antriebsart oder anvisierte Verbrauchswerte, aber auch produktionsbezogene Fragestellungen eine wichtige Rolle. Möchte man ein Fahrzeug in Aluminiumbauweise entwickeln, so wird diese grundlegende Entscheidung in dieser frühen Phase getroffen. Die erste Phase endet mit der Freigabe eines abgestimmten Produktkonzeptes.

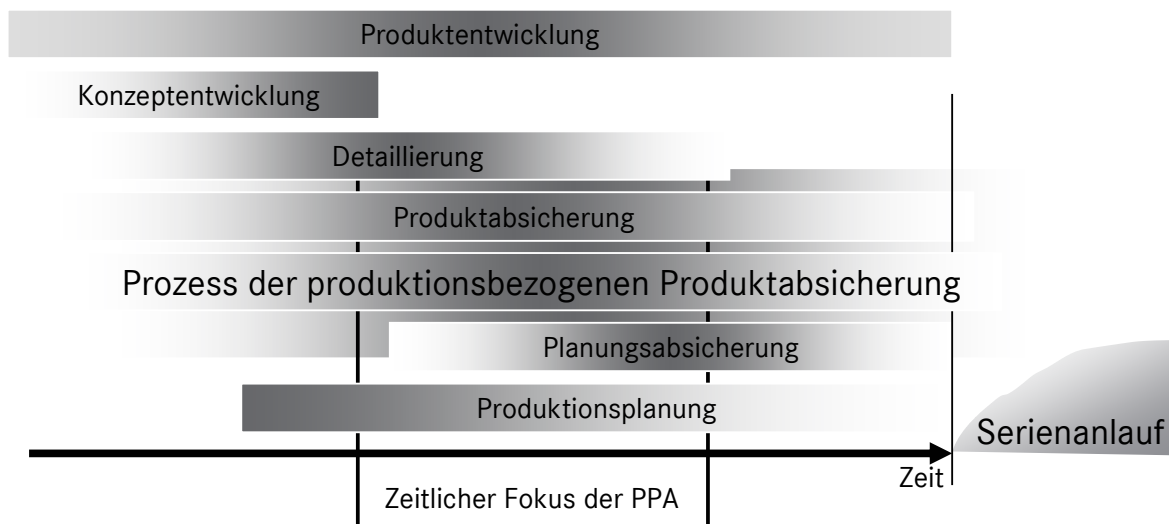


Abbildung 4-1 Verschiedene Phasen der Produktentwicklung in der Automobilindustrie und zeitlicher Fokus der PPA

In der zweiten Phase, der Detaillierungsphase wird dieses Konzept nun weiter ausgearbeitet und präzisiert. Das Design wird festgelegt, und technische Lösungen zur Erzielung der geforderten Eigenschaften werden konzipiert. Dabei werden beispielsweise Komponenten aus anderen Baureihen übernommen und adaptiert, aber auch Neukonstruktionen durchgeführt.

Am Ende der zweiten Phase ist die Konstruktion des Fahrzeuges im Wesentlichen abgeschlossen. Ist ein ausreichender Detaillierungsgrad des Produktmodells erreicht, werden in der dritten Phase, der Produktabsicherung, verschiedene Absicherungen durchgeführt. Dies umfasst beispielsweise die Berechnungen und Untersuchungen anhand digitaler Produktmodelle, beispielsweise bezüglich Betriebsfestigkeit, Crashesicherheit, Schwingungsverhalten sowie

Packaging-Untersuchungen und so fort. Zudem beginnen Absicherungsmaßnahmen an Prototypfahrzeugen.

Mit Prototypfahrzeugen werden unterschiedliche Testaktivitäten durchgeführt, z.B. Dauerlaufstest, Regenprobe, Kältetest oder Fahrsicherheitstests. Doch nicht nur das eigentliche Fahrzeug dient als Lernfeld. Schon durch den Aufbau der Prototypen kann eine Vielzahl von Problemfällen aufgedeckt werden. Dort ergeben sich Erkenntnisse über Aufnahmekonzepte, Fügekonzepte und -kräfte, die Integration von Zuliefererkomponenten, kurz, hier wird festgestellt, ob ein Fahrzeug „baubar“ ist. Alle Vorfälle, die ab Start Prototypenbau entdeckt werden und Funktion oder Baubarkeit des Fahrzeugs einschränken werden gesammelt und gegebenenfalls im Zuge eines Änderungsprozesses korrigiert.

In der vierten Phase, der Produktionsplanung, beginnt so früh wie mögliche die Definition des Produktionssystems, d.h. sobald belastbare Informationen über das neue Fahrzeug vorliegen. Dabei arbeiten Experten aus den beiden Fachbereichen Produktentwicklung und Produktionsplanung, im Sinne eines Concurrent Engineering (CE) Prozesses eng zusammen. In der Produktionsplanungsphase werden zum einen alle zur Herstellung des Fahrzeuges notwendigen Fertigungsprozesse, zum anderen alle Betriebsmittel definiert, die zur Erzeugung des Fahrzeuges eingesetzt werden. Dies umfasst etwa die Festlegung der Taktzeit, der Fügereihenfolge oder der Einsatz von Handlingssystemen in der Fertigung.

Ähnlich wie in Phase der Produktabsicherung wird beim Erreichen eines belastbaren Planungsstandes eine Planungsabsicherung durchgeführt. In dieser fünften Phase steht allerdings nicht das Produkt im Mittelpunkt der Untersuchungen, sondern die Frage, ob die vorgegebenen Planungsprämissen durch das Produktionssystem eingehalten werden können. Dazu werden in mehreren aufeinander folgenden Zyklen verschiedene Baulose auf immer serienäheren Anlagen, zuerst in der Nullserie, dann im Rahmen von Produktionstests produziert. Mit dem Produktionsanlauf und dem Erreichen der Kammlinie, also dem Erreichen der geplanten Zielkapazität, endet dann der Produktentwicklungsprozess eines neuen Fahrzeugs.

Als Besonderheit tritt in der Praxis auch häufig der Fall einer Modellpflege auf. Dabei werden größere Bauteilumfänge eines Fahrzeuges geändert. Als Folge davon müssen Teile des Produktentwicklungsprozesses wieder durchlaufen werden. Dies gilt vor allem für die Produkt- und Planungsabsicherungsphasen. Auch wenn nur wenige Bauteile eines Fahrzeuges verändert

werden, muss doch das Zusammenspiel mit den nicht veränderten Bauteilen gewährleistet werden.

Der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung ist keiner der vorgestellten Phasen direkt zuzuordnen. Um die Produktionstauglichkeit eines Fahrzeuges realistisch einschätzen und bewerten zu können, ist eine hinreichend detaillierte Produktbeschreibung notwendig, desgleichen müssen auch erste Planungsergebnisse und Charakteristika des Produktionssystems bekannt sein. In **Abbildung 4-1** ist die PPA daher an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Planungsabsicherung eingezeichnet. Um eine produktionsbezogene Produktabsicherung durchzuführen, werden sowohl im Rahmen der Produkt- als auch Planungsabsicherung verschiedene Absicherungsmethoden durchgeführt, siehe **Abbildung 4-2**. Die detaillierte Beschreibung und Analyse der PPA folgt in Kapitel 5.

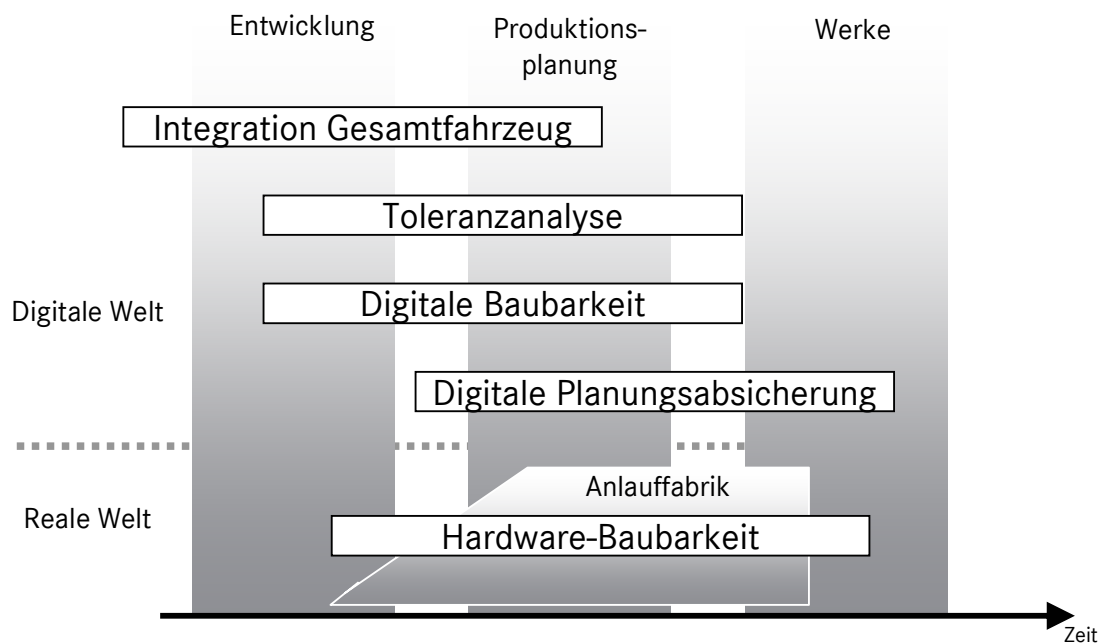


Abbildung 4-2 Methoden, die im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung zum Einsatz kommen

#### 4.1.2 Grundlagen von Entwicklungsprozessen

Da die produktionsbezogene Produktabsicherung an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung stattfindet, sind sowohl die Grundlagen von Produktentwicklungsprozessen als auch die Grundlagen von Produktionsentwicklungsprozessen rele-

vant. Von besonderem Interesse ist auch das Thema Design for X, das sich mit der x-orientierten Produktentwicklung beschäftigt und damit den für diese Arbeit betrachteten Fall der produktionsgerechten Produktgestaltung umfasst.

#### 4.1.2.1 Grundlagen der Produktentwicklung

Die Beschreibung der methodischen Durchführung eines Entwicklungsprozesses ist eine wesentliche Aufgabe in der Produktentwicklungsmethodik. Die im deutschsprachigen Raum wohl am weitesten verbreitete Entwicklungsmethodik stellt die VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ dar (VDI 2221). Die VDI 2221 schlägt dabei ein Vorgehensmodell vor, das verschiedene Teilaufgaben umfasst. Dabei gelten die folgenden Definitionen.

##### **Definition: Produktentwicklung**

Die Entwicklung eines Produktes umfasst gemäß VDI 2221 folgende Teilaufgaben zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte:

- Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
- Ermitteln von Funktionen und deren Struktur
- Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
- Gliedern in realisierbare Module
- Gestalten der maßgebenden Module
- Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben
- Dokumentation der vollständigen Produktbeschreibung

Diese Vorgehensweise findet sich in der Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie in Kapitel 4.1.1 wieder. Allerdings wird die Planung des Produktionssystems, der zweite wesentliche Schwerpunkt des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie, nicht berücksichtigt. Produktentwicklung und Produktionsplanung sind im Rahmen eines Concurrent Engineering (CE)-Prozesses miteinander verzahnt.

##### **Definition: Concurrent Engineering**

Concurrent Engineering ist die direkteste Art der Zusammenarbeit im Entwicklungsprozess. Mehrere Teilaufgaben aus verschiedenen Fachdisziplinen werden in einer gebündelten Aktivi-

tät bearbeitet [SAKR05]. Die produktionsbezogene Produktabsicherung ist ein Beispiel für CE. Ergebnisse der PPA beruhen auf der Analyse von Produkt- und Planungsstand.

Die klassischen Modelle der Produktentwicklungsmethodik entsprechen den realen Gegebenheiten heutiger Entwicklungsprozesse nur ungenügend, insbesondere die enge Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen ist nicht berücksichtigt. Daher entstanden in den vergangenen Jahren in der wissenschaftlichen Welt Ansätze, die sich verstärkt mit parallelen und simultanen Aktivitäten in der Produktentwicklung beschäftigen [SAKR05]. Als Beispiele seien das Integrated Product Development (IPD) [AnHe87], das in **Abbildung 4-3** dargestellt ist oder das Property-Driven Development (PDD) [WeWe01], [We07], das weiter unten in diesem Kapitel vorgestellt wird, genannt.

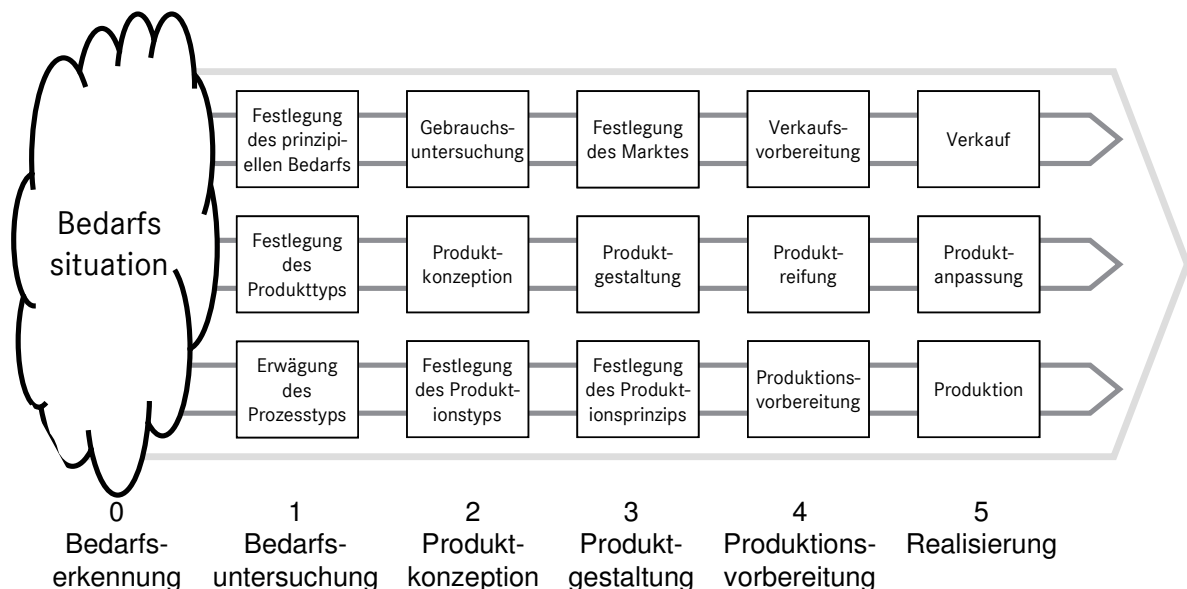


Abbildung 4-3 Das Modell Integrated Product Development zeigt simultane Aktivitäten in der Produktentwicklung [AnHe87]

#### 4.1.2.2 Grundlagen der Produktionsplanung

Nach Stiegler [Stie99] lässt sich folgende Definition anführen:

##### **Definition: Produktionsplanung**

Die Planung eines Produktionssystems umfasst das „geistige Vorbereiten zukünftiger, zielgerichteter Handlungen (...) mit dem Ziel des Findens und Realisierens der wirtschaftlichsten

Lösung, das heißt wenn die Kriterien Qualität, Termin und Kosten in ihrer Gesamtheit ein Optimum erreichen“.

Auch in der Produktionsplanung hat die Forderung nach einer besseren Integration im Entwicklungsprozess zu neuen Anätzen geführt. So ist zum Beispiel unter dem Begriff der Digitalen Fabrik ein neuer Ansatz zur ganzheitlichen Planung entstanden.

**Definition: Digitale Fabrik**

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und 3D-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ (VDI 4499).

4.1.2.3 Design for X

Im Rahmen dieser Arbeit stellt die produktionsbezogene Produktabsicherung in der Automobilindustrie den konkret betrachteten Untersuchungsgegenstand dar. Im Mittelpunkt dieser Absicherungen steht die Forderung nach einer problemlosen Interaktion von Produkt und Produktionssystem während der späteren Serienproduktion.

Die Aufgabe und die damit verbunden Problemstellungen, die diese Absicherung im Rahmen des Entwicklungsprozesses mit sich bringt, werden schon seit nahezu 50 Jahren unter dem Begriff „Design for X“ diskutiert.

**Definition: Design for X**

Der Begriff Design for X stammt aus den späten 1960er-Jahren und umfasst Regeln für fertigungs-, montage-, qualitäts-, umwelt- und vertriebsgerechte Konstruktion.“ [SAKR05]“.

Im Laufe der Zeit entstanden eine Vielzahl von Richtlinien und Vorgehensmodellen, deren Schwerpunkte sich allerdings im Laufe der Zeit stark gewandelt haben. Dabei bezieht sich dieser Wandel weniger auf die adressierten Inhalte, die sich hinter Design for X verbergen. Andreasen et. al. [AKPF06] stellen vielmehr einen Wandel der geforderten Integration und der Umsetzung dieser Richtlinien im Entwicklungsprozess fest. Sie charakterisieren diesen Wandel anhand von 5 Schritten und nennen exemplarische Beispiele für entsprechende Ansätze:

- The „stable world“, z. B. Matousek [Mato57]
- „Industrial expansion“, z.B. Ehrlenspiel [Ehrl03]
- „Integration recognised“, z.B. Design for Assembly von Andreasen et. al. [AnKL88], Design for Production von Herrman [Herr03], DFMA von Boothroyd und Dewhurst [BoDe83]
- „Computer Integration“, z.B. Meerkamm et. al. [MeSR95]
- „mass-customisation and multi-product-development“

Zusammenfassend lässt sich diese Entwicklung wie folgt beschreiben. Es vollzieht sich ein Wandel von einer losgelösten, korrektiven Betrachtung der Entwicklung eines Produktes bezogen auf ein vorgegebenes Produktionssystem hin zu einer integrierten Entwicklung von Produkt und Produktionssystem in einem Computermodell, wie es heutige Ansätze wie der der Digitalen Fabrik ermöglichen. Die Bedingung hierfür ist eine enge Interaktion der im Produktentwicklungsprozess beteiligten Fachdisziplinen im Sinne von CE mit dem Ziel, effiziente Produktentwicklungsprozesse zu realisieren.

#### 4.1.2.4 Property-Driven Development (PDD)

Die genannten Ansätze sind nicht in der Lage, die heute in der Praxis vorzufindenden Ausprägungen des Entwicklungsprozesses ganzheitlich darzustellen. Insbesondere die Auswirkungen des Concurrent Engineering, das, getrieben von unterschiedlichen Fachdisziplinen die Produktgestaltung beeinflusst, sind nicht in der ganzen Komplexität transparent und nachvollziehbar dargestellt. In einem neueren Ansatz der Produktentwicklungsmethodik, dem so genannten Property-Driven-Development (PDD) [Webe07], wird daher eine andere Herangehensweise vorgeschlagen.

Der Ansatz PDD basiert auf der Darstellung des Produktes anhand seiner Merkmale und Eigenschaften und beruht dabei auf Ansätzen von Pahl und Beitz [PaBe83], Hubka und Eder [HuEd96] bzw. Suh [Suh01]. Kern dieses Ansatzes ist in gewisser Hinsicht die Trennung von Ursache und Wirkung, d.h. durch welche Produktmerkmale („Ursache“) kann welche Produkteigenschaft („Wirkung“) hervorgerufen werden.

Merkmale (engl.: characteristics) beschreiben dabei die Struktur und Gestalt eines Produktes, wohingegen die Eigenschaften (engl.: properties) das Verhalten des Produktes vorgeben. Ei-



genschaften, so das Verständnis in PDD, können nicht direkt vom Konstrukteur festgelegt werden, sondern ergeben sich ausgehend von den Merkmalen.

Um diesen Sachverhalt etwas transparenter darzustellen, sei die auch weiterhin für diese Arbeit sehr wichtige Eigenschaft der Produktionsgerechtigkeit als Beispiel herangezogen. Die Produktionsgerechtigkeit ergibt sich ausgehend von den Merkmalen wie beispielsweise der geometrischen Gestalt des Produktes bzw. der Gestalt seiner Einzelteile, der Produktstruktur, des Werkstoffes und einer Vielzahl weiterer Merkmale.

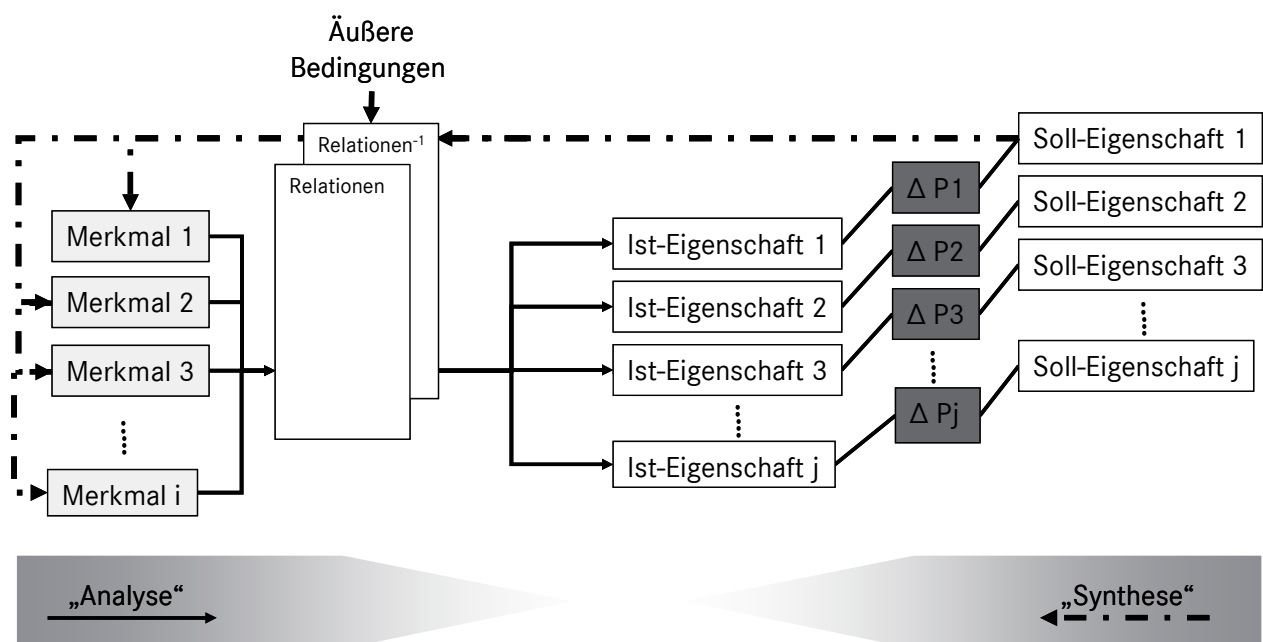


Abbildung 4-4 Das Ablaufschema von Property-Driven Development (PDD)

In **Abbildung 4-4** ist das Ablaufschema von PPD dargestellt. Der Entwicklungsprozess beginnt mit einer Reihe von vorgegebenen Eigenschaften, auf der rechten Seite als Soll-Eigenschaften dargestellt. Diese Eigenschaften werden in der Synthese in Merkmale des zu entwickelnden Produktes überführt. Analysiert man die durch die Synthese erzielten Merkmale, so kann man die anhand dieser Merkmale erzeugten, momentanen Ist-Eigenschaften ermitteln.

In diesem einfachen Ablaufschema können auch die Grundzüge des klassischen Design for X abgebildet werden. Die Konstruktionsrichtlinien des Design for X können als Lösungsmuster („solution patterns“, [Webe07]) verstanden werden. So ist beispielsweise die Soll-

Eigenschaft „montagegerecht“ in Konstruktionsrichtlinien fest verknüpft mit der Vorgabe, wie entsprechende Merkmale zu gestalten sind, um beispielsweise eine einheitliche Fügerichtung zur automatisierten Montage zu gewährleisten.

Dennoch ist in dieser Grundform PDD nicht in der Lage, den Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie abzubilden. Die Ursache dafür ist das synchrone Entstehen von Produkt- und Produktionssystem im Rahmen eines CE-Prozesses.

Daher wurde der Ansatz PDD erweitert. Weber und Werner führen in [WeWe01] und [Webe07] den Begriff des X-Systems ein und benennen so das technische System, das als Bezugssystem für das Design for X gilt. Im Rahmen dieser Arbeit ist das Produktionssystem synonym zu X-System. Mit dieser Verallgemeinerung von PPD ist es nun möglich die Gedanken des Design for X und des Concurrent Engineering in dieses Modell integrieren.

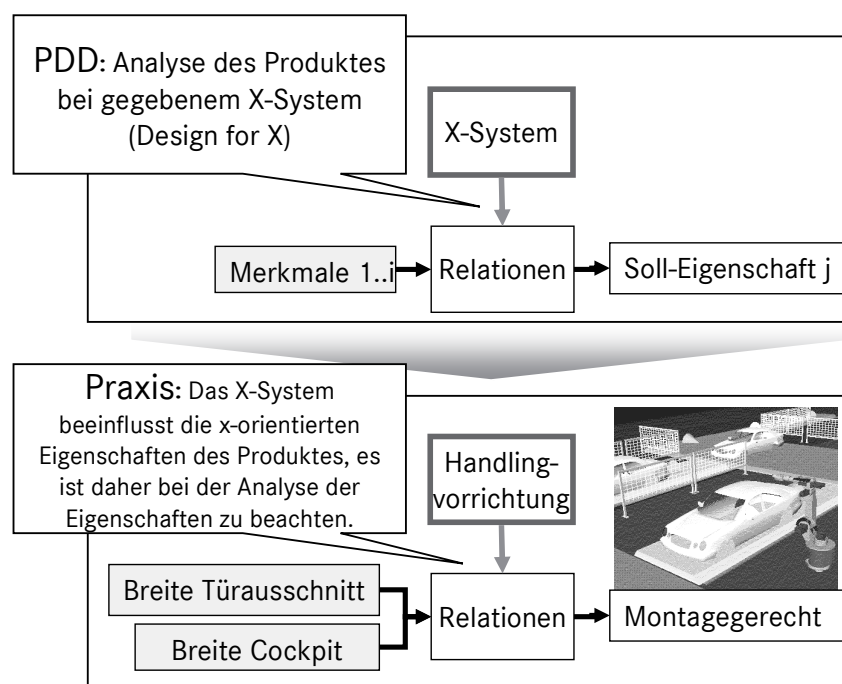


Abbildung 4-5 Analyse des Produktes in PDD unter Berücksichtigung des X-Systems, oben allgemein nach [Webe07], unten am Beispiel der Eigenschaft „montagegerecht“

In **Abbildung 4-5** ist das erweiterte Schema von PPD vereinfacht dargestellt. Es ist besonders zu beachten, dass die erzielten Eigenschaften sowohl von den Merkmalen des Produktes, aber auch von der konkreten Ausprägung des Produktionssystems abhängen. Möchte man beurtei-

len, ob ein Cockpit montagerecht ist, müssen zum Beispiel geometrische Merkmale des Produktes, etwa die Breite des Türausschnitts und die Breite des Cockpits berücksichtigt werden. Ist zum Einbau des Cockpits zudem eine Handlingsvorrichtung notwendig, beispielsweise weil das Cockpit sehr schwer ist oder um eine geforderte Taktzeit einhalten zu können, so muss natürlich auch die Handlingsvorrichtung zur Beurteilung der Montagegerechtheit des Cockpits berücksichtigt werden. Die Analyse der produktionsbezogenen Eigenschaften ist nur dann durchführbar, wenn die konkrete Ausprägung des Produktionssystems vorliegt.

Durch die zyklische, iterative Vorgehensweise von PDD ergibt sich vor allem vor dem Hintergrund des eng verzahnten, synchronisierten Entstehens von Produkt und Produktionssystem die Möglichkeit, auch die Fragestellungen des Design **of** X zu diskutieren. Damit ist die Ausgestaltung des X-Systems bezogen auf ein gegebenes Produkt zu verstehen [Webe07]. Beide Fragestellungen, Design **of** X und Design **for** X sind in der Automobilindustrie an der Tagesordnung. Sie stellen in gewisser Weise die Extrempositionen des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie dar. Design **of** X tritt zu Tage, wenn ein bestehendes Produkt an einem zusätzlichen neuen Standort gefertigt werden soll, Design **for** X tritt auf, wenn ein neues Produkt in eine bereits laufendes Produktionssystem mit aufgenommen werden soll.

### **4.1.3 Absicherung eines Entwicklungsstandes**

In Kapitel 4.1.1 wurde der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung in den Kontext des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie eingeordnet. Es wurde beschrieben, dass Produkt und Produktionssystem zeitlich stark überlappend („synchron“) entstehen, und dass daher die klassischen Ansätze, wie beispielsweise das Design **for** X, alleine nicht ausreichen, um die fehlerfreie Interaktion von Produkt und Produktionssystem sicherzustellen. Es ist notwendig, die Aktivitäten in Produktentwicklung und Produktionsplanung zu synchronisieren. Eine wesentliche Rolle spielt in diesem Zusammenhang der Begriff der Absicherung. In den folgenden Abschnitten wird daher der Begriff Absicherung definiert und in die in Kapitel 4.1.2 genannten entwicklungsmethodischen Ansätze eingeordnet.

#### 4.1.3.1 Absicherung in der VDI 2221

Das Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte umfasst gemäß VDI 2221 verschiedene Teilaufgaben. Beim Durchführen dieser Teilaufgaben müssen Entschei-

dungen getroffen werden, es müssen Zielkonflikte ausgeräumt werden und andere Problemstellungen überwunden werden. Um die Teilaufgaben erfolgreich bearbeiten zu können, wird in der VDI 2221 zusätzlich ein Vorgehensmodell zum Lösen der auftretenden Probleme vorgestellt, siehe **Abbildung 3-2**.

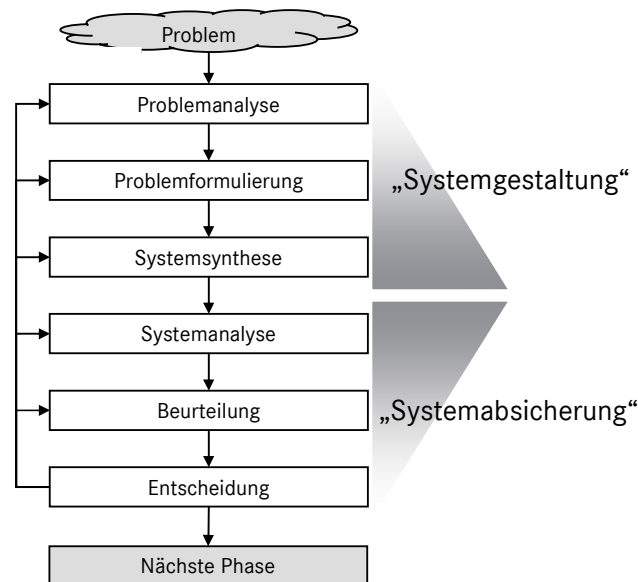


Abbildung 4-6 Vorgehensweise und Problemlösungszyklen in Anlehnung an [VDI 2221]

Überträgt man diesen allgemeingültigen Problemlösungszyklus auf die Aufgabenstellung der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie, so kann man die Begriffe produktionsgerechte Produktgestaltung und produktionsbezogene Produktabsicherung in diesen Kontext einordnen. Dabei bezeichnen die ersten drei Schritte, die Problemanalyse, die Problemformulierung und die Systemsynthese das Problem der produktionsgerechten Produktgestaltung, und die letzten drei Schritte, die Systemanalyse, die Beurteilung und die Entscheidung das Problem der produktionsbezogenen Produktabsicherung. Damit ergibt sich, in Anlehnung an die VDI 2221, folgende Definition der Absicherung

**Definition Absicherung:** Der Teilprozess der Absicherung eines Entwicklungsstandes umfasst die Analyse des Entwicklungsstandes, die Beurteilung und die Entscheidung bezüglich des weiteren Vorgehens. Dies kann die Fortführung der Entwicklungsaufgabe oder das Einleiten einer Korrektur des Entwicklungsstandes umfassen. Sie ist damit ein Teilprozess des Entwicklungsprozesses, der je nach Absicherungsaufgabe, auch iterativ durchgeführt werden muss.

#### 4.1.3.2 Absicherung in VDI 2206

Auch in den jüngsten Publikation der VDI 2206 „Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme“ [VDI 2206] wird der Begriff der Eigenschaftsabsicherung zunehmend berücksichtigt. Dabei wird nach Systementwurf, domänenspezifischem Entwurf und anschließender Systemintegration eine Eigenschaftsabsicherung des Systems durchgeführt und in Beziehung zu den Zielwerten des Systementwurfes gesetzt. Wie diese Eigenschaftsabsicherungen ablaufen sollten und welche Besonderheiten zu berücksichtigen sind, ist allerdings noch nicht näher konkretisiert.

#### 4.1.3.3 Absicherung im Design for X

In Kapitel 4.1.2.3 wurde beschrieben, dass sich insbesondere in den letzten Jahren die ursprüngliche Aufgabenstellung des Design for X erweitert hat. Mehr und mehr rückt dabei die integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionssystem in den Mittelpunkt. Dieser Wandel ist es auch, der die Ursache für die stark zunehmende Bedeutung von Absicherungsaktivitäten ausmacht. Produkt und Produktionssystem entstehen heute im Rahmen eines CE-Prozesses zeitlich nahezu synchron. Unter diesen Randbedingungen stoßen die klassischen Methoden des Design for X an ihre Grenzen. Sie fließen natürlich in die Gestaltung von Produkten ein und führen beispielsweise zu einer Produktarchitektur bestehend aus standardisierten Modulen.

Bei der konkreten Umsetzung eines Produktprojektes sind die Konsequenzen einer Entscheidung für die Interaktion von Produkt und Produktionssystem kaum vorhersagbar. Wissenschaftliche Ansätze zu diesem Thema, wie etwa die „Theory of Dispositions“ oder die „DfX-Matrix“ [Andr05] bieten dem entsprechend kein Patentrezept an, sie liefern vielmehr einen generellen Leitfaden und Handlungshinweise für solche Situationen im Entwicklungsprozess. In der praktischen Anwendung gibt es daher keine Alternative, als zu definierten Synchronisationszeitpunkten den momentanen Entwicklungsstand von Produkt- und Produktionssystem, unterstützt von digitalen Methoden, zusammenzuführen und so eine produktionsbezogene Produktabsicherung durchzuführen.

Im Kontext der Absicherung ist ein weiterer Ansatz zu nennen, das „Design for Validation“ von Alexander und Clarkson [AlCl02]. Dieser Ansatz beschäftigt sich ebenfalls mit dem Thema der absicherungsorientierten Produktentwicklung. Dort stehen die Anforderungen zur Ent-

wicklung medizintechnischer Systeme, wie beispielsweise einer Herz-Lungen-Maschine, im Mittelpunkt. Da sich Tests unter realen Bedingungen für ein solches Produkt natürlich ausschließen, müssen bereits im Entwicklungsprozess geeignete Absicherungsmöglichkeiten vorgesehen werden. Ein Transfer der Ergebnisse dieses Ansatzes auf die Aufgabenstellung dieser Arbeit ist nicht möglich, da sich das Anwendungsszenario sehr stark vom gegebenen Kontext unterscheidet.

#### 4.1.3.4 Absicherung in PDD

In PDD werden grundsätzlich die beiden Vorgehensphasen Analyse und Synthese unterschieden. Dabei beschreibt die Analyse den Vorgang der Untersuchung der momentanen Ausprägung der Merkmale und der Bestimmung der damit momentan erreichbaren Eigenschaften, der Ist-Eigenschaften. Durch eine Beurteilung dieser Ist-Eigenschaften, beispielsweise durch einen Vergleich mit den angestrebten Soll-Eigenschaften ist eine Entscheidung über das weitere Vorgehen im Entwicklungsprozess möglich. Damit lässt sich festhalten, dass die Analyse im Ansatz PDD der Definition des Begriffes Absicherung aus 4.1.3.1 entspricht.

#### 4.1.3.5 Absicherung im Decision-Making

Der Begriff Absicherung spielt in einer weiteren Teildisziplin der Produktentwicklungsmethodik, dem „Decision-making“, eine wesentliche Rolle. Die Entwicklung eines Produktes zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass entlang des gesamten Produktentwicklungsprozesses fortwährend Entscheidungen bezüglich des weiteren Vorgehens getroffen werden müssen. Claesson beschreibt in diesem Zusammenhang den Produktentwicklungsprozess als eine „Reise durch eine Informationslandschaft“, die zunächst unvollständig und deren genaues Aussehen zu Beginn des Entwicklungsprojektes noch unklar ist. Im Verlauf des Prozesses werden ständig Informationen erzeugt und Entscheidungen getroffen, die letztlich in der vollständigen Beschreibung des fertigen Produktes enden. [Claes06].

Hansen und Andreasen [HaAn04] stellen heraus, dass sich die in der Literatur existierenden Ansätze zu diesem Thema grundsätzlich in zwei Kategorien unterteilen lassen. Dabei liegt einmal der Schwerpunkt auf der Beschreibung und Analyse des psychologischen Verhaltens der in Entscheidungsprozesse involvierten Konstrukteure, im anderen Fall in dem Ziel, praktikable Hilfestellungen in solchen Entscheidungssituationen zu liefern.

Zu diesem Zweck empfehlen die Autoren ein „Rahmenwerk für das „design-decision-making“. Der Ansatz besteht aus zwei Modellen, dem Entscheidungsknoten (decision node) und der Entscheidungslandkarte (decision map). Das Modell des decision node beschreibt das Vorgehen bei Entscheidungen in einem Produktentwicklungsprojekt. Die Knoten repräsentieren elementare Entscheidungsaktivitäten, welche aus sechs untergeordneten Aktivitäten bestehen, siehe **Abbildung 4-7**.

- Spezifizieren (Specifying)
- Bewerten der Lösungsalternativen (Evaluating)
- Überprüfen einer Lösung (Validating)
- Navigieren innerhalb des Lösungsraums (Navigating)
- Verbinden der aktuellen Entscheidung zu einem Ganzen (Unifying)
- Entscheiden (Deciding)

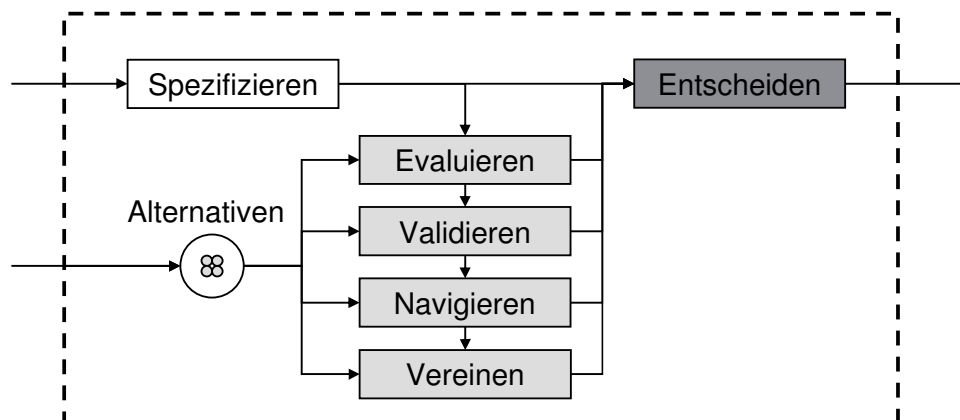


Abbildung 4-7 Aufbau eines Entscheidungsknotens (decision node), nach [HaAn2004]

Hier wird der enge Bezug zur Definition des Begriffes Absicherung in den vorangegangenen Kapiteln deutlich. Um eine Entscheidung über das weitere Vorgehen im Entwicklungsprozess treffen zu können, ist eine Beurteilung der momentanen Ist-Situation im Vergleich mit der Soll-Situation notwendig. Die decision map ist ein Modell, das die verschiedenen Gegenstände eines Entwicklungsprozesses umfasst und aufzeigt, wie sie im Rahmen der Entscheidungsfindung interagieren. In einem Produktentwicklungsprozess werden dabei bis zu fünf „Arbeitsgegenstände“ gestaltet bzw. beeinflusst:

- das Produkt
- die einzelnen Systeme, die an den Produktlebensphasen beteiligt sind
- die Interaktionen von Produkt, Systemen und Personen
- der Entwicklungsprozess
- der Produktionsbetrieb

Also muss sich der Entwickler der Tatsache bewusst sein, dass seine Entscheidungen Auswirkungen auf mindestens fünf Dimensionen haben.

#### **4.1.4        Absicherung eines Entwicklungsprojektes**

Das vorangehende Kapitel 4.1.3 beleuchtet den Begriff der Absicherung aus einer Sicht der Produktentwicklungsmethodik. In der Praxis spielt der Begriff der Absicherung in einem anderen Kontext eine wichtige Rolle.

Zur Entwicklung eines neuen Produktes tragen eine Vielzahl von Experten aus den verschiedensten Domänen bei. Um die Zusammenarbeit aller Beteiligten zu ermöglichen, ist ein koordiniertes Vorgehen unumgänglich. Daher wird die Entwicklung eines Produktes heute in aller Regel in Form eines Entwicklungsprojektes organisiert. Im Folgenden werden die für diese Arbeit wesentlichen Ziele des Projektmanagements genannt. Dabei spielt vor allem die Sachfortschrittskontrolle eine wichtige Aufgabe. Sie ist in gewisser Hinsicht das Pendant zur Absicherung im Sinne der Produktentwicklungsmethodik.

##### 4.1.4.1    Projektmanagement

Die DIN 69901 definiert ein Projekt als ein „Vorhaben, das durch die Einmaligkeit der Bedingungen in seiner Gesamtheit gekennzeichnet ist (...). Dies umfasst beispielsweise:

- Zielvorgaben
- zeitliche, finanzielle oder personelle Begrenzungen
- projektspezifische Organisation

In diesem Kontext ist das Projektmanagement als die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und –mittel für die Abwicklung eines Projektes zu verstehen“. Eine



---

wesentliche Aufgabe spielt im Rahmen des Projektmanagements die Aufgabe der Projektkontrolle. Dabei stehen drei Aspekte im Fokus [Burg02]:

- Terminkontrolle
- Aufwandskontrolle
- Sachfortschrittskontrolle

Im Rahmen dieser Arbeit ist vor allem die Sachfortschrittskontrolle von Interesse, weil der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung genau hierzu einen Beitrag liefert.

Bezogen auf die Entwicklung eines Produktes zielt die Sachfortschrittskontrolle darauf ab, dass am Ende des Entwicklungsprozesses alle geforderten Eigenschaften des Produktes erfüllt werden. Bei einer solchen Überprüfung müssen verschiedene Randbedingungen beachtet werden:

- **Messbarkeit:** Die direkte Messbarkeit der Eigenschaften eines Produktes ist häufig nicht oder erst sehr spät möglich.
- **Aggregation:** Um eine Gesamtaussage über den Projektstatus treffen zu können, ist die Aggregation des Erfüllungsgrades aller Eigenschaften notwendig.
- **Steuerung:** Abweichungen vom geplanten Projektfortschritt müssen erkannt und es muss die Möglichkeit proaktiven Eingreifens gewährleistet sein.
- **Synchronisation:** Die termingerechte Bereitstellung von Teilergebnissen verschiedener Fachdisziplinen muss gewährleistet werden.
- **Vergleichbarkeit:** Der Status von Teilergebnissen verschiedener Fachdisziplinen muss vergleichbar sein.

Um diesen Forderungen gerecht zu werden, hat sich als Instrument des Projektmanagements das Reifegradmanagement etabliert. Es wird zur Sachfortschrittskontrolle, beispielsweise in der Luftfahrt- oder Automobilindustrie angewandt und ist dort weit verbreitet.

#### 4.1.4.2 Reifegradmanagement

Obwohl Reifegradmanagement eine in der Praxis etablierte Vorgehensweise im Rahmen der Sachfortschrittskontrolle darstellt, hat sich bisher keine allgemeingültige Definition des Reifegrades durchgesetzt.

Pfeifer et.al. führen den Begriff der Projektreife ein, der sich aber „weniger auf die Einhaltung der inhaltlichen Vorgaben im Sinne der Fortschrittskontrolle, als auf die Einhaltung der terminlichen Vorgaben fokussiert“ [PffS96].

Dangelmaier und Fischer beschreiben ebenfalls eine Vorgehensweise zum Reifegradmanagement. Dabei stellen sie dem Soll-Ablauf des Projektfortschritts den tatsächlichen Ist-Ablauf entgegen. Dabei berücksichtigen Sie auch einen potentiell auftreten Reifegradverlust, der durch Änderungen von Rahmenbedingungen (z.B. des X-Systems) oder Projektzielen verursacht und durch Absicherungsaktivitäten aufgedeckt werden kann, siehe Abbildung 4-8

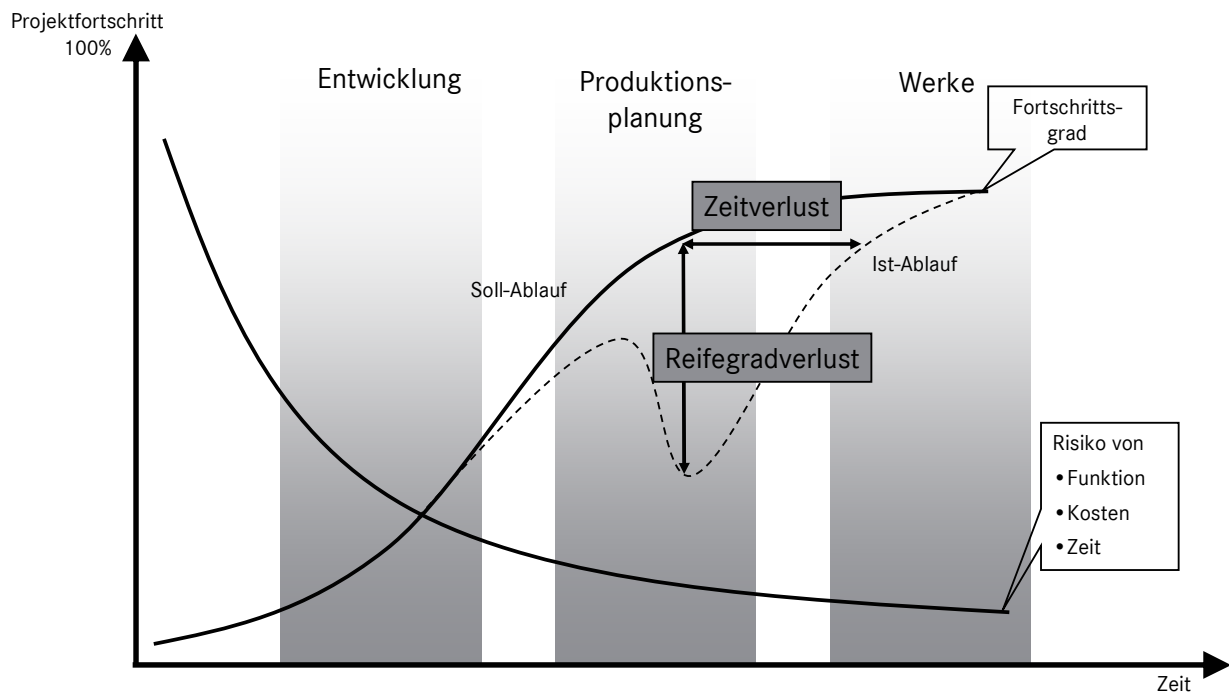


Abbildung 4-8 Reifegradverlauf während der Entwicklung, in Anlehnung [DaFi00]

Pfeifer-Silberbach [Pfeif05], der sich mit der Repräsentation und Darstellung des Reifegrades in Informationssystemen wie DMU-Applikationen und PLM-Systemen beschäftigt, definiert eine Reihe von Kennzahlen. Diese sind im Wesentlichen als Quotient zwischen dem Ist-Wert und Soll-Wert von verschiedenen Kenngrößen definiert. So nennt er beispielsweise die Kenngröße „Projektfortschritt“ nach Burghardt [Burg02] oder die Kenngröße „Fortschrittskennner“ nach Eigner und Stelzer [EiSt01].

Auch im Rahmen des Qualitätsmanagements beschäftigt man sich mit dem Thema Reifegrad. So liefert der VDA Band „Reifegradabsicherung für Neuteile“ eine umfassende Beschreibung von Vorgehensweisen im Rahmen des Reifegradmanagements. Abbildung 4-9 zeigt die beschriebene Vielfältigkeit des Themas Reifegrad auf. Hierbei existieren Querbezüge zu Vorgehensweisen in Produkt-, Prozess oder Systemaudits, zum Thema Datenaustausch oder zu Zusammenarbeitsmodellen im Lieferantennetzwerk.

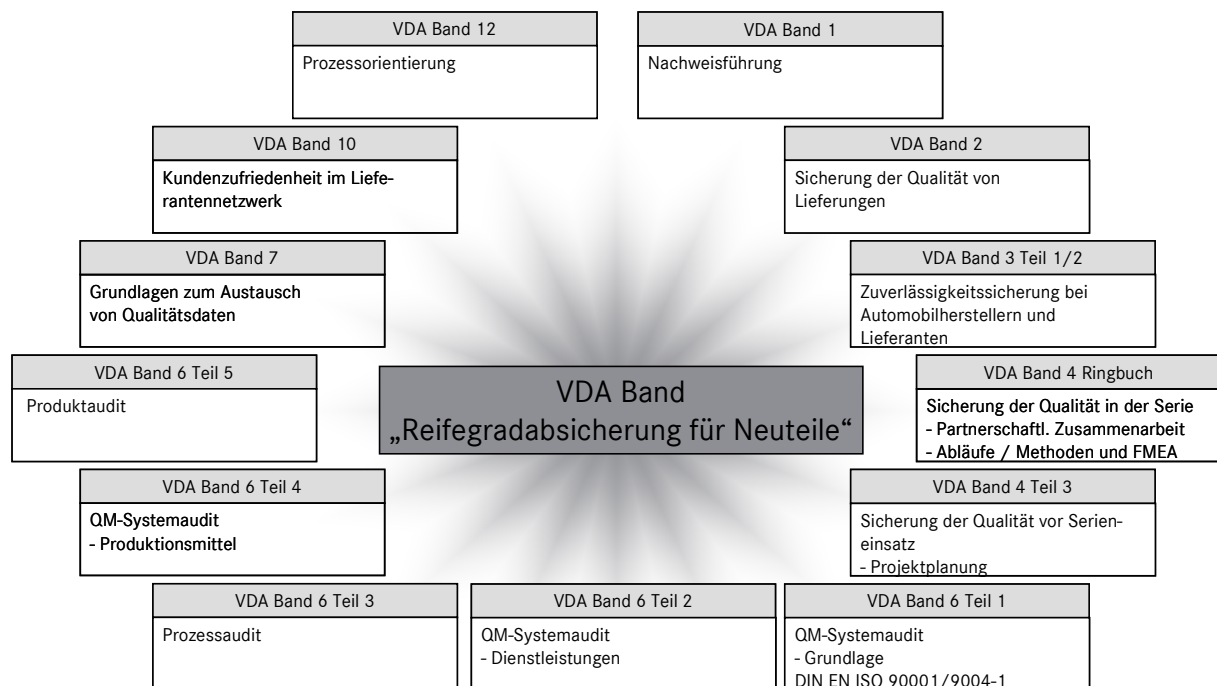


Abbildung 4-9 Bezüge der Reifegradabsicherung für Neuteile zu weiteren bestehenden VDA-Bänden, aus [VDA05]

Zuletzt ist der Ansatz Capability Maturity Model Integration (CMMI) zu nennen [CMMI02]. Diese Aktivitäten wurden ursprünglich vom US-Verteidigungsministerium und dem Software Engineering Institute der Carnegie Mellon Universität initiiert und historisch gesehen zunächst für die verbesserte und transparente Abwicklung von Softwareprojekten entwickelt. Mit wachsendem Fokus wurden in den letzten Jahren auch andere Themenbereiche in diesen Ansatz integriert, beispielsweise für Personalmanagement oder Softwareakquise, aber auch das Thema integrierte Produkt- und Prozessentwicklung ist adressiert.

Allen genannten Vorgehensweisen zum Thema Reifegradmanagement oder noch allgemeiner Fortschrittsmanagement liegt prinzipiell das gleiche Grundverständnis inne. Exemplarisch sei dies anhand der vom VDA definierten Vorgehensweise beschrieben und definiert.

**Definition: Reifegradmanagement**

„Das Reifegradmanagement umfasst die drei Phasen:

- Initialisierung
- Start
- Steuerung

Die ersten beiden Phasen dienen zur Vorbereitung der Tätigkeiten im Rahmen der Reifegradabsicherung. Darunter fallen beispielsweise die Definition der Verantwortlichkeiten und das Eskalationsvorgehen. Die Phase Steuerung umfasst das eigentliche Reifegradmanagement. Sie unterteilt sich wiederum in drei Phasen,

- Vorbereitung
- Bewertung
- Umsetzung

Die Vorbereitung beinhaltet die Definition von Messkriterien, in anderen Arbeiten auch Reifegradindikatoren genannt, sowie der Verantwortlichkeiten und der Terminplanung. In der Bewertungsphase erfolgen die Bewertung des Erfüllungsgrades eines Messkriteriums sowie gegebenenfalls die Definition von Maßnahmen. Deren Umsetzung wird in der letzten Phase überprüft“ (VDA Band „Reifegradabsicherung für Neuteile“). Das gesamte Vorgehen ist in **Abbildung 4-10** dargestellt.

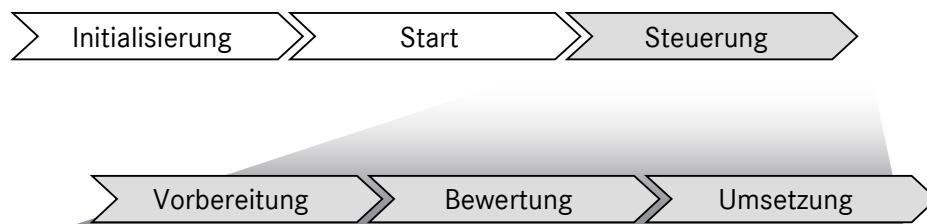


Abbildung 4-10 Das Phasenmodell zur Reifegradabsicherung für Neuteile

Damit lassen sich Parallelen zur Definition des Begriffes Absicherung im Kontext der Produktentwicklungsmethodik ziehen. Der wesentliche Unterschied ist, dass nicht der Entwicklungsstand, sondern der Projektstand abgesichert wird. Die große Herausforderung liegt darin,

eine stichhaltige Verknüpfung zwischen „Produktwelt“ und „Projektwelt“ herzustellen. Diese sensible Aufgabe kann vor allem durch die Definition von geeigneten Messkriterien erfüllt werden. Dabei ergibt sich für den vorliegenden Fall wieder die gleiche Problemstellung. Aufgrund des synchronen Entstehens von Produkt und Produktionssystem ist die endgültige Definition geeigneter Messkriterien für die produktionsbezogene Produktabsicherung in der Vorbereitungsphase eines Entwicklungsprojektes nur auf der Basis allgemeingültiger Richtlinien möglich.

#### **4.1.5 Zusammenfassung zum Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung ist ein Teilprozess des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung. Das Ziel der PPA ist das Sicherstellen der fehlerfreien Interaktion von Produkt und Produktionssystem.

Absicherungsaktivitäten sind notwendig, um verschiedene Entwicklungsstände, die im Rahmen eines Concurrent Engineering Prozesses entstehen, zu synchronisieren. Die Absicherung eines Entwicklungsstandes umfasst die Analyse des Entwicklungsstandes, die Beurteilung und die Entscheidung bezüglich des weiteren Vorgehens.

Neben der Produktentwicklungsmethodik findet sich der Begriff der Absicherung auch im Projektmanagement wieder. Neben der Einhaltung von Kosten- und Terminzielen ist die Sachfortschrittskontrolle eine der Hauptaufgaben im Projektmanagement. Als ein weit verbreitetes Instrument zur Sachfortschrittskontrolle wurde das Reifegradmanagement vorgestellt. Es umfasst die Analyse des Projektstandes, die Bewertung und die Umsetzung notwendiger Maßnahmen. Damit entspricht die Tätigkeit im Reifegradmanagement einer Absicherung gemäß der Definition des Begriffes Absicherung in 4.1.3.1. Allerdings ist es hier nicht der Entwicklungsstand, der abgesichert wird, sondern der Projektstand.

## **4.2 Absicherungsmethoden im Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Der folgende Abschnitt gibt eine Übersicht über Absicherungsmethoden. Diese lassen sich in der wissenschaftlichen Welt in die Klasse der „Methoden zum Beurteilen und Entscheiden“ einordnen. Im Rahmen einer Absicherung werden diese Methoden zur Analyse des Entwicklungsstandes sowie zur Beurteilung und zur Entscheidung über das weitere Vorgehen eingesetzt.

Im weiteren Verlauf wird hierzu auf digitale und physikalische („Hardware“) Methoden eingegangen. Unterscheidungsmerkmal ist dabei die Frage, ob der Untersuchungsgegenstand ein digitales Modell oder ein reales physikalisches Objekt ist. Es wird auch kurz auf neuere Methoden eingegangen, die beide Welten verschmelzen lassen, beispielsweise Mixed bzw. Augmented Reality.

### **4.2.1 Grundlagen zum Beurteilen und Entscheiden**

Es existieren eine Vielzahl von Methoden zum Beurteilen und Entscheiden. Dabei lassen sich einfache und intensive Bewertungsmethoden unterscheiden [Ehr103]. Ehrlenspiel empfiehlt bei der Anwendung dieser Methoden folgendes grundsätzliches Vorgehen:

1. Geeignete Kriterien über Zielvorstellungen aufstellen
2. Ober- und Unterkriterien im Sinne der Nutzwertanalyse zusammenfassen und gewichten
3. Eigenschaften von Lösungsalternativen analysieren
4. Vergleichbarkeit sicherstellen, z.B. durch Wertevergabe dimensionsloser Punkte
5. Alternativen vergleichen

Auf die detaillierte Darstellung der Ansätze sei an dieser Stelle verzichtet bzw. auf die angegebene Literatur verwiesen. Zudem sei auf die Arbeiten von Adunka, Wartzack und Meerkamm verwiesen, die die bestehenden Ansätze evaluiert und unter dem Stichwort Multikriterielle Bewertung weiterentwickelt haben, siehe z.B. [Adun03], [Wart01].

In nachstehender Tabelle ist eine Auswahl gebräuchlicher Bewertungsmethoden aufgeführt:

Einfache Bewertungsmethoden	Intensive Bewertungsmethoden
Vorteil/Nachteil- Vergleich	Gewichtete Punktbewertung
Auswahlliste	Technisch-wirtschaftliche Bewertung
Paarweiser Vergleich	Nutzwertanalyse nach ZANGEMEISTER [Zang70]
Einfache Punktbewertung	Vorrangmethode nach SAATY [Saa80]
	Verfahren nach BREIING und KNOSALA[BrKn97]

Tabelle 4-1 Übersicht über gebräuchliche Bewertungsverfahren

Der Arbeitsinhalt dieser fünf Schritte stellt eine Detaillierung des Teilprozess der Absicherung gemäß der in 4.1.3.1 eingeführten Definition dar. Durch die Anwendung von Absicherungsmethoden ist vor allem angestrebt, gemäß Punkt 3 die Eigenschaften von Lösungsalternativen analysieren.

In der Praxis ist eine Vielzahl von verschiedenen Absicherungsmethoden im Einsatz, siehe **Tabelle 4-2**. Die für diese Arbeit relevanten Methoden ergeben sich aus dem spezifischen Fokus der produktionsbezogenen Produktabsicherung. Im Umfeld der Automobilindustrie sind vor allem die Gewerke Rohbau und Endmontage von besonderem Interesse, da die dort eingesetzten Produktionssysteme sehr kapitalintensiv sind und eine produktionsbezogene Produktabsicherung dort ihr größtes Potential verspricht. Dabei stehen bereits sehr früh im Entwicklungsprozess digitale Modell zur Beurteilung der Produktionsgerechtigkeit zur Verfügung, auch Rapid Prototyping Verfahren werden eingesetzt. Die im Rahmen der PPA verwendeten Analysemethoden lassen sich daher grundsätzlich in digitale und Hardware-Methoden unterscheiden.

In den letzten Jahren ist ein ständiger Rückgang der Anzahl von realen Versuchsfahrzeugen zu beobachten. Die Qualität des „Digitalen Prototyps“ einerseits und die steigende Leistungsfähigkeit von digitalen Methoden andererseits erlauben vielfach schon zu sehr frühen Zeitpunkten im Entwicklungsprozess eine genaue Eigenschaftsermittlung. Speziell im Bereich Festigkeit, Schwingungsverhalten und Crash sind in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt worden, die heute schon den Verzicht auf teure Prototypphasen im Produktentwicklungsprozess ermöglichen.

Zweck Art d. Methode	Grundsätzliches Verhalten	Vergleich zwischen Alternativen	Ungenauere Eigenschaftsermittlung	Genauere Eigenschaftsermittlung
Überlegung, Diskussion	Interdisziplinäre Diskussion	Vorteils/ Nachteilsvergleich, Portfolio-Analyse	Abschätzung, Szenariotechnik	Logische Argumentation
Berechnung, Optimierung, Kennzahlenvergleich	z.B. kinematische, dynamische Berechnung, Berechnung von Kosten, Verschleiß	ABC-Analyse, Vergleichsrechnung, Marktanalyse	Auslegungsrechnung, Überslagsrechnung	Nachrechnung
Simulation mit dem Rechner	Kinematische, dynamische Simulation	Simulation mit unterschiedlichen Alternativen	Testmarkt, Rechner-simulation mit einfachem Modell	Rechner-simulation mit genauem Modell
Versuch	Handversuch, orientierender Versuch, Rapid Prototyping	Vergleichsversuche	Vorversuch, Modellversuch, Physical Mock Up (PMU)	Prototypversuch

Tabelle 4-2 Klassifikation der Analysemethoden nach Zweck und Genauigkeit, nach [Ehrl03]. Die im Rahmen der Arbeit betrachteten Methodenarten sind eingerahmt.

Ähnliche Fortschritte sind in diesem Maße im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung nicht zu beobachten. Dabei ist auffällig, dass die PPA bis auf wenige Ausnahmen nicht mittels spezialisierter Absicherungsmethoden durchgeführt wird. Im Gegenteil werden gängige, im Entwicklungsprozess ohnehin existierende Methoden eingesetzt. Allerdings sind diese Methoden nicht auf die spezifischen Anforderungen der produktionsbezogenen Produktabsicherung optimiert.

Die folgenden Beschreibungen der aktuell im Rahmen der PPA eingesetzten Absicherungsmethoden beinhalten jeweils das Ziel der Methode, den dazu genutzten Input sowie den generierten Output. Außerdem wird, wenn ein Informationssystem zur Verarbeitung von Daten und Informationen genutzt wird, dieses genannt.



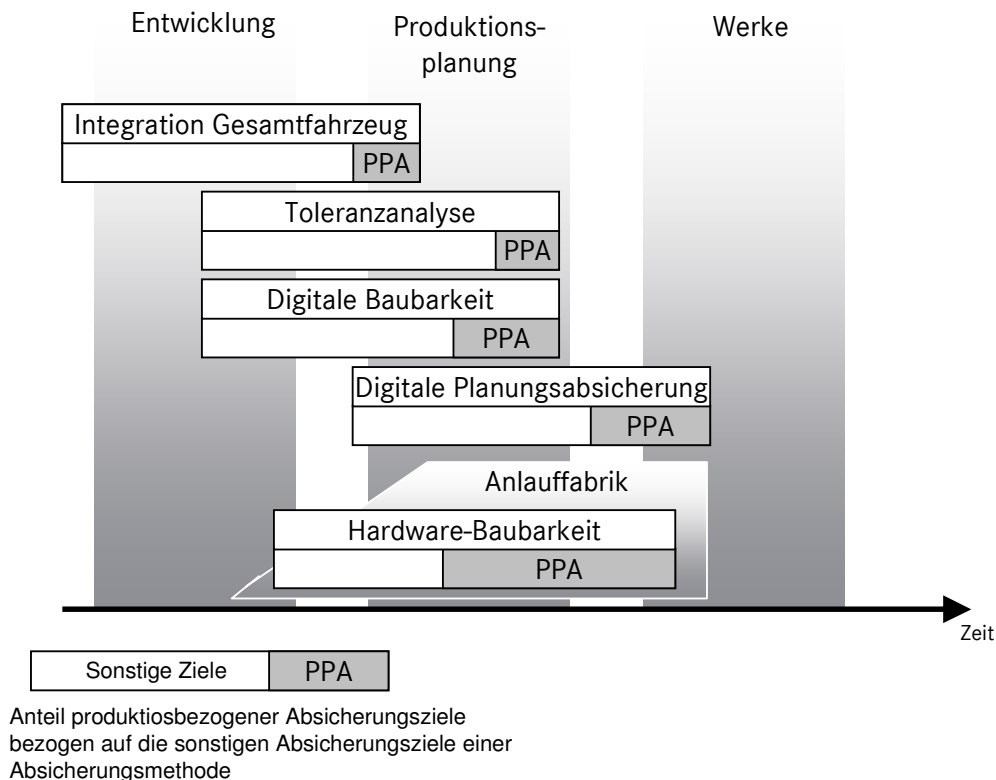


Abbildung 4-11 Relevanz die Fragestellungen der PPA im Vergleich zu den anderen Absicherungszielen der einzelnen Absicherungsmethoden.

In **Abbildung 4-11** ist eine Übersicht über die eingesetzten Absicherungsmethoden und den ungefähren zeitlichen Rahmen der Anwendung der Absicherungsmethode dargestellt. Wie bereits beschrieben, wird die PPA nicht durch die Anwendung einer einzelnen, spezialisierten Methode durchgeführt. Der Prozess PPA ist vielmehr durch die Anwendung unterschiedlicher Absicherungsmethoden zu verschiedenen Zeitpunkten im Entwicklungsprozess gekennzeichnet. Zur Orientierung ist dargestellt, welche Relevanz die Fragestellungen der PPA im Vergleich zu den anderen Absicherungszielen der einzelnen Absicherungsmethoden hat.

## 4.2.2 Digitale Absicherungsmethoden

### 4.2.2.1 Integration Gesamtfahrzeug

Ziel der Methode Integration Gesamtfahrzeug ist das Sicherstellen eines kollisionsfreien digitalen Modells, des störungsfreien Zusammenspiels der Komponenten in simulierten Betriebszuständen und der prinzipiellen Fügbarkeit der Komponenten.

Als Input werden dabei 3D-Geometriemodelle von Fahrzeugen in verschiedenen Konfigurationen genutzt. Eine Konfiguration entspricht der Auswahl genau einer Ausstattungsvariante zu genau einem Zeitpunkt im Entwicklungsprozess. Um Aussagen treffen zu können, sind weitestgehend ausdetaillierte 3D-Modelle notwendig, so dass der Schwerpunkt des Methodeneinsatzes zwischen Designfreigabe einerseits und der Freigabe für den Aufbau von Prototypen andererseits besteht.

Die 3D-Modelle werden aufgrund der großen Datenvolumina durch einen konfigurierbaren Download aus dem EDM-System abgezogen und können nach Bedarf bereitgestellt werden. Zudem dienen Strukturinformationen aus der Stückliste, sowie je nach Fragestellung eine Fügereihenfolge, als Input. Die Methode bedient sich dazu DMU-Simulationswerkzeugen. Je nach Aufgabenstellung werden dabei statische oder dynamische Simulationsszenarien zusammengestellt, wobei neben Standardapplikationen auch Spezialanwendungen zum Einsatz kommen. Als Beispiel seien hier Anwendungen genannt, die automatisch Ausbaupfade ermitteln.

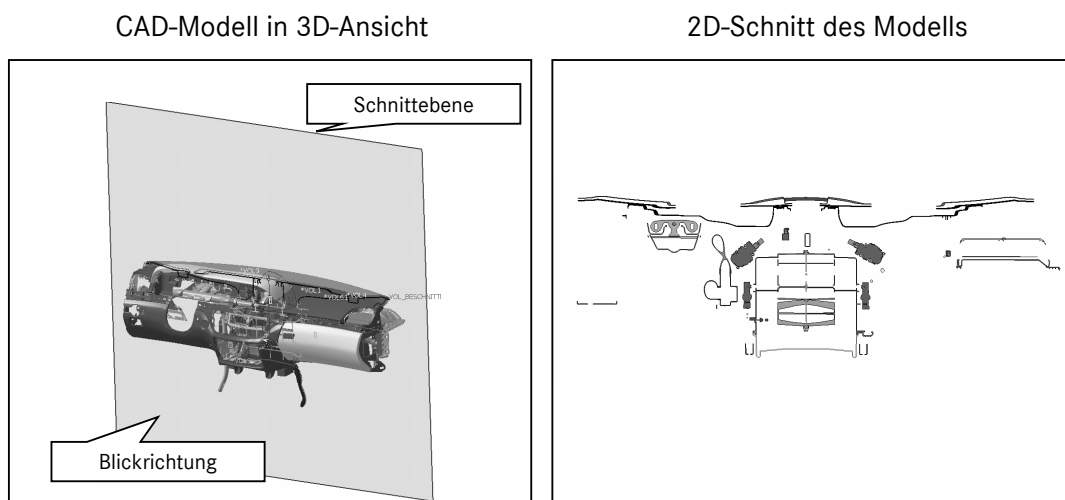


Abbildung 4-12 Nutzung von 3D-Schnittfunktionalitäten am Beispiel der Packaging-Untersuchung eines Cockpitmoduls mit einer DMU-Applikation im Rahmen der Anwendung der Absicherungsmethode Integration Gesamtfahrzeug

Als Output erzeugt diese Methode zum einen Testergebnisse, etwa in der Form von Listen mit Kollisionen oder Durchdringungen, zum anderen auch digitale Simulationsszenarien zur Dokumentationen von Problemfällen. **Abbildung 4-12** zeigt eine mögliche Form einer solchen Ergebnisdokumentation, sie dient als Diskussionsbasis zur Entscheidungsfindung.

#### 4.2.2.2 Toleranzanalyse

Die Toleranzanalyse hat zum Ziel, das Verhalten der geometrisch idealen 3D-Modelle unter der Einbeziehung von Fertigungsaspekten realistisch abzubilden. Dabei steht die Analyse der Effekte des Zusammenwirkens abweichungsbehafteter Einzelteile in einem Zusammenbau im Vordergrund.

Neben der Sicherstellung der Funktion unter Annahme realistischer Toleranzverteilungen sind diese Effekte auch für eine Einschätzung der produktionsgerechten Produktgestaltung wichtig. Der Fügevorgang großer Module, etwa bei der Cockpitmontage oder der „Hochzeit“ von Antriebsstrang und Karosserie, ist mehrfach statisch überbestimmt und somit sehr anfällig für Soll-Maß-Abweichungen aufgrund von Fertigungsstreuungen. Toleranzsimulationen werden entlang des gesamten Entwicklungsprozesses eingesetzt.

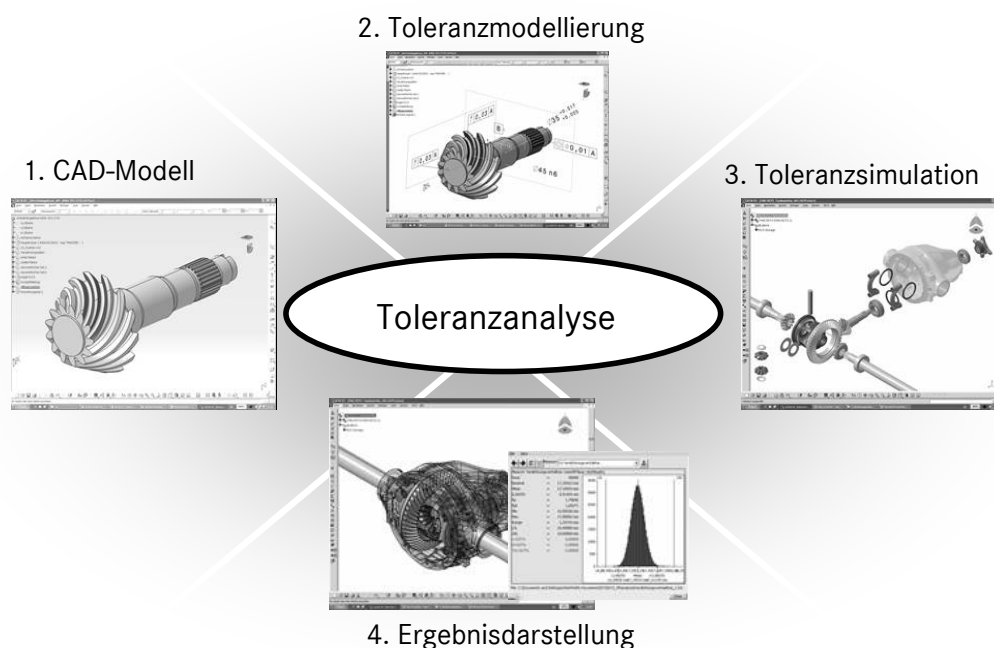


Abbildung 4-13 Prinzipielle Vorgehensweise bei der Toleranzanalyse

Als Input für diese Absicherungsmethode dienen die Geometriedaten der zu untersuchenden Bauteilumfänge, die Fügereihenfolge, das Aufnahmekonzept, Bezugssysteme und -punkte sowie statistische Toleranzverteilungen geometrischer Merkmale [GHBW06]. Zur Durchführung von Toleranzanalysen werden entsprechende Simulationsprogramme eingesetzt, die in CAD-Systeme integriert sein können oder auch eigenständige Systeme darstellen. Als Ergebnis erhält man den statistischen Mittelwert eines definierten Maßkriteriums und dessen Streu-

breite im Raum. Diese werden in Form von Simulationssessions dokumentiert und dienen als Input für Abstimmungsgespräche mit Experten aus verschiedenen Fachbereichen. **Abbildung 4-13** zeigt die prinzipielle Vorgehensweise bei der Toleranzanalyse auf.

#### 4.2.2.3 Digitale Baubarkeit

Die Absicherungsmethode Digitale Baubarkeit hat zum Ziel, das problemlose Zusammenfügen aller Komponenten sicherzustellen. Dabei steht im Gegensatz zur Integration Gesamtfahrzeug nicht die kollisionsfreie Lage aller Komponenten in der Einbaulage im Mittelpunkt, sondern der direkte Fügevorgang, die „letzten zwei Zentimeter“. Besondere Bedeutung kommt dieser Methode deswegen zu, weil zeitgleich zur Digitalen Baubarkeit auch der reale Aufbau der Prototypen im Sinne DMU = PMU („Digital Mock Up = Physical Mock Up“) durchgeführt wird. Dieses besondere Merkmal der Digitalen Baubarkeit bedeutet, dass die gleichen Mitarbeiter, die die realen Fahrzeuge aufbauen, auch die digitalen Analysen durchführen. Dies hat verschiedene Gründe:

Zum einen können viele Fügevorgänge nur sehr schlecht oder sehr aufwändig am digitalen Modell nachgebildet werden. Insbesondere gilt dies für die Simulation von elastischen und biegeschlaffen Bauteilen. Zum anderen ist es am realen Prototyp häufig nicht möglich herauszufinden, welche Komponente fehlerhaft und somit die Ursache für ein Problem ist. Dazu ist der Vergleich mit dem Master, dem digitalen Modell, notwendig. Häufig kann nur so festgestellt werden, ob und wenn ja welche Komponenten falsch konstruiert oder aber richtig konstruiert und falsch gefertigt wurden.

Als Input dienen dabei prinzipiell die gleichen Daten wie in der Integration Gesamtfahrzeug, also Downloads von konfigurierten 3D-Produktmodellen, allerdings nicht für alle Fahrzeuge, sondern in erster Linie für die Fahrzeuge, die auch real aufgebaut werden. Zudem werden in der Regel die digitalen Modelle von elastischen und biegeschlaffen Bauteilen sowie von vielen Normteilen aus den Eingangsdaten entfernt, da Ihr Verhalten im Modell nur sehr schlecht dem realen Verhalten entspricht.

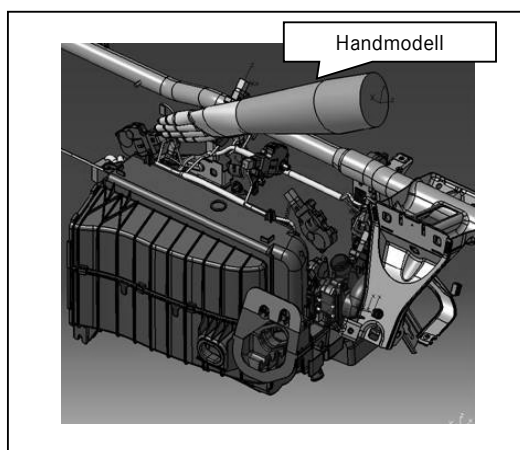


Abbildung 4-14 Überprüfung der geometrischen Zugänglichkeit mit einem Handmodell im Rahmen der Methode Digitale Baubarkeit

Werden aufgrund von Erfahrungswerten potentiell kritische Einbausituationen festgestellt, erfolgen bei Bedarf detailliertere Untersuchungen. Diese umfassen zum Beispiel geometrische Zugänglichkeitstests mit digitalen Ressourcenmodellen, wie in **Abbildung 4-14** dargestellt. Als Ergebnis entstehen so zum einen Simulationssessions, zum anderen Dokumentationen der ermittelten Probleme sowie einer Kategorisierung der Fehler und auch der Fehlerursache. Gravierende Fehler fließen dann zum Beispiel auch in Vorfallerfassungs- und Verfolgungssysteme ein.

#### 4.2.2.4 Digitale Planungsabsicherung

Die Methode der Digitalen Planungsabsicherung hat die Verifikation von Planungsergebnissen zum Ziel. Somit ist nicht, wie in allen oben beschriebenen Methoden, das Produkt eigentlicher Gegenstand und Mittelpunkt der Untersuchung, sondern der Produktionsprozess, der das Ergebnis des Planungsprozesses darstellt (DIN4499).

Hierbei unterscheiden sich die Absicherung von Rohbau- und Montageplanungsprozessen grundlegend. Während die Planung und Absicherung im Rohbau stark geometrie- und ressourcenorientiert ist, ist die Planung und Absicherung in der Montage traditionell eher alphanumerisch geprägt und ablauforientiert. Geometrieorientierte Absicherungen in der Montage werden nicht auf breiter Front eingesetzt, eine Anwendung sind zum Beispiel Ergonomieuntersuchungen, die in der Regel aber nur für als kritisch identifizierte Umfänge durchgeführt

werden. Zeitlich ist diese Methode als parallel beziehungsweise nach der Detailplanung einzuordnen, da natürlich erst hinreichend detaillierte Planungsergebnisse vorliegen müssen, um diese absichern zu können.



Abbildung 4-15 Absicherung der Planungsergebnisse - Simulation der geplanten Fertigungsprozesse in einer Rohbaustation [Eiss05]

Der notwendige Input für die Digitale Planungsabsicherung erweitert sich durch den anderen Fokus verglichen zu den oben aufgeführten Methoden. Neben Produktdaten, konkret Stücklisten und Geometriedaten, sind zusätzlich Planungsergebnisse und –restriktionen als Input notwendig. Dazu zählen etwa Mengengerüste, Taktzeiten, Fügereihenfolgen, Information über verwendete Ressourcen oder Restriktionen aus dem Hallenlayout. Aufgrund der anderen Aufgabenstellung ergeben sich bezüglich der oben genannten Methoden auch andere Anforderungen und dem entsprechend Ausprägungen hinsichtlich der eingesetzten Informationssysteme und deren Architektur. Es wird eine eigene Planungsdatenbank eingesetzt, die auch als Datendrehscheibe für Absicherungsaufgaben herangezogen wird. Die eingesetzten Applikationen sind im Rohbau eher geometrisch, in der Montage hingegen alphanumerisch orientiert.

Die PPA ist somit gewissermaßen ein indirekter Effekt der Digitalen Planungsabsicherung, die das Zusammenspiel von Produkt, Prozess, und Ressource sicherstellt. Die Ergebnisse

---

werden in Form von Simulationssessions, siehe **Abbildung 4-15**, Simulationsreports oder in Form von Problemmeldungen dokumentiert.

### 4.2.3 Hardware-Absicherungsmethoden – Zusammenbau von Prototypen

Die Anzahl der realen Prototypen ist aufgrund der hohen anfallenden Kosten und der teureren Änderungen beim Entdecken von Fehlern rückläufig. Diese Entwicklung wird zusätzlich durch die Verbesserung der digitalen Methoden beschleunigt.

Im Rahmen dieser Arbeit spielen reale Prototypen insofern eine wichtige Rolle, als das mit der Beauftragung des Aufbaus des ersten Fahrzeugs die digitale Welt verlassen wird. Produktänderungen aufgrund von Erkenntnissen aus Absicherungen, digital oder real, die nach diesem Zeitpunkt vorliegen, können nur mit hohem Änderungsaufwand realisiert werden. Viele Untersuchungen und Freigabeschleifen müssen dabei ein weiteres Mal durchlaufen werden.

Die unten beschriebenen Hardware-Methoden unterscheiden sich in erster Linie hinsichtlich zweier wesentlicher variabler Kriterien der Prototypen. Erstens unterscheiden sie sich im Umfang des aufgebauten Prototyps, zweitens von der Seriennähe des eingesetzten Produktionssystems. Man unterscheidet beispielsweise:

- **Teilaufbauten:** Diese bilden nur einen definierten Umfang eines Prototypen ab, etwa den Vorbau einer Rohkarosserie.
- **Funktionscubings:** Dies sind sehr genaue, häufig zerspanend gefertigte Modelle von Rohkarosserien, die im Sinne von Lehren für Einbauuntersuchungen großer Module, etwa Cockpitudübel, verwendet werden.
- **CFK-Attrappen (CFK – Carbonfaser-verstärkter Kunststoff):** Dies sind Teilaufbauten oder ganze Rohkarosserien, die im Sinne von Rapid Prototyping sehr früh Hardware-Aussagen zulassen.
- **Vollständige Prototypen:** Dies sind vollständige Fahrzeuge, die in einer Werkstattfertigung aufgebaut werden.
- **Nullserien- und Produktionstest-Fahrzeuge:** Diese werden vor Serienanlauf auf immer seriennäheren Produktionssystemen und schließlich dem Seriensystem aufgebaut.



Abbildung 4-16 Montage des Forschungsfahrzeuges F500 Mind in der Prototypenwerkstatt

Zur Montage von Prototypfahrzeugen sind einerseits die Bauteile als Input notwendig, andererseits aber auch Informationen bezüglich des Produktionssystems. Stehen aufgrund des Concurrent Engineering Prozesses noch keine diesbezüglichen Informationen, beispielsweise die Anzahl der Montagestation, der Arbeitsinhalt pro Montagestation oder die Montagereihenfolge zur Verfügung, so greift man auf Erfahrungswerte und entsprechende Informationen von vorhergehenden Baureihen zurück.

Die Absicherungsziele und die im Rahmen des Zusammenbaus von realen Prototypen erzeugten Ergebnisse entsprechen denen der Digitalen Baubarkeit. So steht in erster Linie das problemlose Fügen der Bauteile im Fokus. Allerdings werden die zeitlichen, räumlichen und arbeitsinhaltlichen Restriktion mehr und mehr präzisiert, bis sie dem Serienproduktionssystem entsprechen.

#### **4.2.4 Mixed und Augmented-Reality (MR- und AR-Methoden)**

Zusätzlich zu den beschriebenen Methoden, die jeweils digitale oder physikalische Modelle als Untersuchungsgegenstand nutzen, gibt es seit einigen Jahren verstärkt Aktivitäten, beide Welten zu vereinen. Als Ergebnis dieser Entwicklung entstanden Methoden und technische Lösungen, die auf einer „Erweiterung“ der Realität durch das Einbringen virtueller Information beruhen. Nach Oehme [Oehm04] definiert Augmented Reality (AR) die „Anreicherung der realen Welt mit zusätzlichen virtuellen Informationen, die situationsgerecht im Kontext zur betrachteten Realität direkt in das Sichtfeld des Betrachters eingeblendet werden“.



Nach Milgram et. al. [Milg94] existiert zwischen den beiden Extrempolen einer vollständig aus realen und vollständig aus digitalen (virtuellen) Realitäten ein Übergangsbereich, das so genannte Reality-Virtuality-Kontinuum. In der Mitte zwischen beiden Extrempositionen liegt ein Bereich, den man auch als Mixed Reality bezeichnet, siehe **Abbildung 4-17**.

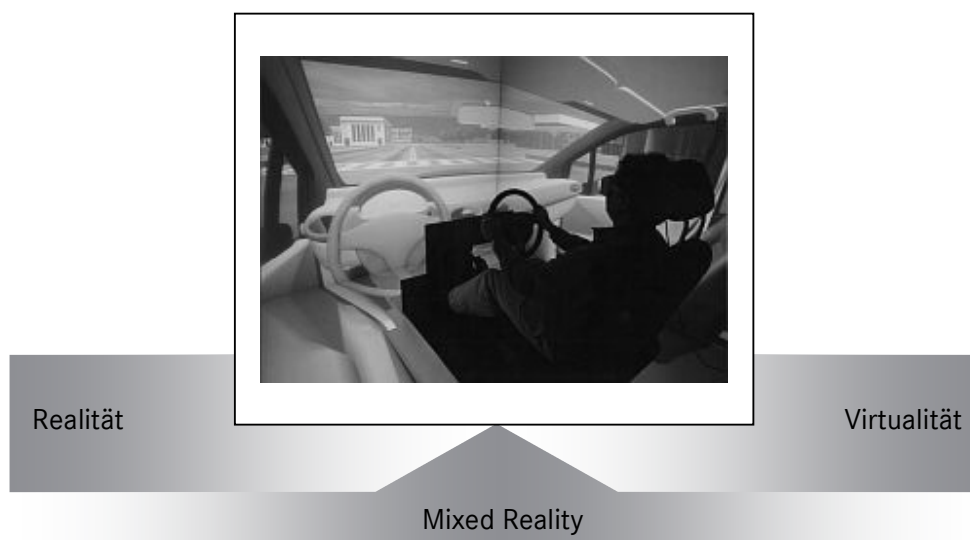


Abbildung 4-17 Mixed Reality im Kontinuum zwischen Realität und Virtualität

Obwohl durch die Anwendung dieser Methoden sehr interessante Einblicke gewonnen werden und viele Probleme, die bei der Anwendung der rein realen oder rein digitalen Methoden existieren, umgangen werden können, sind diese Ansätze in der Praxis heute nur sporadisch anzutreffen. Bisher werden beispielsweise in der PPA keine derartigen Absicherungsmethoden eingesetzt.

Gründe hierfür mögen einerseits die aufwändige und teure technische Ausrüstung sein, die eine Anwendung in der Breite vereitelt. Es werden leistungsstarke Rechner benötigt, und um realistische Effekte zu erzielen, sind Anzeigeräte wie Head-Mounted-Displays und Trackingsysteme zur Erfassung von Lagen und Positionen im Raum erforderlich. Trotz dieses Aufwandes sind die dadurch erzielten Effekte einer vermischten Realität in der Wahrnehmung des Nutzers sehr gewöhnungsbedürftig und erfordern viel Erfahrung im Umgang mit solchen Systemen.

#### **4.2.5 Zusammenfassung Absicherungsmethoden**

Die produktionsbezogene Produktabsicherung wird durch Einsatz vieler verschiedener Absicherungsmethoden geleistet. Ziel ist dabei, eine genaue Eigenschaftsermittlung [Ehrl03] vorzunehmen. Daher ist zur PPA ein genügend detaillierter Entwicklungsstand von Produkt und Produktionssystem notwendig ist.

Die eingesetzten Methoden unterscheiden sich grundlegend darin, ob eine digitales Modell oder ein reales Produkt Gegenstand der Untersuchung ist. Demnach werden die Absicherungsmethoden in digitale und Hardware-Absicherungsmethoden unterschieden. Eine Sonderstellung nehmen dabei AR- bzw. MR-Methoden ein, sie verbinden die digitale und die reale Welt.

### **4.3 Informationen und Daten in der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Nach einer allgemeinen Einführung über Informationsflüsse und deren Bedeutung der Produktentwicklung werden die im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung relevanten Informationen beschrieben. Anschließend wird kurz auf die Datenformate eingegangen, in denen diese Informationen im Rahmen der PPA vorliegen. Auf die detaillierte Darstellung der Datenflüsse wird verzichtet, da gemäß **Abbildung 3-1** diese Abstraktionsebene nicht im Hauptfokus der Arbeit steht. In Anhang C finden sich einige Informationen über die Datenmodelle des bei der Validierung des Konzeptes eingesetzten EDM-Systems.

#### **4.3.1 Informationsflüsse in der Produktentwicklung**

Die in der Produktentwicklung auftretenden Informationsflüsse sind sehr vielschichtig und heterogen. Vajna [Vajn05] liefert hierzu im Rahmen der Integrierten Produktentwicklung die grundlegende Unterscheidung zwischen einer Informationsdefinition in frühen und in späten Phasen.

Dabei werden in frühen Phasen durch das so genannte Predictive Engineering Informationen bereitgestellt, die für Folgeprozess als Eingangsgröße herangezogen werden können. Im Ge-

gensatz dazu wird das Reverse Engineering angewandt, das charakterisiert ist durch das Vorverlagern von Vorabinformationen oder dem Rückkoppeln von Informationen in frühe Phasen, siehe **Abbildung 4-18**.

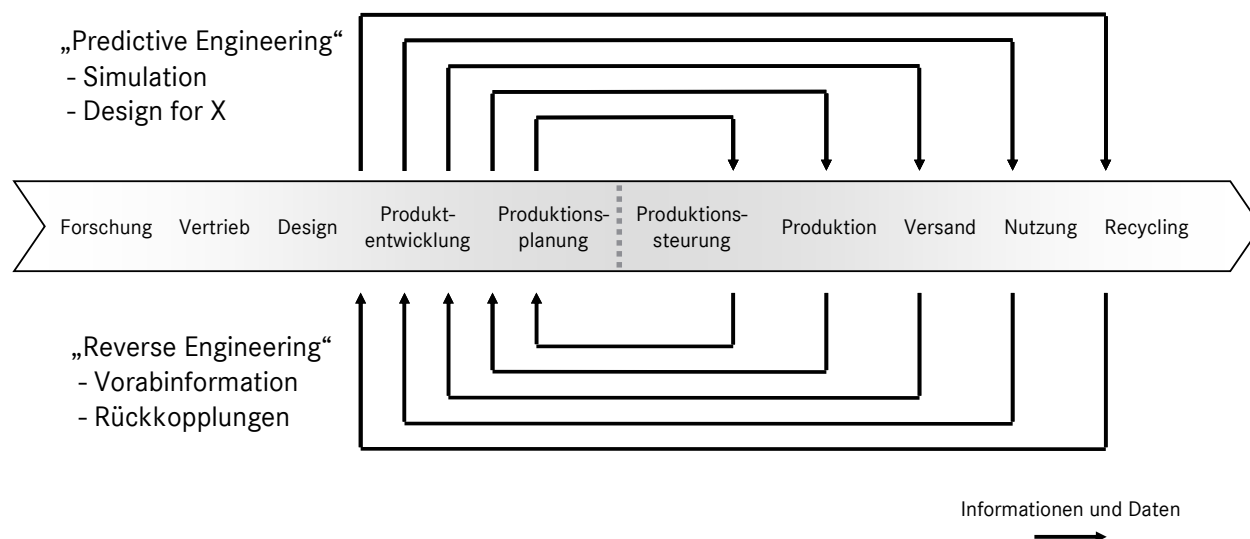


Abbildung 4-18 Informationsflüsse in der Integrierten Produktentwicklung, in Anlehnung an [Vajn05]

Damit in der Produktentwicklung die Anforderungen aus Folgeprozessen berücksichtigt werden können, müssen diese Informationen zum richtigen Zeitpunkt in geeigneter Weise zu Verfügung stehen. Vor dem Hintergrund des Design for X bedeutet dies, dass die Eigenschaften des Produktionssystems bekannt sein müssen. Da im betrachteten Praxisszenario aus der Automobilindustrie Produkt und Produktionssystem synchron entstehen, stellt diese Forderungen eine große Herausforderung an die Gestaltung der Informationsflüsse in Entwicklungs- und Absicherungsprozessen dar.

Eine mögliche Antwort liegt hierbei in der Standardisierung, sowohl auf der Produktseite („Plattformstrategie“, „Regalentwicklung“), als auch in der Standardisierung von Produktionssystemen. Der Zweck dieser Strategien lässt sich demnach immer auf die Vermeidung bzw. der Verminderung des Umgangs mit „unsicheren Informationen“ zurückführen.

Die konsequente Nutzung von unsicheren Informationen ist ein zweiseitiges Schwert: Auf der einen Seite können so Potentiale wie eine Verkürzung der Entwicklungszeit und eine Verminderung des Kommunikationsaufwandes gehoben werden, auf der anderen Seite erhöht sich natürlich auch das Risiko, in aufwändige Änderungsschleifen hineinzulaufen, wenn sich

angenommene, unsichere Informationen im Zuge des Entwicklungsprozess tatsächlich als falsch herausstellen, siehe **Abbildung 4-19**.

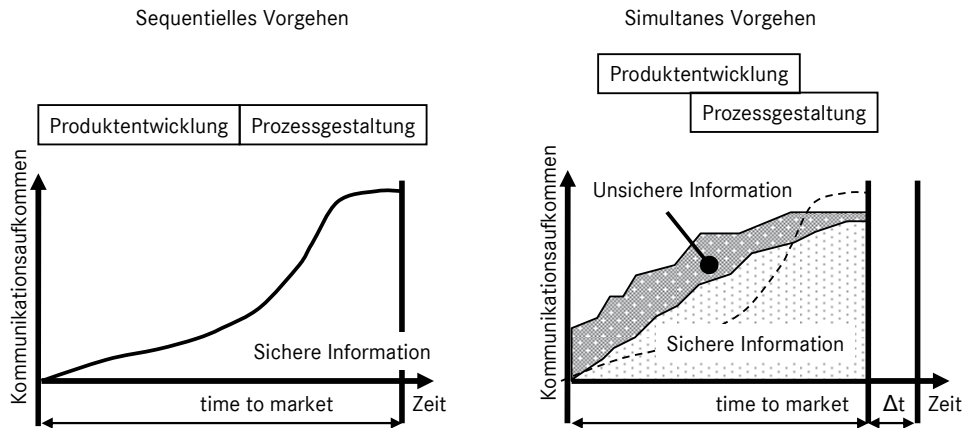


Abbildung 4-19 Durch simultanes Vorgehen werden unsichere Informationen genutzt, nach [Ever05]

### 4.3.2 Relevante Informationen bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung spielen unterschiedliche Informationen eine Rolle. Um eine Absicherung durchführen zu können, sind Informationen bezüglich des Produktes, der Produktionsmittel, des Produktionsprozesses sowie den Beziehungen dazwischen notwendig. Durch das Durchführen einer Absicherung werden Ergebnisse erzeugt, die wiederum eine eigenständige Form von Informationen darstellen können.

Da die vorliegenden Arten von Informationen aus verschiedenen Bereichen des Produktentwicklungsprozesses, d.h. aus verschiedenen Kontexten stammen, erweist sich eine weitergehende, stringente Unterteilung als schwieriges Unterfangen. In Anlehnung an [Vajn05] lassen sich folgende Informationsarten unterscheiden:

- **Geometrische Informationen** beschreiben die geometrische Gestalt von Produkt oder Produktionssystem. Der Produktionsprozess selbst hat keine geometrische Ausprägung, man könnte allerdings die „Wirkanordnung“ eines Produktionsprozesses als eine geometrische Information bezeichnen, allerdings nur dann, wenn sie in Verbindung mit Produktionsmitteln betrachtet wird

- **Strukturelle Informationen** umfassen verschiedene Sichtweisen auf die Stückliste des Produktes, aber auch des Produktionssystems. So lässt sich z.B. die Konstruktions- von der Fertigungsstückliste eines Produktes unterscheiden, und für Produktionssysteme lassen sich entsprechend Ressourcenstrukturen angeben. Zu den strukturellen Information gehören natürlich auch unterschiedliche Varianten einer Struktur, zum Beispiel ein Fahrzeug mit Schiebedach oder ohne.
- **Engineering Informationen** umfassen alle zur Abwicklung und praktischen Durchführung des Produktentwicklungsprozesses notwendigen organisatorischen Informationen, wie z. B. Sachnummern, Freigabestati, Versionsstände und ähnliches.
- **Sonstige Information** sind alle kontextspezifischen Informationen, die nicht in eine der drei genannten Gruppen einzuordnen sind.

In **Tabelle 4-3** sind die relevanten Information gegliedert nach den obigen Gruppen und dem jeweiligen Kontext aufgeführt.

	Geometrische Informationen	Struktur- informationen	Engineering Informationen	Sonstige Informationen
Produkt	Produktgestalt	Produktstruktur Produktvariante	Sachnummer Konfiguration Version Verantwortlichkeit	Werkstoff Features
Produktions- prozess	„Wirkanordnung“, z.B. Materialfluss	Fertigungsstruktur Prozessvariante	Sachnummer Konfiguration Version Verantwortlichkeit	Arbeits-, Montage- und Prüfpläne Fertigungsparameter Prozesskenngrößen Fertigungskosten Fertigungszeiten Fertigungsfolge
Produktions- mittel	Ressourcengestalt Aufnahmekonzept	Ressourcenstruktur Ressourcenvariante	Sachnummer Konfiguration Version Verantwortlichkeit	Leistungsmerkmale
Absicherungs- ergebnisse	Verbauzustand Zugänglichkeit		Freigabestatus	Ergebnisbericht Reifegrad Maßnahme
Relationen	Relationen innerhalb und zwischen den Informationsgruppen			

Tabelle 4-3 Relevante Informationen im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Bezogen auf das Thema Absicherung sei zusätzlich auf einige besondere Aspekte von Informationen in diesem Kontext hingewiesen:

Im Sinne der Effizienz von Entwicklungsprozessen ist es anzustreben, dass generierte Informationen, beispielsweise das Ergebnis von Absicherungsuntersuchungen, als Input für folgende Aktivitäten direkt genutzt werden können. Diese Forderung hat im Kontext der Absicherung besonderes Gewicht. Absicherungsaktivitäten sind in gewisser Weise nicht „wertschöpfend“, sie dienen vielmehr zur Bestätigung der getanen Arbeit und zum Generieren von Entscheidungsgrundlagen. Daher ist es natürlich anzustreben, die Informationsfestlegung im Entwicklungsprozess so zu gestalten, dass man die Aufbereitung von Information ausschließlich für Absicherungszwecke minimiert oder ganz vermeidet.

Eine weitere Besonderheit ist die Vorwegnahme noch nicht endgültig getroffener Entscheidungen und den damit verbundenen Umgang mit unsicheren Informationen. Beispielsweise ist es schwierig, die Montagegerechtheit eines Produktes zu beurteilen, wenn die konkrete Ausprägung des Produktionssystems noch nicht abschließend vorliegt. Kritisch sind dabei Situationen, in denen sich die dabei getroffenen Annahmen als unvollständig oder falsch herausstellen. Dabei besteht die Gefahr, dass man auf ein falsches Zielkriterium hin absichert. Dies kann gravierende Probleme in der Realisierung des Entwicklungsprojektes zur Folge haben, beispielsweise den Bau von Sonderwerkzeugen oder Nachbearbeitungstätigkeiten in der Endmontage.

### 4.3.3 Daten bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Im voran stehenden Kapitel wurde erläutert, welche Informationen in der PPA relevant sind. Dabei wurde die semantische Sicht dargestellt, also auf die Bedeutung im Sinne des semiotischen Dreiecks eingegangen. Interessant ist jedoch auch die syntaktische Sicht, d.h. in welchen Datenformaten die Informationen im Prozess erzeugt, verwaltet und genutzt werden.

- **Datenformate geometrischer Informationen** sind in der Regel proprietäre Datenformate von CAD-Systemen, es werden aber auch neutrale Datenformate genutzt. Insbesondere zur Visualisierung von große Baugruppen oder Anlagendaten werden tessellierte Datenformate genutzt, beispielsweise das Format JT.
- **Datenformate struktureller Informationen** sind zum einen proprietäre Datenformate von CAD-System, wo zum Beispiel hinterlegt ist, aus welchen Komponenten ein Zusammenbau besteht. Die gleichen Informationen sind allerdings auch in Stücklistensystemen oder in EDM-Systemen in den entsprechenden Datenbankmodellen hin-

terlegt. Diese Daten sind also redundant vorhanden. Auch in neutralen Datenformaten wie STEP oder PLMXML lassen sich solche Strukturinformationen ablegen. Vielfach werden neutrale Formate genutzt, um die Versorgung von Strukturinformation in verschiedene Unternehmensbereiche oder über Unternehmensgrenzen hinweg sicherzustellen.

- **Datenformate von Engineering Informationen** sind in aller Regel in EDM-Systemen in den entsprechenden Datenbankmodellen hinterlegt.
- **Datenformate sonstiger Informationen** sind zum großen Anteil in Dokumenten von Textverarbeitungsprogrammen, Tabellenkalkulationen oder anderer Office-Anwendungen abgelegt.

#### **4.3.4 Zusammenfassung Informationen und Daten**

Zur Durchführung der produktionsbezogenen Produktabsicherung sind geometrische Informationen über Produkt- und Produktionssystem, strukturelle Informationen, Engineering Informationen wie beispielsweise Freigabestände und sonstige Information wie Taktzeiten notwendig. Diese Informationen beschreiben das Produkt und das Produktionssystem sowie die Ergebnisse von Absicherungsaktivitäten. Diese Informationen werden in verschiedene Datenformate codiert, damit sie in Informationssystemen verarbeitet werden können. In den folgenden Kapiteln wird auf die Informationssysteme, die in der PPA angewendet werden, eingegangen.

#### **4.4 Informationssysteme in der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Im Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie wird heute eine Vielzahl unterschiedlicher Informationssysteme eingesetzt. Diese dienen sowohl zur Definition als auch zur Absicherung der Informationen im Entwicklungsprozess, außerdem zur bedarfsgerechten Informationsbereitstellung. Gemäß den Definitionen in Kapitel 3.2.6 lassen sich Informationssysteme in Verwaltungssysteme und Autorensysteme unterteilen. Ausgehend von einigen Grundlagen wird jeweils detailliert auf die im Rahmen der PPA eingesetzten Verwaltungssysteme und Autorensysteme eingegangen.

#### 4.4.1 Grundlagen von Verwaltungssystemen

Der Gruppe der Verwaltungssysteme ist eine Vielzahl von Systemen zuzuordnen, für die eine Reihe unterschiedlicher und teilweise synonyme Begriffe verwendet werden. Dazu zählen die Begriffe EDM- („Engineering Data Management“), PDM- („Product Data Management“) bzw. PLM- („Product Lifecycle Management“)-Systeme. Zusammenfassend kann man diese Systeme als „technische Datenbank- und Kommunikationssysteme definieren, die dazu dienen, Informationen über Produkte, deren Entstehungsprozesse und deren Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und allen relevanten Bereichen eines Unternehmens bereitzustellen“ (VDI 2219).

Eine kategorische Abgrenzung aller zuvor genannten Systeme ist nur schwer möglich, da sich die Funktionalitäten an vielen Stellen überschneiden. Eine eindeutige Abgrenzung wird erst bei der Betrachtung einer konkreten Systeminfrastruktur und der damit durchgeführten Prozesse in einem Unternehmen möglich. Die folgende Gliederung lehnt sich an Definitionen von Eigner und Stelzer an [EiSt01]:

- **PDM-Systeme (Product-Data-Management-Systeme):** Gemäß [EiSt01] sind PDM-Systeme häufig in Konstruktion und Fertigung eingesetzt. Ihr Fokus war ursprünglich sehr produktnah, etwa die Zeichnungsverwaltung, die sich heute hin zur Verwaltung von CAD-Modellen weiterentwickelt hat. Grundfunktionen sind hierbei Rechteverwaltung, Änderungsmanagement, Varianten- und Konfigurationsmanagement.
- **EDM-Systeme (Engineering-Data-Management-Systeme):** EDM-Systeme sind als Erweiterung von PDM-Systemen zu verstehen. Dabei steht neben dem Management der Produktdaten das Management aller Daten, die während des gesamten Produktentstehungsprozess anfallen, im Vordergrund.
- **PLM-Systeme (Product-Lifecycle-Management-Systeme):** Neben den Funktionalitäten von PDM- und EDM-Systemen integrieren PLM-Systeme zusätzlich Funktionalitäten wie Lifecyclemanagement, Anforderungsmanagement und Workflowmanagement, siehe **Abbildung 4-20**. Grund hierfür ist, dass zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Produktlebenszyklus verschiedene Anforderungen an den zu verwaltenden Datenbestand gemacht werden. Beispielfähig seien hier Rückverfolgbarkeit von Produktkomponenten vor dem Hintergrund des Produkthaftungsrechts oder die Ersatzteilversorgung genannt.



- **ERP-Systeme (Enterprise-Resource-Planning-Systeme):** ERP-Systeme sind Softwaresysteme, deren Aufgabe die Verwaltung und Beplanung unternehmensweiter Ressourcen ist. Dazu gehören unter anderem Finanzen, Personalwesen und Zeitwirtschaft, aber auch die Abwicklung von Geschäftsprozessen wie Einkauf, Lagerhaltung oder Vertrieb. Häufig ist den ERP-Systemen zusätzlich ein Stücklistenverwaltungssystem angegliedert.

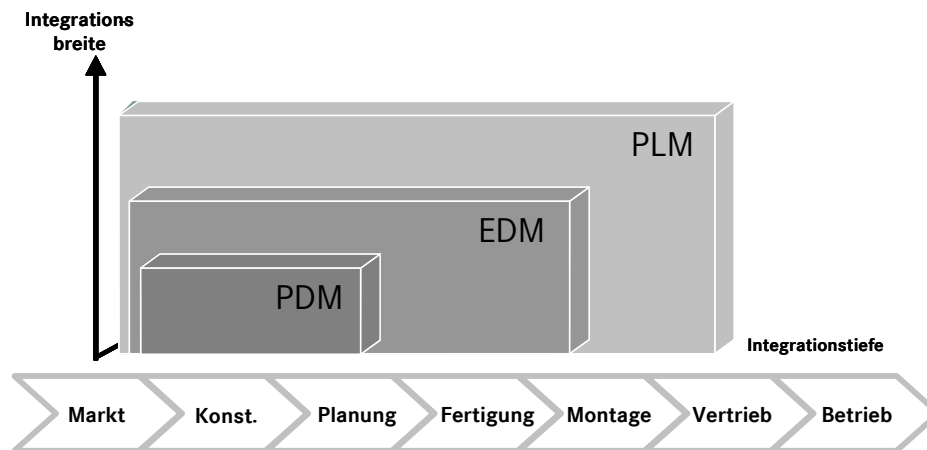


Abbildung 4-20 Abgrenzung von PDM-, EDM- und PLM-Systemen, in Anlehnung an [EiSt01]

#### 4.4.2 Domänenübergreifende Integration von Verwaltungssystemen

Trotz vielfältiger Aktivitäten in Industrie und Forschung ist eine domänenübergreifende Integration von Verwaltungssystemen nur punktuell vorzufinden. Ursache hierfür sind die teilweise sehr unterschiedlichen Anforderungen an eine bedarfsgerechte Informationsverwaltung und -bereitstellung. So müssen beispielsweise in der Produktentwicklung stets die aktuellsten Information des Produktes, etwa Produktstruktur und Produktgeometrie für alle Produktvarianten, vorliegen. Im Gegensatz dazu genügt es, in der Produktionsplanung von Zeit zu Zeit einen abgestimmten, beispielsweise einen freigegeben Informationsstand, als Ausgangspunkt für Planungsaktivitäten heranzuziehen.

Eine weitere Ursache für die von Fall zu Fall sehr unterschiedlich weit gediehene Integration von Verwaltungssystemen ist die oft aufwändige Ablösung der gewachsenen Infrastruktur. Häufig existierten eine Vielzahl von lokalen Systemlösungen, die zwar den domänenspezifi-

schen Anforderungen genügen, aber zur Durchführung von bereichsübergreifenden Aufgabenstellung im Rahmen des Concurrent Engineering weniger geeignet sind.

Vor diesem Hintergrund sind in den letzten Jahren verschiedene Integrationsansätze entstanden. So schlagen zum Beispiel Burr et. al [BVDW04] die Einführung von TDM-Systemen (Team Data Management) vor. Diese anwendungsnahen Verwaltungssysteme erlauben auf der einen Seite eine bedarfsgerechte Datenverwaltung und bieten eine tief greifende Integration in entsprechende Autorensysteme. Auf der anderen Seite ist die bereichsübergreifende Zusammenarbeit durch eine Anbindung der TDM-Systeme an einen übergreifenden EDM-Backbone gewährleistet, siehe **Abbildung 4-21**.

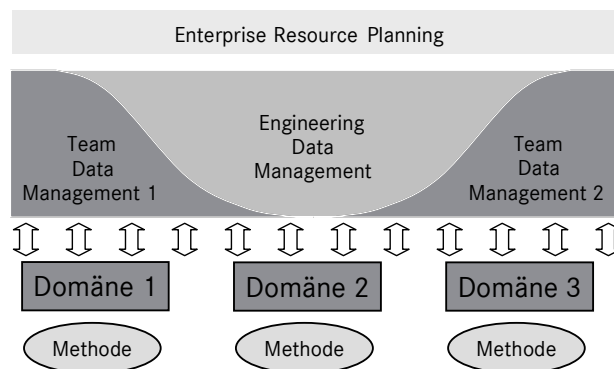


Abbildung 4-21 Integration domänenspezifischer Anforderungen mit TDM-Systemen, in Anlehnung an [BVDW04]

#### 4.4.3 Verwaltungssysteme in der produktionsbezogenen Produktabsicherung

In der produktionsbezogenen Produktabsicherung ist eine solche integrierte Infrastruktur nicht vorzufinden. Die zur Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben eingesetzten Systeme sind nicht in diesem Sinne integriert. Es sind im Einzelnen:

- **EDM-System:** Das EDM-System wird zur Versorgung des Absicherungsprozess mit Produktdaten eingesetzt.
- **Wissensbasis PPG-Datenbank:** In dieser Datenbank werden aus allen Gewerken abgestimmte Forderungen und Vorgaben zur produktionsgerechten Produktgestaltung im Sinne einer einheitlichen Wissensbasis bereitgestellt. Diese Vorgaben und Forderungen

gen stellen einen Teil der produktionsbezogenen Soll-Eigenschaften des Produktes dar.

- **Vorfallerfassungs- und Verfolgungssystem:** Dies ist eine Datenbank in der Ergebnisse von Absicherungen dokumentiert und kategorisiert werden. Zudem werden entsprechend den Ergebnissen bei Bedarf Maßnahmen abgeleitet und diese dann überwacht und verfolgt.
- **Planungsdatenbank:** Dieses Verwaltungssystem hat am ehesten den Charakter eines TDM-Systems. Dort werden die Ergebnisse der Planungsaktivitäten hinterlegt, hier finden sich zum Beispiel Relationen zwischen Produkten und dem späteren Fertigungsprozessen, mit dem das Produkt in Serie hergestellt wird oder den Anlagen, die dabei zum Einsatz kommen. Dabei ist eine tiefe Integration mit dem entsprechenden Autorensystem, einer CAP-Applikation (siehe Abschnitt 4.4.4), realisiert.
- **Filesysteme:** Filesysteme sind zwar keine Verwaltungssysteme im klassischen Sinn mit entsprechenden Mechanismen wie Versionierung etc., kommen aber dennoch zum Einsatz, etwa zum Datenaustausch oder als temporäre Lösung. Auch beim Handling von sehr großen Datenmengen in der Massendatenverarbeitung wird auf Filesysteme zurückgegriffen, da sie häufig ein sehr performantes Arbeiten, etwa im Batchbetrieb, zulassen.

#### 4.4.4 Grundlagen von Autorensystemen

Während des gesamten Produktentwicklungsprozesses wird eine Vielzahl von Autorensystemen zur Datenerzeugung und -analyse eingesetzt. Gemäß der Definition in Kapitel 3.2.6 lässt sich folgende Unterscheidung vornehmen.

##### **Erzeugungssysteme:**

- CAD-Systeme (Computer Aided Design)
- CAPP-Systeme (Computer Aided Process Planning)
- CAM-Systeme (Computer Aided Manufacturing)

##### **Analysesysteme:**

- CAE-Systeme (Computer Aided Engineering)
- CAT-Systeme (Computer Aided Tolerancing)
- VR-Systeme (Virtual Reality)
- DMU-Systeme (Digital Mock-up)

Unter dem Begriff der CAD-Systeme werden im Allgemeinen Erzeugungssysteme zusammengefasst, mit deren Hilfe Bauteile heute in der Regel dreidimensional konstruiert und zu Baugruppen zusammengesetzt werden können. Vielfach sind in den einzelnen Systemen mehrere Funktionen integriert. Sie eignen sich nicht nur zum Konstruieren, sondern ermöglichen dem Konstrukteur beispielsweise auch die direkte Ausleitung technischer Zeichnungen. CAPP-Systeme und CAM-Systeme werden eingesetzt, um Informationen über das Produktionssystem zu erzeugen, beispielsweise Prozessinformationen oder Programme zur Steuerung von Werkzeugmaschinen.

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, ist zur Synchronisation der verschiedenen Teilprozesse des Concurrent Engineering in der Produktentwicklung die Durchführung von Absicherungen sehr wichtig. Dazu werden Analysesysteme eingesetzt. Die Aufgaben von Analysesystemen sind breit gefächert, sie dienen zur Berechnung und Simulation von Funktionen, Festigkeit, etc. Sie werden häufig in den frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt, in denen noch keine realen Bauteile existieren. Mit ihrer Hilfe sollen Produktfehler frühzeitig erkannt und behoben werden, ohne dass der Aufbau aufwendiger und teurer Prototypen notwendig ist. Das Spektrum dieser Systeme reicht von CAE-Systemen, die Belastungs- oder Strömungssimulationen durchführen können, so genannte FEM- (Finite Elemente Methode) und CFD-Programme (Computational Fluid Dynamics), bis zu Bewegungs- und Zusammenbausimulationen, heute zumeist realisiert durch VR- und DMU-Systeme.

#### **4.4.5 Autorensysteme der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Ähnlich wie bei den Verwaltungssystemen gibt es auch Autorensysteme, die sowohl im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses allgemein als auch bei der Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung eine wichtige Rolle spielen.

Dazu zählen an erster Stelle 3D-CAD-Systeme und DMU-Anwendungen. Diese werden zur Visualisierung von Produkt und Ressourcen, zur Bewertung von Einbausituationen oder für Ein- bzw. Ausbausimulationen herangezogen. Zusätzlich kommt eine Vielzahl von weiteren Anwendungen für besondere Aufgaben zum Einsatz.

Als Beispiel seien Werkzeuge zur Bestimmung von Ausbaupfaden, zu Überprüfung der korrekten Positionierung von Verbindungselementen oder VR- bzw. AR-Anwendungen genannt.

Der Einsatz solch aufwändiger Systeme geschieht allerdings nicht in der Breite, sondern nur bei ausgewählten Problemfeldern.

Auch in der Planungswelt werden Autorensysteme im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung eingesetzt. Zum einen gibt es Systeme, die neben der eigentlichen Prozessdefinition die Zuweisung von Produkten zu Ressourcen ermöglichen oder beispielsweise auch die Definition von Fertigungsreihenfolgen erlauben. Die dadurch erzeugten Zusammenhänge und Information sind wiederum wesentlicher Input für Absicherungsaktivitäten. Zum anderen können die eingesetzten Planungssysteme auch direkt zur Absicherung beitragen, etwa zu Überprüfung von Zugänglichkeiten mit Werkzeugen [Resc06].

#### **4.4.6 Zusammenfassung Informationssysteme**

Die im Rahmen der PPA eingesetzten Autorensysteme sind im Wesentlichen zu den Analyse-Systemen zu zählen. Sie werden im Rahmen von Absicherungsmethoden zur Analyse verschiedener Eigenschaften des Produktes eingesetzt. Dazu werden digitale Modelle von Produkt und Produktionssystem beispielsweise visualisiert, es werden Zugänglichkeit oder Einbaupfade überprüft.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen, teilweise simultan ablaufenden Aktivitäten in der PPA kommt den Verwaltungssystemen die schwierige Aufgabe der Informationsbereitstellung zu. Wissenschaftliche Ansätze geben Beispiele dafür, wie eine geeignete Integration der Verwaltungssysteme in domänenübergreifende Entwicklungsprozessen realisiert werden kann, beispielsweise durch den Einsatz von TDM-Systemen. Im betrachteten Beispiel des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung ist eine solche Infrastruktur heute nicht vorzufinden.

### **4.5 Aufbauorganisation der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

In diesem Kapitel wird der Begriff Organisation definiert und die im Rahmen der PPA vorzufindende Aufbauorganisation beschrieben.

### 4.5.1 Grundlagen zur Organisation

Das komplexe Gebilde heutiger Unternehmensstrukturen bedarf im Allgemeinen einer Gliederung in überschaubare Einheiten. Die Regeln, nach denen diese Einheiten gebildet und miteinander verknüpft werden, können unter dem Begriff Organisation zusammengefasst werden. Der Begriff Organisation kann sehr allgemein als „die Art und Weise, wie die Teile eines Ganzen untereinander und zu diesem Ganzen hin orientiert sind“ [Zing02] definiert werden. Insbesondere in der Betriebswirtschaftslehre befasst man sich mit der Unternehmensorganisation. Dabei stehen häufig die Begriffe Ablauf- und Aufbauorganisation im Mittelpunkt. Während die Ablauforganisation im Rahmen der folgenden Beschreibung des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung in Kapitel 4 untersucht wird, steht in diesem Kapitel die Aufbauorganisation im Mittelpunkt der Betrachtung. Da die vorliegende Arbeit im Rahmen einer Industriekooperation entstand, wird dabei die konkret vorliegende Aufbauorganisation beschrieben. Für weiterführende Informationen sei auf die einschlägige Literatur, etwa [Weus02] verwiesen.

#### **Definition: Domäne**

Die einzelnen Teile, aus denen eine Organisation besteht, werden im Kontext dieser Arbeit als Domänen bezeichnet. Eine Domäne ist ein Teil der Organisation und hat die Eigenschaft, eine für sie spezifische Aufgabe zu erfüllen. Beispiele für Domänen sind die Produktentwicklung oder die Produktionsplanung.

### 4.5.2 Die Organisation der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Die produktionsbezogene Produktabsicherung ist ein Prozess, die die Erfahrung und das Wissen sehr vieler Experten aus verschiedenen Domänen, etwa aus den Bereichen Produktentwicklung und Produktionsplanung, benötigt. Dementsprechend arbeiten viele unterschiedliche Organisationseinheiten im Rahmen von domänenübergreifenden Aktivitäten zusammen.

Insgesamt sind die Aktivitäten zur PPA in eine Matrixstruktur eingebettet. Dabei stehen den einzelnen querschnittlichen Fachbereichen die einzelnen Fahrzeugprojekte orthogonal gegenüber. Während in der Entwicklung die Festlegung des Produktes im Vordergrund steht, werden in der Produktionsplanung die zur Serienproduktion notwendigen Fertigungsprozesse definiert. Zusätzlich wird die Entwicklung der notwendigen Ressourcen in der Produktions-

planung koordiniert, die eigentliche Entwicklung findet in aller Regel allerdings bei Anlagenzulieferern statt. Die somit unter der Federführung der Produktionsplanung definierten Produktionssysteme werden dann in den jeweiligen Produktionsstandorten umgesetzt. Eine ganz wesentliche Rolle übernimmt in diesem Kontext die so genannte Anlauffabrik, die organisatorisch zur Produktionsplanung gehört.

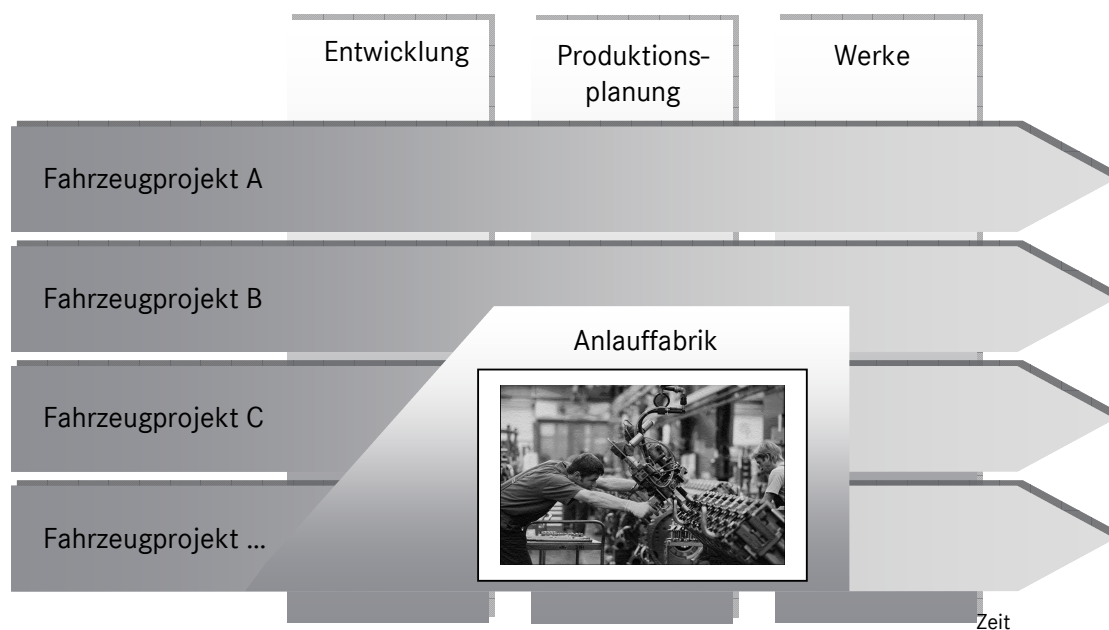


Abbildung 4-22 Überblick über die Aufbauorganisation der PPA

Dort werden alle Fahrzeuge, von den ersten Entwicklungsfahrzeugen bis hin zur Nullserie, real aufgebaut. Dabei werden die in verschiedenen Phasen montierten Fahrzeuge auf immer mehr dem tatsächlichen Serienprozess entsprechenden Produktionsanlagen gefertigt. Das gilt zum Beispiel für die eingesetzten Mechanisierungen, aber auch für die Abläufe in der Montage, die mehr und mehr Seriencharakter gewinnen. Zudem gibt es, losgelöst von den einzelnen Projekten, mehrere Expertengruppen, die verschiedene Aspekte der PPA bearbeiten.

Die in **Abbildung 4-22** vertikal dargestellten Bereiche üben eine so genannte Linienfunktion aus. Am Beispiel der Entwicklung lässt sich diese Aufgabe anschaulich erklären: So gibt es in der Entwicklung Organisationseinheiten, die beispielsweise für die Entwicklung von Dieselmotoren oder aber Türen verantwortlich sind. Dabei wird angestrebt, eine möglichst auf viele Baureihenprojekte adaptierbare Basiskonstruktion zu entwickeln. In den Baureihenprojekten, in **Abbildung 4-22** horizontal dargestellt, wird dann die Adaption der Basiskonstruktion auf

die besonderen Anforderungen des entsprechenden Projektes vorgenommen. Diese Unterscheidung zwischen Linienfunktion und einem konkreten Fahrzeugprojekt findet sich in der gesamten Organisationsstruktur.

Zusätzlich gibt es eine dritte Art von Aufgabenbereichen, die Querschnittsfunktionen. Neben klassischen organisatorischen Querschnittsfunktionen wie Personalwesen oder Controlling gibt es auch solche, die einen sehr konkreten Bezug zum technischen Entwicklungsprozess haben. So ist zum Beispiel die Informationstechnologie als Querschnittsfunktion organisiert. Die Aufgaben umfassen dabei unter anderem die Entwicklung und den Betrieb neuer informationstechnisch unterstützter Methoden und Tools zur Abwicklung und Optimierung der Entwicklungsprozesse, wie sie beispielsweise auch im Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung zum Einsatz kommen. Auf die Darstellung der Querschnittsfunktionen in obiger Abbildung wurde aufgrund der Übersichtlichkeit verzichtet.



## **5 Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie**

In Kapitel 5 werden die Aktivitäten im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung untersucht. Ausgehend von einer detaillierten Beschreibung des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung und der Analyse unter Berücksichtigung der einzelnen Bausteine des EIMS werden konkrete Handlungsbedarfe zur Verbesserung dieser Aktivitäten identifiziert. Dies führt abschließend zu den im Rahmen dieser Arbeit relevanten Forschungsfragen und der Hypothese.

### **5.1 Prozessbeschreibung der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Beim Erreichen eines definierten Entwicklungsstandes, der das digitale Modell der Rohkarosse, der Aggregate sowie der Anbauteile und Türen umfasst, beginnen im Rahmen der Methode „Integration Gesamtfahrzeug“ ausgiebige Packaging-Untersuchungen. Gegenstand der Untersuchung sind dabei alle Fahrzeugvarianten, die sich anhand ihrer geometrischen Ausprägung unterscheiden lassen. Neben statischen Analysen werden auch quasistatische und dynamische Untersuchungen durchgeführt. Als Beispiel für eine quasistatische Untersuchung ist etwa das Erzeugen eines so genannten Reifengebirges mittels Verdrängungsvolumen zu nennen, als Beispiel für eine dynamische Analyse die Untersuchung der Freigängigkeit der Achskinematik. In als kritisch eingeschätzten Konfigurationen, Teilumfängen und Einbausituation werden zudem detaillierte Ein- und Ausbausimulationen durchgeführt, wobei neben funktionalen Aspekten auch Aspekte hinsichtlich der Produktionsgerechtigkeit oder aber der Servicefreundlichkeit mit berücksichtigt werden können. Dies kann natürlich nur in dem Maße geschehen, in dem diese Anforderungen zum Absicherungszeitpunkt tatsächlich schon bekannt sind. In der Regel sind dies auf Erfahrungswerten oder unternehmensinternen Normen basierende Konstruktionsrichtlinien. Sie decken allerdings nur einen Bruchteil aller tatsächlich zu erfüllenden Anforderungen ab.

Der Fokus der Untersuchungen verschiebt sich nun sukzessive weg vom Produkt, stattdessen rückt der eigentliche Produktionsprozess mehr und mehr in den Mittelpunkt. Dies beginnt

mit dem Einsatz der Absicherungsmethode „Digitale Baubarkeit“. Hierbei werden, eng verzahnt mit dem Aufbau der realen Prototypfahrzeuge in Hardware, digitale Montage- und Demontagesimulationen durchgeführt. Dabei wird nicht nur die korrekte, überschneidungsfreie Endposition eines Bauteils überprüft, sondern auch der Fügevorgang bis in diese Endposition. Im Gegensatz zur späteren Montagesimulation, die hauptsächlich ergonomische Aspekte im Fokus hat, beschränkt man sich auf den technischen Fügevorgang. Sporadisch sind dabei auch immer eventuell notwendige Werkzeuge oder Montagehilfsmittel Gegenstand der Untersuchung. Zugänglichkeit beispielsweise wird jedoch in der Regel ausgehend von der Erfahrung der Mitarbeiter eingeschätzt, nur in als kritisch eingestuften Fällen werden digitale Modelle von Werkzeugen in die Untersuchung mit einbezogen.

Organisatorisch und zeitlich eng verzahnt mit der Absicherungsmethode Digitale Baubarkeit ist der reale Aufbau von Prototypfahrzeugen. Eigentliches Ziel dieser „Fabrik in der Fabrik“ ist der termingerechte Aufbau verschiedener Teilumfänge von Fahrzeugen oder von vollständigen Prototypfahrzeugen für Erprobungen wie Fahrversuch, Regenkammer oder Langlauf-test. Das dabei eingesetzte Produktionssystem ist keine serienreife Produktionsanlage, es handelt sich vielmehr um eine Werkstatt- bzw. Kleinserienfertigung. Neben der fristgerechten Bereitstellung der Prototypen dient der Aufbauprozess dieser Fahrzeuge auch als Lernfeld. Viele Sachverhalte der Endmontage lassen sich heute digital nur ungenügend oder mit sehr hohem Aufwand abbilden, etwa das Verhalten von biegeschlaffen Bauteilen oder Fügekräfte. Dieser Aspekt des Zusammenbaus von Prototypen wird auch als Baubarkeitsuntersuchung bezeichnet.

Eine weitere Verschiebung des Fokus der PPA geschieht dann beginnend in der Nullserie über mehrere Produktionstests bis hin zum Serienanlauf. Dabei wird der Grad der Seriennähe der eingesetzten Produktionsanlagen kontinuierlich gesteigert, beispielsweise werden Prototypwerkzeuge durch Serienwerkzeuge ersetzt. Hauptfokus dieser Tätigkeiten ist auch hier nicht das Sicherstellen der produktionsgerechten Produktgestaltung, sondern die Absicherung der Planungsergebnisse, des Serienfertigungsprozesses und der Produktionsanlagen. Die zeitlich parallel laufenden Absicherungen selbst geschehen in diesen Phasen in interdisziplinären Workshops. Dabei sind Produkt- sowie Produktionsverantwortliche als Entscheidungsträger ebenso involviert wie Methodenexperten, die solche Workshops methodisch unterstützen und moderieren. In der Regel reduziert sich dabei, die Anzahl der untersuchten Fahrzeuge, man beschränkt sich auf abgestimmte Ecktypen. Im Gegenzug jedoch wächst der Detaillierungs-

grad der einzelnen Untersuchungen. So werden beispielsweise detaillierte Ergonomiesimulationen mit Menschmodellen durchgeführt.

Mit der Übergabe der Verantwortlichkeit eines Fahrzeugprojektes an ein oder mehrere Werke beginnt die letzte Phase der PPA. Noch während der Inbetriebnahmephase laufen letzte Überprüfungen, Prozessparameter wie Schweißstromstärken, Drehmomente oder Taktzeiten sind in der Regel erst im Werk bekannt. Tauchen in diesen Phasen Probleme auf, sind Produktänderungen in der Regel nicht mehr vertretbar. Probleme, die in dieser Analysephase auftauchen, müssen häufig durch Anpassen des Prozesses oder von Ressourcen behoben werden.

Ausgehend von der oben vorgenommenen Beschreibung des Ist-Prozesses wird nun die Analyse durchgeführt. Ausgehend davon wird anschließend der Handlungsbedarf abgeleitet.

## **5.2 Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

In Kapitel 3 wurde erläutert, dass bei der Analyse oder der Gestaltung von Entwicklungsprozessen neben dem eigentlichen Prozess auch der Kontext des Prozesses berücksichtigt werden muss. Zur strukturierten Beschreibung des Kontextes der produktionsbezogenen Produktabsicherung wurde das EIMS mit den Bausteinen Prozesse, Methoden, Information und Daten, Informationssysteme sowie Organisation eingeführt. Die folgende Analyse gliedert sich anhand dieser Bausteine.

### **5.2.1 Analyse des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Der Prozess produktionsbezogene Produktabsicherung (PPA) zeichnet sich durch ein sehr dezentralisiertes, hoch arbeitsteiliges Vorgehen aus. Es ist charakteristisch, dass das Durchführen zahlreicher Absicherungsaktivitäten simultan in verschiedenen Fachbereichen mit unterschiedlicher Verantwortung und Kompetenz geschieht.

Das ist auf der einen Seite notwendig, da die Expertise verschiedener Fachleute aus unterschiedlichen Domänen erforderlich ist. Auf der anderen Seite ist es in dieser Konstellation sehr schwierig, ein abgestimmtes, redundanzfreies Vorgehen zu definieren. Es ist nicht trans-

parent, welcher Fachbereich welchen Beitrag zur produktionsbezogenen Produktabsicherung leistet, da ein übergeordnetes, von allen Beteiligten akzeptiertes Modell der Aktivitäten im Rahmen des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung und des jeweils gelieferten Beitrages fehlt.

Es kommt hinzu, dass es keinen, im unternehmensweiten Entwicklungsprozess verankerten, eigenständig definierten Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung gibt. Ebenso wenig ist dieses Mandat einer bestimmten Organisationseinheit direkt zugewiesen. Die anfallenden Absicherungsaktivitäten werden gewissermaßen „am Rande“ von ohnehin bereits im Entwicklungsprozess eingesetzten Absicherungsmethoden mit durchgeführt. Die beschriebenen Probleme lassen sich auf folgende Ursachen zurückführen:

- Es gibt keinen Prozessbeteiligten, der das Mandat PPA direkt verantwortet.
- Es ist nicht definiert, was der Gegenstand der PPA ist und welche Teilprozesse dazu gehören. Damit scheitert eine sinnvolle Verknüpfung der Teilprozesse.
- Es ist nicht transparent, welche Aufgabe ein einzelner Fachbereich in den Teilprozessen leisten kann.

### **5.2.2 Analyse der Absicherungsmethoden der PPA**

Die eingesetzten Absicherungsmethoden entsprechen für sich betrachtet dem heutigen Stand der Technik. Allerdings existieren kaum Methoden, die spezialisiert auf produktionsbezogene Produktabsicherung sind. Es werden vielmehr andere, ohnehin im Entwicklungsprozess eingesetzte Methoden zu diesem Zweck mitbenutzt. Aus diesem Grund sind die erzielten Absicherungsergebnisse nicht optimal.

Die Ursache hierfür liegt aber noch tiefer: Es ist grundlegend schwierig, Methoden zur Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung zu definieren. Dies gilt insbesondere, dann, wenn die konkrete Ausprägung des Produktionssystems zum Absicherungszeitpunkt nicht oder nur unvollständig bekannt ist. Damit können keinen konkreten Anforderungen und entsprechend auch keine konkreten Messgrößen definiert werden.

Nach wie vor spielen Untersuchungen an realen Prototypen bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung eine wichtige Rolle. Obwohl die Reduzierung der Anzahl von Prototypfahrzeugen durch den massiven Einsatz digitaler Absicherungsmethoden möglich sein wird,

ist das Potential des Prototypenbaus als Lernfeld weiter ausbaufähig. Ein Ansatzpunkt könnte die Übernahme von ausgedienten Serienproduktionssystemen zur Prototypenfertigung sein.

Zusammenfassend lassen sich die beschriebene Probleme auf folgende Ursachen zurückführen:

- Bewertungsmethoden setzen die Definition von Bewertungskriterien voraus [Ehrl03]. Die Möglichkeit, produktionsbezogene Kriterien zu spezifizieren, hängt von der Kenntnis des Produktionssystems ab. Ist dies zum Absicherungszeitpunkt noch nicht definiert, ist eine Absicherung gemäß der Definition der Absicherung in Kapitel 4 nicht möglich.
- Die eingesetzten Methoden sind nicht darauf optimiert, die produktionsgerechten Produktgestaltung abzusichern.
- Der Aufbau realer Prototypen wird nicht konsequent als Lernfeld genutzt, da die eingesetzten Produktionssysteme im Prototypenbau nur einen geringen Bezug zu Serienproduktionssystemen haben.

### **5.2.3 Analyse von Informationen und Daten der PPA**

Wie oben bereits angesprochen, ist das betrachtete Beispielszenario durch ein hoch arbeitsteiliges Vorgehen und dem entsprechend durch die Einbeziehung einer Vielzahl von unterschiedlichen Experten in verschiedene Domänen gekennzeichnet. Da zum einen die eingesetzten Verwaltungssysteme die Datenbereitstellung nicht optimal realisieren, zum anderen auch andere Sichten auf Daten und Information je nach Domäne notwendig sind, werden Informationen und Daten an verschiedenen Stellen bei Bedarf unabgestimmt mehrfach erzeugt. Dies kann ineffiziente Prozesse und fehlerhafte Absicherungsergebnisse zur Folge haben.

Eine weitere Herausforderung liegt im generellen Umgang mit Informationen in der produktionsbezogenen Produktabsicherung. Dabei ist es immer notwendig, Produkt, Prozess und die sie verknüpfende Relation zu berücksichtigen. Ist eine dieser drei Eingangsinformationen nicht aktuell oder nicht bekannt, sind die auf diesem unvollständigen Input basierenden Absicherungsaussagen ohne Wert. Besondere Tragweite erhält dieser Sachverhalt durch die oben bereits beschriebene, sehr häufig vorkommende Situation, wenn konkrete Ausprägungen des

Produktionssysteme noch nicht bekannt sind und als Input für Absicherungen vorweggenommen werden müssen. Zusammenfassend lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen.

- Anforderungen und Messgrößen zur PPA sind nicht adäquat definiert, beispielsweise die Güte oder der Reifegrad einer produktionsgerechten Produktgestaltung. Wie oben beschrieben, ist es dadurch schwierig, entsprechende Methoden bereitzustellen, die eben dieses abprüfen.
- Die Zusammenfassung einzelner technischer Absicherungsergebnisse und die Aggregation von einzelnen Ergebnissen in eine Maßzahl, wie es etwa im Sinne des Reifegrades im Rahmen der Projektsteuerung leistet, sind nicht einheitlich und transparent. Viele Einflussfaktoren aus dem Kontext des Absicherungsprozesses bleiben dabei unberücksichtigt, etwa unter welchen Umständen und mit welchen Annahmen Ergebnisse erzielt wurden.
- An unterschiedlichen Stellen werden die gleichen Informationen unabhängig voneinander erzeugt. Dies führt zu einer unkontrollierten Redundanz, die ineffizient ist und falsche Absicherungsergebnisse zur Folge haben kann.
- Die Vorwegnahme noch nicht endgültig getroffener Entscheidungen, um Inputparameter für Absicherungsuntersuchungen zu erhalten, muss mit sehr viel Bedacht geschehen. Stimmen vorweggenommene und später realisierte Entscheidung nicht überein, sind die auf diesen angenommenen Informationen basierenden Absicherungen wertlos.
- Es kommt dadurch zu Brüchen in der Absicherungskette, die die Aussagekraft und Nachhaltigkeit von Absicherungsergebnissen schwächen.

#### **5.2.4 Analyse der Informationssysteme der PPA**

Die eingesetzten Informationssysteme sind nicht optimal auf die Randbedingungen dieses Kontextes abgestimmt. Die hohen Anforderungen an eine bereichsübergreifende Zusammenarbeit wie beispielsweise die Bereitstellung fachspezifischer Sichten werden durch die eingesetzten Verwaltungssysteme nur ungenügend realisiert. Auch die Autorensysteme werden den Anforderungen an der Schnittstelle zwischen Produktabsicherung und Produktionsabsicherung nicht gerecht. Im Wesentlichen lassen sich drei Ursachen für unzureichende Unterstützung durch Informationssysteme in der PPA nennen:

- Die eingesetzten Informationssysteme sind nicht optimal auf den Einsatz über Bereichs- oder auch fachliche Grenzen hinweg abgestimmt. Es fehlen entsprechende domänenübergreifende Sichten und Schnittstellen zwischen Systemen.
- Der Umgang mit bereichsübergreifenden Information und Daten, sowie insbesondere den Relationen dazwischen, wird kaum unterstützt.
- Die eingesetzten Autorensysteme erfüllen nicht die notwendigen Anforderungen bezüglich Aussagekraft der erzielten Ergebnisse und Einsatzzeitpunkt. So ist beispielsweise ein sehr detailliert ausgearbeiteter Planungsstand notwendig, um in Planungsapplikationen Untersuchungen an Digitalen Modellen durchführen zu können. Durch die notwendige Vorbereitung sind sehr frühe, schnelle Absicherungsaussagen kaum zu realisieren. Da zudem das Produkt in frühen Phasen noch vielfältigen Veränderungen unterworfen ist, stellt es eine „unsichere“ Informationsbasis dar. Detaillierte Planungen sind dabei nur dann zu rechtfertigen, wenn Produktänderungen effizient in eine angepasste Planung überführt werden können. Gerade darin zeigen heutige Autorensysteme Schwächen.

### **5.2.5 Analyse der Organisation der PPA**

Um Schlussfolgerungen aus der vorgestellten Organisationsform für den Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung ziehen zu können, ist es sicher nicht ausreichend, die Organisationsstruktur als solche zu analysieren. Entscheidend ist die gelebte Organisation, und nicht die auf Papier dokumentierte, zumal für einen Prozess, der einen stark fachübergreifenden Charakter aufweist. Eine wichtige Funktion in der dargestellten Organisationsstruktur fällt der Produktionsplanung zu. Dort werden, in der Anlauffabrik, alle vor dem eigentlichen Serienbeginn benötigten realen Fahrzeuge aufgebaut. Dies umfasst sowohl den ersten realen Prototypen als auch Produktionstestfahrzeuge, die im Rahmen von Hochlauftests kurz vor Serienstart gefertigt werden. Dadurch stellt die Anlauffabrik eine Brücke zwischen der produktfokussierten Entwicklung und der Produktion dar, sie wirkt gewissermaßen als Integrator zwischen unterschiedlichen Organisationseinheiten und ist somit auch eine zentrale Drehschreibe für die produktionsbezogene Produktabsicherung.

Problematisch ist allerdings, dass sich Untersuchungen in der Anlauffabrik in starkem Maße am realen Fahrzeug abspielen, und damit zu einem Zeitpunkt, zu dem das Fahrzeug bereits fertig konstruiert ist und wo bereits Werkzeuge existieren. Damit ist eine frühe Produktbeeinflussung schon in der Entwicklung, getragen durch den breiten und über alle Organisations-

grenzen hinweg abgestimmten Einsatz informationstechnisch unterstützter Methoden und Tools, nicht gegeben.

Dies wird im Wesentlichen durch die unterschiedliche Interpretation von Zielkriterien bzw. durch Zielkonflikte zwischen Querschnittsfunktion, Linienfunktion und Baureihenprojekt verursacht. So ist etwa der Zeithorizont, in dem Querschnitts oder Linienfunktion operieren, mittel- bis langfristig, hingegen sind Baureihenprojekte stark operativ getrieben und somit sehr kurzfristig orientiert. Umgekehrt geht aus den Baureihenprojekten häufig eine starke Innovationskraft hervor, die getrieben wird durch eben diesen engen Zeitrahmen. Querschnitts- und Linienfunktionen fällt es dann häufig schwer, diesem Innovationstempo zu folgen, da sie einheitliche, abgestimmte und standardisierte Lösungen bereitstellen müssen.

All diese Randbedingungen müssen bei der Verbesserung eines Prozesses wie der produktionsbezogenen Produktabsicherung, dessen Umsetzung in der Praxis und bei der Entwicklung unterstützender Methoden und Tools berücksichtigt werden.

- Der Innovationskraft von Baureihenprojekten steht häufig eine Innovationsträgheit von Linien- oder Querschnittsfunktionen gegenüber. Diese wird verursacht durch den Standardisierungsauftrag.
- Die Anlauffabrik als zentrale Organisationseinheit in der produktionsbezogenen Produktabsicherung arbeitet traditionell sehr hardware-orientiert.

### **5.3 Handlungsbedarf zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Ausgehend von obigen Schlussfolgerungen lassen sich Handlungsfelder mit entsprechenden Handlungsbedarfen ableiten. Dies führt dann zu den die für diese Arbeit relevanten Forschungsfragen und Hypothesen.

#### **5.3.1 Handlungsfeld Prozess**

Es besteht die Anforderung, ein organisations- und prozessübergreifendes Verständnis von Absicherungsaktivitäten zu schaffen. Dazu ist ein Modell notwendig, das vor allem den verschiedenen existierenden Sichten auf Absicherungsaktivitäten Rechnung trägt, um so den Be-



teiligten als gemeinsames Leitbild bereit zu stehen. Damit muss dieses Modell die technischen Sachverhalte, etwa die Eignung des Produktes, die prozessualen Sachverhalte, beispielsweise die interdisziplinäre Zusammenarbeit, und die Besonderheiten von Absicherungsaktivitäten berücksichtigen. Erst damit wird es möglich sein, Anforderungen oder Messgrößen zur produktionsbezogenen Produktabsicherung so zu definieren, dass sie sich in den gesamten Entwicklungskontext einfügen und damit auch sinnvoll zur Gesamtbewertung der Produktionseignung eines Produktes aggregiert werden können. Dieses zu definierende Modell würde es weiterhin erleichtern, adäquate Absicherungsmethoden zu entwickeln und sie im Sinne einer durchgängigen Prozesskette einzusetzen.

### **5.3.2 Handlungsfeld Absicherungsmethoden**

Die oben beschriebenen Methoden, die im Rahmen der Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung zum Einsatz kommen, sind im Allgemeinen nicht auf diese Aufgabe hin optimiert. Vielmehr wird versucht, bereits etablierte Methoden zu nutzen bzw. deren Einsatzspektrum zu erweitern. Dabei ist zu prüfen, ob, basierend auf dem oben angesprochenen neuen Modell der PPA Erkenntnisse entstehen, die wiederum ihrerseits Anforderungen an Absicherungsmethoden der PPA liefern. Ob dies dann zwangsläufig neue Methoden oder Veränderungen bei den bereits eingesetzten Methoden zur Folge hat, ist zu prüfen.

### **5.3.3 Handlungsfeld Informationssysteme**

Die in der Analyse gezogenen Schlussfolgerungen weisen insbesondere auf den interdisziplinären Charakter der PPA hin. Diese Eigenschaft liefert direkt Anforderungen an Informationssysteme, die zur Unterstützung dieser Prozesse vorgesehen sind. Diese Anforderungen reichen von der Bereitstellung domänenspezifischer Sichten bis hin zum Umgang mit Produkt- und Prozessinformationen und den Relationen zwischen den Informationen in den eingesetzten Verwaltungssystemen. Ausgehend von dem in Kapitel 5.3.1 geforderten, abgestimmten Modell zur PPG-Absicherung sowie daraus abgeleiteten Anforderungen an Methoden zur PPG-Absicherung sind Autorensysteme gefordert, die die Durchführung dieser Methoden unterstützen. Insbesondere stehen dabei Anforderungen hinsichtlich des geeigneten Einsatzzeitpunktes im Vordergrund. Zusätzlich muss geklärt werden, wie Ergebnisse von Analysen, die von Autorensystemen durchgeführt werden, bewertet und interpretiert werden können. Um hier eine sinnvolle Einordnung und Interpretation liefern zu können, sind die

Wechselwirkungen mit dem zu entwickelnden Modells der PPG-Absicherung zu berücksichtigen.

### **5.3.4 Handlungsfeld Informationen und Daten**

Der bedarfsgerechte Umgang mit den Information und Daten der PPA muss gewährleistet werden. Dabei stehen vor allem die Aktualität von Daten und Information sowie die Transparenz der Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Informationen im Mittelpunkt. Außerdem ist es besonders im Kontext der Absicherung notwendig zu wissen, wie vertrauenswürdig und wie genau Informationen und Daten sind, und auf welchem Wege im Entwicklungsprozess sie entstanden sind, etwa durch eine Messung, eine Simulation oder eine Schätzung.

### **5.3.5 Handlungsfeld Organisation**

Wie eingangs erwähnt, ist die Organisation mehr als die strukturelle Gliederung eines Unternehmens, mehr als Berichtshierarchien und Aufgabenbereiche.

Letztlich geben die definierten Prozesse und die Aufbauorganisation nur die Spielregeln und das Rahmenwerk vor, innerhalb dessen Menschen zusammenarbeiten sollen. Dieses Zusammenarbeiten setzt allerdings voraus, dass unterschiedliche Menschen, die in verschiedenen Abteilungen verteilt sind, ein gemeinsames Ziel haben, an dessen Erreichen alle Parteien interessiert sind. Dieses Grundverständnis wird allerdings häufig überlagert von dem Versuch, Einzelinteressen durchzusetzen, um etwa das Mandat für bestimmte Themenbereiche und Aufgaben zu erlangen. Die Strategie des „Unternehmers im Unternehmen“, auch heute noch vielfach als Ideal für Führungskräfte zitiert, kann sich mitunter auch ins Negative auswirken. Diese „Lokalfürsten“ stehen Prozessveränderungen mitunter blockierend gegenüber, wenn damit eine Schwächung des eigenen Einflussbereiches einhergeht. Solche Konflikte müssen bei der Umgestaltung eines EIMS berücksichtigt werden.

Als ein weiterer prägnanter Sachverhalt trat bei der Praxistätigkeit im Rahmen dieser Arbeit mehrfach die Wichtigkeit einer geeigneten Personalstruktur auf. Insbesondere bei der Gestaltung und Analyse von Prozessen ist man auf erfahrene Arbeitskräfte angewiesen, die häufig ein tiefes Verständnis nicht nur für das „Wie?“ sondern vor allem für das „Warum?“ mitbrin-

gen. Unerfahrene Arbeitskräfte helfen dabei, eine neue Sicht auf alt hergebrachte Dinge zu gewinnen. Manch vielleicht auf den ersten Blick naive Frage kann dabei viel bewirken.

#### **5.4 Forschungsfragen und Hypothese**

Die Analyse und der daraus abgeleitete Handlungsbedarf führen zu den im Rahmen dieser Arbeit formulierten Forschungsfragen und der daraus abgeleiteten Hypothese.

Das Fehlen eines gemeinsamen Verständnisses aller am Absicherungsprozess Beteiligter und ihres jeweiligen Beitrages zur Absicherungsaufgabe wurde als grundlegendes Problem in der Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung identifiziert. Dies führt zum Ansatzpunkt der Forschung und somit zur ersten Forschungsfrage:

1. Wie muss ein Modell der produktionsbezogenen Produktabsicherung gestaltet sein, das eine von allen im Entwicklungs- und Absicherungsprozess beteiligten Domänen akzeptierte und anforderungsorientierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten liefert?

Um zu einer Verbesserung im Praxisumfeld beizutragen, müssen Erkenntnisse aus einem solchen Modell in die praktische Arbeit einfließen. Ausgehend von den aus der Analyse abgeleiteten Schlussfolgerungen wurden Absicherungsmethoden und Informationssysteme als weitere Handlungsfelder neben der Gestaltung eines übergreifenden Modells identifiziert. Die Forschungsfragen 2 und 3 befassen sich demnach mit der Gestaltung dieser Handlungsfelder.

2. Welche Konsequenzen sind, ausgehend von diesem Modell, bei der Definition eines auf die Besonderheiten der produktionsbezogenen Produktabsicherung abgestimmten EIMS zu berücksichtigen?
3. Welche Anforderungen ergeben sich daraus speziell an Informationssysteme, die zur produktionsbezogenen Produktabsicherung zum Einsatz kommen können?

Zusammengefasst führen diese drei Forschungsfragen zu folgender Hypothese.

#### **Hypothese**

Ein Modell, das eine anforderungsorientierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten liefert, schafft die Grundlage für die bedarfsgerechte Gestaltung aller Bausteine eines EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung.

Im folgenden Kapitel 6 wird ein solches Modell der PPA definiert. Die danach folgenden Beispiele im Rahmen der Validierung des Konzeptes in Kapitel 7 zeigen dann Vorgehensweisen auf, wie dieses Modell zur Analyse und Umgestaltung eines EIMS genutzt werden kann. Des Weiteren wird die Umgestaltung eines EIMS zur Verbesserung der Absicherung der Montagefähigkeit eines Cockpits vorgenommen.

## 6 Konzept zur produktionsbezogenen Produktabsicherung

Um die im vorangegangenen Kapitel formulierten Forschungsfragen zu beantworten und die daraus abgeleitete Hypothese zu belegen, wurde das nachfolgende Konzept entwickelt. Die Vorgehensweise lässt sich dabei in zwei gedankliche Schritte unterteilen:

Zunächst ist notwendig, ein geeignetes Modell zu beschreiben, das die Zusammenhänge von Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung aufzeigt. Basis dieses Modells ist der Reifegrad eines Entwicklungsprojektes, wie er im Stand der Wissenschaft und Technik im Kontext der Sachfortschrittskontrolle eingeführt wurde. Der Zusammenhang zwischen Reifegrad und Absicherung wird genutzt, um eine neue Definition des Reifegrades eines Produktes im Kontext der Produktentwicklungsmethodik zu formulieren. Besondere Berücksichtigung finden dabei die Anforderungen, die aus dem Themenfeld des Design for X erwachsen.

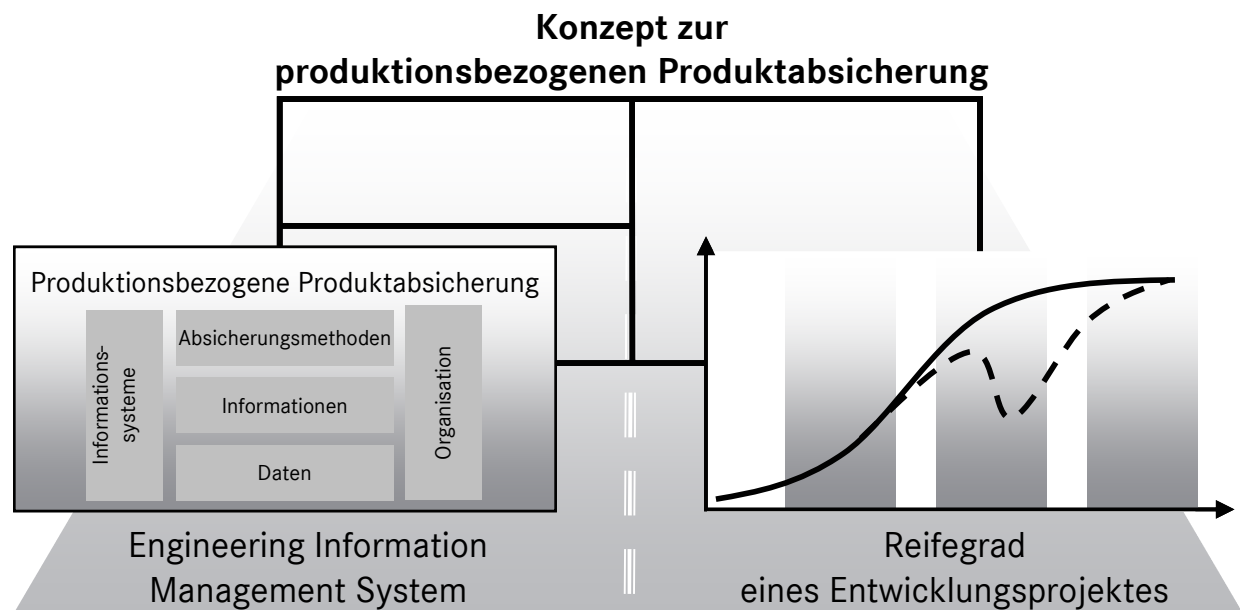


Abbildung 6-1 Vorgehen zur Erstellung und Anwendung des Konzeptes zur x-orientierten Absicherung

Um die Erkenntnisse und Zusammenhänge, die in diesem Modell enthalten sind, auch zur Optimierung von Absicherungsprozessen in der industriellen Praxis nutzen zu können, ist ein zweiter Schritt notwendig: die Integration der Bausteine des EIMS in das Modell. Dieser Schritt etabliert gewissermaßen eine Brücke zwischen Theorie und Praxis, die es ermöglichen

wird, konkrete Handlungsfelder zur Gestaltung und Realisierung einer x-orientierten Produktabsicherung zu realisieren. Diese beiden Schritte sind in **Abbildung 6-1** dargestellt.

## 6.1 Modell der x-orientierten Produktabsicherung

Ziel eines Modells der x-orientierten Produktabsicherung ist die Verknüpfung der drei Kernbegriffe Produkt, Produktions- bzw. X-System und Absicherungsaktivitäten. Um dies zu erreichen, ist ein „gemeinsamer Nenner“ erforderlich, eine Basis, die allgemeingültige Zusammenhänge aufzeigt und unterschiedliche Sichten integriert. Dabei steht die Förderung eines domänenübergreifenden Verständnisses aller Prozessbeteiligten als zentrale Aufgabe des Modells im Mittelpunkt.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, zeichnet sich der Reifegrad eines Produktes, wie er im Zuge des Entwicklungsmanagements verstanden wird, durch ganz ähnliche Eigenschaften aus: Der Reifegrad ist domänenunabhängig, umspannt den gesamten Entwicklungsprozess und stellt so eine normative Basis zur Steuerung eines Entwicklungsprojektes dar. Der enge Bezug zu Absicherungsaufgaben, etwa im Rahmen der Sachfortschrittskontrolle ist eine zweite Eigenschaft, die die Motivation für die Idee liefert, den Reifegrad als Ausgangsbasis für ein Modell der x-orientierten Produktabsicherung zu betrachten.

Der in Kapitel 3 dargestellte Umgang mit dem Thema Reifegrads hat allerdings keinen direkten technischen Bezug zum Produkt. Der Begriff Reifegrad wird bisher hauptsächlich im Sinne des Projektmanagements und -controlling verwandt, und dient zur Überwachung von „Zielkriterien“, die „geeignet“ zu definieren sind. Die Aufgabe, die sich daher stellt, ist die Erweiterung und Präzisierung des Verständnisses von Reifegrad vor dem Hintergrund Produkt, X-System und Absicherungsaktivitäten. Im Folgenden wird dazu der Zusammenhang zwischen Absicherung und Reifegrad aufgezeigt, und es wird eine Definition des Reifegrades basierend auf Theorien und Modellen aus der Konstruktionsmethodik vorgenommen. Dies liefert dann die Basis, um auch die Fragestellungen des Design for X in dieses Modell zu integrieren.

### 6.1.1 Absicherung und Reifegrad

Um den Zusammenhang zwischen Absicherung und Reifegrad aufzuzeigen, wird die praktische Vorgehensweise bei der Bestimmung des Reifegrades eines Produktes zu Grunde gelegt. Grundsätzlich besteht die Aufgabe bei der Ermittlung des Reifegrades eines Produktes im Sinne des Projektmanagements darin, den Status des momentanen Projektstandes mit den im Entwicklungsprojekt definierten Vorgaben zu vergleichen.

Hierzu werden die Vorgaben des Entwicklungsprojektes, beispielsweise dokumentiert als Lastenheft zur Entwicklung eines neuen Fahrzeugs, in Soll-Reifegrade überführt. Damit wird zu definierten Zeitpunkten die Erfüllung der im Lastenheft geforderten Eigenschaften verlangt. Dabei ist die notwendige zeitliche Verteilung, d.h. wann welche Eigenschaften einzufordern sind, maßgeblich von der Erfahrung bei der Abwicklung vorhergehender Projekte abhängig.

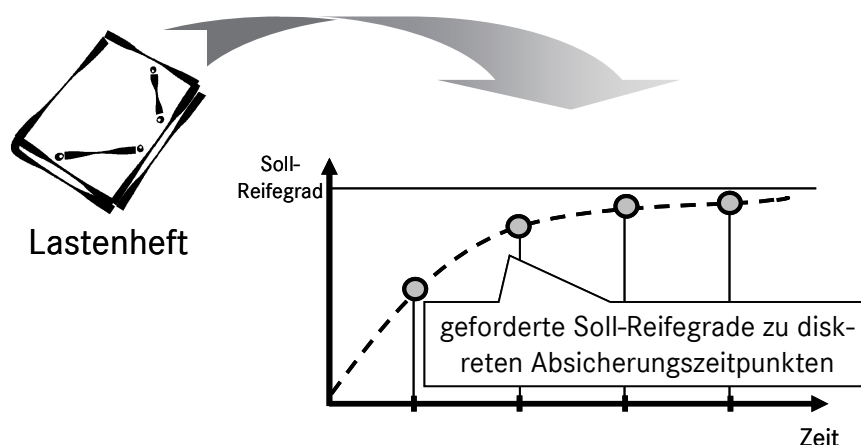


Abbildung 6-2 Die Soll-Reifegrade ergeben sich aus den im Lastenheft definierten Anforderungen.

Dabei kann man den Zielzustand auch als Soll-Reifegrad, den momentanen Stand auch als Ist-Reifegrad bezeichnen. Der Ist-Reifegrad wird in dieser modellhaften Darstellung durch die Durchführung einer Absicherung ermittelt. Der anschließende Vergleich mit dem vorgegebenen Soll-Reifegrad, die Ermittlung der Abweichung und die anschließende Entscheidung über das weitere Vorgehen im Entwicklungsprozess vervollständigen die Absicherungsaktivität und entsprechen somit der Vorgehensweise im Rahmen des „design decision making“, siehe Kapitel 4.

In der Literatur, aber auch in Projektberichten von Entwicklungsprojekten findet man häufig in diesem Zusammenhang grafische Darstellungen des Reifegradverlaufs. Dabei wird der Reifegrad in der Regel als durchgängige, mehr oder weniger stetig ansteigende und auf einen Grenzwert zusteuende Kurve dargestellt. Diese Darstellungen spiegeln allerdings nur sehr komprimiert den tatsächlichen Sachverhalt bei der Absicherung eines Entwicklungsstandes wieder, sie sind für die hier notwendige detaillierte Betrachtung zur Optimierung eines Entwicklungsprozesses nicht ausreichend. Die folgenden Ausführungen erläutern, weswegen die konzeptionelle Trennung von „Entwicklungsstand“ und „Reifegrad“ notwendig ist, und welche Rolle dabei der Absicherung zukommt.

Zur Ermittlung des Reifegrades sind zwei Eingangsgrößen notwendig. Der Entwicklungsstand zum Absicherungszeitpunkt und der geforderte Zielzustand zu eben diesem Zeitpunkt, siehe **Abbildung 6-3**.

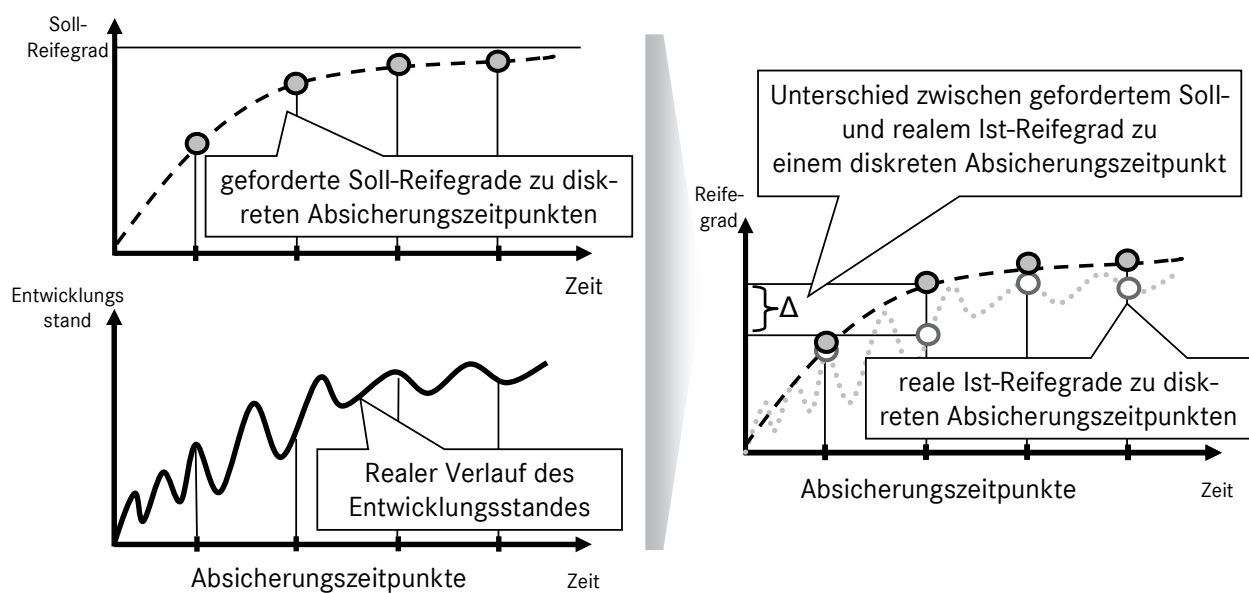


Abbildung 6-3 Zusammenhang zwischen Soll-Reifegrad, Entwicklungsverlauf und Ist-Reifegrad

### Definition: Entwicklungsstand

Der Entwicklungsstand ist der zeitkontinuierliche, aggregierte Arbeitsstand aller Teilnehmer im Entwicklungsprozess. Der Entwicklungsstand kann auch absinken: Produktänderungen, andere Absicherungsmethoden oder Änderungen im Produktionssystem können Maßnahmen zur Korrektur von bereits für gut befundenen Lösungen erforderlich machen.



**Anmerkung:** Der Autor lässt es ausdrücklich offen, ob das beschriebene Absinken wie in **Abbildung 6-3** dargestellt ausgeprägt ist, oder ob es gar zu einem senkrechten Abfall des Entwicklungsstandes („Sägezahnprofil“) kommen kann. Beides ist denkbar.

Diese modellhaften Betrachtungen implizieren zunächst zwei wesentliche Merkmale des Reifegrades:

- Nur durch die Absicherung eines Entwicklungsstandes kann ein Vergleich mit dem vorgegebenen Soll-Reifegrad im Sinne des Projektmanagements durchgeführt werden. Ein Entwicklungsstand ohne Absicherung hat keinen Reifegrad
- Der Entwicklungsstand existiert zeitkontinuierlich, der Reifegrad ist zeitdiskret, da er nur zum Zeitpunkt der Absicherung („Ist-Reifegrad“) bzw. zu einem im Entwicklungsprojekt definierten Zeitpunkt („Soll-Reifegrad“) definiert ist.

Beide Erkenntnisse werden im Folgenden detaillierter untersucht.

#### 6.1.1.1 Zusammenhang zwischen Absicherung und Reifegrad

Im Verlaufe eines Entwicklungsprozess arbeiten viele Menschen in einem, womöglich global verteilten, EIMS zusammen. Diese Menschen sind Experten für verschiedene Aspekte des zu entwickelnden Produktes und steuern ihren Beitrag zum Gelingen des Produktentwicklungsprojektes bei. Zu jedem Zeitpunkt im Entwicklungsprozess kann jeder Teilnehmer am Entwicklungsprozess seinen momentanen Arbeitsstand zur Gesamtaufgabe beisteuern. Dieser aggregierte Arbeitsstand wurde als Entwicklungsstand definiert.

Um nun herauszufinden, wie weit ein Entwicklungsstand vom angepeilten Zielzustand des Entwicklungsprojektes entfernt ist, ist eine Absicherung, oder genauer, ein Absicherungsprozess notwendig. Das oben im Rahmen der Analyse der PPA detailliert beschriebene EIMS ist somit als ein Teil des globalen EIMS zu verstehen, es ist nämlich der Teil, der den Prozess der Produktionsbezogenen Produktabsicherung umfasst.

In Kapitel 3 wird beschrieben, dass zur Durchführung einer Absicherung verschiedene Analysemethoden zum Einsatz kommen können. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, inwieweit die eingesetzte Analysemethode das Analyseergebnis beeinflusst, es ergibt sich eine vergleichbare Problemstellung wie beim Messen physikalischer Größen. Zur korrekten Durch-

führung einer Messung ist ein geeignetes Messverfahren erforderlich, des Weiteren die Angabe eines Fehlerkorridors und eines Vertrauensbereichs. Diese Forderung hat auch bei der „Messung“ des Reifegrades ihre Berechtigung. Von welchen Faktoren eine „Messung“ des Reifegrades in diesem Kontext abhängt und wie man diese berücksichtigen kann wird bei der Definition des Modells der x-orientierten Produktabsicherung nochmals aufgegriffen, um die entsprechenden Konsequenzen bei der Gestaltung eines EIMS berücksichtigen zu können.

#### 6.1.1.2 Kontinuierlicher Entwicklungsstand und zeitdiskreter Reifegrad

In vorhergehenden Abschnitt wurde die Definition des Entwicklungsstandes als aggregierte Arbeitstände eines jeden Beteiligten im Entwicklungsprozess eingeführt. Damit ist gleichzeitig beschrieben, dass der Entwicklungsstand zu jedem Zeitpunkt, also zeitkontinuierlich existiert. Da die Ermittlung des Reifegrads, wie ebenfalls oben beschrieben, an die Durchführung einer Absicherung gebunden ist, ergibt sich ein zeitdiskretes Verhalten des Reifegrades. Er ist damit in gewissem Sinne wie eine Momentaufnahme bzw. ein Standbild des Entwicklungsstandes zu verstehen. Dies deckt sich auch mit den grundlegenden Annahmen der existierenden Verfahren zum Reifegradmanagement, siehe Kapitel 4.

Erst durch den zeitdiskreten Charakter des Reifegrads wird es möglich, verschiedene Teilprozesse im gesamten Entwicklungsprozess zu synchronisieren und zusammenzuführen. Dennoch erwachsen aus der Diskrepanz zwischen kontinuierlichem Entwicklungsstand und diskretem Reifegrad Probleme. Diese seien im Folgenden an einigen Beispielen aus der Praxis ausgeführt:

Es ist immer wieder zu beobachten, dass Entwicklungsprojekte das Projektziel im Rahmen der zeitlichen, finanziellen und personellen Begrenzung nicht erreichen, d.h. dass die Erfüllung aller Anforderungen nicht erreicht wird. Personalaufwand oder Kosten sind höher als veranschlagt, oder im Rahmen von Rückrufaktionen müssen technische Defizite behoben werden. Beide Phänomene lassen sich durch den zeitkontinuierlichen Charakter des Entwicklungsstandes sowie den zeitdiskreten Charakter des Reifegrades modellhaft erklären.

Auf der linken Seite in Abbildung 6-4 ist ein Entwicklungsverlauf dargestellt, bei dem versucht wird, etwa durch verstärkten Ressourceneinsatz vor Erreichen der Absicherungszeitpunkte die zu bestimmten Zeitpunkten geforderten Zielvorgaben, also den Soll-Reifegrad, zu

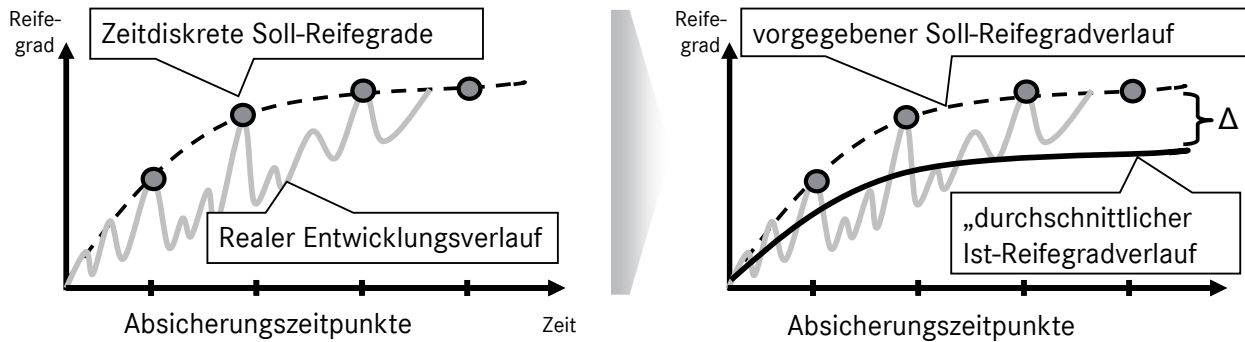


Abbildung 6-4 Steigerung des Entwicklungsstandes vor Absicherungspunkten täuschen über den realen Reifegrad hinweg

erfüllen. Dabei bilden sich eben zu diesen Zeitpunkten überproportionale Reifegradzuwächse. Dies hat insgesamt zur Folge, dass eben zu diesen Zeitpunkten der Entwicklungsstand weit positiver erscheint, als er in der Realität tatsächlich ist. Dies ist auf der rechten Seite der Abbildung dargestellt. Der „durchschnittliche“ Entwicklungsverlauf, liegt, trotz der Peaks, die mit den eigentlichen Sollvorgaben übereinstimmen, unter dem eigentlich anvisierten Soll-Reifegradverlauf.

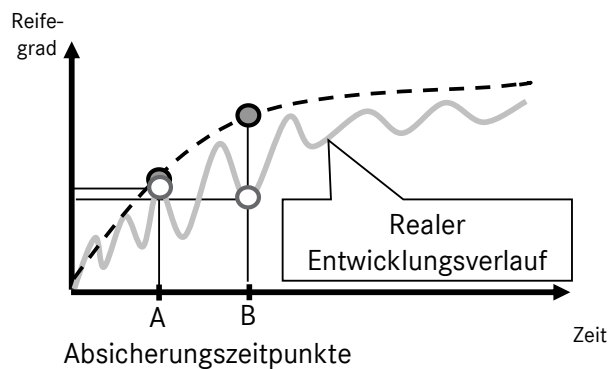


Abbildung 6-5 Absicherungen treffen zufällig auf Peaks oder Senken des Entwicklungsstandes und führen so zu falschen Interpretationen des Entwicklungsverlaufes

Auf die gleiche Ursache, nämlich den zeitkontinuierlichen Verlauf des Entwicklungsstandes und den zeitdiskreten Charakter des Reifegrades, lässt sich eine weitere kritische Situation in Entwicklungsprojekten zurückführen. In **Abbildung 6-5** sind Reifegrade zu zwei unterschiedlichen Absicherungszeitpunkten dargestellt. Durch die eigentlich unbekannt, da nicht gemessenen Schwankungen des Entwicklungsstandes kommt es hier zur Situation, dass der tat-

sächliche Entwicklungsstand unterschiedlich gut approximiert wird. So gaukelt der so abgesicherte Ist-Reifegrad zum ersten Absicherungszeitpunkt ein sehr positives Ergebnis vor, weil er durch Zufall genau einen Peak des Entwicklungsstandes aufnimmt. Die Absicherung zum zweiten Absicherungszeitpunkt hingegen fällt genau in eine Senke des Entwicklungsstandes. Hier könnte eine kritische Projektsituation hineininterpretiert werden, welche den womöglich unnötigen Einsatz von zusätzlichen Ressourcen zur Folge haben könnte.

Analog zu den Ausführungen in 6.1.1.1 werden auch diese Erkenntnisse bei der Definition des Modells der x-orientierten Produktabsicherung berücksichtigt.

## **6.1.2 Produktentwicklungsmethodik und Reifegrad**

Der Prozess der Absicherung, wie er im Rahmen dieser Arbeit definiert wurde, umfasst nur einen kleinen Teil aller Aktivitäten, die zur Entwicklung und Produktion eines Produktes erforderlich sind. Um zu einem grundsätzlichen Modell der x-orientierten Absicherung zu gelangen, ist es daher notwendig, die grundlegenden Prinzipien, wie Produkte entwickelt werden und entstehen, zu kennen und zu berücksichtigen. In den vorangehenden Absätzen wurde der Reifegrad als zentraler Begriff und mögliche Basis für ein übergreifendes Modell der x-orientierten Absicherung identifiziert. Im Folgenden wird der Reifegrad im Kontext der Produktentwicklungsmethodik näher untersucht. Dies geschieht anhand des Ansatzes Property-Driven Development (PDD).

Wie in Kapitel 3 beschrieben, existieren viele verschiedene oder sich ergänzende Ansätze in der Produktentwicklungsmethodik. Nur in wenigen wird explizit der Begriff Reifegrad genannt, am intensivsten wird dieses Thema noch im Rahmen des Decision making behandelt. Wissenschaftliche oder praktische Arbeiten beschäftigen sich bis auf wenige Ausnahmen (z.B. [Pfei05]) vorrangig mit dem Begriff Reifegrad im Sinne des Projekt- oder des Prozessmanagements. Um in diesem Kontext dennoch eine Verknüpfung von Produktentwicklungsmethodik und Reifegrad zu erreichen, erscheint insbesondere der Ansatz PDD interessant, da einige Eigenschaften gegeben sind, die für die diskutierte Aufgabenstellung von großer Bedeutung sind:

- Der Reifegrad ist in PDD sehr einfach modellier- und definierbar. Dies ist detailliert in Abschnitt 6.1.2.1 dargestellt.

- Der im Rahmen dieser Arbeit besonders wichtige Aspekt in der Produktentwicklungsmethodik, die Absicherungsaktivitäten, taucht im Ansatz PDD explizit auf. Sie finden ihre Entsprechung in den in PDD definierten Analysen, die als Gegensatz zu Synthesen aufgeführt werden. Analyse bedeutet dabei die Ermittlung der momentanen Eigenschaften eines Produktes ausgehend von den momentan definierten Merkmalen.
- Der Absicherungsprozess, wie er im Rahmen der Analyse der Absicherungsaktivitäten in der Automobilindustrie beschrieben ist, umfasst mehrere Entwicklungsphasen. Diese können in PDD durch entsprechende Zyklen modellhaft beschrieben werden.
- Diese Arbeit zielt insbesondere auf die Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung ab. Damit tangiert sie ein klassisches DfX-Thema. PDD liefert mit der Erweiterung des Ansatzes um das X-System die methodische Grundlage für die Fragestellungen, die sich aus diesem besonderen Kontext ergeben.

#### 6.1.2.1 Modellierung und Definition des Reifgrades in PDD

In PDD werden grundsätzlich Merkmale und Eigenschaften unterschieden. Dabei beschreiben Merkmale die Struktur, die Gestalt und die Beschaffenheit von Produkten, wohingegen die Eigenschaften das Verhalten eines Produktes beschreiben. Ziel im Rahmen eines Produktentwicklungsprojektes ist es demnach, die beispielsweise im Lastenheft geforderten Eigenschaften zu erreichen. Damit ist es grundsätzlich möglich zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften zu unterscheiden. Soll-Eigenschaften sind die als Ziel vorgegebenen Eigenschaften, die am Ende des Entwicklungsprozesses erreicht werden sollen. Damit entsprechen Sie den Zielkriterien, einem Begriff aus dem Kontext von Bewertungsmethoden. Grundsätzlich ist dabei zu beachten, dass zur Ermittlung der Soll-Eigenschaften (der Zielkriterien) eine Analyse der Merkmale des Produktes notwendig ist. Im Gegensatz dazu sind die Ist-Eigenschaften diejenigen Eigenschaften, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Rahmen einer Analyse der Merkmale ermittelt werden.

Um zu einer Definition des Reifgrades in zu PPD gelangen, soll der Übersichtlichkeit halber zunächst nur eine Eigenschaft berücksichtigt werden. Bezeichnet man die vollständige Übereinstimmung von Ist- und Soll-Eigenschaft als einen Reifegrad von 1 oder 100%, so lässt sich der zu einem Entwicklungszeitpunkt  $t$  vorliegende Reifegrad  $R_j(t)$  der Eigenschaft  $P_j$  mathematisch wie folgt definieren:

$$R_j(t) = 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \quad (1)$$

vereinfacht: 
$$R_j(t) = 1 - \Delta p_j(t) \quad (2)$$

**Anmerkung:** Mathematisch einfacher ist der gleichwertige Ausdruck  $\frac{P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}}$ . Allerdings

wird dennoch die Darstellung gemäß Formel (2) favorisiert: Die „1“ in Formel (2) entspricht dabei dem Zielzustand („100% Eigenschaftserfüllung“), von dem die normierte Eigenschaftserfüllung zum Zeitpunkt t abgezogen wird.

Dabei bezeichnet  $P_{j,soll}$  die Soll-Eigenschaft und  $P_{j,ist}(t)$  entsprechend die Ist-Eigenschaften zu einem Absicherungszeitpunkt t. Wie in [Webe07] ausgeführt, sind dabei bezüglich der Eigenschaft einige Besonderheiten zu beachten:

- Die Eigenschaft muss zähl- oder messbar sein.
- Die Eigenschaft verbessert sich mit steigenden Werten („je größer, desto besser“).
- Übererfüllung einer Eigenschaft ist möglich und wird belohnt, d.h. es sind auch Werte von  $R_j(t) > 1$  möglich.

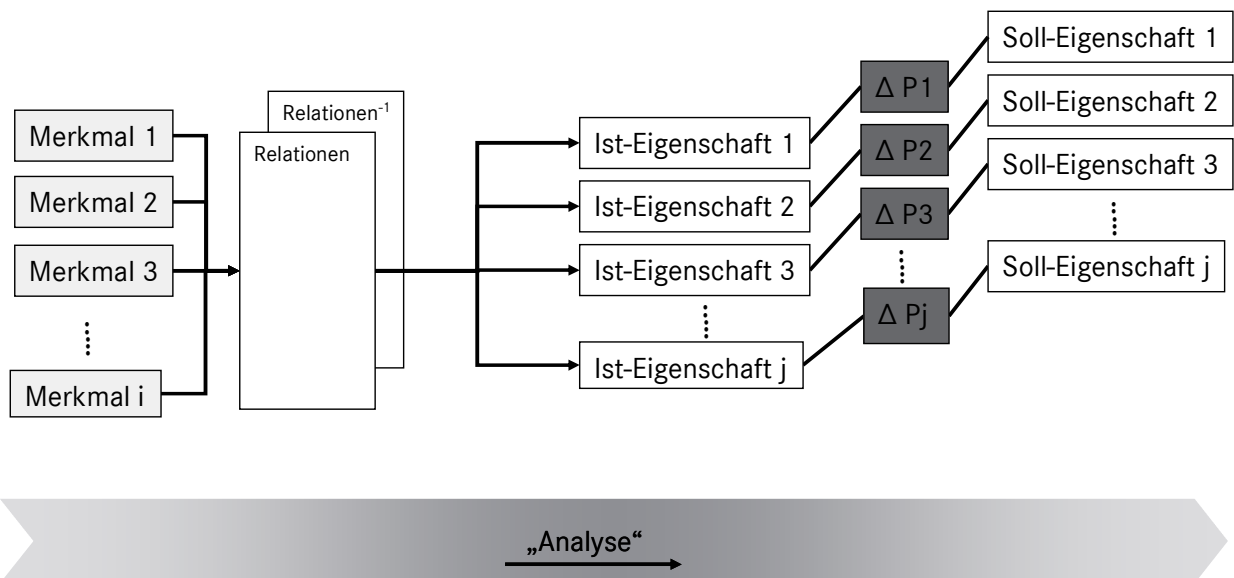


Abbildung 6-6 Grundsätzliches Modell des Reifegrades in PPD

### 6.1.2.2 Gesamtreifegrades eines Systems zum Zeitpunkt t

Der Gesamtreifegrades eines Produktes  $R_{ges}(t)$  zum Zeitpunkt t lässt sich aus der Summe der Reifegrade je Eigenschaft und lässt sich gemäß (3) wie folgt formulieren:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n R_j(t) \quad (3)$$

mit (1) ergibt sich:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \right) \quad (4)$$

Dabei ist n die Anzahl der Eigenschaften und  $R_j(t)$  der Reifegrad der Eigenschaft j zum Zeitpunkt t. Natürlich ist es weiterhin möglich, die besondere Bedeutung einzelner Eigenschaften durch die Vergabe von Gewichtungsfaktoren zu berücksichtigen. Auf eine detaillierte Darstellung sei aber hier verzichtet.

Grundsätzlich ist der Gesamtreifegrad gemäß Formel (4) eine formelle Darstellung, die allein im Kontext des PDD gültig ist. Die praktische Anwendbarkeit, beispielsweise zur Beurteilung eines Entwicklungsprojektes, steht hier nicht im Mittelpunkt. Derichs [Deri97] stellt hierzu fest, „das die Aggregation einer solchen Gradzahl nicht sinnvoll erscheint, da die für die Beurteilung relevanten Informationen nach einer derartigen Verdichtung nicht mehr erkennbar sind“.

### 6.1.3 Einflussfaktoren auf den Reifegrad

Bei der Durchführung x-orientierter Absicherungen treffen zwei grundsätzliche Problemstellungen aufeinander. Zum einen die besonderen Rahmenbedingungen, die durch den Prozess der Absicherung als solche auftreten und zum anderen die oben diskutierten Problemfelder aus dem Kontext des Design for X,

Die in Kapitel 4 beschriebene Vorgehensweise bei der PPA in der Praxis zeigt auf, dass Einflüsse aus dem gesamten EIMS zu berücksichtigen sind: Welche Daten liegen einer Analyse zu Grunde, wie aktuell sind sie und welche Absicherungsmethoden kommen dabei zum Einsatz? Alle diese Faktoren beeinflussen die „Messung“ des Reifegrades und müssen daher in der Definition berücksichtigt werden. Um die folgenden Überlegungen, die letztlich zu einer

Erweiterung der Reifegraddefinition aus Formel (4) führen, besser nachvollziehen zu können, wird die Herleitung durch ein praktisches Beispiel ergänzt:

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes in der Automobilindustrie soll die produktionsbezogene Absicherung eines Cockpits durchgeführt werden. Eine ganz wesentliche Rolle spielt dabei die Untersuchung der Montierbarkeit aller Einzelteile des Cockpits im Rahmen einer Vormontage und der Einbau des gesamten Cockpitmoduls in die Fahrzeugkarosserie. Hierzu werden, gemäß **Abbildung 6-7**, zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten A und B Absicherungsaktivitäten durchgeführt.

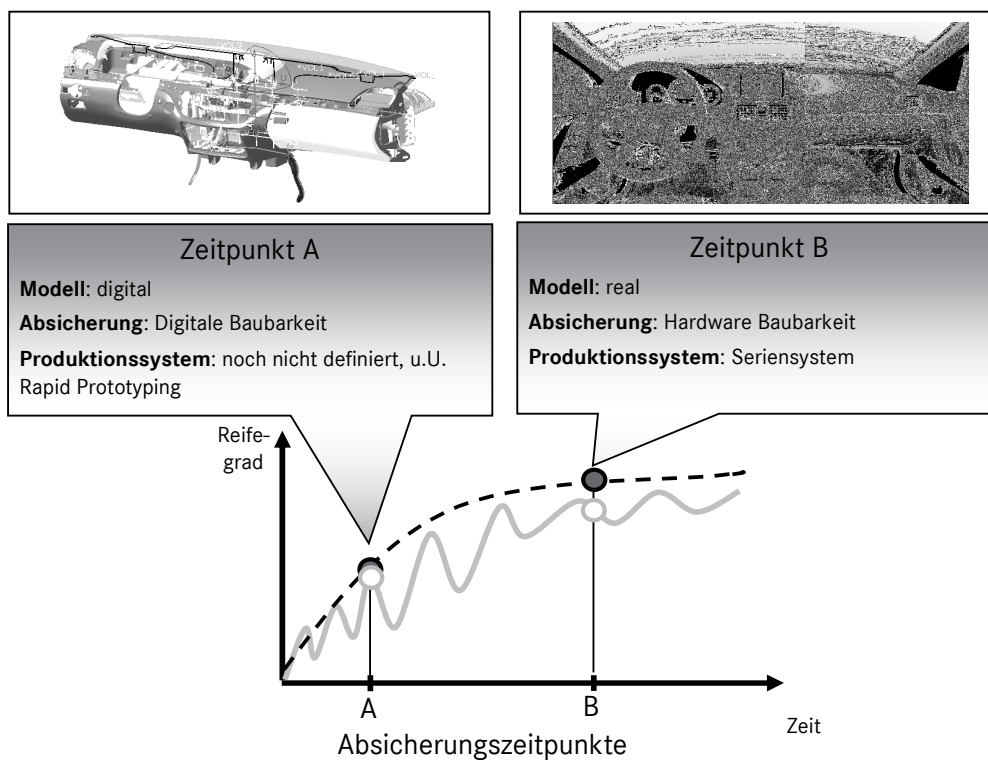


Abbildung 6-7 Beispiel zu Absicherungsaktivitäten zur Überprüfung der produktionsgerechten Produktgestaltung zu verschiedenen Zeitpunkten.

Dabei beschreibt Zeitpunkt A einen frühen Entwicklungszeitpunkt. In diesem Beispiel sei angenommen, dass zu diesem Zeitpunkt bereits ein digitales Modell des Cockpits existiert. Dieses Modell wird, beispielsweise im Rahmen der Methode Digitale Baubarkeit, auf Produktionsgerechtigkeit hin untersucht. Weiterhin kann, ausgehend von diesem Modell, beispielsweise durch ein Rapid Prototyping-Verfahren, ein erster realer Prototyp gefertigt werden.



Der Zeitpunkt B, etwas später im Entwicklungsprozess, erlaubt nun aufgrund des weiter vorangeschrittenen Entwicklungsprozess und des damit detaillierteren Entwicklungsstandes andere Absicherungsaktivitäten. So sei angenommen, das zum Zeitpunkt B das reale Serienwerkzeug, mit dem das Cockpit in Serie gefertigt werden soll, zur Verfügung steht. Damit können nun wiederum reale Prototypen erzeugt werden, die in diesem Fall im Rahmen der Absicherungsmethode Hardware-Baubarkeit abgesichert werden.

Es ist leicht einzusehen, das die zu den Zeitpunkten A und B durchgeführten Absicherungen völlig verschiedene Wertigkeiten haben, da die Absicherung und damit die Reifegradaussagen unter jeweils sehr unterschiedlichen Vorraussetzungen zustande gekommen ist. Es werden unterschiedliche Absicherungsmethoden eingesetzt, die auf digitalen oder realen Modellen beruhen, und die realen Modelle werden durch unterschiedliche Fertigungsverfahren hergestellt. So werden die ersten realen Modelle von Bauteilen meist durch Rapid Prototyping Verfahren hergestellt, die Kunststoffteile eines Cockpits etwa durch Stereolithographie. Die tatsächlichen Serienwerkzeuge, die entsprechend dann auch für höhere Stückzahlen ausgelegt sind entsprechen dann mitunter einem ganz anderen Fertigungsverfahren, beim Cockpit könnte beispielsweise ein Spritzgussverfahren zum Einsatz kommen. Das bedeutet, dass, selbst wenn sich Produktgeometrie und Werkstoff in diesem Zeitraum nicht verändern, allein durch die unterschiedlichen Produktionssysteme sehr große Schwankungen bezüglich der Maßhaltigkeit auftreten können. Bezogen auf das angesprochene Cockpit bedeutet dies, dass sich Passungen verändern werden, und somit die Montierbarkeit vereitelt werden kann, auch sind unzulässig hohe Fügekräfte eine mögliche Folge.

Diese Aspekte aus der Anwendung von Absicherungsmethoden in der Praxis sind bisher noch nicht in der Reifegradformel (4) berücksichtigt. Da PDD die Basis für diese Formel liefert, wird das Beispiel des Cockpits in das Modell PDD überführt.

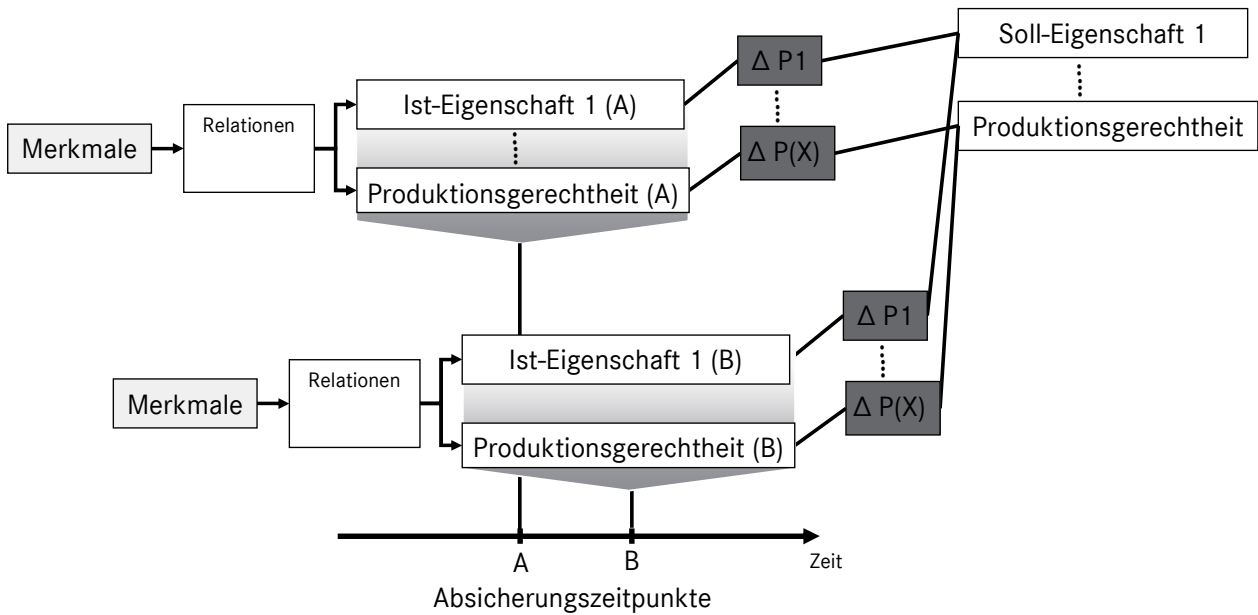


Abbildung 6-8 Die Erfüllung der Soll-Eigenschaft „produktionsgerecht“ ist abhängig von der konkreten Ausprägung des Produktionssystems zum Absicherungszeitpunkt.

In **Abbildung 6-8** sind die beiden Absicherungszeitpunkte A und B in der modellhaften Darstellung von PPD abgebildet. Dabei ist im Hintergrund die Situation zum Absicherungszeitpunkt A, im Vordergrund zum Absicherungszeitpunkt B, dargestellt. Neben verschiedenen Soll-Eigenschaften ist in dieser Abbildung die Eigenschaft Produktionsgerechtheit dargestellt. Sie hat, bezogen auf das obige Beispiel besondere Bedeutung. Produktionsgerechtheit als Soll-Eigenschaft zu fordern, ist, ausgehend von den voran stehenden Ausführungen zum Thema Design for X, kritisch. Produktionsgerechtheit, oder allgemeiner, x-Gerechtigkeit, ist immer abhängig von der konkreten Ausprägung des Produktionssystems, allgemein des X-Systems. Im vorliegenden Fall bedeutet das, dass die Erfüllung der Soll-Eigenschaft Produktionsgerecht zum Zeitpunkt A der momentanen Ausprägung des X-Systems, einem Rapid-Prototyping Verfahren, zum Zeitpunkt A genügen kann.

Dies hat Konsequenzen bezüglich der Robustheit bzw. dem Vertrauensbereich von Reifegradaussagen. Eine sichere Prognose, ob die Produktionsgerechtheit im späteren, zum Zeitpunkt B, eingesetzten Serienverfahren auch gegeben ist, ist nicht möglich. Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass sich das Produktionssystem, das im Rahmen von produktionsbezogenen Absicherungen das Bezugssystem darstellt, verändert. Dieser Sachverhalt ist detailliert in Abbildung 6-9 dargestellt.

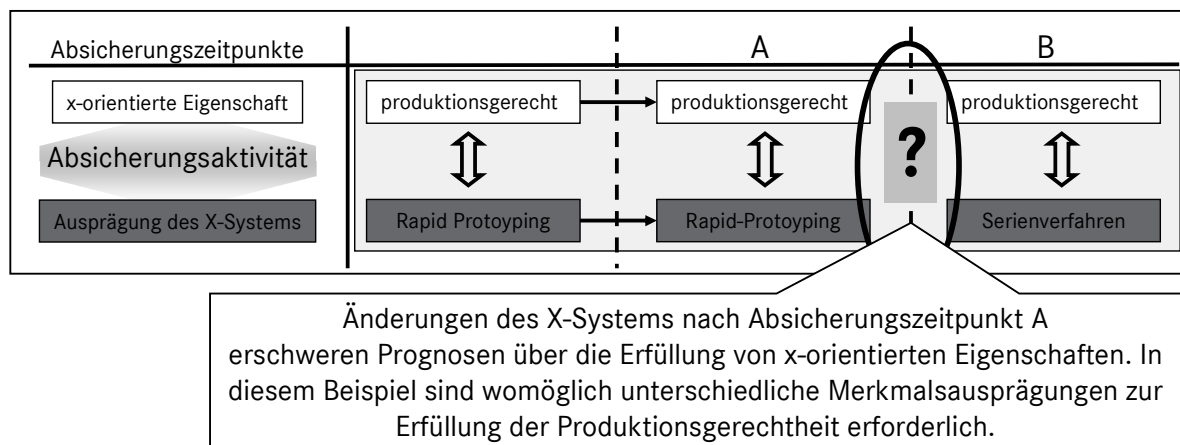


Abbildung 6-9 Auswirkung von Änderungen des X-Systems auf die Prognose von Reifegradaussagen

### 6.1.3.1 Einflussfaktoren aus dem Design for X

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass sich der Reifegrad eines Produktes auch losgelöst von der klassischen Verwendung im Management von Entwicklungsprojekten im Rahmen der Produktentwicklungsmethodik definieren lässt. Dabei können mathematische Zusammenhänge definiert werden, die eine ähnliche Struktur wie bekannte Definitionen aus dem Projekt- bzw. Prozessmanagement aufweisen [DaFi00]. Die Integration und Berücksichtigung von Aspekten des Design for X bleibt schwierig, insbesondere wenn sich konkrete x-orientierte Anforderungen durch die konkrete Ausprägung des X-System erst im Laufe des Produktentwicklungsprozesses manifestieren.

In der Produktentwicklungsmethodik gibt es dennoch Ansätze, mit solchen Phänomenen umzugehen. So behandelt die Theory of Dispositions [SAKR05] etwa den Sachverhalt, dass Entscheidungen und Festlegungen, die bei der Entwicklung eines Produktes getroffen werden, besondere Anforderungen („Dispositions“) aufwerfen, die an anderer Stelle zum Tragen kommen. Dieser Sachverhalt trifft besonders auf das obige Beispiel, die parallele Gestaltung von Produkt und Produktionssystem, zu. Entscheidungen auf der einen Seite führen zu Anforderungen auf der anderen Seite und umgekehrt. Die Theorie of Dispositions bietet keine generelle Lösung für diese Problematik, gibt aber verschiedene Hinweise, wie man solchen Situationen begegnen kann. Eine davon ist beispielsweise die Formulierung wichtiger, globaler Ziele für das Entwicklungsprojekt, etwa mit Hilfe der DFX-Matrix.

Dies führt dazu, dass die in Formel (4) vorgenommene Definition des Reifegrads die Erkenntnisse aus der Produktentwicklungsmethodik, vor allem aus dem Design for X, nicht ausreichend widerspiegelt. Es ist notwendig, die Eigenschaften, deren Erfüllung oder Nichterfüllung von der Ausprägung des X-Systems abhängen, gesondert zu behandeln. Dies geschieht zunächst formell durch die Einführung des Faktors  $\sigma$ , der als ein vom X-System abhängiger Unschärfefaktor verstanden werden kann.

mit (4) ergibt sich:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \cdot \sigma_j \right) \quad (5)$$

dabei gilt:

$$\sigma_j = \sigma_j(X - System) \quad (6)$$

Welche Werte dieser Unschärfefaktor annehmen kann und von was er abhängt, wird in Kapitel 6.1.4 detaillierter diskutiert.

### 6.1.3.2 Einflussfaktoren aus Absicherungsaktivitäten in der Praxis

Das obige Beispiel zeigt zwei wichtige Einflussfaktoren von Absicherungsaktivitäten in der Praxis auf. Besonders hinsichtlich der Absicherung der x-Gerechtigkeit, im obigen Beispiel war es die Produktionsgerechtigkeit, ist zu beachten, dass die Ausprägung des X-Systems, hier war es das Produktionssystem, Veränderungen unterworfen sein kann und demnach zu Brüchen in Absicherungsketten führen kann. Der zweite, bisher nicht diskutierte Einflussfaktor sind die Absicherungsmethoden selbst.

Im Beispiel kommen zwei sehr unterschiedliche Arten von Absicherungsmethoden vor. Die eine Methode, die Digitale Baubarkeit, bedient sich eines digitalen Modells und analysiert gewisse, in diesem Modell enthaltene Eigenschaften. Die andere, Hardware- bzw. reale Baubarkeit, untersucht die Eigenschaften anhand physisch real existierender Artefakte.

Das bisher zur Ausprägung des X-Systems Gesagte spielt dabei vor allem für die Methode der Hardware-Baubarkeit eine wichtige Rolle. Dabei ist vor allem zu berücksichtigen, auf welche Art und Weise diese Artefakte erzeugt wurden, ob etwa, wie im obigen Beispiel ein Rapid-Prototyping oder ein Serienverfahren eingesetzt wurden.

Bei der Betrachtung der Digitalen Baubarkeit drängen sich ganz ähnliche Überlegungen auf. Wie ist das Modell zu Stande gekommen, spiegelt es die modellierte Realität in geeigneter Art und Weise wider und entspricht das Modell „gut genug“ dem späteren realen Artefakt?

Diese Überlegungen zeigen auf, dass aufgrund praktischer Beobachtungen eine weitere Erweiterung der mit Formel (4) gelieferten grundlegenden Reifegraddefinition notwendig ist. Dabei sind die Einflüsse der unterschiedlichen Absicherungsmethoden, formell sogar des gesamten EIMS auf das Absicherungsergebnis zu berücksichtigen. Diese Überlegungen führen dazu, die Reifegraddefinition (6) nochmals zu erweitern. Der Faktor  $\sigma$ , der die Aussagesicherheit pro Eigenschaft erfasst, ist abhängig von der Ausprägung des X-Systems und der Absicherungsmethode, d.h. im erweiterten Sinne letztlich von dem gesamten am Absicherungsprozess beteiligten EIMS:

mit (4) ergibt sich:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \cdot \sigma_j \right) \quad (5)$$

dabei gilt:

$$\sigma_j = \sigma_j(X - System; EIMS) \quad (7)$$

#### 6.1.4 Aussagesicherheit von x-orientierten Absicherungen

Absicherungsmethoden stellen ein sehr zentrales Element im Kontext der produktionsbezogenen Produktabsicherung dar. Methoden werden von Menschen angewendet, die in Organisationen zusammenarbeiten, zur Unterstützung und Abwicklung von Methoden können Informationssysteme eingesetzt werden, innerhalb von Methoden werden Daten und Informationen verarbeitet, erzeugt oder interpretiert. Im Rahmen der PPA kommen Methoden zum Einsatz, die sich in zwei grundlegende Kategorien unterteilen lassen. Als Unterscheidungsmerkmal wurde dabei berücksichtigt, ob digitale Modelle oder real existierende Artefakte als Untersuchungsgegenstand herangezogen werden.

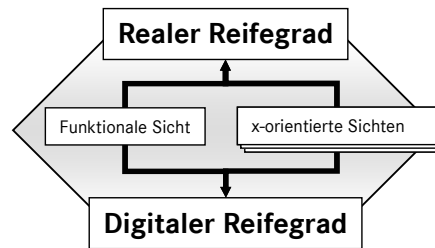


Abbildung 6-10 Digitaler und Realer Reifegrad

Da die Absicherungsmethoden grundsätzlich sehr unterschiedlich sind, ist auf den ersten Blick nicht transparent, ob die Reifegradaussagen, die mit unterschiedlichen Absicherungsmethoden erzielt werden, auch die gleiche Wertigkeit haben. Dabei sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass damit keine Wertung im Sinne von „Ergebnisse von digitalen Absicherungen sind mehr oder weniger wert“ vorgenommen werden soll. Es ist vielmehr notwendig, den unterschiedlichen Aspekten, die eine digitale Absicherung von einer Absicherung am realen Artefakt unterscheiden, adäquat gerecht zu werden. Grundsätzlich wird daher analog zur Unterscheidung der Absicherungsmethoden eine Unterscheidung zwischen dem Digitalen Reifegrad und dem Realen Reifegrad vorgeschlagen, siehe **Abbildung 6-10**. Dabei ist noch nichts darüber gesagt, welche Eigenschaften in den entsprechenden Reifegradaussagen repräsentiert sind und von was die Güte dieser Aussagen abhängt. Im Folgenden werden die Besonderheiten von Digitalem und Realem Reifegrad detaillierter diskutiert.

#### 6.1.4.1 Digitaler Reifegrad

Der Digitale Reifegrad ergibt sich durch die Anwendung von Methoden, die digitale Produktmodelle analysieren. Dabei sind zunächst zwei wesentliche Anforderungen zu unterscheiden.

Die erste Forderung ergibt sich aus den Regeln zur Modellbildung. Da ein Modell eine für eine besondere Anwendung geeignete Vereinfachung der Realität darstellt, ist genau diese Eignung auch für eine Absicherung, die mit eben diesem Modell durchgeführt werden soll, sicherzustellen. So müssen für die Durchführung der Methode Digitale Baubarkeit im obigen Beispiel des Cockpits eben alle relevante Informationen, beispielsweise die Fügepunkte, im Modell enthalten sein. Eine andere Digitale Methode, Packaging beispielsweise, benötigt hingegen keine Fügepunkte im Modell. Dieses einfache Beispiel zeigt auf, das es zur Anwen-

ung von digitalen Methoden sehr wichtig ist, ein **geeignetes** Modell zu analysieren. Dabei ist ein Modell dann geeignet, wenn es alle für die durchzuführende Absicherung relevanten Informationen beinhaltet. Dies schließt natürlich auch Informationen bezüglich des X-Systems mit ein.

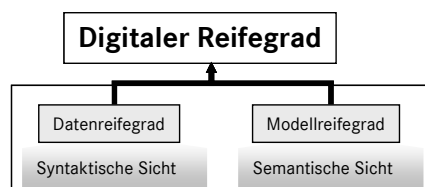


Abbildung 6-11 Der Digitale Reifegrad setzt sich aus Daten- und Modellreifegrad zusammen

In Anlehnung an die Linguistik, wo die Bedeutung von Worten im Teilgebiet der Semantik untersucht wird, und hier digitale Modelle mit der geeigneten Bedeutung für eine Absicherungsmethode bewertet werden sollen, wird somit eine *semantische Sicht* auf Modelle zu Reifegradabsicherung notwendig. Diese wird in einem **Modell-Reifegrad** erfasst (**Abbildung 6-11**).

Während sich die erste Forderung darauf bezieht, dass das zu untersuchende Modell das richtige, geeignete Modell ist, zielt die zweite Forderung darauf ab, dass das Modell an sich richtig, richtig im Sinne von fehlerfrei, ist. Zur Verdeutlichung sei wiederum auf das Cockpit aus obigem Beispiel verwiesen: Wenn sich der Datensatz, der das digitale Modell des Cockpits repräsentiert, nicht öffnen lässt, oder aber vielleicht nicht dem aktuellen Konstruktionsstand entspricht, so scheitert im ersten Fall die digitale Absicherung gänzlich, im zweiten würde sie völlig irrelevante Ergebnisse liefern.

Hierfür soll, ebenso wie im Rahmen der ersten Forderung, eine begriffliche Anleihe aus der Linguistik genommen werden. In der Linguistik werden Regeln und Muster, die bei der Bildung von Worten oder Sätzen zu Anwendung kommen, unter dem Begriff der Syntax zusammengefasst. Damit ergibt sich für den Digitalen Reifegrad die Notwendigkeit, auf eine *syntaktische Sicht* auf Modelle, die zur Reifegradabsicherung dienen. Diese wird in einem **Daten-Reifegrad** erfasst (**Abbildung 6-11**).

Damit lässt sich der Digitale Reifegrad als die Güte der Übereinstimmung der Soll- und Ist-Eigenschaften des digitalen Modells definieren. Dabei ist die Eignung von semantischer und syntaktischer Sicht auf das digitale Modell zu beachten. Dies verlangt letztlich nach einem *geeigneten* und *fehlerfreien* Modell. Die konkreten Anforderungen an ein geeignetes Modell kann durch die Forderung nach einem adäquaten Modell- und Daten-Reifegrad berücksichtigt werden.

In der Praxis sind diese Forderungen selten vollständig zu erfüllen. Betrachtet man nochmals das obige Beispiel des Cockpits, so sind ca. 30% der verbauten Teile in der Realität elastisch oder biegeschlaff (Kunststoffblenden, Kabel, Schläuche, Clipse,...). Das digitale Modell, das zur Untersuchung im Rahmen der Methode Digitale Baubarkeit herangezogen wird, beinhaltet allerdings nur starre Modelle dieser Teile. Das bedeutet, dass ca. 30% der Teile den grundlegenden Regeln der Modellbildung widersprechen. Dies ist natürlich bei der Ermittlung des Digitalen Produktreifegrades zu berücksichtigen. Ganz ähnliche Unschärfen ergeben sich auch für die syntaktische Sicht. Da bei den Methoden Digitale Baubarkeit oder Packaging digitale Modelle von sehr großen Baugruppen, bzw. auch vom gesamten Fahrzeug untersucht werden, und die Performance der eingesetzten EDM-Systeme für diese Form der Massendatenverarbeitung nicht ausreicht, wird häufig eine Datendownload untersucht. Diese Downloads veralten sehr schnell, da es ständig Änderungen an Produktgeometrie oder -struktur gibt. Absicherungsergebnisse, die durch die Analyse solcher potentiell veralteter Daten gewonnen werden, verlieren in gleichem Maße an Gültigkeit. Einige Möglichkeiten, die syntaktische Wertigkeit von digitalen Modellen zu erhöhen sind im Rahmen der praktischen Anwendungen dieser Konzepte in Kapitel 6.2 aufgezeigt.

#### 6.1.4.2 Realer Reifegrad

Der Reale Reifegrad ergibt sich im Gegensatz zum Digitalen Reifegrad durch die Anwendung von Absicherungsmethoden, in denen reale Artefakte als Untersuchungsgegenstand genutzt werden.

Dabei ist zunächst zu berücksichtigen, wie der Untersuchungsgegenstand hergestellt wurde. Entspricht das zum Absicherungszeitpunkt eingesetzte Fertigungsverfahren dem späteren Serienverfahren nur sehr eingeschränkt, etwa wie in obigem Beispiel aufgrund des Einsatzes eines Rapid Prototyping-Verfahrens, ist dies durch eine geringere Aussagesicherheit zu be-



achten. Dieser Sachverhalt soll durch die Einführung eines Fertigungsreifegrades berücksichtigt werden. Verfolgt man diese Überlegung weiter, stellt sich die Frage, ob auch die Prüf- bzw. Messverfahren, mit denen die Analysen am realen Artefakt durchgeführt werden, bei der Bestimmung des Reifegrades mit eingehen müssen. Dies kann Notwendigkeit sein, wie eine ergänzende Überlegung basierend auf obigem Beispiel zeigen wird.

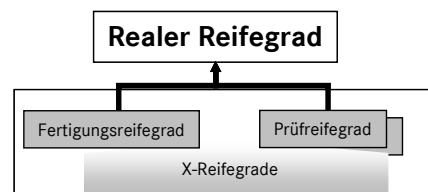


Abbildung 6-12 Der Reale Reifegrad ist abhängig vom X-Reifegrad

Nimmt man an, dass jedes Cockpit vor dem Einbau in ein Erprobungsfahrzeug auf einer Koordinatenmessmaschine vermessen wird, so führt dies dazu, dass nur maßhaltige Cockpits eingebaut werden. Solche, die nicht maßhaltig sind, werden aussortiert oder nachgearbeitet. Im späteren Serienverfahren sei im Gegensatz dazu angenommen, dass 1 von 100 Cockpits vor Einbau stichprobenartig auf Maßhaltigkeit überprüft werden. Dabei ist das Prüfverfahren im Serienprozess viel weniger restriktiv als in der frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, und damit steigt die Gefahr, bei Serienanlauf böse Überraschungen zu erleben, da 99 Cockpits eingebaut werden, die „eigentlich maßhaltig sein müssten“. Dieser Sachverhalt soll, analog zum Fertigungsreifegrad, im Sinne eines Prüfreifegrades berücksichtigt werden.

Die beiden Beispiele des Fertigungs- und des Prüfreifegrades lehnen sich sehr stark an das Beispiel des Cockpits und den Überlegungen zur produktionsgerechten Produktgestaltung an. Verallgemeinert man diese Überlegungen, so könnte dies zu einem Verfahrensreifegrad zusammengefasst werden. Noch allgemeiner führt dies zum X-Reifegrad. Der X-Reifegrad ist eine Maß dafür, wie genau die Merkmale und Eigenschaften des X-Systems zum Absicherungszeitpunkt mit den Merkmalen und Eigenschaften des X-Systems zum Entwicklungsende übereinstimmen.

Die bisher in Kapitel 6.1.4 gemachten Überlegungen verfolgten das Ziel, die Aussagesicherheit  $\sigma$  näher zu spezifizieren. Dabei wurden zunächst unterschiedliche Aussagesicherheiten für digitale bzw. reale Absicherungsmethoden identifiziert. Dies führte zur Definition ver-

schiedener Reifegrade sowie Sichten, auf diese Reifegrade. In **Abbildung 6-13** werden diese Definitionen und deren Zusammenhänge zusammenfassend dargestellt.

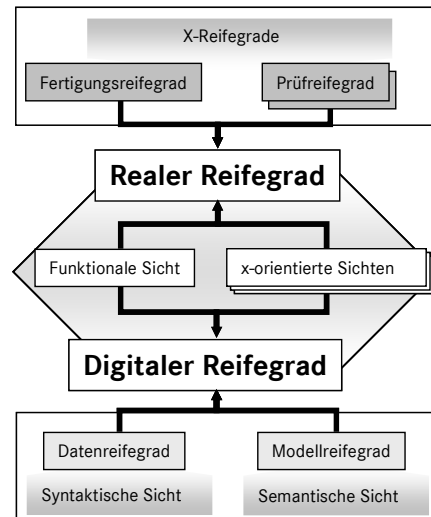


Abbildung 6-13 Übersicht über die Einflussfaktoren auf die Aussagesicherheit  $\sigma$  einer Absicherung

Damit ergibt sich für die Bestimmung der Aussagesicherheit einer Absicherung einer Eigenschaft  $P_j$  folgende Handlungsempfehlung:

Zunächst ist zu beachten, ob eine digitale oder reale Absicherungsmethode zum Einsatz kommt.

Dementsprechend ist dann die Aussagesicherheit  $\sigma$  abhängig von den Einflussfaktoren auf den Digitalen bzw. den Realen Reifegrad:

Aussagesicherheit bei der **digitalen** Absicherung der Eigenschaft  $P_j$ :

$$\sigma_{j \text{ dig}} = \sigma_j(\text{Digitalen Reifegrad})$$

$$\sigma_{j \text{ dig}} = \sigma_j(\text{Datenreifegrad, Modellreifegrad})$$

Die konkrete Festlegung bzw. der Einschätzung entsprechender Reifegrade bei der praktischen Anwendung sollte von den Anwendern der Absicherungsmethoden vorgeschlagen werden. Das gilt gleichermaßen für eine Gewichtung der einzelnen Reifegrade.

Aussagesicherheit bei der **realen** Absicherung der Eigenschaft  $P_j$ :

$$\sigma_{j \text{ real}} = \sigma_j(\text{Realer Reifegrad})$$

$$\sigma_{j \text{ real}} = \sigma_j(\text{Verfahrensreifegrad, Prüfreifegrad})$$

Es sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Modellreifegrad nur indirekt durch die Verwendung eines „geeigneten“ Modells beeinflusst werden kann. Verfahrens- und Prüfreifegrad hingegen hängen direkt von der konkreten Ausprägung des X-Systems ab.

Um zu konkreten Wertebereichen für den Digitalen oder den Realen Reifegrad zu gelangen, sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar. Dabei können von Experten pragmatisch vergebene Erfahrungswerte ebenso den Anforderungen genügen wie Werte, die beispielsweise durch statistisch hinterlegte Wahrscheinlichkeiten gestützt werden. Einen interessanten Ansatz hierzu liefert Derichs [Deri97]. Im Rahmen des Managements von Informationen im Entwicklungsprozess beschäftigt er sich dabei insbesondere mit der Abbildung unsicherer Information. Dabei werden grundsätzlich inhaltliche Unsicherheiten und Kontextunsicherheiten unterschieden und in dem Konzept der „Informationsreife“ zusammengeführt und deren Grad an Unsicherheit durch statistische Modelle hinterlegt. Als Beispiel seien einige in dieser Arbeit beschriebene inhaltliche Unsicherheiten von Informationen genannt:

- Unvollständigkeit
- Ungenauigkeit
- Ungewissheit
- Unzuverlässigkeit
- Inkonsistenz
- Lexikalische Elastizitäten (...das ist eine „gute“ Lösung.)

Es ist leicht einzusehen, dass auch eine solche Herangehensweise in das oben beschriebene Konzept eingebracht werden kann. Auf eine detaillierte Beschreibung sei an dieser Stelle verzichtet.

#### 6.1.4.3 Entwicklungsprozessreifegrad

Betrachtet man einen Entwicklungsprozess als Ganzes, so sind aus dem Reifegradmanagement von Entwicklungsprojekten verschiedene Vorgehensmodelle bekannt, etwa von Dan-

gelmaier und Fischer, Pfeifer-Silberbach oder dem VDA. Dort werden Hinweise gegeben, wie ein Entwicklungsprojekt anhand von Reifegradkennzahlen überwacht und gesteuert werden muss. Zudem kommt dem Reifegradmanagement dadurch eine wichtige Rolle als Leitbild für die gesamte Organisation, die am Entwicklungsprozess beteiligt ist, zu. Bei der praktischen Anwendung des Reifegradmanagement sind insbesondere zwei wichtige Stellhebel zu beachten:

- **Zeitliche Gültigkeiten:** Um ein effizientes Monitoring des Reifegrades zu gewährleisten, werden nicht alle im gesamten Engineering Prozess relevanten Reifegradindikatoren über den gesamten Entwicklungszeitraum überwacht. Reifegradindikatoren haben vielmehr einen zeitlichen Gültigkeitsbereich. So kann man sich beispielsweise vorstellen, dass die Konzepttauglichkeit nur in frühen Phasen des Entwicklungsprojektes überwacht wird, in den späten Phasen jedoch nicht mehr, weil Konzeptänderungen nicht mehr vorgesehen sind.
- **Zielerreichungskorridore:** Neben der zeitlichen Gültigkeit von Reifegradindikatoren ist die Definition eines Zielerreichungskorridors ein wichtiger Stellhebel des Reifegradmanagements von Entwicklungsprojekten. Dabei wird definiert, wie stark der Reifegradindikator vom geplanten Zielwert abweichen darf. Auch dieser Abweichungsgrad, gewissermaßen die Breite des Zielerreichungskorridors, wird im Verlauf des Entwicklungsprojektes kleiner und ist damit vom Entwicklungszeitpunkt abhängig.

Beide genannten Stellhebel bewirken insbesondere die Erfassung des Einflussfaktors Zeit in einem Entwicklungsprojekt. Die konkrete Definition von zeitlichen Gültigkeiten oder Abweichungskorridoren muss natürlich für jedes Entwicklungsprojekt individuell geschehen. Dennoch ist gerade beim Monitoring von x-orientierten Eigenschaften der zeitliche Verlauf der Entwicklung nicht nur des Produktes, sondern auch des X-Systems zu berücksichtigen.

Um die oben stehenden Überlegungen zum Entwicklungsprozessreifegrad auch in der Definition des Reifegrades nach Formel (5) zu berücksichtigen und den zeitlichen Verlauf und die Komplexität des Entwicklungsprozess abzubilden wird zusätzlich ein zeitabhängiger Unschärfefaktor  $u(t)$  eingeführt.

mit (5) ergibt sich: 
$$R_{ges}(t) = u(t) \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \cdot \sigma_j \right) \quad (8)$$

Dabei ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob und wie diese Unschärfe berücksichtigt werden soll. Auch das über den zeitlichen Verlauf abschnittsweise Definieren von Unschärfen oder die Zuweisung von Unschärfen zu einzelnen Eigenschaften ist möglich. Pragmatisch lassen sich einfache Beispiele angeben:

- Einfacher, integrierter, innerhalb einer Domäne stattfindender Prozess, späte Phase:  $u(t) = 0,9$ .
- Komplexer, heterogener, domänenübergreifender Prozess, frühe Phase:  $u(t) = 0,3$ .

### 6.1.5 Die Reifegradlandkarte – ein Modell der x-orientierten Produktabsicherung

Ausgehend von der Analyse des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung wurde die Notwendigkeit eines übergreifenden Modells als Handlungsbedarf identifiziert. Der Zweck dieses Modells ist es, die Zusammenhänge von Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten aufzuzeigen. In den voranstehenden Abschnitten wurde daher ein, bezogen auf den Stand der Wissenschaft und Technik, erweitertes Verständnis des Reifegrads eines Produktes im Kontext der Produktentwicklungsmethodik eingeführt.

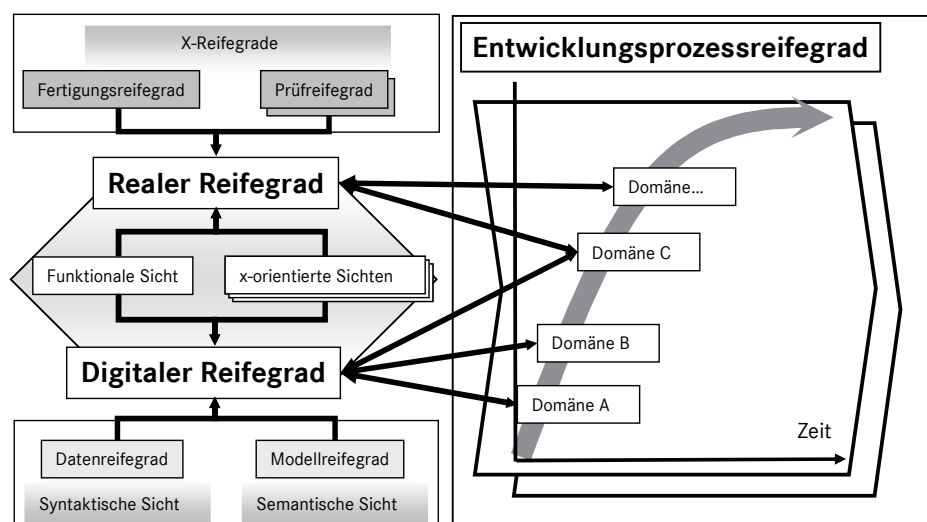


Abbildung 6-14 Die Reifegradlandkarte – ein Modell der x-orientierten Absicherung

Dabei wurden insbesondere die Anforderungen aus dem Themenfeld des Design for X und Erkenntnisse aus Absicherungsaktivitäten in der Praxis berücksichtigt. Zusammenfassend wird dieses Modell der x-orientierten Absicherung in der Reifegradlandkarte dargestellt (**Abbildung 6-14**).

## **6.2 Zusammenhang zwischen EIMS und Reifegrad**

In der Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung wurde in Kapitel 4 das Zusammenwirken verschiedener Einflussfaktoren deutlich. Um diese Einflussfaktoren strukturiert in die Analyse mit einzubeziehen, wurde das EIMS als Ordnungsschema eingeführt. Dieses Analyseraster beinhaltet verschiedene Sichten bzw. Bausteine, die den Kontext eines Prozesses beschreiben. Im Einzelnen setzt sich das EIMS aus den Bausteinen Prozess, Informationssystemen, Organisation, Informationen und Daten sowie Methoden zusammen.

Nun stellt sich die Frage, wie die Erkenntnisse und Zusammenhänge, die in diesem Modell enthalten sind, auch zur Optimierung von Absicherungsprozessen in der industriellen Praxis genutzt werden können? Um beide Welten zu verknüpfen, werden die einzelnen Bausteine des EIMS im Folgenden in Beziehung zum in Kapitel 6.1.5 definierten Modell der x-orientierten Absicherung, der Reifegradlandkarte, gesetzt. Das Verschmelzen von Reifegradlandkarte und EIMS ergibt schließlich das Konzept, das gewissermaßen eine Brücke zwischen Theorie und Praxis etabliert. Dieser Schritt ermöglicht es, konkrete Handlungsfelder zur Gestaltung und Realisierung einer x-orientierten Produktabsicherung zu realisieren.

### **6.2.1 Methoden und Reifegrad**

Der Zusammenhang zwischen Methoden und Reifegrad wurde in Kapitel 6.1.4 ausführlich dargelegt. Dabei hat die Unterscheidung nach der Beschaffenheit des Untersuchungsgegenstandes, digitales Modell oder realer Artefakt, zur Einführung von Digitalem und Realem Reifegrad geführt. Die Unsicherheit von Absicherungsmethoden, auch abhängig von der Gestaltung des X-Systems, wurde durch Einführung der Aussagesicherheit  $\sigma$  berücksichtigt.

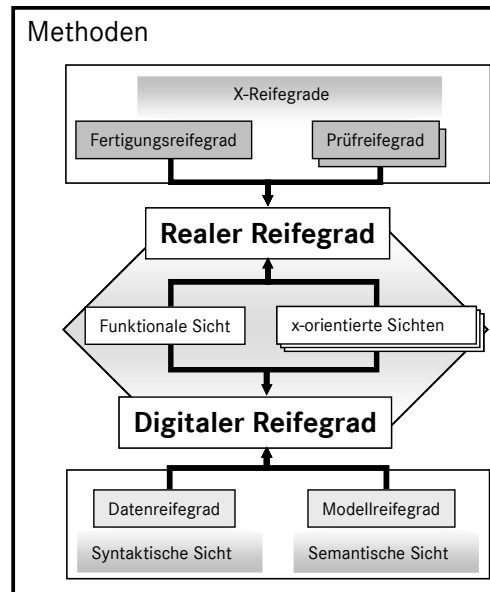


Abbildung 6-15 Methoden und Reifegrad

## 6.2.2 Informationssysteme und Reifegrad

In Kapitel 6.1.4.1 wurde der Begriff Digitaler Reifegrad eingeführt. Der Digitale Reifegrad spiegelt die Ergebnisse, die im Rahmen von digitalen Absicherungen erzielt wurden, wider. Dabei wurden zwei Sichten, die syntaktische und semantische Sicht, unterschieden, die zur Definition des Daten- und des Modellreifegrades geführt haben. Der Zusammenhang zwischen den Informationssystemen einerseits und Digitaler Reifegrad andererseits wird klar, wenn man sich die Untergliederung der Informationssysteme in Verwaltungs- und Autorensysteme vor Augen führt. Dabei kommt den Verwaltungssystemen die Aufgabe zu, die richtigen Daten in der richtigen Art und Weise bereitzustellen; sie sind somit für den Datenreifegrad verantwortlich. Der Modellreifegrad wiederum liefert Aussagen darüber, wie gut ein digitales Modell, das beispielsweise für eine Absicherung herangezogen werden soll, die Realität abbildet. Dies hängt natürlich ganz stark von den Möglichkeiten der eingesetzten Autorensysteme ab.

### 6.2.3 Informationen und Daten und Reifegrad

Daten und Information bzw. deren Güte wird im Digitalen Reifegrad überwacht. Wie oben beschrieben, werden Informationssysteme zur Definition, Darstellung und Verwaltung von Daten und Informationen eingesetzt.

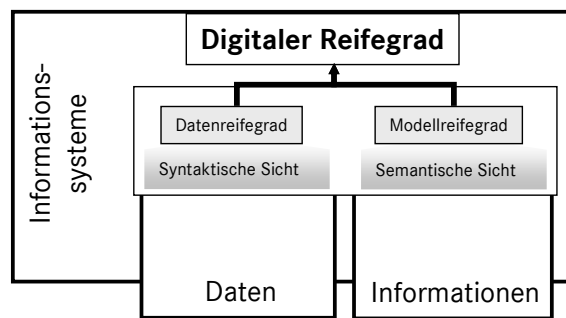


Abbildung 6-16 Der Zusammenhang zwischen Informationssysteme, Information, Daten und Reifegrad

### 6.2.4 Organisation und Reifegrad

Dem Baustein Organisation des EIMS können zwei wesentliche Aspekte zugewiesen werden. Dies umfasst zum einen die Aufbauorganisation der Geschäftsbereiche oder Domänen, die im Rahmen eines Prozesses kooperieren und zum anderen die Menschen, die in verschiedenen Rollen in einem Entwicklungsprojekt beteiligt sind.

Im ersten Fall, der Aufbauorganisation, ist zu berücksichtigen, ob eine starke Verteilung der Domänen gegeben bzw. wie heterogen das Entwicklungsumfeld strukturiert ist. Entwicklungsprozesse werden häufig an verteilten Standorten durchgeführt, es sind externe Entwicklungsdienstleister oder Zulieferer integriert. Durch die komplexe Vernetzung des Entwicklungsumfeldes sind Konsequenzen von Entscheidungen innerhalb einer Domäne in anderen Domänen schwer vorhersagbar. Beim Auftreten von Problemen müssen zudem aufwändige Eskalationsstufen durchlaufen werden. Neben der Komplexität des Entwicklungsumfeldes ist es der zweite Aspekt, im weitesten Sinne der Faktor Mensch, der für das Auftreten von Problemen verantwortlich ist. Die Menschen in einer Domäne haben häufig eine andere Auffassung oder Sichtweise auf einen Sachverhalt als Menschen, die einer anderen Domäne zugewiesen sind. Ein klassisches Beispiel hierfür sind unterschiedliche Sichten auf die Produktstruktur. Ein Rohbaukonstrukteur versteht unter der Produktstruktur die Strukturierung eines



Produktes im Sinne einer Konstruktionsstückliste, ein Entwickler von elektrischen oder mechatronischen Komponenten gliedert das Produkt beispielsweise im Sinne einer Funktionsstruktur, und letztlich ein Fertigungsplaner im Sinne einer Fertigungsstückliste. Wird nun der Bereich Produktdokumentation gebeten, „die“ Produktstruktur bereitzustellen, sind sicherlich eine Menge Hürden zu überwinden, bis jeder Bereich mit der geeigneten Struktur versorgt und zufrieden gestellt ist. Bezogen auf den betrachteten Prozess der Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung entsteht eine besondere Herausforderung dann, wenn eine Domäne für die Entwicklung des Produktes und die andere für die Entwicklung des Produktionssystems verantwortlich ist. Dann gilt es neben den organisatorischen auch fachliche Grenzen zu überwinden. Häufig ist es so, dass die Verarbeitung von Informationen und Daten in Informationssystemen beispielsweise im Rahmen einer digitalen Absicherung, zur Klärung eines Sachverhaltes beitragen können, die Interpretation und Bewertung der Ergebnisse sowie die Entscheidung, wie mit diesen Ergebnissen umzugehen ist, obliegt einem Menschen, der eine Rolle in einem organisatorischen Umfeld ausführt. Auch dies gilt es zu berücksichtigen.

Der Faktor Mensch spielt in diesem Kontext eine weitere Rolle: In Entwicklungsprojekten gibt es verschiedenen Rollen, die Menschen einnehmen. So hat ein Projektleiter eine andere Sicht auf einen Sachverhalt als beispielsweise ein Sachbearbeiter, der für die Absicherung einer Produkteigenschaft zuständig ist. Tritt ein Problem auf, interessiert den Projektleiter primär, bis wann das Problem gelöst sein wird und welcher Kapitaleinsatz notwendig ist, weil er verantwortet, dass das Projekt zeit- und kostengerecht abgearbeitet wird. Der Sachbearbeiter wiederum hat die Aufgabe, Maßnahmen zur Lösung des Problems zu initiieren und gegebenenfalls mit anderen Domänen abzustimmen, um letzten Endes die Absicherung erfolgreich durchführen zu können. Diesem Sachverhalt begegnet man im klassischen Reifegradmanagement beispielsweise mit der Definition verschiedener Aggregationsebenen.

### **6.2.5 Prozess und Reifegrad**

Ausgehend von der im Kontext der Produktentwicklungsmethodik formulierten erweiterten Reifegraddefinition ergeben sich für den Baustein Prozess keine neuen Erkenntnisse. Der Prozess im Sinne des EIMS ist im Rahmen der klassischen Definition des Reifegrades genau der ursprüngliche Betrachtungsgegenstand. Deshalb ist es sinnvoll, die im Rahmen des klassischen Reifegradmanagements etablierten Ideen und Konzepte anzuwenden und zur Bestimmung des Entwicklungsprozessreifegrades zu betrachten. Die Herausforderung ist dabei we-

niger konzeptioneller Natur, sie liegt vielmehr in der praktischen Frage der Synchronisation zweier Entwicklungsprozesse.

### 6.3 Die Reifegradlandkarte und EIMS

Um die Zusammenhänge zwischen den Bausteinen des EIMS einerseits und dem Reifegrad andererseits aufzuzeigen, wird in **Abbildung 6-17** die Reifegradlandkarte erweitert. Auf der linken Seite ist zu sehen, dass der Reifegrad durch die Anwendung verschiedener Methoden als Digitaler oder Realer Reifegrad existieren kann und dass verschiedene Sichten in den Reifegrad widergespiegelt werden können. Diese funktionalen oder x-orientierten Sichten sind im Falle des digitalen Reifegrades abhängig von Daten- und Modellreifegrad, im Falle des realen Reifegrades vom X-Reifegrad.

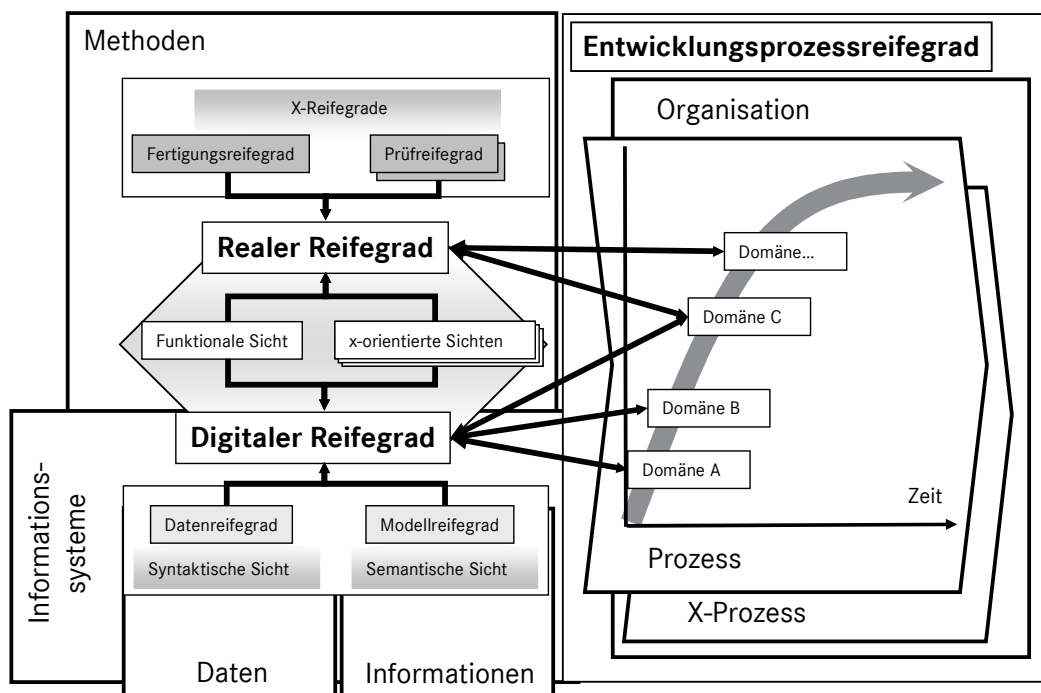


Abbildung 6-17 Das Konzept der x-orientierten Produktabsicherung – Zusammenhang zwischen Reifegradlandkarte und den Bausteinen des EIMS.

Dabei repräsentieren die der Absicherung zu Grunde liegenden Daten die syntaktische, die Informationen die semantische Sicht. Daten und Informationen werden letzten Endes durch Informationssysteme erzeugt, umgewandelt und verwaltet. Auf der rechten Seite ist der Entwicklungsprozessreifegrad dargestellt. Er wird beeinflusst durch Ablauf- und Aufbauorgani-

sation, also den Bausteinen Prozess und Organisation. Im Rahmen der x-orientierten Absicherung ist dabei insbesondere der Entwicklungsprozess des Produktionssystems zu berücksichtigen.



## 7 Validierung des Konzeptes

Das Forschungsvorgehen Design Research Methodology, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit angewandt wurde, sieht nach der deskriptiven Studie (Kapitel 4 – Stand der Wissenschaft und Technik und Kapitel 5 – Analyse der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie) und der preskriptiven Studie (Kapitel 6 – Konzept zur x-orientierten Produktabsicherung) eine zweite deskriptive Studie vor. Diese hat den Zweck, die im Rahmen der ersten preskriptiven Studie erarbeiteten Erkenntnisse zu validieren. Dabei ist zu prüfen, ob die für diese Arbeit maßgebenden Erfolgskriterien realisiert werden konnten. Als Erfolgskriterien wurden in Kapitel 2 die

- geeignete Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Produkt-, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten und
- die Identifikation von Stellhebeln zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung genannt.

Diese beiden Erfolgskriterien liefern auch die gedankliche Gliederung für die folgende zweite deskriptive Studie.

Im ersten Teil der Validierung des Konzeptes wird daher eine Methode zur Analyse von Engineering Prozessen vorgestellt. Die vorgestellte Methode nutzt dabei die neuen Einsichten und Zusammenhänge, die mit Hilfe der Reifegradlandkarte, dem Modell der x-orientierten Produktabsicherung, aufgezeigt werden konnten. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, dass die Erkenntnisse der Analyse sehr einfach zur Identifikation der notwendigen Handlungsbedarfe genutzt werden konnten, um den analysierten Entwicklungsprozess zu optimieren. Dabei kommt dem Reifegrad eine besondere Rolle zu: er kann in diesem Kontext als Stellgröße, gewissermaßen als Treiber der Optimierung verstanden werden. Daher kann man dabei von einer „reifegradsensitiven Prozessanalyse“ sprechen.

Im zweiten Teil der Validierung wird dann gezeigt, wie die Reifegradlandkarte konkret zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung herangezogen werden kann. Am praktischen Anwendungsszenario eines Cockpits wird dabei die Umgestaltung des gesamten Kontextes dieses Absicherungsprozesses mit Hilfe des zu Grunde liegenden EIMS vorge-

nommen. Dazu werden, ausgehend von einer „reifegradsensitiven Prozessanalyse“ zwei neue Absicherungsmethoden eingeführt und die eingesetzten Informationssysteme angepasst.

Als dritter Teil der Validierung wird der Prototyp eines „Absicherungsportals“ vorgestellt. Das Absicherungsportal liefert ein Rahmenwerk zu Vorbereitung und Durchführung von Absicherungen sowie zur Dokumentation und zum Monitoring von Absicherungsergebnissen. Es liefert damit die Voraussetzung, auch domänenübergreifende Absicherungsprozesse koordinieren zu können und kann somit einen wichtigen Beitrag zu Verbesserung des Entwicklungsprozessreifegrades beisteuern.

## 7.1 Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen

Der praktische Hintergrund für die Entwicklung dieser Methodik ist die Analyse der produktionsbezogenen Absicherungsprozesse eines OEM in der Automobilindustrie. Daher sind die theoretischen Grundlagen und Erkenntnisse, insbesondere der Zusammenhang zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungen, die im Rahmen der Konzeptentwicklung zur Definition der Reifegradlandkarte geführt haben, von besonderem Interesse.

Bei der Konzeption dieser Methodik wurde einem Aspekt besondere Bedeutung zugemessen: Dem Ziel, durch die Methodik effektiv und präzise potentielle Handlungsfelder zur Prozessoptimierung zu identifizieren.

Bezogen auf die Reifegradlandkarte bedeutet dies, die Bausteine des EIMS, die den Kontext des Absicherungsprozesses repräsentieren, zielgerichtet beeinflussen zu können. Dies führt zu einer Vorgehensweise, die in der ersten Stufe zunächst die identifizierten Kernelemente des Absicherungsprozesses analysiert, um danach in der zweiten Stufe die Zusammenhänge zwischen den Kernelementen zu untersuchen und mit der Ergebnisrückführung in Stufe 3 ein optimiertes EIMS zur PPA zu gestalten. Diese drei Kernelemente sind:

- Die im Rahmen der PPA eingesetzten **Absicherungsmethoden** (Baustein Methode) mit den im Rahmen der Methoden angewandten Autorensystemen (Baustein Informationssystem).
- Eine Wissensbasis mit produktionsbezogenen **Konstruktionsrichtlinien** (Bausteine

Informationen und Daten).

- Ein **Vorfallerfassungs- und Verfolgungssystem**, ein Verwaltungssystem, in dem negative Absicherungsergebnisse („Vorfälle“) zusammengeführt und verfolgt werden (Baustein Informationssystem).

Im Folgenden werden zum besseren Verständnis die Ziele und die Konzeption der Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen kurz erläutert. In Kapitel 7.1.2 wird anschließend beschrieben, wie das Modell der x-orientierten Produktabsicherung als Rahmenwerk und konzeptionelle Hilfe bei der Analyse der Absicherungsmethoden genutzt werden konnte.

### 7.1.1 Ziele der Methodik zur Analyse von Engineeringprozessen

Die Motivation zur Entwicklung dieser Methodik war die Aufgabe, die produktionsbezogenen Absicherungsaktivitäten eines OEM in der Automobilindustrie zu analysieren. Hierbei sollten insbesondere die folgenden Fragen beantwortet werden [MuMB06]:

- Ist das Portfolio der eingesetzten digitalen Absicherungsmethoden vollständig?
- Werden die Erwartungen hinsichtlich Aufgabenerfüllung und Einsatzzeitpunkt von den eingesetzten digitalen Absicherungsmethoden erfüllt?
- Ist der Absicherungsprozess, das heißt die gesamtheitliche Anwendung aller Absicherungsmethoden effizient und liefert dieser insgesamt nachhaltige Ergebnisse?

Ein besonderer Schwerpunkt bei der Prozessanalyse lag dabei auf einer effektiven und präzisen Identifikation von Handlungsfeldern. Das bedeutet im Einzelnen:

- Es sollten nicht nur die Probleme der heutigen Situation aufgezeigt werden, es stand weiterhin die Anforderung im Raum, einen idealen Zielzustand zu definieren und entsprechende Maßnahmen zum Erreichen dieses Zielzustandes zu einzuleiten.
- Gleichzeitig sollte die Effektivität der Absicherungsaktivitäten eingeschätzt werden: Dazu muss ein Vergleich mit tatsächlichen, trotz digitaler Absicherung auftretenden Vorfällen herangezogen werden.
- Die produktionsbezogenen Anforderungen werden in Form von Konstruktionsrichtlinien formuliert. Die Abprüfbarkeit und Relevanz dieser Regeln durch digitale Absicherungsmethoden muss untersucht und berücksichtigt werden.

Die erarbeitete Analysemethodik umfasst, wie in **Abbildung 7-1** dargestellt, ein dreistufiges Vorgehen.

1. Grundlagenanalyse der Kernelemente
2. Analyse der Zusammenhänge
3. Ergebnisrückführung

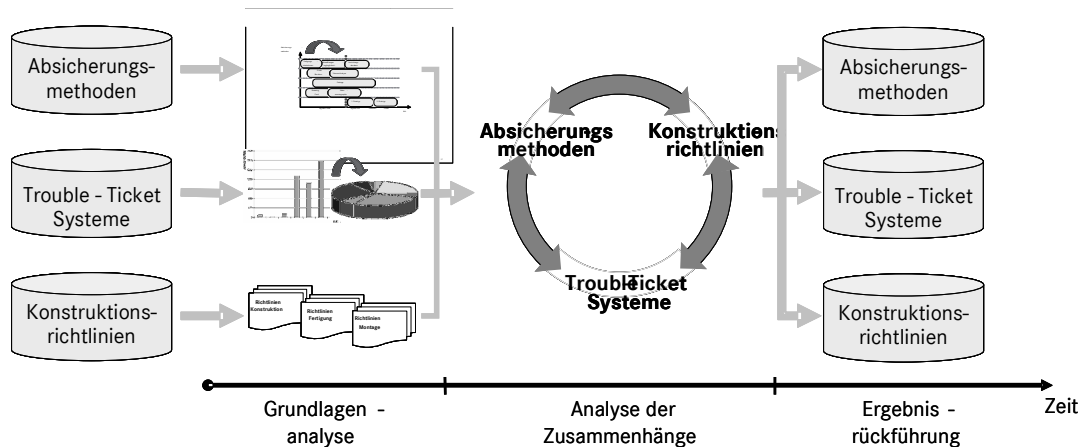


Abbildung 7-1 Vorgehen bei im Rahmen der Methodik zur Analyse von Engineeringprozessen, aus [MuMB06]

Dabei werden in der ersten Stufe, der Grundlagenanalyse, die beteiligten Kernelemente für sich betrachtet und auf ihre Leistungsfähigkeit hin überprüft. Dieser Schritt liefert die Antwort auf folgende Fragen:

- Sind die eingesetzten Methoden redundant oder ineffektiv?
- Sind die Konstruktionsrichtlinien hinreichend präzise formuliert?
- Sind die identifizierten Vorfälle hinreichend dokumentiert?
- Können die Vorfälle überhaupt durch die Methoden aufgedeckt werden?

In der zweiten Stufe, der Analyse der Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den drei Kernelementen stehen dann die folgenden Aspekte im Mittelpunkt:

- Liefern die eingesetzten Methoden rechtzeitig die geforderten Ergebnisse?
- Mit welchen Absicherungsmethoden kann die Einhaltung welcher Konstruktionsrichtlinien überprüft werden?
- Gibt es fehlende Konstruktionsrichtlinien?



- Gibt es Konstruktionsrichtlinien, die nicht absicherbar sind?
- Welche Fehlergruppen werden nicht überprüft, weil Methoden gänzlich fehlen?
- Treten reale Fehler auf, obwohl entsprechende digitale Absicherungsmethoden existieren?

Im Anschluss an den Analyseprozesses werden die aus der Analyse der Zusammenhänge gewonnenen Erkenntnisse und erarbeiteten Maßnahmen zurückgeführt und in den entsprechenden Kernelementen umgesetzt. Diese Umsetzung wird maßgeblich von zwei Faktoren positiv beeinflusst:

1. Die drei Kernelemente entsprechen jeweils einem Baustein des EIMS, wodurch die Auswirkungen einer Veränderung im Gesamtkontext des EIMS berücksichtigt werden können.
2. In Kapitel 3 wurde bereits aufgezeigt, dass die innerhalb eines Prozesses eingesetzten Methoden ein zentrales Bindeglied im EIMS darstellen. Eine Absicherungsmethode hat Absicherungsziele (Baustein Prozess). Sie erfordert Input und generiert Output (jeweils Baustein Daten und Information). Zur Durchführung von Methoden werden Autoren- und Verwaltungssysteme eingesetzt (Baustein Informationssysteme). Menschen wenden Methoden an (Baustein Organisation). Daher können Methoden als wirksamer Stellhebel für die Gestaltung eines EIMS genutzt werden.

Um das Potential der Absicherungsmethoden als Stellhebel für eine reifegradsensitive Prozessanalyse nutzen zu können, wurde sowohl bei der Erfassung, der Analyse und der Optimierung der Absicherungsmethodenlandschaft das Modell der x-orientierten Absicherung und der dort hinterlegten Abhängigkeiten und Zusammenhänge als Leitfaden genutzt. Dies wird im folgenden Kapitel beschrieben.

### **7.1.2 Absicherungsmethodenlandschaft und Modell der x-orientierten Produktabsicherung**

Eine wesentliche Anforderung an die Analyse von Absicherungsprozessen ist es, das Portfolio der eingesetzten digitalen Absicherungsmethoden zu untersuchen: Ist das Portfolio vollständig, sind die erzielten Absicherungsergebnisse überzeugend und wo liegen Potentiale zur Optimierung? Um diesen Anforderung zu begegnen, wurde im Rahmen der entwickelten Analy-

semethodik das Ziel formuliert, eine Absicherungsmethodenlandschaft des Ist-Prozesses darzustellen.

#### 7.1.2.1 Methodensteckbriefe

Die Grundlage hierfür liefert die strukturierte Erfassung aller Absicherungsmethoden mit Hilfe von Methodensteckbriefen. Der Methodensteckbrief ist ein Formblatt, in dem alle relevanten Charakteristika einer Absicherungsmethode aufgeführt werden. Die Reifegradlandkarte als Modell der x-orientierten Produktabsicherung lieferte in diesem Zusammenhang wertvolle Hinweise, welche Charakteristika von besonderer Relevanz und damit zu anforderungsgerechter Erfassung der Methoden zu berücksichtigen sind. Im Einzelnen werden in einem Methodensteckbrief folgende Informationen erfasst:

**Absicherungsziele:**

Welche Eigenschaften sollen durch die Anwendung der Methode abgesichert werden?

**Anwendungszeitraum:**

Zu welchen Zeiträumen im Entwicklungsprozess kann die Methode angewandt werden? Dies wird maßgeblich durch den zum Absicherungszeitpunkt vorliegenden Daten- oder Modellreifegrad beeinflusst.

**Eingangsinformationen:**

Welche Eingangsinformationen sind zur Durchführung der Absicherungsmethode notwendig? Diese Fragestellung ergibt einen engen Bezug zum Anwendungszeitraum. Nicht nur die Art der Eingangsinformation ist dabei zu erfassen, (z.B. CAD-Modell Cockpit) sondern auch Daten- und Modellreifegrad (z.B. tesselierte Produktdaten, Freigabestand Engineering). Interessant in diesem Zusammenhang ist die Frage nach x-orientierten Eingangsinformationen: Dabei ist ein definierter und abgestimmter Entwicklungsstand des Produktionssystems einzufordern. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle x-orientierten Eigenschaften überprüft werden können.

**Eingesetzte Informationssysteme:**

Welche Informationssysteme kommen im Rahmen der Absicherungsmethode zur Anwendung? Dabei ist bezüglich der Verwaltungssysteme der enge Bezug zum Datenreifegrad, insbesondere vor dem Hintergrund der Aktualität der Daten, hervorzuheben. Auch bezüglich der

Autorensysteme ergeben sich, sowohl für Daten- als auch Modellreifegrad,tsprechende Querbezüge: Liegen die notwendige Information in geeigneten Datenformaten vor oder muss beispielsweise eine Konvertierung vorgenommen werden? Falls dies der Fall sein sollte, ist zu berücksichtigen, dass sich durch die Konvertierung der Modellreifegrad verändern kann und notwendige Eingangsinformationen verloren gehen können.

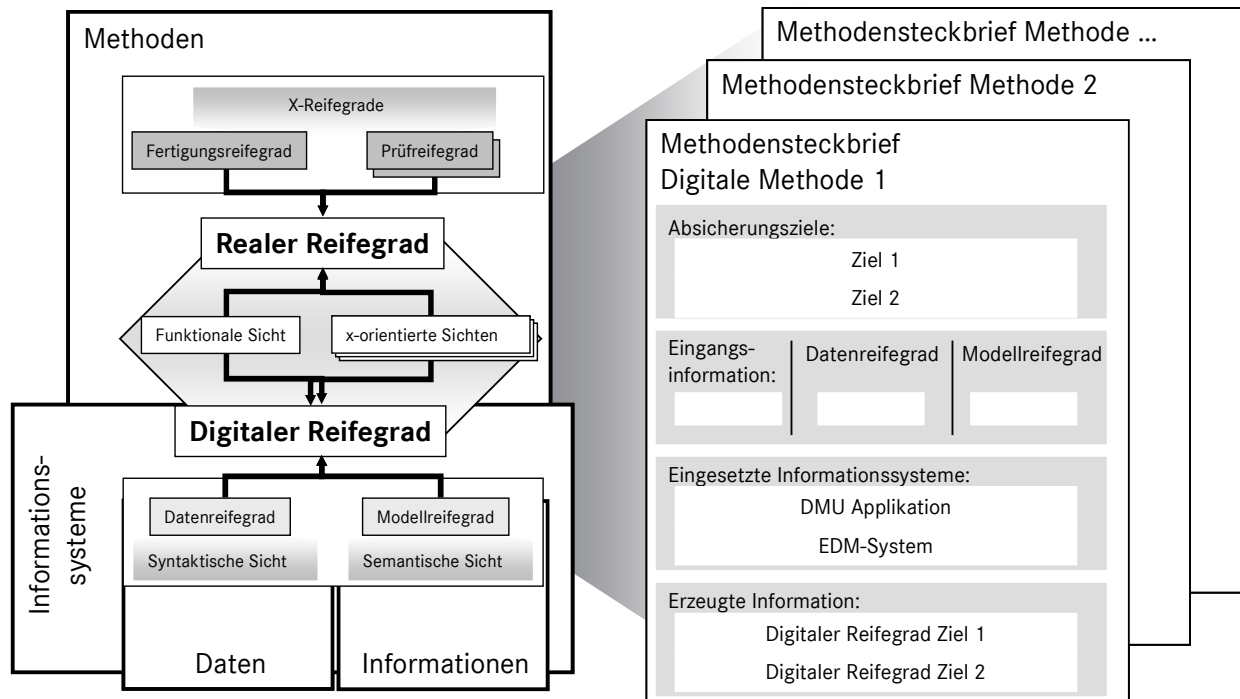


Abbildung 7-2 Methodensteckbrief (Vereinfachte Darstellung) zur Erfassung und strukturierten Beschreibung von Absicherungsmethoden

### Erzeugte Informationen:

Neben der Erfassung der erzeugten Information ist auch die Angabe der Aussagesicherheit der Information notwendig. Wie in Kapitel 5 ausgeführt, ist die Aussagesicherheit abhängig vom EIMS und der Ausprägung des Produktionssystems, falls es sich um eine produktionsbezogene Eigenschaft handelt. Wie dabei die Einschätzung der Aussagesicherheit konkret vorgenommen, ist dabei von eher untergeordneter Bedeutung. Wichtig ist, dass für alle Methoden ein gleicher Maßstab angelegt wird. Diese Anforderung kann eine pragmatische Schätzung beteiligter Experten ebenso erfüllen wie statistische Methoden, wie sie etwa von [Deri96] beschrieben werden.

### Anwender der Methode:

Um den Bezug zum organisatorischen Umfeld herzustellen, in dem die Methode angewendet wird, ist es notwendig, den Anwender bzw. die entsprechende Organisationseinheit zu benennen. **Abbildung 7-2** zeigt den Zusammenhang zwischen der Reifegradlandkarte und den Methodensteckbriefen auf.

#### 7.1.2.2 Methodenlandkarte

Die Methodensteckbriefe erlauben es nicht nur, die Charakteristika aller Absicherungsmethoden vergleichbar zu erfassen. Sie dienen auch dazu, die verschiedenen Schwerpunkte über dem zeitlichen Verlauf des Absicherungsprozesses transparent zu machen.

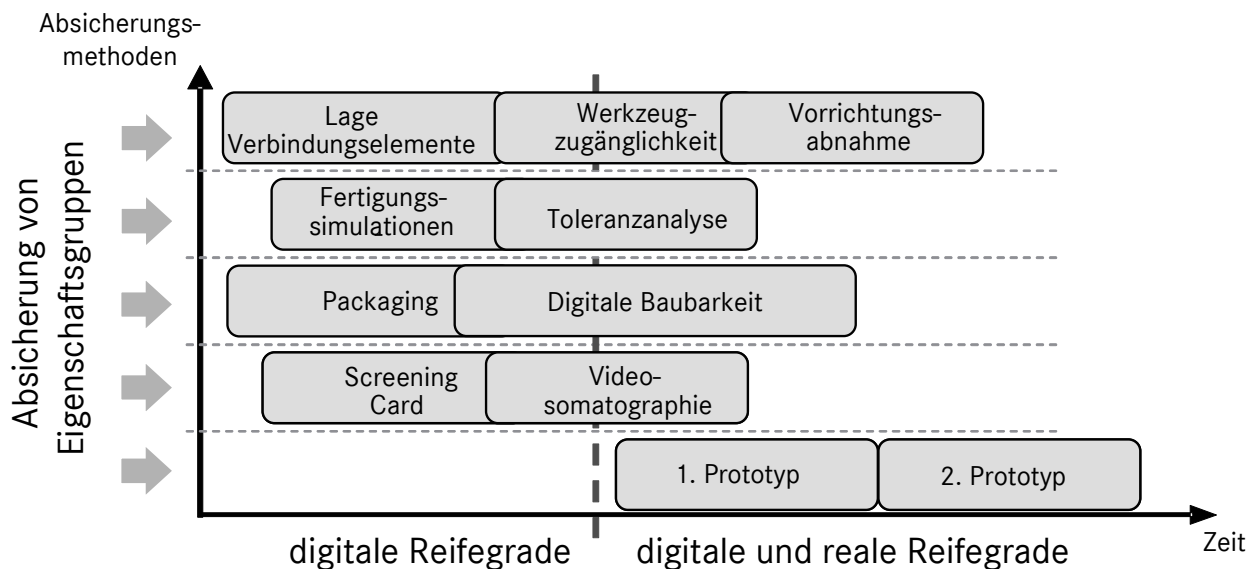


Abbildung 7-3 Schematische Darstellung einer Absicherungsmethodenlandkarte, in Anlehnung an [MuMB06]

Dazu werden die Methodensteckbriefe in einer Absicherungsmethodenlandkarte zusammengeführt. **Abbildung 7-3** zeigt die schematische Darstellung einer solchen Methodenlandkarte.

Diese so ermittelte Ist-Methodenlandkarte kann man dann mit den im Vorfallerfassungs- und Verfolgungssystem dokumentierten Vorfalldistributionen in Beziehung setzen und so die Leistungsfähigkeit des aktuellen Methodenportfolios darstellen, siehe **Abbildung 7-4**.

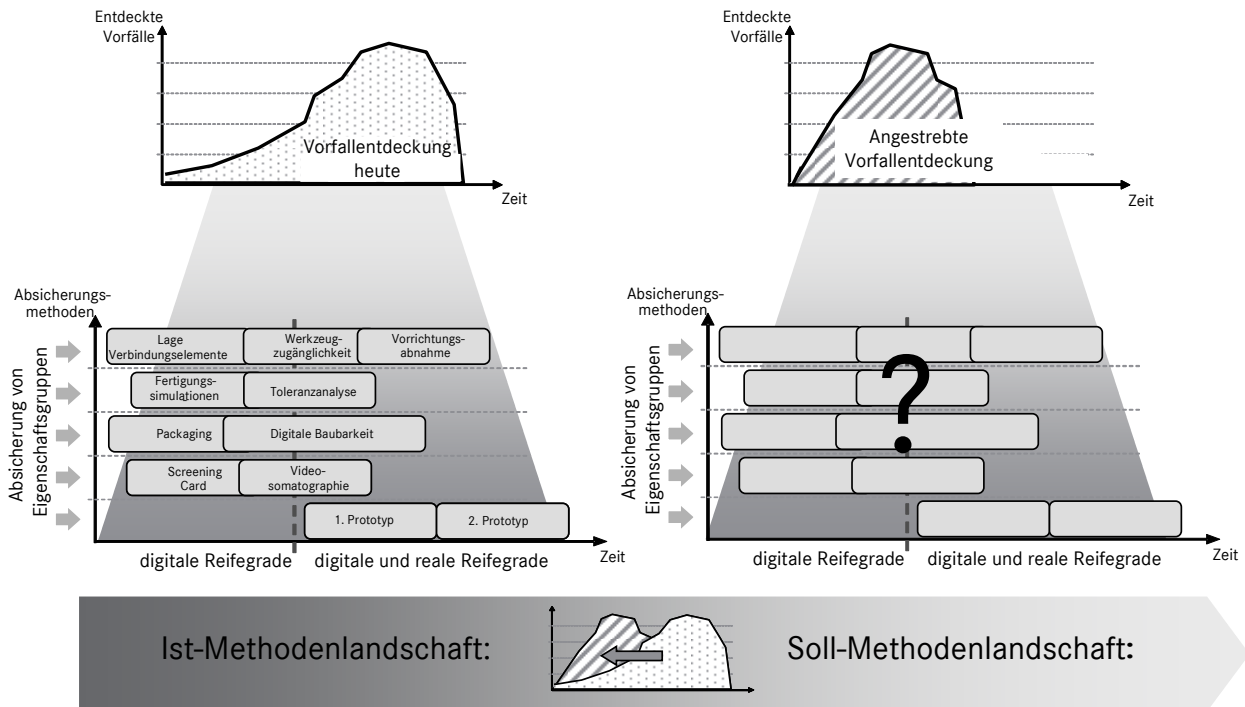


Abbildung 7-4 Schematische Darstellung der Ist-Methodenlandschaft mit den korrespondierenden Vorfällen und den angestrebten Veränderungen.

Im nächsten Schritt ist es dann möglich, die Umgestaltung der Methodenlandschaft anzugehen. Dabei ist eine frühere Vorfallddeckung angestrebt, was einen positiven Einfluss auf den Entwicklungsverlauf und damit den Produktreifegrad haben wird.

## 7.2 EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung

Wie eingangs beschrieben, setzt sich die Validierung des Konzeptes zur x-orientierten Produktabsicherung aus drei Teilen zusammen: Der erste, in Kapitel 7.1 beschriebene Teil weist dabei die in der Reifegradlandkarte zusammengefassten Abhängigkeiten zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungsmethoden nach, indem darauf aufbauend eine Analyse-methode für Entwicklungsprozesse entwickelt und angewandt wurde.

Der zweite Teil der Validierung widmet sich dem zweiten Erfolgskriterium, der Identifikation von Stellhebeln zur Optimierung eines EIMS. Er zeigt auf, wie die Reifegradlandkarte dabei konkret zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung herangezogen werden kann. Als praktisches Anwendungsszenario dient dabei die Absicherung der Montage-tauglichkeit eines Cockpits. Dazu werden, ausgehend von einer „reifegradsensitiven Prozess-

analyse“ zwei neue Absicherungsmethoden eingeführt und die eingesetzten Informationssysteme angepasst. Die nachfolgenden Kapitel sind dem entsprechend gegliedert.

### 7.2.1 Prozess zur Absicherung der Montagetauglichkeit eines Cockpits

Die Absicherung der Montagetauglichkeit eines Cockpits vollzieht sich analog zur Prozessbeschreibung der PPA, wie sie in Kapitel 4 ausführlich beschrieben ist. Da, gemäß **Abbildung 7-4**, eine Vorverlagerung der Vorfallddeckung angestrebt ist, stehen vor allem die digitalen Absicherungsmethoden im Fokus, da sie ohnehin früher im Prozess Anwendung finden als Hardware-Methoden. Die Beurteilung der Montagetauglichkeit wird vor allem durch die Methoden Packaging, Digitale Baubarkeit und Digitale Planungsabsicherung geleistet.

#### 7.2.1.1 Ist-Prozess und Reifegradlandkarte

Der Zweck des vorgestellten Konzeptes zur x-orientierten Produktabsicherung liegt in der Möglichkeit, eine Prozessanalyse und -optimierung unter der Berücksichtigung des gesamten Kontextes des EIMS durchzuführen, und dabei den Reifegrad als Steuergröße zur Optimierung zu nutzen. Dazu ist es notwendig, den zu untersuchenden Prozess in Bezug zur Reifegradlandkarte zu bringen. Dies kann man erreichen, indem man die verschiedenen Ausprägungen des Reifegrades des zu analysierenden Prozesses in der Reifegradlandkarte modelliert.

In **Abbildung 7-5** ist dies am Beispiel der Absicherung der Montagetauglichkeit des Cockpits schematisch dargestellt. Auf der rechten Seite sind die an diesem Teil des Absicherungsprozesses beteiligten Bereiche, die Produktentwicklung und die Produktionsplanung, dargestellt. Unter der Verantwortung der Produktentwicklung werden die Methoden Packaging und Digitale Baubarkeit, entsprechend unter der Verantwortung der Produktionsplanung die Methode Digitale Planungsabsicherung, durchgeführt. Da die betrachteten Methoden digitale Modelle analysieren, liefern sie nur einen Betrag zum digitalen Reifegrad, der reale Reifegrad ist daher auch nicht dargestellt.

Analysiert man nun, welche Schwerpunkte die eingesetzten Methoden haben, so ist festzustellen, dass die Methoden Packaging und Digitale Baubarkeit eine primär produktbezogene, funktionale Absicherung leisten und somit eine funktionale Sicht im Digitalen Reifegrad widerspiegeln. Allein die Digitale Planungsabsicherung erlaubt es in diesem Fall, eine wirklich

produktionsbezogene Absicherung zu leisten und damit eine entsprechende Sicht im Digitalen Reifegrad hervorzurufen. Ermöglicht wird dies durch den Modellreifegrad: In den digitalen Modellen, wie sie im Rahmen der Digitalen Planungsabsicherung untersucht werden, sind eben die entsprechenden Ausprägungen des Produktionssystems berücksichtigt und so produktionsbezogene Absicherungen möglich.

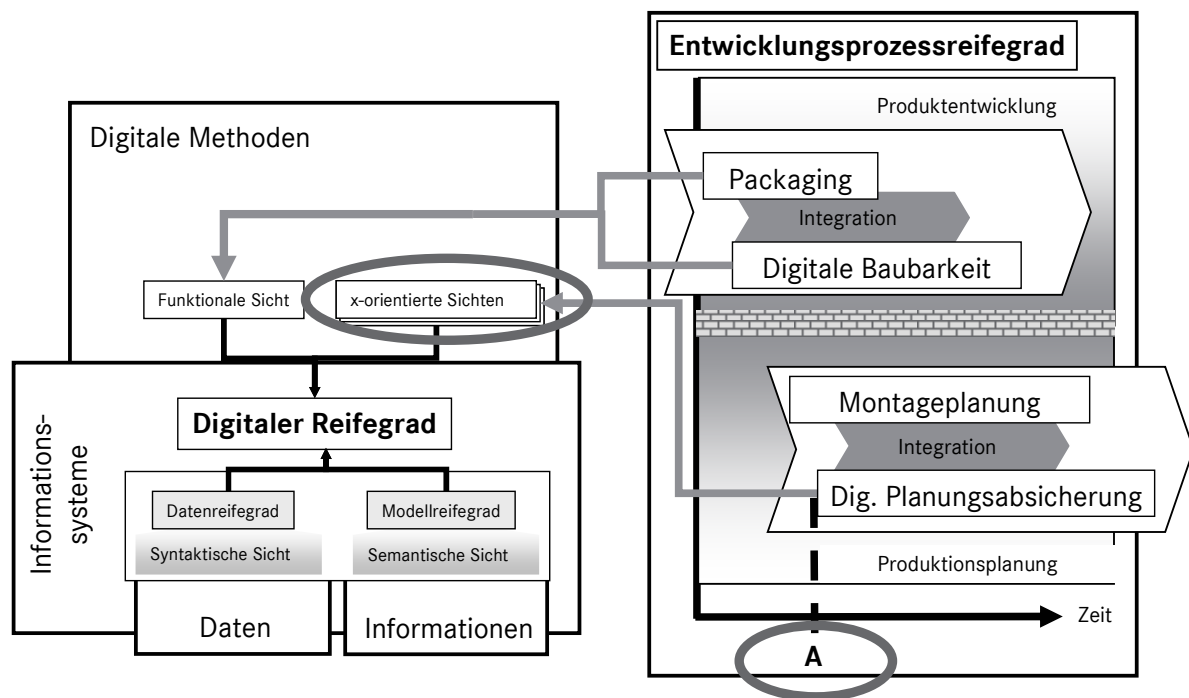


Abbildung 7-5 Ist-Situation der Absicherung der Montagefähigkeit eines Cockpits, modelliert in der Reifegradlandkarte, in Anlehnung an[MuMB06].

Obwohl im untersuchten Ist-Prozess Absicherungsziele mit sowohl funktionaler als auch x-orientierter Sicht im Digitalen Reifegrad repräsentiert sind, gibt es Optimierungspotential. Dabei sind insbesondere drei Probleme der derzeitigen Lösung zu diskutieren:

1. Da die Methode Digitale Planungsabsicherung auf Ergebnissen der Montageplanung aufbaut, liegen entsprechenden Absicherungsergebnisse erst vergleichsweise spät vor. Dabei ist spät natürlich keine hinreichend präzise Beschreibung: Die Digitale Planungsabsicherung hat die Aufgabe, die Ergebnisse der Montageplanung abzusichern. Daher kann sie natürlich nur nach, im besten Falle im Sinne eines CE parallel zur Montageplanung durchgeführt werden und ist dementsprechend nicht zu spät. Nun wird in der Digitalen Planungsabsicherung aber neben der Absicherung der Montageplanungsergebnisse natürlich in gleichem Maße die Produktionstauglichkeit des Pro-

duktes überprüft, und diese Aspekte sind es, die die x-orientierte Sicht im Digitalen Reifegrad ausmachen. Verglichen zur funktionalen Sicht im Digitalen Reifegrad wird diese x-orientierte Sicht allerdings sehr spät etabliert.

2. Im beschriebenen Ist-Prozess sind zwei Bereiche, Produktentwicklung und Produktionsplanung, beteiligt. Die Informationssysteme, die an diesem Prozess beteiligt sind, sind nicht optimal integriert. In der Produktentwicklung wird als Verwaltungssystem ein EDM-System eingesetzt, in der Produktionsplanung eine Planungsdatenbank. Dabei ist, für jeden Bereich separat betrachtet, die Integration mit den entsprechenden Autorensystemen zwar realisiert, die bereichsübergreifende Integration allerdings nicht gegeben. Dies hat vor allem auf den Datenreifegrad Auswirkungen: Es ist nahezu unmöglich, in beiden Bereichen die gleichen, aktuell gültigen Daten als Basis für Absicherung heranzuziehen, die Synchronisation der Daten scheitert an der mangelhaften Integration der Systeme. Damit besteht latent die Gefahr, dass der Digitale Reifegrad nicht den derzeitigen Status des Entwicklungsverlaufs repräsentiert.
3. Gerade am Beispiel des Cockpits werden die Grenzen von digitalen Absicherungsmethoden aufgezeigt. Ein Cockpit besteht zu ca. 30% aus elastischen oder biegeschlaffen Bauteilen, und auch das häufig angewandte Fügeverfahren Clipsen setzt auf elastische Verformung als Wirkprinzip. Die Folge davon ist ein per se niedrig anzusetzender Modellreifegrad. Ein bedächtiger Umgang mit Aussagen bezüglich des Digitalen Reifegrads ist an dieser Stelle sicher zu empfehlen, beispielsweise durch die geeignete Angabe einer Absicherungsunschärfe. Dabei sei angemerkt, dass dieses Problem sowohl die funktionalen als auch die x-orientierten Sichten auf den Reifegrad betrifft.

#### 7.2.1.2 Anforderungen an den Soll-Prozess

Ausgehend von der Modellierung des Ist-Prozess mit Hilfe der Reifegradlandkarte lassen sich nun Anforderungen an den Soll-Prozess ableiten. Die Anforderungen beziehen sich auf die oben genannten Probleme und umfassen im Einzelnen:

- Es ist notwendig, früher im Prozess eine produktionsorientierte Sicht im Digitalen Reifegrad zu etablieren.
- Absicherungsmethoden in der Produktentwicklung und der Produktionsplanung müs-



sen auf Daten aufsetzen, deren Datenreifegrad zum Absicherungszeitpunkt transparent und nachvollziehbar ist. Dies erfordert die Integration der Informationssysteme an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung sowie die Nutzung einer einheitlichen, synchronisierten Datenbasis.

- Das Verhalten der digitalen Modelle der Komponenten eines Cockpits entspricht dem Verhalten starrer Körper. Aber ca. 30% der Komponenten sind elastisch oder biegeschlaff, und ihr Verhalten bei einer Einbausimulation kann durch starre Körper nur schlecht approximiert werden. Daher muss der Modellreifegrad dieser elastischen und biegeschlaffen Teile erhöht werden, beispielsweise durch ein geeignetes Ersatzmodell.

### 7.2.1.3 Soll-Prozess und Reifegradlandkarte

Ausgehend von diesen, unter besonderer Berücksichtigung des Reifegrades, ermittelten Anforderungen ist man jetzt in der Lage, einen verbesserten Soll-Prozess in der Reifegradlandkarte zu modellieren (**Abbildung 7-6**).

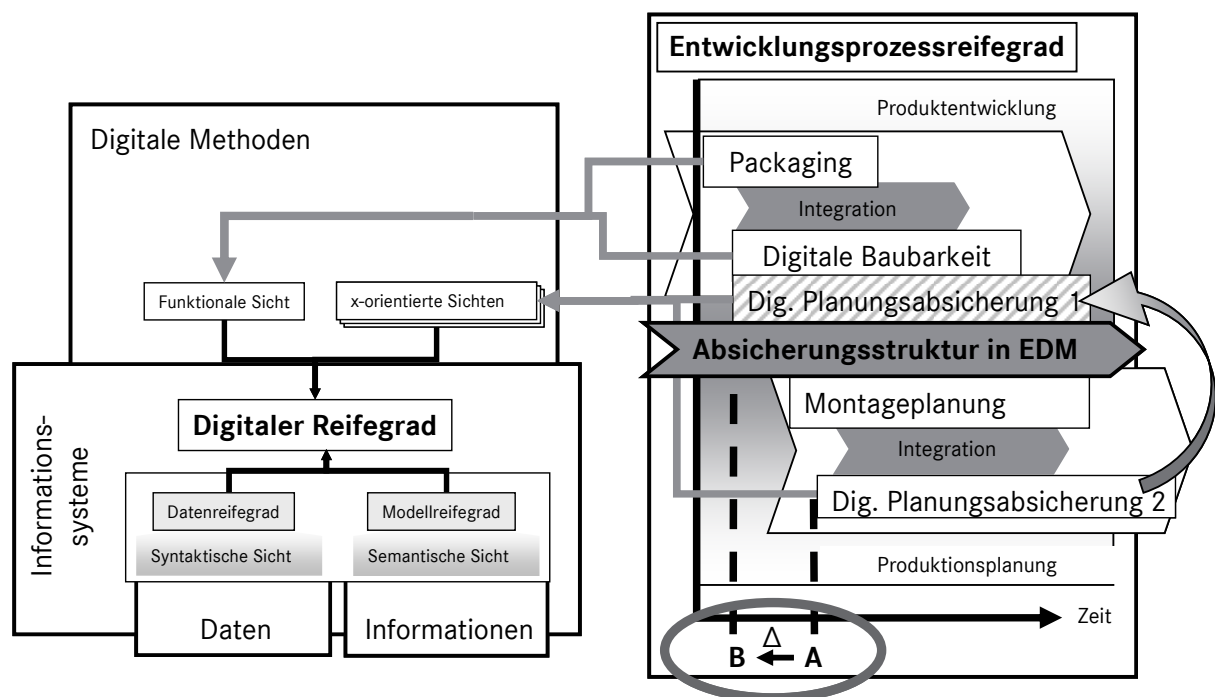


Abbildung 7-6 Der Soll-Prozess – frühere x-orientierte Sicht („statt A jetzt B“) durch Einführen einer vorgeschalteten Absicherungsphase, transparenteren Datenreifegrad durch bereichsübergreifende Absicherungsstruktur in EDM, in Anlehnung an [MuMB06].

In einem zweiten Schritt ist es dann möglich, die Realisierung dieser Anforderungen durchzuführen. Dabei zu ist berücksichtigen, dass das gesamte, dem Absicherungsprozess zu Grunde

liegende EIMS als Gestaltungsraum verstanden werden muss. In den folgenden Abschnitten werden daher die Änderungen, die ausgehend vom Soll-Prozess an den entsprechenden Bausteinen des EIMS vorgenommen werden müssen, beschrieben.

Eine wesentliche Anforderung an den Soll-Prozess ist die Möglichkeit, früher als bisher im Prozess eine x-orientierte Sicht im Digitalen Reifegrad zu etablieren. Dazu ist es notwendig, die dazu grundsätzlich fähige Absicherungsmethode Digitale Planungsabsicherung früher im Prozess anwenden zu können. In **Abbildung 7-6** ist dies dargestellt, die Durchführung der Absicherung wird nun zum früheren Zeitpunkt B möglich sein. Welche Anpassungen hierzu notwendig sind, wird in Kapitel 7.2.2 beschrieben. Dort wird auch die Möglichkeit der Einführung weiterer x-orientierter Absicherungsmethoden, die bisher noch nicht eingesetzt werden, aufgezeigt.

Ausgehend von der Ist-Prozess-Analyse wird gleichzeitig verlangt, eine bessere Transparenz des Datenreifegrades zu erreichen. Als Lösung bietet es sich hier an, die in den beteiligten Bereichen eingesetzten Informationssysteme zur Durchführung der Absicherungsaufgabe in eine gemeinsame Datenbasis zu integrieren. Kapitel 7.2.3 zeigt mit einer EDM-basierten Absicherungsstruktur eine mögliche Umsetzung dieser Anforderung.

Schließlich wird in Kapitel 7.2.4 gezeigt, wie durch eine geeignete Modellbildung der Modellreifegrad sehr einfach erhöht werden kann. Dabei steht vor allem im Fokus, das Verhalten elastischer oder biegeschlaffer Bauteile im Rahmen von Absicherungen besser abbilden zu können. Insgesamt wurden die prototypische Realisierung dieses Ist-Prozesses sowie die dazu notwendigen Anpassungen an einzelnen Bausteinen des EIMS in den Arbeiten von Meissner [Meis06] und Resch [Res06] umgesetzt. Daher wird auf eine detaillierte Beschreibung der informationstechnischen Umsetzung verzichtet und nur auf die wesentlichen konzeptionellen Schwerpunkte eingegangen.

## **7.2.2 Umgestaltung EIMS – Methodenanpassung**

Um eine frühere x-orientierte Sicht etablieren zu können, wurden zwei neue Methoden in das EIMS integriert. Dabei handelt es sich im ersten Fall um eine Methode aus der Rohbauabsicherung, die für Absicherungsaufgaben in der Montage angepasst wurde, sowie im zweiten

Fall um eine Methode, die ursprünglich zur Auswahl von Schraubwerkzeugen dient und im vorliegenden Fall zur produktionsbezogenen Produktabstimmung herangezogen werden kann.

#### 7.2.2.1 Geometrische Absicherung

Im Rahmen der produktionsbezogenen Absicherung im Rohbau kommt eine Methode zum Einsatz, die anhand der Analyse von digitalen Modellen die Zugänglichkeit von Verbindungselementen im Rohbau mit den entsprechenden Werkzeugen überprüft. Diese Methode, die Schweißzangenzugänglichkeit, überprüft, ob ein Verbindungselement wie beispielsweise ein Schweißpunkt von einer Schweißzange tatsächlich gesetzt werden kann. Dabei stehen zwei Absicherungsaufgaben im Mittelpunkt:

1. Ist die vorgesehene **Fügestufe** auch unter der Berücksichtigung des Produktionssystems, in diesem Fall von Spannvorrichtungen und Schweißzangen, realisierbar?
2. Welche Schweißzangen sind überhaupt in der Lage, unter den gegebenen, vorwiegend geometrischen Restriktionen, die **Fügestellen** zu erreichen?

Prinzipiell lässt sich diese Aufgabenstellung auch auf das Cockpit übertragen:

1. Ist die vorgesehene Montagereihenfolge unter Berücksichtigung des Produktionssystems, in diesem Fall Montagevorrichtungen und Schraubwerkzeuge bzw. den Händen des Montagearbeiters, realisierbar?
2. Welche Schraubwerkzeuge sind überhaupt in der Lage, die konstruktiv vorgesehenen Verbauorte der Verbindungselemente zu erreichen?

Die Adaption der Methode Schweißzangenzugänglichkeit für die Absicherung der Montagefähigkeit eines Cockpits kommt dabei gänzlich ohne eine Anpassung des Autorensystems, einer Planungsapplikation, aus. Diese Planungsapplikation führt im Wesentlichen eine automatisierte DMU-Analyse durch, mit dem Unterschied, dass nicht verschiedene Komponenten des Produktes auf Kollisionen und Durchdringungen untersucht werden, sondern das Produkt und die entsprechende Ressource im Moment des Fügevorgangs. Ermöglicht wird dieses automatisierte Vorgehen durch vier Voraussetzungen.

1. Jedes zu untersuchende Verbindungselement ist von der Applikation erkennbar
2. Es hat eine von der Applikation identifizierbare Lage und Orientierung im Raum

3. Die Applikation muss in der Lage sein, die Verbindungselement und Ressource zueinander in Beziehung zu setzen. Dies umfasst eine logische Beziehung im Sinne einer Zuweisung („diese Schraube wird gefügt mit Schrauber A“) und eine geometrische Beziehung („der Schraubenaufsatz des Schraubers setzt am Schraubenkopf der Schraube an und ist in Fügerrichtung auszurichten“).
4. Die Montagereihenfolge ist bekannt

Alle diese Voraussetzungen waren im bestehenden Ist-Prozess nicht gegeben und konnten im Rahmen der prototypischen Umsetzung für das Cockpit realisiert werden. Letztlich ließen sich diese Anforderungen durch eine Erhöhung des Modellreifegrades von Verbindungselementen realisieren. Die dazu notwendigen Schritte waren:

- Jedes Modell eines Verbindungselementes in der Montage (Schraube, Clips,...) erhält ein zusätzliches Datenobjekt. Dieses Datenobjekt beinhaltet zum einen Lage und Orientierung und beschreibt damit den „Werkzeugangriffspunkt“, sowie einen eindeutig identifizierbaren Kenner.
- Informationen über das Produkt und das Produktionssystem (z. B. vorgesehene Werkzeuge und geplante Fügereihenfolge) sind der gleichen Absicherungsstruktur verknüpft.

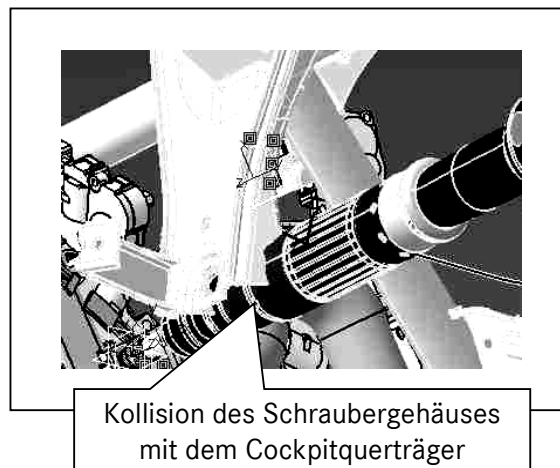


Abbildung 7-7 Methode Automatische Schrauberzugänglichkeit am Beispiel eines Cockpitquerträgers, aus [Meis06]. Der eingesetzte Stabschrauber kollidiert mit der Aufnahme des Beifahrerairbags.

In **Abbildung 7-7** ist die neue Methode Automatische Schrauberzugänglichkeit dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass der zum Einsatz vorgesehene Stabschrauber nicht geeignet ist, er

kollidiert mit einem Teil des Cockpitquerträgers.

Zum zusammenführen dieser Information wurde eine neue Produktstruktur definiert, die so genannte Absicherungsstruktur. Sie hat nicht nur die Aufgabe, die zur Absicherung benötigten Informationen zusammenzuführen. Da diese Struktur in einem EDM-System initialisiert werden kann, kann mit ihr auch der Forderung nach einer bereichsübergreifenden Integration nachgekommen werden. Wie die Absicherungsstruktur in EDM konzipiert ist, ist in Kapitel 7.2.3 ausgeführt.

### 7.2.2.2 Prozessabsicherung

Neben geometrischen Absicherungen gibt es weitere Möglichkeiten, den Anteil der x-orientierten Sicht am Digitalen Reifegrad zu steigern. In [Resc06] wird ein Konzept vorgestellt, das basierend auf einer geometrischen Absicherung, eine zweite Absicherungsphase vorschlägt.

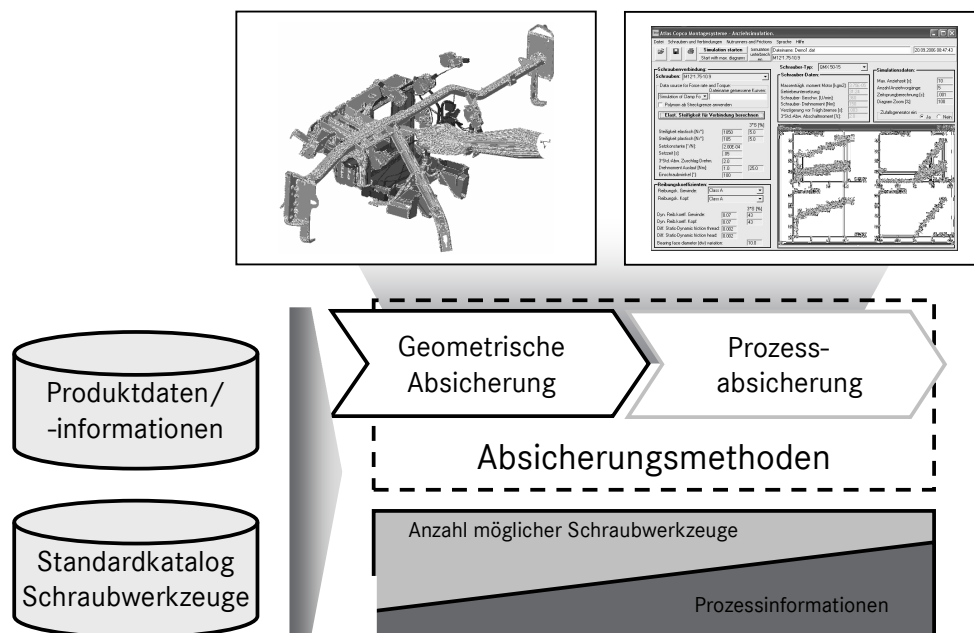


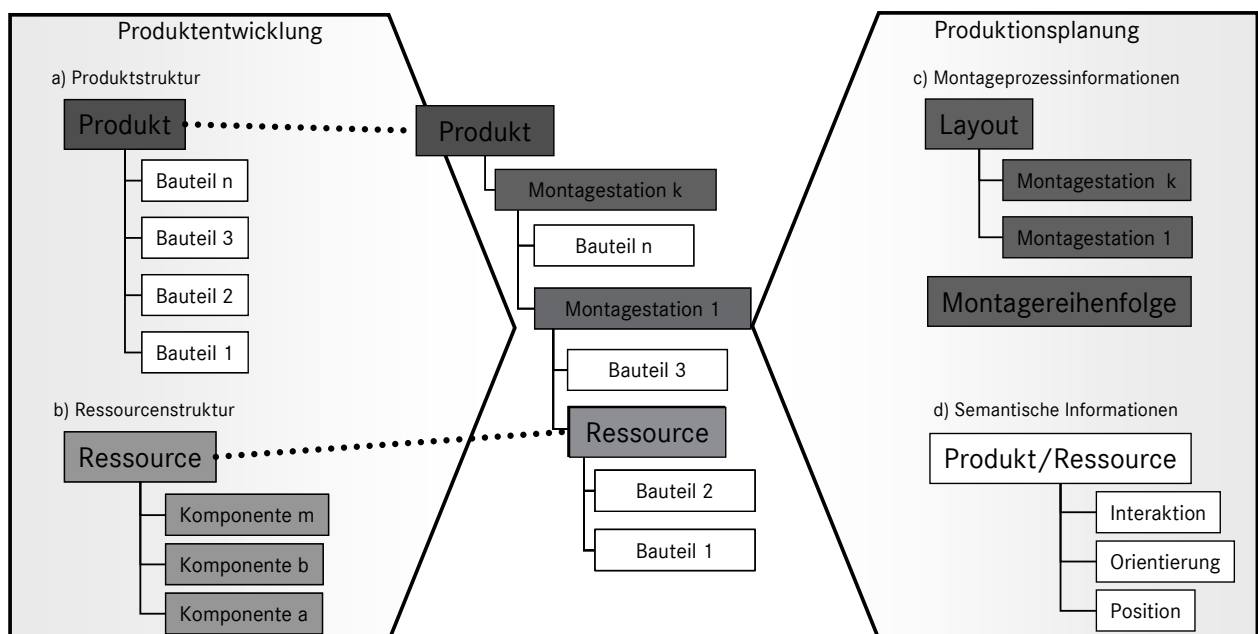
Abbildung 7-8 Prozessabsicherung aufbauend auf geometrischer Absicherung [Resc06]

Dabei steht eine frühzeitige Einschränkung der Anzahl in Frage kommender Schraubwerkzeuge im Mittelpunkt, wobei die technologischen Fähigkeiten des Schraubwerkzeugs sowie mögliche Anzugsdrehmomente und -abweichungen oder zeitliche Vorgaben berücksichtigt werden. Damit ergeben sich zwei wesentliche Vorteile: Schraubwerkzeuge können sehr viel

früher, auch unter Berücksichtigung fertigungstechnischer Aspekte ausgewählt und festgelegt werden, gleichzeitig können Steuerungsparameter für reale Schraubversuche ermittelt werden. Beides führt zu einer früheren, konkreteren Ausprägung des Produktionssystems und damit zu einem robusteren Produktentstehungsprozess. Dies äußert sich letztlich in einer Erhöhung der in Kapitel 6.1.4 definierten Aussagesicherheit  $\sigma_{j \text{ dig.}}$ . Da das digitale Modell des Produktionssystems nun besser dem realen Produktionssystem entspricht, ist für die Erhöhung der Aussagesicherheit ein verbesserter Modellreifegrad verantwortlich.

### 7.2.3 Umgestaltung EIMS – Anpassung Informationssysteme Absicherungsstruktur in EDM

In der Produktentwicklung wird zur Dokumentation der Produktstruktur, zur Versorgung entsprechender Autorensysteme und zur Archivierung von Geometriedaten ein EDM-System als Verwaltungssystem eingesetzt. In diesem System sind demnach vornehmlich produktbeschreibende Informationen abgelegt. Wie in Kapitel 3 beschrieben, sind EDM-Systeme darüber hinaus auch in der Lage, Anforderungen hinsichtlich Versionierung, Variantenmanagement, Berechtigungskonzepten oder Workflowmanagement zu erfüllen. Dies führt zur grundsätzlichen Überlegung, den frühen, produktionsbezogenen Produktabsicherungsprozess auf der Basis eines EDM-Systems gewissermaßen als Brücke zwischen der Produktentwicklung einerseits und der Produktionsplanung andererseits zu implementieren.



---

Abbildung 7-9 Die bereichsübergreifende Absicherungsstruktur in EDM integriert absicherungsrelevante Information aus Entwicklung und Produktionsplanung [MuBa06].

Um in einem EDM-System eine Datenbasis für eine Absicherung einsetzen zu können, müssen zwei Randbedingungen erfüllt werden:

1. Alle zur Absicherung notwendigen Informationen müssen zusammengeführt werden können
2. Diese Informationen müssen zur Durchführung der Absicherung im Autorensystem bereitgestellt werden können.

Diese Randbedingungen können durch die Implementierung einer Absicherungsstruktur im EDM-System realisiert werden. In Abbildung 7-9 ist die grundsätzliche Konzeption einer Absicherungsstruktur dargestellt. Dabei sind auf der linken Seite die notwendigen Informationen aus der Produktentwicklung, auf der rechten Seite die entsprechenden Informationen aus der Produktionsplanung dargestellt.

Von der Produktentwicklung werden natürlich Produktdaten als Input erwartet, aber auch die relevanten Daten der zur Fertigung benötigten Ressourcen. Dabei sei angemerkt, dass zwar die Verantwortung über die Ressourcen in Händen der Produktionsplanung liegt, die organisatorische dort eingegliederte Betriebsmittelkonstruktion allerdings die Infrastruktur der Produktentwicklung (CAD-Systeme, EDM-Systeme) nutzt. Das gleiche gilt im Übrigen für externe Anlagenlieferanten, auch diese nutzen die Infrastruktur der Produktentwicklung zu Zwecken der Betriebsmittel- oder Anlagenkonstruktion.

Auch aus der Produktionsplanung werden Information zur Integration in die Absicherungsstruktur benötigt: Eine ganz wesentliche Information ist die Montagereihenfolge. Speziell für die Beurteilung der Baubarkeit und der Zugänglichkeit von Bauteilen ist die Montagereihenfolge von großer Wichtigkeit: Bei der Überprüfung ist es notwendig, den Verbauzustand des Fahrzeuges zu berücksichtigen, d.h. welche Komponenten wurden bereits in vorhergehenden Stationen verbaut. Die Planungsmethodik in der Produktionsplanung hat zum Ziel, einen optimalen Fertigungsprozess zu gestalten. Dabei werden natürlich Restriktionen des Produktes, aber auch des Hallenlayouts von Produktionswerken bis hin zu wirtschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen (z. B. besondere Schichtmodelle) berücksichtigt. Letzten Endes stellt eine unter diesen Prämissen generierte und unter wirtschaftlichen Aspekten optimierte

Montagereihenfolge eine sehr aussagekräftige, produktionsbezogene Eingangsinformation dar, da zur Erstellung der Montagereihenfolge sehr viele Aspekte des Produktionssystems berücksichtigt werden.

Neben der Reihenfolge, in der das Fahrzeug gefertigt werden soll, kann es natürlich auch hilfreich sein zu wissen, in welcher Montagestation die entsprechenden Arbeitsvorgänge von statten gehen. Betriebsmittel, die den entsprechenden Stationen zugewiesen sind, schränken die Zugänglichkeit am Fahrzeug ein und müssen berücksichtigt werden. Situationsbezogen sind verschiedene „Verknüpfungstiefen“ realisierbar. Dies kann eine logische Zuweisung sein, im Sinne von „Produktkomponente 1 und Betriebsmittel 1 gehören zu Station 1“, darüber hinaus sind auch Verknüpfungen über geometrische Beziehungen von Produkt- und Produktionssystem, etwa mit Hilfe assoziativer Datenstrukturen in EDM-Systemen möglich. In [Muel04] wurde eine solche assoziative Datenstruktur in EDM zum Management von Prozessdaten an der Schnittstelle zwischen Digitaler Entwicklung und Planung im Karosserie-rohbau entwickelt.

Für das Beispiel der Absicherung der Montagegerechtheit des Cockpits kann dies zum Beispiel die Definition des Zusammenspiels zwischen Schraubenkopf und Montagewerkzeug sein. Dazu ist es notwendig, der Schraube einen Punkt („Werkzeugangriffspunkt“) und die Fügerichtung zuzuweisen. Eine Möglichkeit hierzu bietet die Featuretechnologie („assembly features“). Wie bereits erwähnt ergibt sich eine andere Möglichkeit mit der Fähigkeit von EDM-Systemen, assoziative Datenstrukturen zu erzeugen und zu verwalten. In Abbildung 7-10 ist die grundsätzliche Idee solcher assoziativen EDM-Strukturen aufgezeigt.

Auf der linken Seite ist eine Produktstruktur zu sehen, welche die strukturelle und geometrische Beschreibung des Produktes repräsentiert. Auch in der Absicherungsstruktur auf der rechten Seite sind diese Informationen notwendig: daher werden beide Strukturen verknüpft, Sie teilen sich alle in beiden Strukturen benötigten Informationen. Die Absicherungsstruktur enthält zusätzlich allerdings noch absicherungsrelevante Informationen, (Werkzeugangriffspunkt und -richtung). Die Assoziativität wurde in diesem Fall durch so genannte Bündelelemente realisiert. Das sind eigenständige Objekte im EDM-System, die Produktgeometrien aus der Produktstruktur und absicherungsrelevante Zusatzinformationen zusammenführen („bündeln“) und in der Absicherungsstruktur eingehängt sind.



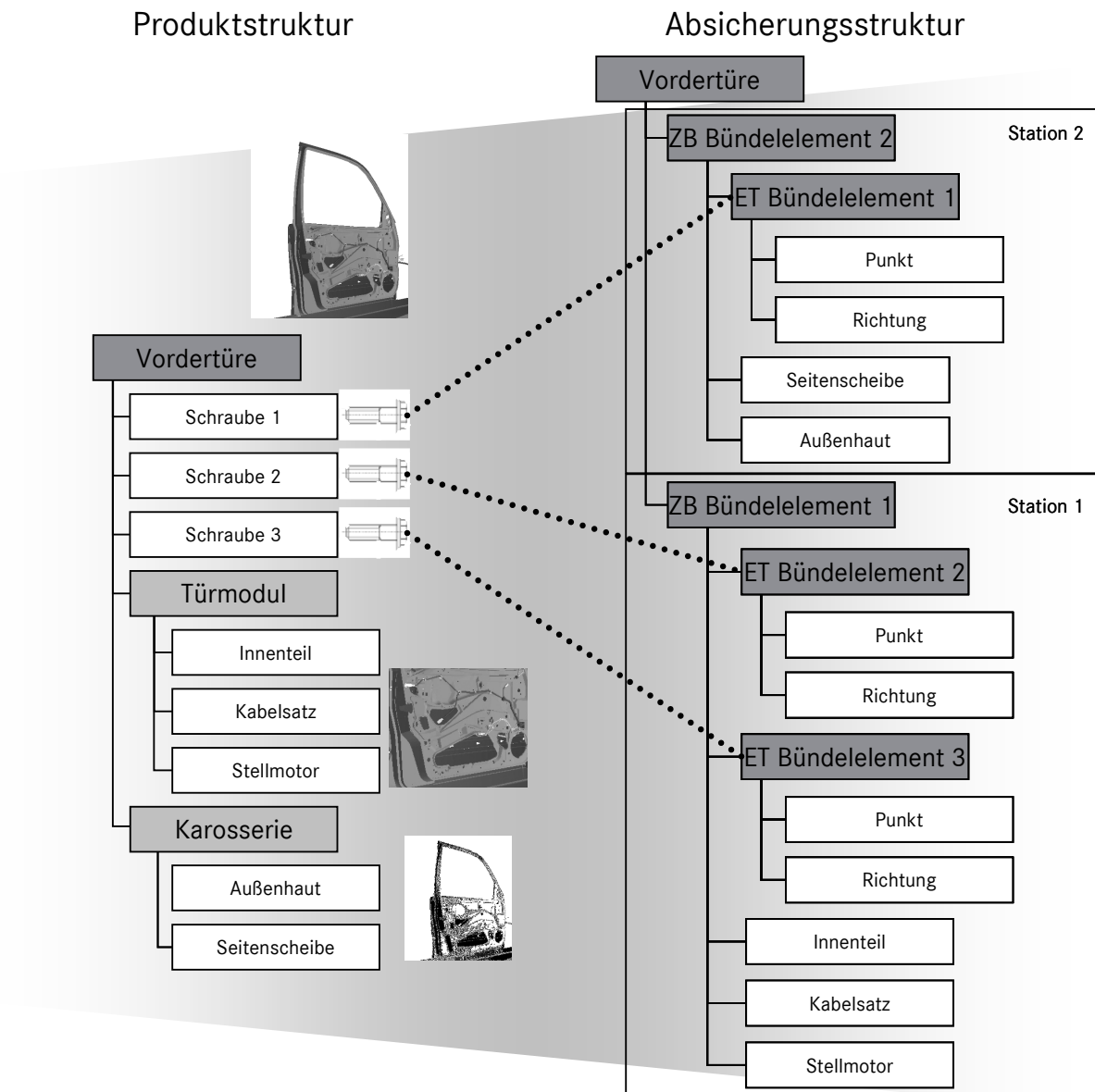


Abbildung 7-10 Die Absicherungsstruktur ist eine produktorientierte Produktstruktur und enthält zusätzlich absicherungsrelevante Information. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Assoziativität der Strukturen nur an exemplarisch anhand der Schrauben dargestellt.

Dadurch wird redundante Datenhaltung vermieden und es ist möglich, die Freigabe- und Versionisierungsmöglichkeiten des EDM-System im Absicherungsprozess einzusetzen. Insbesondere der Datenreifegrad kann so transparent und nachvollziehbar gemacht werden.

## 7.2.4 Umgestaltung EIMS – Information und Daten zur Absicherung der Montage-tauglichkeit eines Cockpits

Während in der Produktstruktur die produktbeschreibenden Informationen enthalten sind, wird durch die Absicherungsstruktur eine neue Sicht auf absicherungsrelevante Daten erzeugt: Die Strukturierung ist nicht mehr konstruktions- bzw. funktional-, sondern „absicherungsorientiert“. Dazu kann zum Beispiel eine Gliederung anhand der Montagestationen analog zu Abbildung 7-9 vorgenommen werden, und die zusätzlich zur Absicherung relevanten Informationen können integriert werden. Im abgebildeten Beispiel ist dies mit Bündelelementen (BET) gelöst. Diese Objekte verknüpfen Produktgeometrien, z.B. diejenige einer Schraube, mit den absicherungsrelevanten Informationen, in diesem Fall Punkte und Richtungen, siehe Abbildung 7-11. Der eigentliche Vorteil dieser Lösung kommt vor allem zum Tragen, wenn man sich vor Augen führt, wie häufig Produktänderungen auftreten und dementsprechend wieder und wieder abgesichert werden müssen: Wie bereits erwähnt, sind die Strukturen assoziativ verknüpft. Dabei werden die Produktdaten nicht redundant gehalten, sondern stehen in beiden Sichten zur Verfügung. Ändert sich das Produkt, so schlagen diese Änderungen in der Absicherungsstruktur durch: Die Absicherungsstruktur wird aktualisiert, und ohne Datenaufbereitung kann eine Absicherung direkt angestoßen werden.

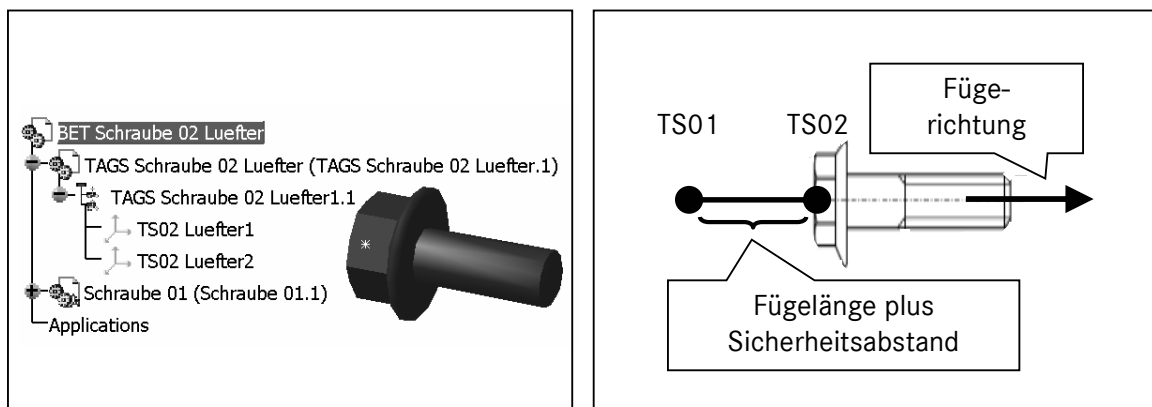


Abbildung 7-11 Ein Bündelelement im EDM-System verknüpft die Produktgeometrie der Schraube mit absicherungsrelevanten Informationen..

Neben Relationen, Lagen und Orientierungen sind natürlich auch andere Informationen für Absicherungsaufgaben relevant. Am Beispiel des Cockpits wurde bereits kurz diskutiert, dass insbesondere bei Montageumfängen berücksichtigt werden muss, dass sehr viele Teile ein elastisches oder gar biegeschlaffes Verhalten besitzen. Der Modellreifegrad der entsprechen-

den Modelle ist dabei nicht besonders günstig: Das starre Modell verhält sich vollkommen anders als das reale Bauteil, und entsprechend sind Absicherungsergebnisse in ihrer Aussagekraft und Nachhaltigkeit schwierig einzuschätzen.

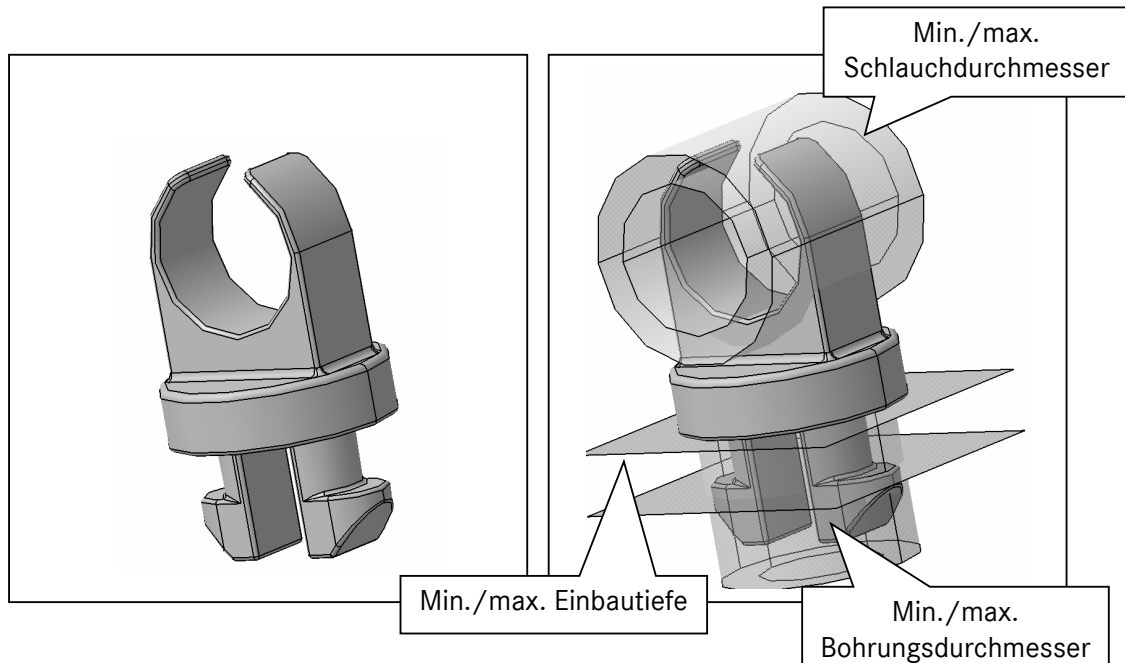


Abbildung 7-12 CAD-Modell eines Clips mit und ohne Hilfsflächen zur vereinfachten Abbildung des elastischen Verhaltens und damit zu Erhöhung des Modellreifegrads [Meis06].

Dennoch gibt es Möglichkeiten, den Modellreifegrad durch geeignete Ersatzmodelle zu erhöhen. **Abbildung 7-12** zeigt auf der linken Seite einen Clips, dessen elastisches Einbauverhalten („einspreizen“) nur sehr aufwändig zu modellieren ist. Auf der rechten Seite ist ein für automatische Absicherungen geeignetes Ersatzmodell dargestellt. Dabei wurden absicherungsrelevante Informationen und Restriktionen, zum Beispiel minimale und maximale Einbautiefen im digitalen Modell hinterlegt.

### 7.3 Absicherungsportal – ein Rahmenwerk zur produktionsbezogenen Produktabsicherung

Neben den in den beiden voranstehenden Kapiteln beschriebenen Möglichkeiten der Nutzung der Reifegradlandkarte für Aufgabenstellungen der Prozessanalyse und des Reengineering von Absicherungsprozessen stellt sich die Frage, wie die in der Reifegradlandkarte enthaltenen grundsätzlichen Ideen auch in die tägliche Praxis von Absicherungsexperten einfließen können.

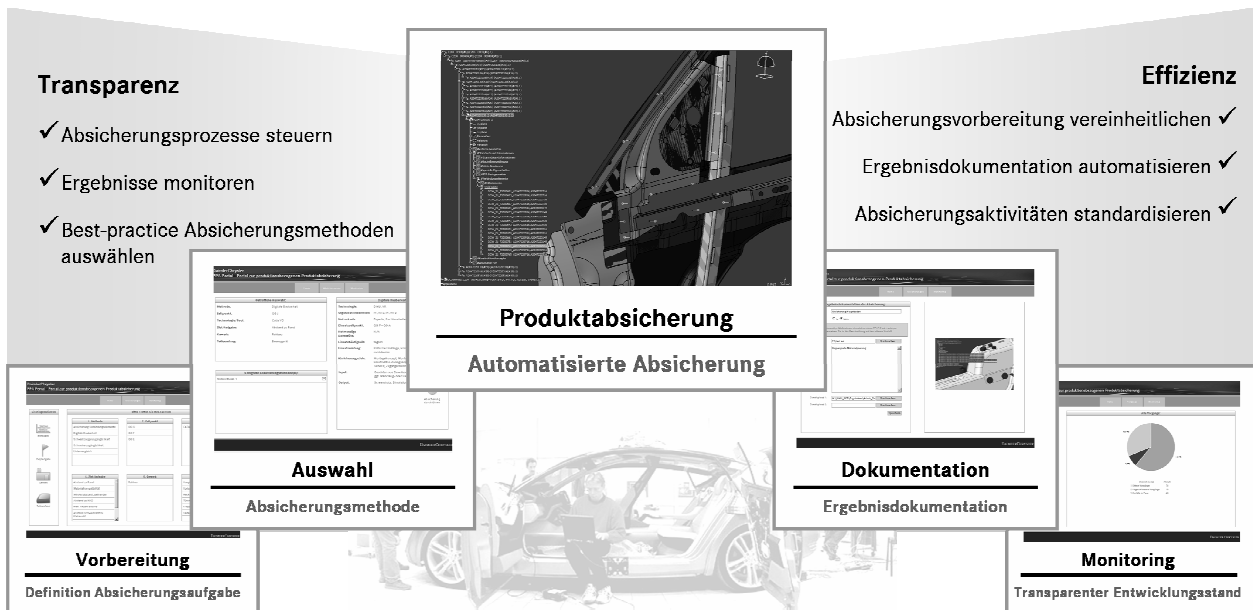


Abbildung 7-13 Das Absicherungsportal schafft Transparenz und steigert die Effizienz bei der Durchführung und beim Monitoring von Absicherungsaktivitäten am digitalen Produkt

Zu diesem Zweck wurde ein System zur Koordination und Steuerung des Absicherungsprozesses (**Abbildung 7-13**) konzipiert, das den Absicherungsexperten in seiner täglichen Arbeit unterstützt und gleichzeitig die Abhängigkeiten zu anderen Absicherungsaufgaben transparent macht. Basis dieses „Absicherungsportals“ sind die Ergebnisse einer Untersuchung, die gemäß der in Kapitel 7.1 vorgestellten Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen bei einem OEM der Automobilindustrie durchgeführt wurde.

Demnach sind folgende Teilprozessschritte im Zuge einer Absicherung durchzuführen:

- Definition der Absicherungsaufgabe
- Auswahl der Absicherungsmethode
- Durchführung der Absicherung
- Dokumentation und Monitoring der Absicherungsergebnisse
- Einleiten von Folgemaßnahmen

Die praxisgerechte Unterstützung bei der Durchführung dieser Teilprozessschritte konnte durch einen Prototyp des Absicherungsportals erfolgreich realisiert werden. Die informationstechnische Umsetzung ist detailliert in [Wack07] beschrieben.

Die folgenden Kapitel umfassen jeweils einen Teilprozessschritt und zeigen auf, wie das Absicherungsportal bei der Durchführung genutzt werden kann.

### 7.3.1 Definition der Absicherungsaufgabe im Absicherungsportal

Im Rahmen der Absicherung eines Entwicklungsstandes können verschiedene Absicherungsmethoden zum Einsatz kommen. Dies ist von der Absicherungsaufgabe abhängig. Die Absicherungsaufgabe ist dabei wie folgt definiert.

#### Definition: Absicherungsaufgabe:

Die Absicherungsaufgabe umfasst das abzusichernde Bauteil bzw. die Baugruppe, das Absicherungsziel, die zur Absicherung einzusetzende Absicherungsmethode, den Absicherungszeitpunkt sowie den zur Durchführung der Absicherung Verantwortlichen. In **Abbildung 7-14** ist dieser Zusammenhang prinzipiell dargestellt, **Abbildung 7-15** zeigt das Absicherungsportal mit den Auswahlmenüs zur Definition einer Absicherungsaufgabe.

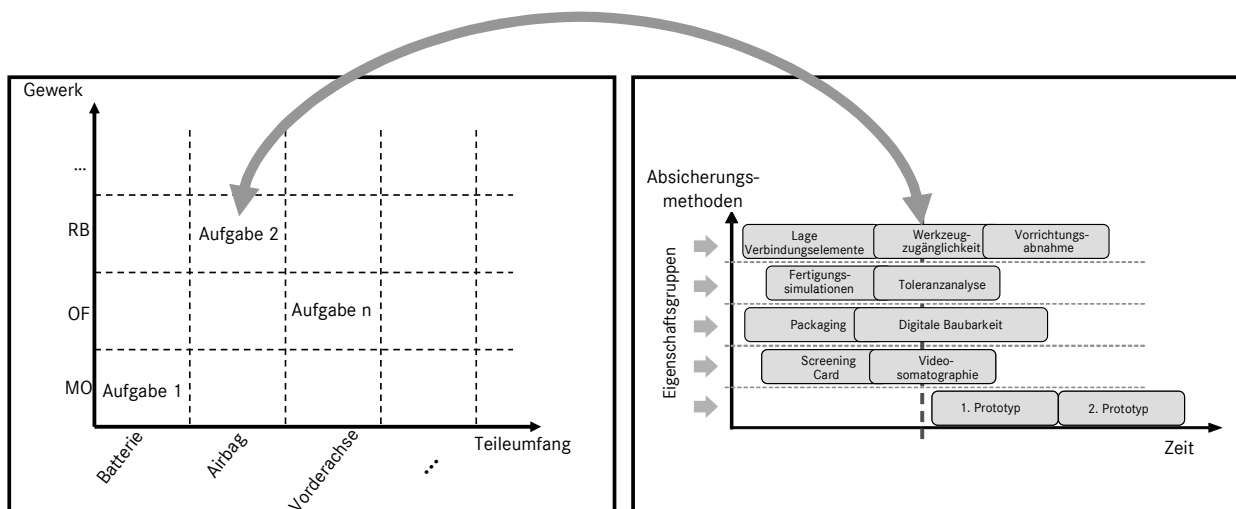


Abbildung 7-14 Mit Hilfe des Absicherungsportals können Absicherungsaufgaben definiert werden.

Das Absicherungsportal bietet die Möglichkeit, zu Beginn eines Entwicklungsprojektes alle notwendigen Absicherungsaufgaben im Sinne eines Arbeitsvorrates zu definieren. Dabei wird durch die hinterlegten Methodensteckbriefe gewährleistet, dass nur die zu einem bestimmten Zeitpunkt auch tatsächlich anwendbaren Methoden für eine Absicherung ausgewählt werden

können. Dies ist unter anderem davon abhängig, welchen Datenreifegrad die Eingangsinformationen einer Absicherungsmethode haben müssen.

Weiterhin wird durch das im Absicherungsportal realisierte Rollenkonzept ermöglicht, dass Absicherungsaufgaben direkt an Personen oder Personengruppen zugewiesen werden können. Damit können auch domänenübergreifende Absicherungsaktivitäten an einer Stelle zentral koordiniert und verwaltet werden.

The screenshot displays the 'DaimlerChrysler PPA Portal - Portal zur produktionsbezogenen Produktabstimmung'. The interface includes a navigation bar with 'Home', 'Absicherungen', 'Suche', and 'Monitoring'. A 'Logout' link is visible in the top right corner. The main content area is titled 'Bitte Treffen Sie Ihre Auswahl' and is divided into six selection panels:

- 1. Methode:** Includes options like 'Absicherung Verbindungselemente', 'Digitale Baubarkeit', 'Listervergleich', 'Schrauberzugänglichkeit', and 'Schweißanzugänglichkeit'.
- 2. Zeitpunkt:** Includes options 'OG E', 'OG F', and 'OG G'.
- 3. Technologie/Tool:** Includes 'CATIA Makro'.
- 4. Ziel/Aufgabe:** Includes options like 'Abstand Schweißnaht zu Klebnaht', 'Abstand Schweißpunkte', 'Abstand zu NAD', 'Abstand zu Rand', 'Materialkompatibilität', and 'max. Anzahl Bleche'.
- 5. Gewerk:** Includes 'Rohbau'.
- 6. Teileumfang:** Includes 'Hauptboden', 'Heckwagen', 'Klappen', 'Kotflügel', 'Seitenwand', 'Türen', and 'Vorbau'.

On the left side, there is a sidebar titled 'Einstiegsvarianten' with icons for 'Methoden', 'Ziel/Aufgabe', 'Gewerk', and 'Teileumfang'. The DaimlerChrysler logo is visible in the bottom right corner of the page.

Abbildung 7-15 Definition einer Absicherungsaufgabe im Prototyp des Absicherungsportals.

### 7.3.2 Durchführung der Absicherung

Der im voranstehenden Kapitel beschriebene Teilprozessschritt der Definition und Zuweisung der Absicherungsaufgaben wird einmal zu Beginn eines Entwicklungsprojektes von einem zentralen Verantwortungsbereich ausgeführt. Somit ist das Absicherungsportal ein Instrument zur Koordination von domänenübergreifenden Absicherungsaufgaben.

Zudem unterstützt das Absicherungsportal den Anwender auch direkt bei der Vorbereitung und der Durchführung einer Absicherung. Als Handlungshinweis ist der Methodensteckbrief hinterlegt, und auf alle zur korrekten Anwendung der Absicherungsmethode notwendigen Aspekte wird explizit hingewiesen. Dies umfasst beispielsweise Verweise auf gültige Richtlinien oder Normen zur Beurteilung der Absicherungsergebnisse und eine detaillierte Beschreibung der benötigten Eingangsinformation. Dabei kann sogar explizit auf die notwendigen Daten- und Modellreifegrade hingewiesen werden, siehe **Abbildung 7-16**.



Abbildung 7-16 Das Absicherungsportal stellt alle notwendigen Informationen zur Durchführung einer Absicherung bereit

Die eigentliche Durchführung der Absicherung findet nicht im Absicherungsportal statt, in der Regel kommen dabei eigenständige Autorensysteme, wie z.B. DMU- oder CAP-Applikationen zum Einsatz.

### 7.3.3 Dokumentation und Monitoring der Absicherungsergebnisse

Nach der Durchführung einer Absicherung obliegt es dem verantwortlichen Absicherungsexperten, das Absicherungsergebnis zu dokumentieren und zu beurteilen. Dies kann er im in

**Abbildung 7-17** dargestellten Dialogfeld tun. Durch das Speichern des Vorgangs entsteht ein Eintrag in der Datenbank, womit die Basis für das Monitoring der Absicherungsergebnisse geschaffen wird. Von besonderer Wichtigkeit ist die Option, den untersuchten Eingangsdatensatz sowie die erzeugten Ergebnisdokumente zu verlinken. Damit sind alle Aspekte der Absicherungsaufgabe transparent und nachvollziehbar dokumentiert.

The screenshot displays the 'DaimlerChrysler PPA Portal - Portal zur produktionsbezogenen Produktabstimmung'. The main content is divided into two sections: 'Ergebnisdokumentation der Absicherung:' and 'Weitere Schritte'.

**Ergebnisdokumentation der Absicherung:**

- Absicherung erfolgreich dokumentiert und gespeichert. Vorgang ID #5
- Ersteller: admin
- Zeitpunkt: QG E
- Gewerk: Rohbau
- Ziel/Aufgabe: Abstand Schweißpunkte
- Teileumfang: Türen
- Technologie/Tool: CATIA Makro
- Methode: Absicherung Verbindungselemente
- Betreff: Absicherung Abstand Schweißpunkte Türen BR204
- Ergebnis i.O.: fehlerhaft
- Datensatz: C:\tmp\Workflow\_1\Workflow\_1.1\_n.i.O\P204\_B-FZG-FW\_FZG\_02\_ENG\_08\_Tueren\_11.CATProduct
- Beschreibung: Abstand der Schweißpunkte an der Verstärkung II zwischen Bordkante außen (A2047200130) und Spiegeldreieck gebogen (A2047222616). Geprüft nach MBN10382
- Dateiupload 1: C:\tmp\Workflow\_1\Workflow\_1.1\_n.i.O\Workflow\_1.1\_P204\_B-FZG-FW\_FZG\_02\_ENG\_08\_Tueren.3dxml
- Dateiupload 2: C:\tmp\Workflow\_1\Workflow\_1.1\_n.i.O\JointChecks\W1.1\_Report.xml

**Weitere Schritte:**

This section contains a 3D CAD model of a car door assembly with a tree view on the left side, showing the hierarchical structure of the model.

The bottom right corner of the portal features the 'DAIMLERCHRYSLER' logo.

Abbildung 7-17 Dokumentation der Absicherungsergebnisse im Absicherungsportal.

Die bei der Definition der Absicherungsaufgabe ausgewählten Charakteristika wie Bauteil, Absicherungsziel und so fort können als Filterkriterium beim Monitoring herangezogen werden. So sind verschiedene Darstellungen realisierbar. Dabei ist auch zu entnehmen, welche Absicherungsaufgaben noch nicht, bzw. mit positivem oder negativem Ergebnis durchgeführt wurden, siehe **Abbildung 7-18**. Auf die Einführung eines zeitabhängigen Unschärfefaktors wurde bei der Implementierung verzichtet.



### 7.3.4 Einleiten von Folgemaßnahmen

Negative Absicherungsergebnisse können dazu führen, dass nach einer Absicherung Folgemaßnahmen ergriffen werden müssen.

Dies kann zum Beispiel eine Produktänderung sein, aber auch die Änderung von Betriebsmitteln oder des Produktionsprozess kann notwendig sein. Daher ist es notwendig, basierend auf einem negativen Absicherungsergebnis ein Ticket im Vorfallverfolgungssystem anzulegen.

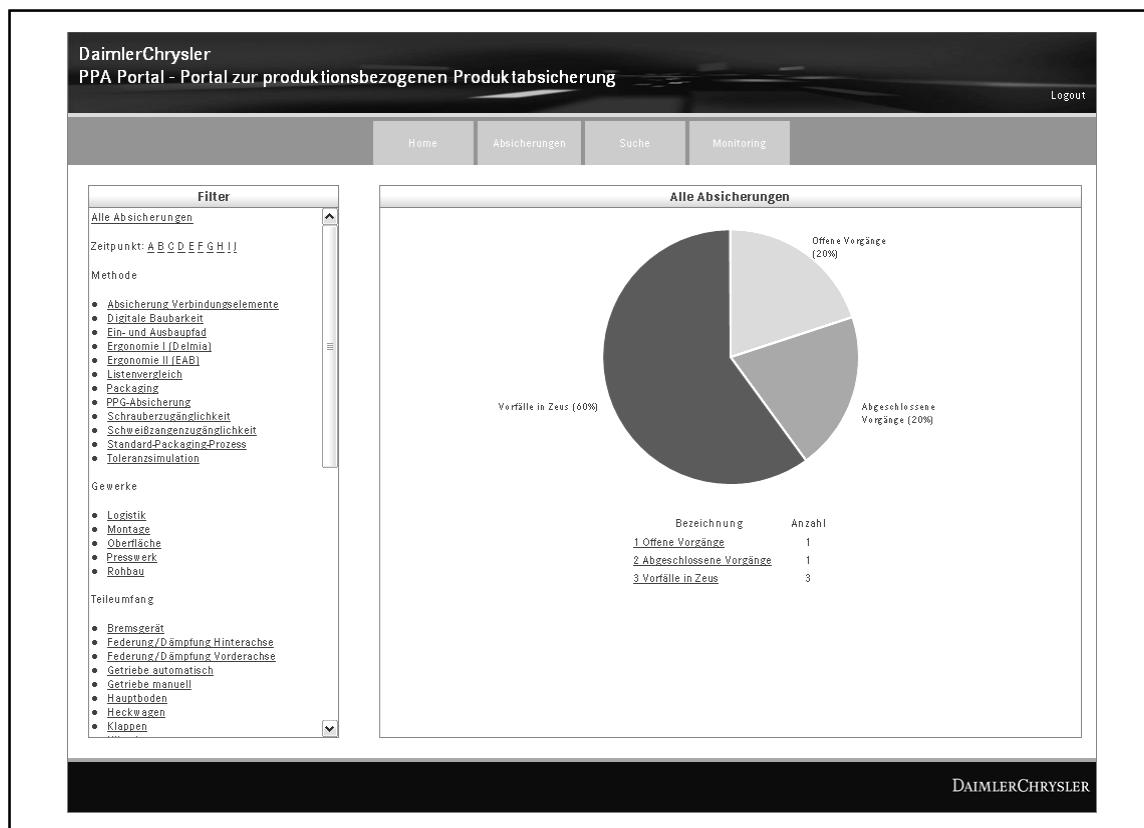


Abbildung 7-18 Monitoring von offenen, erfolgreich abgeschlossen und negativen Vorfällen. Diese bewirken einen Eintrag im Vorfallerfassungs- und verfolgungssystem „ZEUS“ sowie ggf. „Folgetickets“.

Zudem ist es notwendig, eine negative Absicherung noch einmal durchzuführen, und zwar auf einem korrigierten Datensatz („Wiedervorlage“). Dies kann durch das Anlegen eines so genannten Folgetickets realisiert werden. Dabei bleiben alle Charakteristika der Absicherungsaufgabe identisch erhalten, nur der Eingangsdatensatz und entsprechend die erzielten Ergebnisse können sich verändern. Da das Folgeticket auch seinen Vorgänger „kennt“, ist die Abbildung einer einfachen Historie der Absicherungsaktivitäten möglich. Durch die Auswertung solcher Historien können wertvolle Erkenntnisse für Folgeprojekte („lessons learned“) abgeleitet werden.

## 7.4 Zusammenfassung der Validierung des Konzeptes.

Zur Validierung des in Kapitel 6 entwickelten Konzepts, dem Modell der x-orientierten Produktabsicherung wurde eine auf der Reifegradlandkarte basierende Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen erarbeitet und vorgestellt. In einem zweiten Schritt wurde dann der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung am Beispiel des Cockpits analysiert und das zu Grunde liegende EIMS umgestaltet. Als Ergebnis wurden zwei neue Methoden in den Absicherungsprozess integriert sowie ein „Frontloading“ von absicherungsrelevanten Informationen durchgeführt. Als integrative Basis zur bereichsübergreifenden Zusammenarbeit wurde eine Absicherungsstruktur konzipiert. **Abbildung 7-19** liefert eine Übersicht über das neu gestaltete EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung.

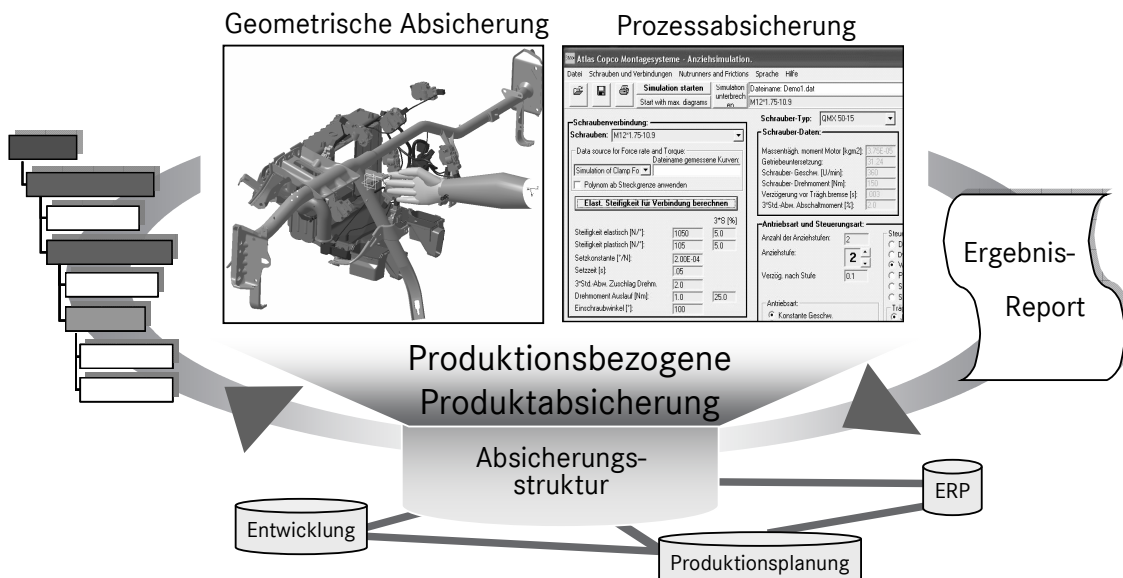


Abbildung 7-19 Das neu gestaltete EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung. Grundlegend ist die Absicherungsstruktur in EDM sowie neue Methoden zur geometrischen Absicherung und zur Prozessabsicherung

Somit konnten die beiden Erfolgskriterien nachgewiesen werden: Die Reifegradlandkarte ist eine geeignete Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Produkt-, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten und es ist möglich, damit Stellhebel zur Optimierung der produktionsbezogenen Produktabsicherung genannt zu identifizieren. Damit ist es besser als bisher möglich, Probleme anhand der Analyse digitaler Modelle zu detektieren. In der Konsequenz können Produktänderungen vermieden werden, die insbesondere, wenn schon reale Prototypen existieren, sehr teuer sein können.

Als dritter Teil der Validierung wurde ein Portal zur produktionsbezogenen Produktabsicherung konzipiert und prototypenhaft realisiert. Das Absicherungsportal zeigt auf, wie die Ideen der Reifegradlandkarte in die tägliche Praxis bei der Durchführung von Absicherungen mit einfließen können.



## **8 Kritische Bewertung und Diskussion**

In diesem Abschnitt wird eine kritische Bewertung und Diskussion der im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellten Konzepte und Umsetzungen vorgenommen. Dabei wird im ersten Teil die Bewertung anhand der in Kapitel 4 formulierten Forschungsfragen gegliedert und die Hypothese auf ihre Stichhaltigkeit hin überprüft. Abschließend werden sowohl einige weiterführende wissenschaftliche als auch praktische Fragestellungen diskutiert.

### **8.1 Kritische Bewertung**

#### **8.1.1 Das Modell der x-orientierten Produktabsicherung**

Die erste in Kapitel 5 formulierte Forschungsfrage lautete wie folgt:

1. Wie muss ein Modell der produktionsbezogenen Produktabsicherung gestaltet sein, das eine von allen im Entwicklungs- und Absicherungsprozess beteiligten Domänen akzeptierte und anforderungsorientierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten liefert?

Als Antwort auf diese Frage wurde das Modell der x-orientierten Produktabsicherung konzipiert. Dabei wurde der Reifegrad als Ansatzpunkt identifiziert. Der Reifegrad besitzt in seiner klassischen Definition als Steuerungsinstrument im Rahmen des Entwicklungsmanagements einen fachbereichsunabhängigen, übergreifenden Charakter. Diese Eigenschaft allein ist aber nicht ausreichend für die vorliegende Anforderung.

Um die geforderte, auf die Anforderungen der produktionsbezogenen Produktabsicherung fokussierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherung zu erreichen, sind weitere Schritte notwendig. Dazu wurden die Grundlagen der Produktentwicklungsmethodik, insbesondere des Design for X, herangezogen, um eine für diesen Kontext geeignete, angepasste Definition des Reifegrads zu etablieren. Kern dieser Definition ist die Erkenntnis, dass der x-orientierte Produktreifegrad abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren ist. Dabei ist das gesamte am Absicherungsprozess beteiligte EIMS zu berücksichtigen.

sichtigen und auch die zum Absicherungszeitpunkt vorliegende Ausprägung des X-Systems, im konkreten Fall des Produktionssystems, ist zu berücksichtigen. Dabei kommt den eingesetzten Absicherungsmethoden eine herausragende Bedeutung zu: Sie beeinflussen das Absicherungsergebnis direkt und besitzen auch im EIMS als Bindeglied zwischen den Bausteinen Prozess, Informationen und Daten, Organisation sowie Informationssystemen eine herausragende Rolle.

Dieses Modell stellt ein geeignetes Konzept dar, was anhand der in Kapitel 6 beschriebenen Anwendungsfälle validiert werden konnte. Basierend auf der Reifegradlandkarte konnte eine reifegradsensitive Prozessanalyse durchgeführt werden.

### **8.1.2 Optimierung des EIMS zu produktionsbezogenen Produktabsicherung**

Die zweite und dritte Forschungsfrage zielten darauf ab, Verbesserung im Praxisumfeld bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung herbeizuführen:

2. Welche Konsequenzen sind, ausgehend von diesem Modell, bei der Definition eines auf die Besonderheiten der produktionsbezogenen Produktabsicherung abgestimmten EIMS zu berücksichtigen?
3. Welche Anforderungen ergeben sich daraus an Informationssysteme, die zur produktionsbezogenen Produktabsicherung zum Einsatz kommen können?

Zunächst einmal bleibt als eine wesentliche Erkenntnis festzuhalten, dass zur Optimierung eines Absicherungsprozess auch das gesamte dem Prozess zugrunde liegende EIMS berücksichtigt und als Gestaltungsraum begriffen werden muss. Wie das Beispiel der Absicherung der Montagetauglichkeit des Cockpits gezeigt hat, konnte so gezielt ein „Frontloading“ von produktionsbezogenen Absicherungen durchgeführt werden. Besonders interessant ist dabei, dass keine neuen, kostspieligen Methoden entwickelt werden mussten: Bestehende, ohnehin eingesetzte Methoden konnten zu viel früheren Einsatzzeitpunkten angewandt werden. Dies wurde im Wesentlichen aufgrund des Modells der x-orientierten Produktabsicherung erreicht:

Durch die allgemeingültige, bereichsunabhängige Betrachtung von Absicherungsaufgaben in der Reifegradlandkarte wurde klar, dass eine Absicherungsmethode aus dem Rohbau bei einer geeigneten Anpassung des Modellreifegrades auch in der Montage angewendet werden kann.

Gleichzeitig wurde aufgezeigt, dass die Anforderungen an eine frühe, produktionsbezogene Produktabsicherung mit heutigen Informationssystemen darstellbar sind. Sowohl Anforderungen hinsichtlich des Datenreifegrades als auch die Darstellungen und Integration verschiedener domänenspezifischer Sichten kann mit dem Stand der Technik heutiger EDM-Systeme realisiert werden.

Zusammengefasst wurde gezeigt, das

„...die Reifegradlandkarte ein Modell für die anforderungsorientierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Produktionssystem und Absicherungsaktivitäten liefert, um somit die Grundlage für die bedarfsgerechte Gestaltung aller Bausteine eines EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung schafft“.

Dies bestätigt die in Kapitel 5 formulierte Hypothese.

Am betrachteten Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung des Cockpits konnte gezeigt werden, welche Potentiale in der Optimierung von Absicherungsprozessen verborgen liegen. Durch die Reifegradlandkarte ist es möglich, eine neue Sicht auf bekannte Aufgaben und Problemstellungen zu erlangen. Es wurde gezeigt, dass so ein noch konsequenterer Einsatz virtueller Produktmodelle und darauf basierender Absicherungsmethoden möglich ist. Dies führt dazu, dass man x-orientierte Vorfälle schon zu sehr frühen Zeitpunkten im Entwicklungsprozess gezielt analysieren kann, auch bevor das X-System, im vorliegenden Fall das Produktionssystem, vollständig beschrieben ist oder gar real existiert. Durch eine reifegradsensitive Prozessanalyse ist es möglich, entsprechende Probleme im EIMS aufzudecken und so in eine verbesserte Lösung zu überführen. Dies liefert ein Beitrag, weniger Produktänderungen in späten Entwicklungsphasen vornehmen zu müssen. Die Folge sind geringere Änderungskosten, kürzere Änderungszyklen und robustere Produktionsanläufe, die sich auch in einer höheren Qualität der Produkte widerspiegelt. Eine Quantifizierung des Erfolges ist nicht ohne weiteres möglich, da die auf diesem Konzept beruhenden Optimierungsvorschläge noch nicht in der Breite umgesetzt wurden und im Einsatz sind. Aus einem Pilotprojekt bei Daim-

lerChrysler, in dem konsequent eine umfassende Absicherungsstrategie umgesetzt wurde, ist bekannt, das durch die frühe Problementdeckung und die dadurch möglich Produktänderungen in der digitalen Welt Änderungskosten von mehreren Hunderttausend Euro eingespart werden konnten.

Natürlich stellt sich die Frage, ob der theoretische Überbau und die Einführung des Reifegrades in diesem Kontext notwendig ist. Die Ermittlung von Problemen in Entwicklungsprozessen und die Darstellung einer Methodenlandkarte sind sicherlich auch unabhängig von diesem Konzept möglich. Die Notwendigkeit dieses Überbaus zeigt sich allerdings dann, wenn eine Optimierung des Status quo angestrebt ist. Es existiert eine Vielzahl von Stellhebeln, jeder Baustein des EIMS bietet prinzipiell die Möglichkeit der Einflussnahme auf den Entwicklungsprozess. Durch die Einführung des Reifegrades ist es nun möglich, die Potentiale verschiedene Optimierungsalternativen im Sinne einer Maßzahl („Reifegradsteigerung“) auszuweisen. Damit liefert dieses Konzept eine Entscheidungshilfe bei der Optimierung von Engineering Prozessen

## **8.2 Diskussion**

Im Rahmen des Entwicklungsmanagements ist das Reifegradmanagement ein etabliertes Konzept zur Sachfortschrittskontrolle. Daher stellt sich die Frage, in wie weit das in Kapitel 6 vorgestellte Konzept neue Erkenntnisse für das Controlling von Entwicklungsprojekten in der Praxis mit sich bringt. Aufgrund vorliegender Erfahrungen in Entwicklungsprojekten in der Automobilindustrie ist es nicht zielführend, das entwickelte Konzept direkt als vielleicht noch detaillierteres, noch ausgereifteres Werkzeug zur Sachfortschrittskontrolle auszubauen und in Entwicklungsprojekten anzuwenden. Das vorgestellte Konzept sollte vielmehr als Instrument zum Hinterfragen und zum Gestalten von Entwicklungsprozessen verstanden werden:

Die in der Praxis angewandten Ansätze, zum Beispiel das Reifegradmanagement, erfüllen hier ihren Zweck und ein weiterer Ausbau zu einer noch detailverliebteren Vorgehensweise erzeugt einen immensen bürokratischen Aufwand, der eventuelle Vorteile in der praktischen Anwendung sicher schmälert oder ganz aufzehrt. Denkbar und empfehlenswert ist allerdings die Möglichkeit, die Güte von Absicherungsmethoden, gewissermaßen die Aussagekraft und Nachhaltigkeit der im Rahmen einer Absicherungsmethode erzeugten Ergebnisse, auf prag-



matische Art und Weise zu berücksichtigen. Möglich ist beispielsweise eine Wertung der Methodenergebnisse mit einfachen Unschärfefaktoren. Ein sehr interessanter Ansatz in diesem Kontext wurde, wie in Kapitel 5 kurz angedeutet, von Derichs [Deri97] geliefert, der sich mit dem Umgang mit unsicheren Informationen beschäftigt. Die Integration dieses Ansatzes in das Modell der x-orientierten Produktansicherung könnte für eine theoretische Betrachtungsweise weitere interessante Einsichten liefern. Dennoch: aus einer anwendungsorientierten Perspektive heraus ist ein stimmiges Verhältnis von Aufwand und Nutzen zu berücksichtigen.

Ein weiterer Diskussionspunkt stellt sich im Zusammenhang mit der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Produktentwicklungsmethodik PDD. Für die vorliegende Fragestellung hat sie sich als interessantes und geeignetes Modell erwiesen. Insbesondere die Trennung von Merkmalen und Eigenschaften erlaubt eine separate Betrachtung von Synthese- und Analyseschritten, die für den vorliegende Kontext, den Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung, die Konzeption der Reifegradlandkarte erleichtert hat. Vor dem Hintergrund der Definition des Reifegrades im Rahmen dieser Arbeit stellt sich allerdings eine weitere Frage: Die vorliegende Reifegraddefinition bezieht sich nur auf die Eigenschaften des Produktes, die Merkmale, mit deren Hilfe dieser Eigenschaften erzielt werden, spielen in der Definition keine Rolle. In [Webe07] wird daher vorgeschlagen, auch eine merkmalsbezogene Reife eines Produktes zu erfassen. Ein möglicher Ansatz könnte das zählen der Anzahl der angelegten oder freigegebenen Konstruktionsdokumente und der Vergleich mit Erfahrungswerten aus vorangegangenen Entwicklungsprojekten sein. Im praktischen Entwicklungsmanagement wird diese Idee tatsächlich umgesetzt: in einem Reifegradindikator Produktdokumentation.

Im betrachteten Anwendungsfall der x-orientierten Absicherung erlaubt ein merkmalsbezogener Reifegrad noch eine andere interessante Überlegung. In Kapitel 5 wurde beschrieben, dass die konkrete Ausprägung des X-Systems zum Absicherungszeitpunkt eine wesentliche Eingangsinformation zur Absicherung darstellt. Es ist natürlich denkbar, dass man genau zu diesem Zweck, zur Einschätzung des Entwicklungsstandes des X-Systems, eine auf die Merkmale des X-Systems bezogenen Reifegrad etabliert, um die Synchronisation im Entwicklungsprozess von Produkt und Produktionssystem sicherzustellen.



## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Folgenden wird das Vorgehen und die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf das weitere geplante Vorgehen sowie neue Fragestellungen gegeben.

### 9.1 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung eines Konzeptes, das sowohl wissenschaftliche Grundlagen als auch praktische Optimierungspotentiale zur produktionsbezogenen Produktabsicherung liefert. Dabei steht vor allem der Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie im Mittelpunkt der Betrachtung.

Ausgehend von der Vorstellung des dieser Arbeit zu Grunde liegenden Forschungsvorgehens, der Design Research Methodology (DRM), wird als wesentliches Ordnungsschema für diese Arbeit das Engineering Information Management System (EIMS) zur strukturierten Erfassung des Kontextes von Entwicklungsprozessen definiert. Die Bausteine des EIMS, Prozess, Methode, Information und Daten, Informationssysteme sowie Organisation lieferten die Struktur für die Beschreibung und Analyse des Standes der Wissenschaft und Technik.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Analyse waren:

- Es gibt keinen Prozessbeteiligten, der das Mandat zur produktionsbezogenen Produktabsicherung direkt verantwortet.
- Die Kooperation der beteiligten Domänen ist schwierig, da jeweils ein anderes Verständnis bzw. ein anderer Schwerpunkt der Arbeit, z.B. das Produkt oder der Fertigungsprozess vorliegt. Auch in der wissenschaftlichen Welt wird diese Fragestellung in eigenständigen wissenschaftlichen Disziplinen diskutiert. Sowohl die Produktentwicklungsmethodik als auch die Produktionstechnik können die Fragen der produktionsbezogenen Produktabsicherung nicht alleine beantworten.
- Ein gemeinsames Konzept zum Verständnis des jeweiligen Beitrags einer Domäne zu einer Absicherungsaufgabe ist nicht vorhanden. Eine einheitliche Sachfortschrittskontrolle der Produktionstauglichkeit des Produktes ist daher nicht möglich.

- Die eingesetzten Informationssysteme, insbesondere die Verwaltungssysteme, sind für diese Aufgaben unzureichend. So ist der domänenübergreifende Informationsaustausch nicht adäquat realisiert.
- Es existieren keine geeigneten Methoden, die in der frühen Phase die Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung erlauben.
- Von unterschiedlichen Stellen werden weitestgehend gleiche Informationen unabhängig voneinander erzeugt. Dies führt zu einer unkontrollierten Redundanz, die ineffizient ist und falsche Absicherungsergebnisse zur Folge haben kann.
- Es kommt zu Brüchen in der Absicherungskette, die die Aussagekraft und Nachhaltigkeit von Absicherungsergebnissen schwächen.
- Die eingesetzten Autorensysteme erfüllen nicht die notwendigen Anforderungen bezüglich Aussagekraft der erzielten Ergebnisse und Einsatzzeitpunkt.
- Die eingesetzten Informationssysteme sind nicht optimal auf den Einsatz über bereichs- oder auch fachliche Grenzen hinweg abgestimmt. Es fehlen entsprechende domänenübergreifende Sichten.
- Der Umgang mit bereichsübergreifenden Information und Daten, sowie insbesondere den Relationen dazwischen, wird in Informationssystemen kaum unterstützt.

Der daraus abgeleitete Handlungsbedarf lässt sich auf zwei wesentliche Handlungsfelder reduzieren. Es besteht einerseits die Notwendigkeit, ein geeignetes Modell der x-orientierten Absicherung zu definieren, das ein bereichsübergreifendes Verständnis der Absicherung schafft und andererseits wirksame Stellhebel zur Optimierung von Absicherungsprozessen in der Praxis zu identifizieren. Beide Anforderungen führen zur Reifegradlandkarte als dem Modell der x-orientierten Produktabsicherung und zur Integration der Bausteine des EIMS in dieses Modell.

Die Tragfähigkeit des Konzeptes wurde in Kapitel 7 anhand dreier Beispiele validiert. Die in der Reifegradlandkarte dokumentierten Zusammenhänge und Abhängigkeiten wurden genutzt, um eine Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen zu konzipieren, die erfolgreich in der Praxis eingesetzt wurde. Dabei kam vor allem den Absicherungsmethoden eine wichtige Bedeutung zu, da Sie einerseits gewissermaßen als Bindeglied im EIMS fungieren und andererseits eine zentrale Rolle im Modell der x-orientierten Produktabsicherung innehaben.

Das zweite Beispiel zeigt auf, wie die Reifegradlandkarte als Instrumentarium für eine reifegradsensitive Prozessanalyse genutzt werden kann. Basierend auf den Erkenntnissen dieser Analyse wurde dann das zu Grunde liegende EIMS umgestaltet. Es würden zwei neue Absicherungsmethoden eingeführt und ein „Frontloading“ absicherungsrelevanter Informationen durchgeführt. Diese wurden mit Hilfe einer Absicherungsstruktur in einem EDM-System verknüpft, wodurch früher im Entwicklungsprozess eine produktionsbezogene Sicht im Reifegrad etabliert werden konnte.

Zudem wurde mit dem Absicherungsportal ein System zur Koordination und Steuerung des Absicherungsprozesses konzipiert.

## **9.2 Ausblick**

Das im Rahmen der Arbeit konzipierte Modell der x-orientierten Produktabsicherung ist aus Anforderungen abgeleitet worden, die auf den Ergebnissen der Analyse des Prozesses der produktionsbezogenen Produktabsicherung basieren. Damit war das betrachtete X-System klar fokussiert: das Produktionssystem.

Auch die Validierung des Konzeptes beschränkt sich auf diesen Fall, auch dort war die Absicherung der produktionsgerechten Produktgestaltung der Kontext, in dem das Produktionssystem als X-System aufgefasst werden konnte. Eine Frage, die daher noch unbeantwortet bleibt, ist demnach, ob die Reifegradlandkarte auch für andere X-Systeme ein zielführendes Modell darstellt. Daher ist die Optimierung eines EIMS mit dem Ziel, zum Beispiel die Produktqualität (Design for Quality) oder Kosten (Design to Cost), eine sicherlich sehr interessante Fragestellung, die zu einer weiteren Generalisierung des Modells beitragen kann.

Absicherungen sind nicht wertschöpfend, sie bestätigen oder widerlegen lediglich die im Rahmen des Entwicklungsprozesses getane Arbeit. Ziel ist es daher, zum Beispiel die notwendigen Datenaufbereitungsaufwände, die für die Anwendung einer Vielzahl von Methoden notwendig ist, zu minimieren. Angestrebt wird eine kaskadenartige Absicherungsstrategie, bei der jede Absicherungsmethode als Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen von vorher angewandten Absicherungsmethoden nutzen kann. Der in Kapitel 7 kurz vorgestellte Prototyp des Absicherungsportals wird in diese Richtung weiterentwickelt.

Ermöglicht werden derartige Visionen durch eine konsequente, bedarfsgerechte Informationsverarbeitung. Eine Schlüsselrolle wird in diesem Zusammenhang Verwaltungssystemen zukommen. Insbesondere EDM-Systeme sind hierbei eine potente Plattform, die an vielen Stellen erfolgreich auch domänenübergreifende Prozesse unterstützen können. Interessant wird dabei zu beobachten sein, welche Systemarchitekturen die zukünftigen Anforderungen am besten bewältigen können:

Monolithische Systeme erlauben eine gute Informationsintegration und bringen die notwendige Robustheit im Entwicklungsprozess mit, aber die Implementierung ständig wachsender Anforderungen aus immer mehr Anwenderbereichen entlang des gesamten Produktlebenszyklus verlängert die Innovationszyklen und eine optimale Unterstützung für alle Anwender ist kaum gegeben. Eine Lösung hierfür können verteilte Systeme sein, beispielsweise der in Kapitel 5 genannte Ansatz mit so genannten Team-Data-Management (TDM) -Systemen. Diese erlauben eine anforderungsgerechte Prozessunterstützung. Als Nachteil steht dem aber die technisch aufwändige Vernetzung der Systeme untereinander gegenüber, und auch die Abbildung praktischer Anforderungen wie Rechte- und Rollenkonzepte sowie Sicherheitsaspekte erfordern große Anstrengungen.

Eine weitere interessante Perspektive ergibt sich mit der Möglichkeit neutrale, so genannte skalierbare Datenformate wie etwa JT zu nutzen. Skalierbar bedeutet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, „einzustellen“ welche Informationen in einem digitalen Modell enthalten sind und welche nicht. In den Kontext dieser Arbeit überführt, könnte so ein interessanter Weg eröffnet werden, den Modellreifegrad direkt zu beeinflussen.

Auch hinsichtlich der Absicherungsmethoden sind Weiterentwicklungen zu erwarten. Im diskutierten Kontext versprechen vor allem Absicherungsmethoden basierend auf Mixed- und Augmented Reality großes Potential. So sind Methoden in der Entwicklung, die beispielsweise durch Krafrückkopplung Fügekräfte simulieren können und auch bei der Untersuchung biegeschlaffer und elastischer Bauteile ergonomische Aspekte berücksichtigen können.

Insgesamt zeichnet sich klar ab, dass die Priorität des Themas Absicherung in Zukunft zunehmen wird. Dabei wird der Trend zur Verlagerung von Absicherungsmaßnahmen in die digitale Welt auch für produktionsbezogene Produktabsicherungen weiter voranschreiten. Das in Kapitel 7 vorgestellte Absicherungsportal wird beispielsweise im Rahmen eines Pilotpro-

jektet bei einem international aufgestellten OEM der Automobilindustrie eingesetzt werden. Parallel dazu werden weiterhin Plattformkonzepte, Modularisierung oder Regalentwicklung sowie Standardprozesse und -fabriken dazu beitragen, Produkt- und Prozessvarianz zu kontrollieren. Erste wissenschaftliche Ansätze hierzu werden beispielsweise unter den Begriffen Design for Reuse oder Design for Retooling verfolgt [BMED04].

Diese Aktivitäten werden sicherlich an vielen Stellen zu Erfolgen führen, die dazu beitragen werden, den Entwicklungsprozess mit bereits in sehr frühen Phasen detailliert beschriebenen X-Systemen durchzuführen. Folglich werden mehr und mehr x-orientierte Eigenschaften zu „normalen“ Eigenschaften und können im Sinne gewöhnlicher Anforderungen im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Dennoch: Durch den globalen Wettbewerb ist jedes Unternehmen gezwungen, alle Optimierungsmöglichkeiten im Entwicklungsprozess auszureizen, die zur Verfügung stehende Entwicklungszeit wird weiter zurückgehen, Produkte und Produktionssysteme werden auf die Grenzen hin ausgelegt. Dadurch bleibt immer weniger Raum zur Korrektur etwaiger Fehlentwicklungen. Nur durch eine frühzeitige Absicherung kann die Gefahr des Scheiterns von Entwicklungsprojekten erkannt und so vermieden werden.





## 10 Literaturverzeichnis

- [Adun03] Adunka, R.: Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung; Dissertation Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Fortschrittsberichte VDI Reihe 1 Nr. 362; VDI-Verlag; Düsseldorf; 2003.
- [Andr05] Andreasen, M.M.: Concurrent Engineering – effiziente Integration der Aufgaben im Entwicklungsprozess; in: Schäppi, B.; Radermacher, F. J.; Andreasen, M.M.; Kirchgeorg, M.: Handbuch Produktentwicklung; Hanser Fachbuchverlag; München Wien; Juni 2005.
- [AnHe87] Andreasen, M. M.; Hein, L.: Integrated Product Development; Springer Verlag; Berlin; 1987.
- [AKPF06] Andreasen, M. M.; Kvist, M.; Pedersen, R.; Fiil-Nielsen, O.: What happened to DFX? - 17 years of DfX-symposia; Proceedings 17. Symposium Design for X 2006; Neukirchen; 2006.
- [AICL02] Alexander, K.; Clarkson, J.P.: A validation model for medical devices industry; Journal of Engineering Design Volume 13 Nr. 3; S.197-204; Taylor and Francis Group; 2002.
- [AnKL88] Andreasen, M. M.; Kähler S.; Lund T.: Design for Assembly; Second edition, IFS Publications; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, Tokio; 1988.
- [Bles02] Blessing, Lucienne; What is this thing called Design Research?; Annals of the 16<sup>th</sup> Internantional CIRP Seminar; Hong Kong; 16- 18. Mai 2003.
- [BMED04] Board on Manufacturing and Engineering Design, diverse Autoren: Retooling Manufacturing – Bridging Design Materials and Production; The National Academies Press; Washington D.C; 2004.

- [BoDe83] Boothroyd, G., Dewhurst, P.: Design for Assembly Handbook; Boothroyd and Dewhurst Inc.; 1983.
- [BrKn97] Breiing, A.; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme; Springer Verlag; Berlin; 1997.
- [BuMV07] Burr, H., Müller, M., Vielhaber, M.: EIMS – A framework for engineering process analysis; Proceedings of the 16th. International Conference on Engineering Design – ICED 07; Paris, France; 2007.
- [Burg02] Burghardt, M.: Projektmanagement – Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten; Publicis MCD Verlag; Erlangen; 2002.
- [BVDW04] Burr, H.; Vielhaber, M.; Deubel, T.; Weber, C.; Haasis, S.: CAx/EDM-integration - enabler for methodological benefits in the design process. Konferenz-Einzelbericht DESIGN 2004 - International Design Conference, S. 833-840; The Design Society; Dubrovnik; 2004.
- [Claes06] Claesson, A.; A configurable component Framework supporting Platform-based Product Development; Dissertation; Chalmers University of Technology; Göteborg; 2006.
- [CMMI02] The CMMI-Project Team; diverse Autoren: CMMI for Software Engineering, Systems Engineering, Integrated Product and Process Development and Supplier Sourcing, Version 1.1; Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania; 2002.
- [DaFi00] Fischer, W.; Dangelmaier, W.: Produkt- und Anlagenoptimierung – effiziente Produktentwicklung und Systemauslegung; Springer Verlag; Berlin; 2000.
- [Deri97] Derichs, T.: Informationsmanagement im Simultaneous Engineering; Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn; Shaker Verlag; Aachen; 1997

- 
- [DuAn95] Duffy, A.H.B.; Andreasen, M.M.: Enhancing the Evolution of Design Science; Proceedings of the 10th. International Conference on Engineering Design – ICED 95; Vol. 1, S. 29-35; Prag, Tschechoslowakei; 1995.
- [Ehr103] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung; 2. Auflage, Hanser-Verlag; München; 2003.
- [Ever05] Eversheim, W.; Bochtler, W.; Laufenberg, L.: Simultaneous Engineering - Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1995.
- [Eiss05] Eissrich, R.: Die vernetzte und integrierte Planung durch die Digitale Fabrik; 2. Internationaler Fachkongress Digitale Fabrik in der Automobilindustrie; Ludwigsburg; 2005.
- [EiSt01] Eigner, M., Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme – ein Leitfaden für product-development und Life-cycle-Management; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand; 2001.
- [Lind05] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, 2005.
- [GHBW06] Glögler, C.; Herfter, M.; Bär, T.; Wurst, D.: Integration von Fertigungsabweichungen zur Optimierung toleranzbehafteter Baugruppen; 17. Symposium „Design for X“; Neukirchen; 2006.
- [HaAn04] Hansen, C.T.; Andreasen, M.M.: A mapping of design decision-making; Workshop Decision-making; Proceedings of the ICED 2004; Dubrovnik; 2004.
- [Harb06] The Harbour Report; Harbour Consulting; Troy, MI 48084; 2006.
- [Herr03] Herrmann, J. W.: Design for Production: Concepts and Applications; Proceedings of the SME East Coast Region 3 Annual Members Conference; Bethlehem, Pennsylvania; 10.-11. Oktober; 2003.

- [HuEd96] Hubka, V.; Eder W.E.; Design Science; Springer; London; 1996.
- [Mato57] Matousek, R.: Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaus; Springer-Verlag; Berlin; 1957.
- [Meis06] Meissner, R.: CAx/EDM-Konzept zur geometrieorientierten Montageabsicherung; Diplomarbeit; Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg; 2006.
- [MeSR95] Meerkamm, H.; Storath, E.; Rösch, S.: Konstruktionssystem mfk, 6. Symposium fertigungsgerechtes Konstruieren; Erlangen-Nürnberg; 1995.
- [Milg94] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum; SPIE (Ed.); Vol. 2351 Telem manipulator and Telepresence Technologies ; 1994.
- [Muel04] Müller, M.: Erarbeitung eines neuen Konzeptes zur Dokumentation von Prozessdaten im Schnittstellenbereich zwischen digitaler Entwicklung und Planung; Diplomarbeit Universität des Saarlandes; 2004.
- [MuBa06] Müller, M; Baer, T.: The Digital Maturity Map – Motivation for an EDM-based validation method; Proceedings of the DESIGN 2006, 9<sup>th</sup> International Design Conference; 15-18. Mai 2006; Dubrovnik; 2006.
- [MuMB06] Müller, M.; Meissner, R.; Bär, T.: Methodik zur Analyse von Engineering Prozessen; 17. Symposium Design for X 2006; Neukirchen; 2006.
- [MuSc99] Müller, H. J., Schappert, A.: The Knowledge Factory – A Generic Knowledge Management Architecture; IJCAI 99 Workshop on Knowledge Management and Organisational Memories; 31. Juli 1999; Stockholm, Schweden; 1999.
- [Oehm04] Oehme, O.: Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service; Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung; Bd. 61. Shaker; Aachen; 2004.

- 
- [PaBe83] Pahl, G.; Beitz, W.: Engineering Design; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg; 1983.
- [Pfei01] Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken; 3. Auflage, Carl Hanser Verlag; München, Wien; 2001.
- [Pfeif05] Pfeifer-Silberbach, U.: Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrades in der Entwicklung eines Produktes; Dissertation TU Darmstadt; Shaker Verlag; Aachen; 2005.
- [PfFS96] Pfeifer, T.; Forkert, S.; Siegler, S.: Transparente Projektreife in der Entwicklung; ZWF CIM, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung; München; 1996.
- [Resc06] Resch, J.: Entwurf und Umsetzung einer Methode zur produktionsorientierten Produktentwicklung und –absicherung; Diplomarbeit; Universität des Saarlandes, Saarbrücken; 2006.
- [Saa80] Saaty, T. L.: The Analytic Hierarchy Process; McGraw- Hill Book Company; New York; 1980.
- [SAKR05] Schäppi, B.; Radermacher, F. J.; Andreasen, M.M.; Kirchgeorg, M.: Handbuch Produktentwicklung; Hanser Fachbuchverlag; München Wien; Juni 2005.
- [Schn99] Schnetzer, R.: Workflow-Management kompakt und verständlich; Vieweg Verlag; Braunschweig, München; 1999.
- [Stie99] Stiegler, Gerhard: Produktionsplanung und Produktionssysteme im Fahrzeugbau, Manz-Verlag Schulbuch, Wien, 1999
- [Suh01] Suh, N.P.: Axiomatic Design; Oxford University Press; 2001.
- [Sven03] Svensson, Daniel: Towards Product Structure Management in Heterogeneous Environments; Dissertation, Chalmers University of Technology; Göteborg; 2003.

- [Vajn05] Vajna, S.: Informationsmanagement – Management der produkt- und prozessbezogenen Informationen in der integrierten Produktentwicklung; in: Handbuch Produktentwicklung; Schäppi, B.; Andreasen, M.M.; Kirchgeorg, M.; Radermacher, F.-J.; Carl-Hanser-Verlag; München Wien; 2005.
- [VWSS94] Vajna, S. , Weber, C. , Schlingensiepen, J. , Schlottmann, CAD/CAM für Ingenieure, Vieweg Verlag, Braunschweig / Wiesbaden 1994.
- [Wack07] Wack, K.-J.: Konzeptentwicklung und prototypische Realisierung eines Portals zur Absicherung produktionsgerechten Produktgestaltung; Masterarbeit Steinbeis-Hochschule Berlin; Berlin; 2007.
- [Wart01] Wartzack, S.: Predictive Engineering – Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte; Fortschrittsberichte VDI Reihe Konstruktionstechnik/Maschinenelemente; VDI-Verlag; Düsseldorf; 2003.
- [Webe05] Weber, C.: What is Design, Design Knowledge – Differentiating “Data”- “Information”-“Knowledge”?; Vortrag im Rahmen 8<sup>th</sup> Sommer School on Engineering Design Research 2005; Mdina, Malta; 2005.
- [Webe07] Weber, C.; Looking at “DfX” and “Product Maturity” from the perspective of a new approach to modelling product and product development processes; CIRP/BK, The future of product development; Berlin; März 2007.
- [Weus04] Weuster, A.: Unternehmensorganisation, Organisationsprojekte, Aufbaustrukturen; 2., überarb. u. erw. Auflage; Hampp, Mering; 2004.
- [WeWe01] Weber C.;Werner H.: Schlussfolgerungen für „Design for X“ aus der Perspektive eines neuen Ansatzes zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen, 12. Symposium „Design for X“, Neukirchen, 2001.
- [WiGK04] Wiendahl, Hans-Peter; Gerst, Detlef; Keunecke, Lars; Variantenbeherrschung in der Montage – Konzepte und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe; Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York; 2004.

[Zang70] Zangemeister, C: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik; Wittmannsche Buchhandlung; München; 1970.





## 11 Normen und Richtlinien

- DIN 669901 Deutsches Institut für Normung. DIN 69901 Projektwirtschaft - Projektmanagement – Begriffe; Deutsche Industrie Norm; Beuth Verlag; Berlin; 1987.
- DIN 9000 Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 9000 Grundlagen und Begriffe zu Qualitätsmanagementsystemen; Deutsche Industrie Norm; Beuth Verlag; Berlin; 1987.
- DIN 4499 Deutsches Institut für Normung. DIN 4499 Digitale Fabrik – Grundlagen Deutsche Industrie Norm; Beuth Verlag; Berlin; 2006.
- VDA Band „Reifegradabsicherung für Neuteile“  
Verband der Automobilindustrie: Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Das gemeinschaftliche QM-System in der Lieferkette – Reifegradabsicherung für Neuteile; Verband der Automobilindustrie e.V.; Oberursel; 2005.
- VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme; Beuth Verlag; Berlin; 2004.
- VDI 2218 Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Feature-Technologie; VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb; Düsseldorf, 2003.
- VDI 2219 VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen; VDI-Verlag; Düsseldorf; 2002.
- VDI 2221 VDI-Richtlinie 2221; Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987.



## 12 Glossar

Absicherung	Die Absicherung eines Entwicklungsstandes umfasst die Analyse des Entwicklungsstandes, die Beurteilung und die Entscheidung bezüglich des weiteren Vorgehens.
Autorensystem	„Unter dem Begriff Autorensystem werden zusammenfassend alle Werkzeuge und Systeme der Informations- und Kommunikationstechnik verstanden, deren Zweck die Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses (Konstruktionsprozesses) in der Praxis ist [Webe05]“. Es lassen sich zwei Kategorien, Erzeugungs- und Analysesysteme, unterscheiden.
Daten	Daten sind codierte Informationen. Anschaulich sind Daten Information, die in eine Form überführt worden sind, in der sie von Informationssystemen verarbeitet werden können. Daten ohne eine Interpretation und das Wissen um den entsprechenden Kontext sind wertlos [MuSc99].
Datenreifegrad	Der Datenreifegrad ist ein Teil des Digitalen Reifegrades. Er berücksichtigt das das Modell an sich richtig, richtig im Sinne von fehlerfrei, ist.
Digitaler Reifegrad	Der Digitale Reifegrad ergibt sich durch die Anwendung von Methoden, die digitale Produktmodelle analysieren.
Digitaler Prototyp	Digitales Modell eines Produktes, das als Basis für verschiedene Produktabsicherungen dient. Ziel ist die Vermeidung von realen Prototypen.
DMU = PMU („Digital Mock Up = Physical Mock Up“)	Jede reale Baugruppe wird anhand eines Vergleichs mit dem entsprechenden digitalen Modell der Bau-

	gruppe untersucht. Das digitale Modell ist dabei die verbindliche Repräsentation (der „Master“).
EIMS	Engineering Information Management System. Das Engineering Information Management Systems (EIMS) besteht aus den Bausteinen Prozess, Information, Daten, Organisation, Informationssystem und Methode, und beschreibt so die relevanten Einflussfaktoren zur strukturierten Beschreibung des Kontextes von Entwicklungsprozessen.
Feature	Ein Feature ist ein „Informationstechnisches Element, das Bereiche von besonderem (technischen) Interesse eines Produktes darstellt“ (VDI 2218).
Information	Informationen entstehen aus der Interpretation von Daten in einem definierten Kontext [MuSc99].
Informationssysteme	Informationssysteme sind rechnergestützte Systeme, die im Rahmen des Entwicklungsprozesses angewandt werden. Dabei erzeugen, analysieren oder verwalten sie Daten und/oder Informationen. Aus diesem Grund lassen sich Verwaltungssysteme von Autoren- oder Anwendungssystemen (Applikationen) unterscheiden ([SAKR05], VDI 2219).
Kontext von Entwicklungsprozessen	Der Kontext von Entwicklungsprozessen umfasst das Netzwerk aller relevanten Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess. Als Beispiele lassen sich die Aufbauorganisation in einem Unternehmen, gesetzliche Vorgaben oder kulturelle Aspekte nennen.
Modellreifegrad	Der Modellreifegrad ist ein Teil des Digitalen Reifegrades. Er berücksichtigt, inwiefern alle für die durchzuführende Absicherung relevanten Informationen in digitalen Modellen enthalten sind. Dies schließt auch Informationen bezüglich des X-Systems mit ein.
Methode	In der VDI-Norm 2219 ist der Begriff Methode als „ein planvolles Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels“ definiert. Die Methode ist ein zentraler Baustein im EIMS.

Mengengerüst	Vom Vertrieb prognostizierte, prozentuale Verteilung der zu fertigenden Produktvarianten.
Prozess	Die DIN 9000 definiert den Begriff „Prozess“ als einen „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“. Ein Prozess kann aus mehreren Teilprozessen bestehen.
Realer Reifegrad	Der Reale Reifegrad ergibt sich im Gegensatz zum Digitalen Reifegrad durch die Anwendung von Absicherungsmethoden, in denen reale Artefakte als Untersuchungsgegenstand genutzt werden
Reifegrad	<p>Anschaulich ist der Reifegrad die verwendungsbezogene Güte eines Produktes. In PDD lässt ist der Reifegrad wie folgt definiert:</p> $R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left( 1 - \left( \frac{P_{j,soll} - P_{j,ist}(t)}{P_{j,soll}} \right) \cdot \sigma_j \right)$ <p>dabei gilt: <math>\sigma_j = \sigma_j(X - System; EIMS)</math></p> <p>Dabei bezeichnet <math>P_{j,soll}</math> die Soll-Eigenschaft und <math>P_{j,ist}(t)</math> entsprechend die Ist-Eigenschaft zu einem Absicherungszeitpunkt t. Die Absicherungsunsicherheit <math>\sigma</math> einer Eigenschaft j hängt von der Ausprägung des X-System und vom EIMS ab.</p>
Verwaltungssysteme	„technische Datenbank- und Kommunikationssysteme, die dazu dienen, Informationen über Produkte, deren Entstehungsprozesse und deren Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und allen relevante Bereichen eines Unternehmens bereitzustellen“ (VDI 2219). Ein Beispiel für ein Verwaltungssystem ist ein EDM-System.



## 13 Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAO	Computer Aided Optimisation
CAPP	Computer Aided Process Planning
CAQ	Computer Aided Quality Management
CAT	Computer Aided Tolerancing
CE	Concurrent Engineering
CMMI	Capability Maturity Model Integration
DMU	Digital Mock-up
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDM	Engineering Data Management
EHPV	Engineering hours per vehicle
EIMS	Engineering Information Management System
HPV	Hours per vehicle

JT	Jupiter Tessellation
OEM	Original Equipment Manufacturer
PMU	Physical Mock Up
PLM	Product Lifecycle Management
PPA	Produktionsbezogene Produktabsicherung
PPG	Produktionsgerechten Produktgestaltung
SE	Simultaneous Engineering
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
VDA	Verband der Deutschen Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality
xml	Extended markup language



## 14 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1-1 Kostenfestlegung und -verursachung in den verschiedenen Bereichen des Produktentstehungsprozesses [VWSS94]</i>	2
<i>Abbildung 1-2 Die produktionsbezogene Produktabsicherung dient zur Synchronisation von Produkt- und Produktionssystem</i>	3
<i>Abbildung 2-1 Ziele der Forschung in der Produktentwicklungsmethodik [Bles02]</i>	7
<i>Abbildung 2-2 Forschungsvorgehen gemäß Design Research Methodology [Bles02]</i>	9
<i>Abbildung 2-3 Theoretical Foundation and Concept (TFC) Modell nach der Design Research Methodology</i>	10
<i>Abbildung 3-1 Entwicklungsprozesse können in verschiedene Abstraktionsebenen unterteilt werden [DuAn95]</i>	12
<i>Abbildung 3-2 EIMS – Engineering Information Management System</i>	14
<i>Abbildung 3-3 Methoden liefern die Grundlagen für Entscheidungen</i>	15
<i>Abbildung 3-4 Semiotisches Dreieck [MuSc99]</i>	16
<i>Abbildung 3-5 Übersicht über die Gliederung von Informationssystemen</i>	17
<i>Abbildung 4-1 Verschiedene Phasen der Produktentwicklung in der Automobilindustrie und zeitlicher Fokus der PPA</i>	22
<i>Abbildung 4-2 Methoden, die im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung zum Einsatz kommen</i>	24
<i>Abbildung 4-3 Das Modell Integrated Product Development zeigt simultane Aktivitäten in der Produktentwicklung [AnHe87]</i>	26
<i>Abbildung 4-4 Das Ablaufschema von Property-Driven Development (PDD)</i>	29
<i>Abbildung 4-5 Analyse des Produktes in PDD unter Berücksichtigung des X-Systems, oben allgemein nach [Webe07], unten am Beispiel der Eigenschaft „montagegerecht“</i>	30
<i>Abbildung 4-6 Vorgehensweise und Problemlösungszyklen in Anlehnung an [VDI 2221]</i>	32
<i>Abbildung 4-7 Aufbau eines Entscheidungsknotens (decision node), nach [HaAn2004]</i>	35
<i>Abbildung 4-8 Reifegradverlauf während der Entwicklung, in Anlehnung [DaFi00]</i>	38
<i>Abbildung 4-9 Bezüge der Reifegradabsicherung für Neuteile zu weiteren bestehenden VDA-Bänden, aus [VDA05]</i>	39
<i>Abbildung 4-10 Das Phasenmodell zur Reifegradabsicherung für Neuteile</i>	40
<i>Abbildung 4-11 Relevanz die Fragestellungen der PPA im Vergleich zu den anderen Absicherungszielen der einzelnen Absicherungsmethoden.</i>	45
<i>Abbildung 4-12 Nutzung von 3D-Schnittfunktionalitäten am Beispiel der Packaging-Untersuchung eines Cockpitmoduls mit einer DMU-Applikation im Rahmen der Anwendung der Absicherungsmethode Integration Gesamtfahrzeug</i>	46
<i>Abbildung 4-13 Prinzipelle Vorgehensweise bei der Toleranzanalyse</i>	47
<i>Abbildung 4-14 Überprüfung der geometrischen Zugänglichkeit mit einem Handmodell im Rahmen der Methode Digitale Baubarkeit</i>	49

<i>Abbildung 4-15 Absicherung der Planungsergebnisse - Simulation der geplanten Fertigungsprozesse in einer Rohbaustation [Eiss05]</i>	50
<i>Abbildung 4-16 Montage des Forschungsfahrzeuges F500 Mind in der Prototypenwerkstatt</i>	52
<i>Abbildung 4-17 Mixed Reality im Kontinuum zwischen Realität und Virtualität</i>	53
<i>Abbildung 4-18 Informationsflüsse in der Integrierten Produktentwicklung, in Anlehnung an [Vajn05]</i>	55
<i>Abbildung 4-19 Durch simultanes Vorgehen werden unsichere Informationen genutzt, nach [Ever05]</i>	56
<i>Abbildung 4-20 Abgrenzung von PDM-, EDM- und PLM-Systemen, in Anlehnung an [EiSt01]</i>	61
<i>Abbildung 4-21 Integration domänenspezifischer Anforderungen mit TDM-Systemen, in Anlehnung an [BVDW04]</i>	62
<i>Abbildung 4-22 Überblick über die Aufbauorganisation der PPA</i>	67
<i>Abbildung 6-1 Vorgehen zur Erstellung und Anwendung des Konzeptes zur x-orientierten Absicherung</i>	81
<i>Abbildung 6-2 Die Soll-Reifegrade ergeben sich aus den im Lastenheft definierten Anforderungen.</i>	83
<i>Abbildung 6-3 Zusammenhang zwischen Soll-Reifegrad, Entwicklungsverlauf und Ist-Reifegrad</i>	84
<i>Abbildung 6-4 Steigerung des Entwicklungsstandes vor Absicherungspunkten täuschen über den realen Reifegrad hinweg</i>	87
<i>Abbildung 6-5 Absicherungen treffen zufällig auf Peaks oder Senken des Entwicklungsstandes und führen so zu falschen Interpretationen des Entwicklungsverlaufes</i>	87
<i>Abbildung 6-6 Grundsätzliches Modell des Reifegrades in PPD</i>	90
<i>Abbildung 6-7 Beispiel zu Absicherungsaktivitäten zur Überprüfung der produktionsgerechten Produktgestaltung zu verschiedenen Zeitpunkten.</i>	92
<i>Abbildung 6-8 Die Erfüllung der Soll-Eigenschaft „produktionsgerecht“ ist abhängig von der konkreten Ausprägung des Produktionssystems zum Absicherungszeitpunkt.</i>	94
<i>Abbildung 6-9 Auswirkung von Änderungen des X-Systems auf die Prognose von Reifegradaussagen</i>	95
<i>Abbildung 6-10 Digitaler und Realer Reifegrad</i>	98
<i>Abbildung 6-11 Der Digitale Reifegrad setzt sich aus Daten- und Modellreifegrad zusammen</i>	99
<i>Abbildung 6-12 Der Reale Reifegrad ist abhängig vom X-Reifegrad</i>	101
<i>Abbildung 6-13 Übersicht über die Einflussfaktoren auf die Aussagesicherheit <math>\sigma</math> eine Absicherung</i>	102
<i>Abbildung 6-14 Die Reifegradlandkarte – ein Modell der x-orientierten Absicherung</i>	105
<i>Abbildung 6-15 Methoden und Reifegrad</i>	107
<i>Abbildung 6-16 Der Zusammenhang zwischen Informationssysteme, Information, Daten und Reifegrad</i>	108
<i>Abbildung 6-17 Das Konzept der x-orientierten Produktabsicherung – Zusammenhang zwischen Reifegradlandkarte und den Bausteinen des EIMS.</i>	110
<i>Abbildung 7-1 Vorgehen bei im Rahmen der Methodik zur Analyse von Engineeringprozessen, aus [MuMB06]</i>	116
<i>Abbildung 7-2 Methodensteckbrief (Vereinfachte Darstellung) zur Erfassung und strukturierten Beschreibung von Absicherungsmethoden</i>	119
<i>Abbildung 7-3 Schematische Darstellung einer Absicherungsmethodenlandkarte, in Anlehnung an [MuMB06]</i>	120
<i>Abbildung 7-4 Schematische Darstellung der Ist-Methodenlandschaft mit den korrespondierenden Vorfällen und den angestrebten Veränderungen.</i>	121

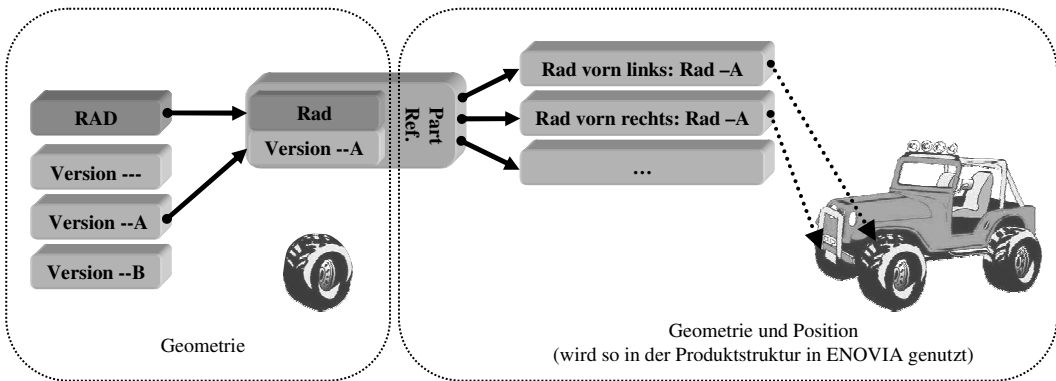
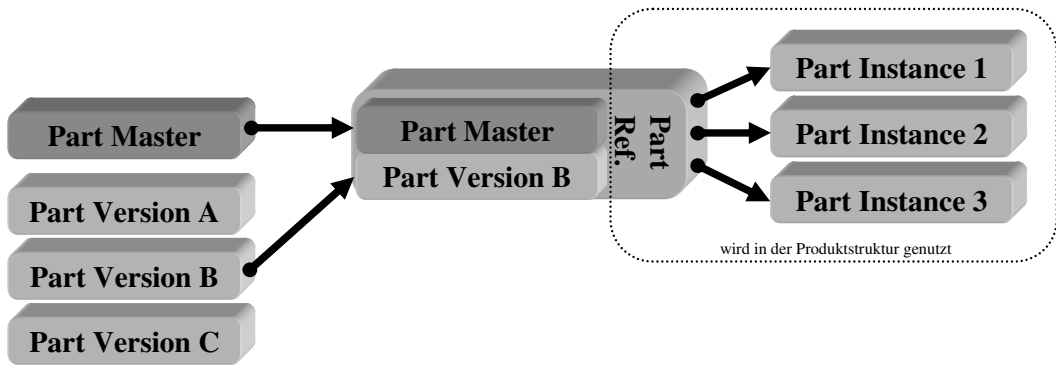
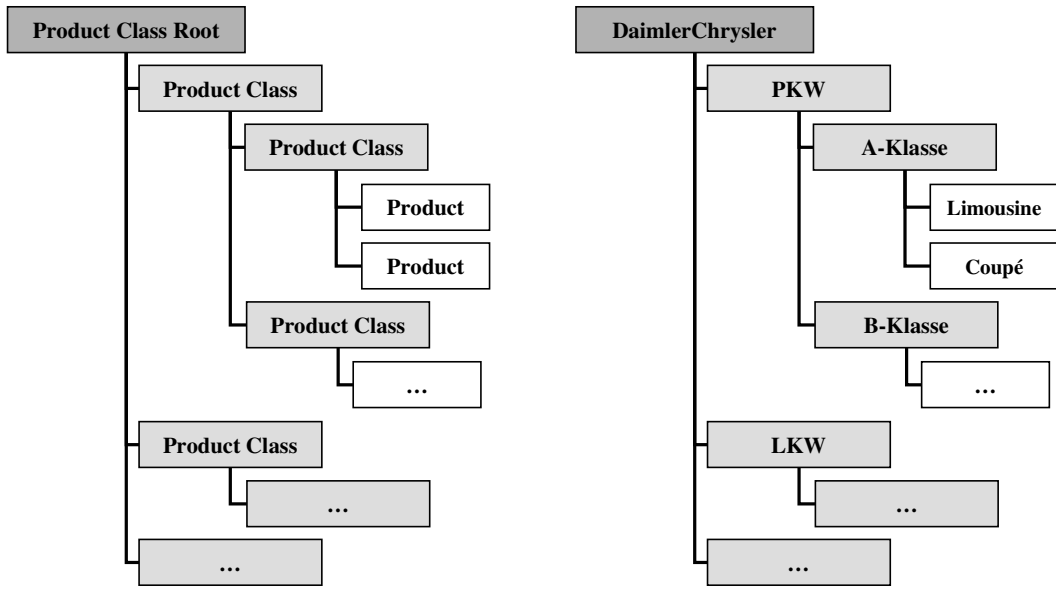
<i>Abbildung 7-5 Ist-Situation der Absicherung der Montagetauglichkeit eines Cockpits, modelliert in der Reifegradlandkarte, in Anlehnung an [MuMB06].</i>	123
<i>Abbildung 7-6 Der Soll-Prozess – frühere x-orientierte Sicht („statt A jetzt B“) durch Einführen einer vorgeschalteten Absicherungsphase, transparenteren Datenreifegrad durch bereichsübergreifende Absicherungsstruktur in EDM, in Anlehnung an [MuMB06].</i>	125
<i>Abbildung 7-7 Methode Automatische Schrauberzugänglichkeit am Beispiel eines Cockpitquerträgers, aus [Meis06]. Der eingesetzte Stabschrauber kollidiert mit der Aufnahme des Beifahrerairbags.</i>	128
<i>Abbildung 7-8 Prozessabsicherung aufbauend auf geometrischer Absicherung [Resc06]</i>	129
<i>Abbildung 7-9 Die bereichsübergreifende Absicherungsstruktur in EDM integriert absicherungsrelevante Information aus Entwicklung und Produktionsplanung [MuBa06].</i>	131
<i>Abbildung 7-10 Die Absicherungsstruktur ist eine produktorientierte Produktstruktur und enthält zusätzlich absicherungsrelevante Information. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Assoziativität der Strukturen nur an exemplarisch anhand der Schrauben dargestellt.</i>	133
<i>Abbildung 7-11 Ein Bündelelement im EDM-System verknüpft die Produktgeometrie der Schraube mit absicherungsrelevanten Informationen..</i>	134
<i>Abbildung 7-12 CAD-Modell eines Clips mit und ohne Hilfsflächen zur vereinfachten Abbildung des elastischen Verhaltens und damit zu Erhöhung des Modellreifegrads [Meis06].</i>	135
<i>Abbildung 7-13 Das Absicherungsportal schafft Transparenz und steigert die Effizienz bei der Durchführung und beim Monitoring von Absicherungsaktivitäten am digitalen Produkt</i>	136
<i>Abbildung 7-14 Mit Hilfe des Absicherungsportals können Absicherungsaufgaben definiert werden.</i>	137
<i>Abbildung 7-15 Definition einer Absicherungsaufgabe im Prototyp des Absicherungsportals.</i>	138
<i>Abbildung 7-16 Das Absicherungsportal stellt alle notwendigen Informationen zur Durchführung einer Absicherung bereit</i>	139
<i>Abbildung 7-17 Dokumentation der Absicherungsergebnisse im Absicherungsportal.</i>	140
<i>Abbildung 7-18 Monitoring von offenen, erfolgreich abgeschlossen und negativen Vorfällen. Diese bewirken einen Eintrag im Vorfallerfassungs- und verfolgungssystem „ZEUS“ sowie ggf. „Folgetickets“.</i>	141
<i>Abbildung 7-19 Das neu gestaltete EIMS zur produktionsbezogenen Produktabsicherung. Grundlegend ist die Absicherungsstruktur in EDM sowie neue Methoden zur geometrischen Absicherung und zur Prozessabsicherung</i>	142



## 15 Anhang

```
<?xml version="1.0" ?>
<!-- Legend for "Result" : -->
<!-- 0 :: NO FLIP : not computed ; FLIP : not computed -->
<!-- 1 :: NO FLIP : not computed ; FLIP : accessible -->
<!-- 2 :: NO FLIP : not computed ; FLIP : not accessible -->
<!-- 10 :: NO FLIP : accessible ; FLIP : not computed -->
<!-- 11 :: NO FLIP : accessible ; FLIP : accessible -->
<!-- 12 :: NO FLIP : accessible ; FLIP : not accessible -->
<!-- 20 :: NO FLIP : not accessible ; FLIP : not computed -->
<!-- 21 :: NO FLIP : not accessible ; FLIP : accessible -->
<!-- 22 :: NO FLIP : not accessible ; FLIP : not accessible -->
- <WeldGunAnalysisData NumberGuns="3" NumberWelds="8">
- <WeldGunCatalogInfo>
  <GunCatalogPath>E:\Robert Meissner DA\05 Entwicklung\02
  Schrauberzugänglichkeit\02 Umfang_fuer_REKO\01 Ressourcen\02
  Ressourcenkatalog\Ressourcenkatalog.catalog</GunCatalogPath>
  <ChapterSize>3</ChapterSize>
  <Chapter1>Ressourcen</Chapter1>
  <Chapter2>Schrauber</Chapter2>
  <Chapter3>AtlasCopco</Chapter3>
</WeldGunCatalogInfo>
- <AnalysisResult>
- <WeldGun>
  Stabschrauber mit M5 Bit
  <WeldPoint Result="10">Tag1S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag2S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag1S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S1 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag2S1 L</WeldPoint>
</WeldGun>
- <WeldGun>
  Winkelschrauber mit M5 Bit
  <WeldPoint Result="10">Tag1S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag1S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S1 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S1 L</WeldPoint>
</WeldGun>
- <WeldGun>
  Schrauber mit Pistolengriff
  <WeldPoint Result="10">Tag1S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S1 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag2S2 BA</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag1S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="10">Tag2S2 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag1S1 L</WeldPoint>
  <WeldPoint Result="20">Tag2S1 L</WeldPoint>
</WeldGun>
</AnalysisResult>
</WeldGunAnalysisData>
```





Anhang 3 Grundzüge des Datenmodells eines EDM-Systems, am Beispiel des Systems ENOVIA V5 LCA





# LEBENS LAUF

---

## **Persönliche Daten:**

Name	Marco Müller
Anschrift	Landauerstr. 22 D-66497 Contwig Tel.: 0179/4745469 E-Mail: <a href="mailto:marco.ma.mueller@web.de">marco.ma.mueller@web.de</a>
geboren am	20. August 1977 in Zweibrücken
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

## **Ausbildung:**

1989 - 1997	Staatliches Helmholtz-Gymnasium Zweibrücken Abschluss: Allgemeine Hochschulreife
1997 - 1998	Grundwehrdienst, Nachschubbearbeiter im Luftwaffenmaterialdepot 42 in Germersheim
1998 - 2004	Studium der „Produktionstechnik“ an der Universität des Saarlandes 8/2005 Abschluss des Studiums, Diplom-Ingenieur Produktionstechnik

## **wissenschaftlicher Werdegang:**

seit 09/2004	Industriedoktorand bei DaimlerChrysler AG Group Research and Advanced Engineering IT for Engineering and Processes -Product und Production Modeling- Postfach 2360 89013 Ulm
--------------	--

Contwig, 23. August 2007



Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik  
Herausgeber: H. Bley und C. Weber

ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: November 2006)

---

- Band 1** Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme)*.  
ISBN 3-930429-30-6 (1993)
- Band 2** Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen*.  
ISBN 3-930429-31-4 (1993)
- Band 3** Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung*.  
ISBN 3-930429-32-2 (1993)
- Band 4** Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik*.  
ISBN 3-930429-33-0 (1994)
- Band 5** Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme*.  
ISBN 3-930429-34-9 (1994)
- Band 6** Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen*.  
ISBN 3-930429-35-7 (1994)
- Band 7** Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*.  
ISBN 3-930429-36-5 (1994)
- Band 8** Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich*.  
ISBN 3-930429-37-3 (1994)
- Band 9** Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems*.  
ISBN 3-930429-38-1 (1994)
- Band 10** Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen*.  
ISBN 3-930429-39-X (1994)

- Band 11** Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen.*  
ISBN 3-930429-40-3 (1995)
- Band 12** Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses.*  
ISBN 3-930429-41-1 (1996)
- Band 13** Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses.*  
ISBN 3-930429-42-X (1996)
- Band 14** Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems.*  
ISBN 3-930429-43-8 (1997)
- Band 15** Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses.*  
ISBN 3-930429-44-6 (1998)
- Band 16** Seel, Uwe: *Robotergestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung.*  
ISBN 3-930429-45-4 (1999)
- Band 17** Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen.*  
ISBN 3-930429-46-2 (1999)
- Band 18** Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse.*  
ISBN 3-930429-47-0 (2000)
- Band 19** Muth, Michael: *CAD-M(COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA)-Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen.*  
ISBN 3-903429-48-9 (2000)
- Band 20** Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik.*  
ISBN 3-930429-49-7 (2000)
- Band 21** Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung.*  
ISBN 3-93042-50-0 (2000)
- Band 22** Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem.*  
ISBN 3-930429-51-9 (2001)
- Band 23** Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfsstoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde.*  
ISBN 3-930429-52-7 (2001)

- Band 24** Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen.*  
ISBN 3-930429-53-5 (2001)
- Band 25** Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien.*  
ISBN 3-930429-54-3 (2003)
- Band 26** Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28.*  
ISBN 3-930429-55-1 (2003)
- Band 27** Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*  
ISBN 3-930429-56-X (2003)
- Band 28** Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*  
ISBN 3-930429-57-8 (2003)
- Band 29** 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems  
ISBN 3-930429-58-6 (2003)
- Band 30** Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik.*  
ISBN 3-930429-59-4 (2004)
- Band 31** Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*  
ISBN: 3-930429-60-8 (2005)
- Band 32** Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*  
ISBN 3-930429-61-6 (2005)
- Band 33** Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes.*  
ISBN 3-930429-62-4 (2005)
- Band 34** Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus.*  
ISBN 3-930429-63-2 (2005)
- Band 35** Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems.*  
ISBN 3-930429-64-0 (2005)
- Band 36** Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme.*  
ISBN 3-930429-65-9 (2006)

- Band 37** Zenner, Christian: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung.*  
ISBN 3-930429-66-7 (2006)
- Band 38** Bossmann, Marc: *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung.*  
ISBN 978-3-930429-67-7 (2007)
- Band 39** Deubel, Till: *Anforderungs-, Kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses.*  
ISBN 978-3-930429-68-4 (2007)
- Band 40** Oberhausen, Michael: *Der Einsatz laserinduzierter Fluoreszenzmessungen zu Detektion geringster organischer Belegungen auf Oberflächen.*  
ISBN 978-3-930429-69-1 (2007)
- Band 41** Fritz, Jürgen Ulrich: *Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik.*  
ISBN 978-3-930429-70-7
- Band 42** Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie.*  
ISBN 978-3-930429-71-4