

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK

Herausgeber: D. Bähre und H. Bley



Band 47

Martin Schilke

**Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen
im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie**

Saarbrücken 2010

Einsatz von Produktdatenmanagement- Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie

Dissertation zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III
- Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften -
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Martin Schilke

Tag der Einreichung: 16.12.2009

Tag des Kolloquiums: 03.05.2010

Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Dirk Bähre
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
2. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Wolfgang Ripplinger

Saarbrücken 2010

Martin Schilke

Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 47

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird gemeinsam vom aktuellen und ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik (Prof. Dr.-Ing. D. Bähre, Prof. Dr.-Ing. H. Bley) der Universität des Saarlandes 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 am Lehrstuhl für Fertigungstechnik und dem ehemaligen Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber, seit 2007 TU Ilmenau) 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. D. Bähre

Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2010
Lehrstuhl für Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. D. Bähre
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

ISBN 978-3-930429-76-9

ISSN 0945–6244

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand berufsbegleitend während meiner Tätigkeit bei der Firma Dürr Assembly Products GmbH in Püttlingen und wurde im Rahmen der anschließenden Tätigkeit bei der Firma ILC PROSTEP GmbH in Bexbach fertig gestellt. Die akademische Betreuung hat der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes übernommen.

Zunächst möchte ich mich besonders bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, bedanken, der meine Arbeit stets unterstützt hat und mir als wichtiger Ansprechpartner bei wissenschaftlichen und methodischen Fragen zur Verfügung stand.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner, Inhaber des Lehrstuhls für Virtuelle Produktentwicklung der Technischen Universität Kaiserslautern, für die freundliche Übernahme des Koreferates, die konstruktive Diskussion und die interessanten Anregungen.

Auf industrieller Seite danke ich Herrn Ian Müller-Gräff von Dürr Assembly Products GmbH für das entgegengebrachte Interesse sowie die zahlreichen Ideen und Vorschläge zu meiner Arbeit. Es war eine schöne gemeinsame Zeit in Püttlingen, an die ich gerne zurückdenke.

Auf Seiten der ILC PROSTEP GmbH danke ich Herrn Stefan Zoller für die Möglichkeit und die Freiräume, mein Promotionsvorhaben fortsetzen und abschließen zu können. Meinen Kolleginnen und Kollegen danke ich für die offenen Gespräche und die freundliche Atmosphäre.

Aus meinem Freundeskreis möchte ich Dr.-Ing. Holger Burr danken, der mir hilfreich zur Seite stand und mir bei meinen zahlreichen Fragen weiterhelfen konnte. Marc Nauhauser, der sich die Zeit genommen hat, die Arbeit Korrektur zu lesen, danke ich für seine guten Ratschläge.

Meinen Eltern möchte ich danken, dass sie meine schulische und akademische Ausbildung gefördert und meine beruflichen Entscheidungen stets unterstützt haben.

Ganz herzlich danke ich meiner Frau Simone für die Unterstützung während der gesamten Zeit der Promotion. Sie hat stets an mich und mein Vorhaben geglaubt, mich immer wieder motiviert und war vor allem in den stressigen Phasen der nötige Ruhepol.

Kurzfassung der Arbeit

Gestiegene Kundenanforderungen und ein erhöhter Wettbewerbsdruck im Zuge der Globalisierung machen es erforderlich, dass die Unternehmen des Sondermaschinenbaus für die Automobilindustrie ihre Geschäftsprozesse optimieren, um auch weiterhin konkurrenzfähige und innovative Produkte zu entwickeln. Hier setzt das Produkt Lifecycle Management (PLM) an, das als produktbezogenes und unternehmensübergreifendes Informations- und Prozessmanagement einen durchgängigen Informationsfluss ermöglicht und den beteiligten Stellen in der Produktentstehung und –herstellung jederzeit aktuelle Produktinformationen bereitstellt. Als Kernkomponente des PLM ist das Produktdatenmanagement (PDM) von besonderer Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit stellt der Autor deshalb ein Konzept für den Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen (PDM-Systemen) im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie vor.

Zu Beginn werden die theoretischen Grundlagen zu den Themenkreisen PLM und PDM beschrieben und die Begriffe gegeneinander abgegrenzt. In der nachfolgenden Analyse werden die branchenspezifischen Randbedingungen erläutert und anhand des Produktentwicklungsprozesses in einem Referenzunternehmen entsprechende Verbesserungspotentiale identifiziert. Die daraus abgeleiteten Anforderungen führen zu einem Konzept für den Einsatz von PDM-Systemen, das prototypisch umgesetzt und anhand eines Praxisbeispiels validiert wird.

Als wesentliches Ergebnis zeigt sich, dass der Einsatz von PDM-Systemen in der betrachteten Branche erheblich zur Optimierung des Produktentwicklungsprozesses beitragen kann, so dass Durchlaufzeiten im Rahmen der Auftragsabwicklung verkürzt und Fehlerkosten reduziert werden.

Abstract

As a consequence of higher customer requirements and increased competitive pressure in the course of globalization special purpose machinery manufacturers for automotive industry are optimizing their business processes so that they continue to develop competitive and innovative products. The approach of Product Lifecycle Management (PLM) as a product-related and cross-company information and process management applies a continuous information flow and provides all participants in the product development and manufacturing process with up-to-date product information. As a core component of PLM the Product Data Management (PDM) is of particular importance. Thus, in this thesis the author presents a concept for the application of Product Data Management systems (PDM systems) in special purpose machinery manufacture for automotive industry.

At the beginning of the thesis the theoretical foundations of PLM and PDM are described and the terms are being differentiated. The following analysis shows the industry-specific boundary conditions and identifies potential for improvement based on the product development process of a reference company. The requirements derived therefrom lead to a concept for the application of PDM systems, which is being implemented prototypically and validated by means of an example.

The presented approach shows that the application of PDM systems in this industry sector helps to considerably optimize the product development process so that shorter lead times and reduced failure costs will be achieved.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aktuelle Herausforderungen in der Produktentwicklung.....	1
1.2	Motivation und Zielsetzung.....	5
1.3	Aufbau der Arbeit	7
2	Stand der Technik	9
2.1	Methodik in der Produktentwicklung.....	9
2.1.1	VDI-Richtlinie 2221	9
2.1.2	Produktentwicklung auf der Basis von CPM / PDD	12
2.2	Product Lifecycle Management.....	15
2.2.1	Grundlagen	15
2.2.2	Begriffsklärung	18
2.2.3	Chancen und Nutzen	19
2.2.4	Abgrenzung zum Produktdatenmanagement.....	22
2.3	Produktdatenmanagement	22
2.3.1	Grundlagen	22
2.3.2	Begriffsdefinitionen.....	25
2.3.3	Entwicklungsstufen des PDM	27
2.3.4	Systemklassen von PDM-Systemen	29
2.3.5	Systemarchitektur und Funktionalität von PDM-Systemen	32
2.4	Computer Aided Design	51
2.4.1	Überblick und historische Entwicklung	51
2.4.2	Parametrisches Konstruieren	54
2.4.3	Feature-Technologie	56
2.4.4	Aufbau von Produktstrukturen	58
2.4.5	Link-Management	62
2.4.6	Schnittstellen zum Produktdatenmanagement.....	66
3	Analyse der Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie	68
3.1	Branchenspezifische Randbedingungen.....	68

3.2	Definition eines Referenzobjektes.....	70
3.2.1	Funktionale Anlagenbeschreibung	72
3.2.2	Beschreibung der Systemelemente.....	74
3.2.3	Prozessbeschreibung.....	77
3.3	Auftragsabwicklung im Sondermaschinenbau	78
3.4	Produktentwicklungsprozess	83
3.5	Aktuelle Defizite im Referenzunternehmen.....	91
3.5.1	Fehlende zentrale Bereitstellung von Produkt- und Projektdaten	91
3.5.2	Fehlende Prozessunterstützung bei Änderungen und Freigaben.....	96
3.5.3	Mängel bei der Integration von Unterlieferanten und den Schnittstellen zum Kunden	98
4	Anforderungen an das Produktdatenmanagement.....	101
4.1	Zentraler Zugriff auf die in der Produktentwicklung benötigten Daten und Prozesse ...	101
4.2	Integration mehrerer CAD-Systeme in das PDM-System.....	101
4.3	Verwaltung extern erstellter CAD-Daten	102
4.4	Verwaltung von Fahrzeugdaten	102
4.5	Abbildung von Freigabe- und Änderungsprozessen	103
4.6	Effizientes Auffinden bestehender Produktdaten	104
4.7	Unterstützung beim Datenaustausch zum Kunden.....	104
5	Konzept für den Einsatz von PDM-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie	106
5.1	Infrastruktur und Arbeitsumgebung	106
5.2	CAD-Integration.....	107
5.2.1	Intern erstellte CAD-Daten.....	107
5.2.2	Extern erstellte CAD-Daten	108
5.2.3	Verwaltung von Fahrzeugdaten	113
5.2.4	Verwaltung von Skelettmodellen.....	114
5.3	Freigabe- und Änderungsmanagement	117
5.4	Klassifizierung.....	120
5.4.1	Klassifizierung auf Basis eines Konstruktionskataloges.....	120
5.4.2	Automatische Klassifizierung	123

5.5	Schnittstellen und Datenaustausch zum Kunden.....	124
5.5.1	Datenaustausch von nativen CAD-Daten.....	124
5.5.2	Datenaustausch auf Basis neutraler Formate.....	128
5.6	Abgrenzung zu anderen Konzepten.....	130
6	Umsetzung und Validierung	132
6.1	Systemauswahl und Technologie.....	132
6.2	Informationsplattform für die Produktentwicklung.....	134
6.3	Integration verschiedener CAD-Systeme	138
6.4	Informationstechnische Unterstützung von Änderungs- und Freigabeprozessen ..	139
6.5	Fazit	142
7	Zusammenfassung und Ausblick	143
7.1	Zusammenfassung der Arbeit	143
7.2	Ausblick auf weitere Aktivitäten	145
	Quellenverzeichnis.....	147
	Abbildungsverzeichnis	154
	Tabellenverzeichnis	158
	Abkürzungsverzeichnis.....	159

1 Einführung

1.1 Aktuelle Herausforderungen in der Produktentwicklung

Produzierende Unternehmen sehen sich in der heutigen Zeit einer Reihe von Veränderungen gegenüber. Die Funktionalität und Komplexität der Produkte nimmt zu. Damit verbunden steigt nicht nur die Anzahl der Bauteile, sondern auch der Anteil an elektrischen bzw. elektronischen Komponenten (sogenannten „E/E-Komponenten“) und Software in ehemals vorwiegend mechanisch geprägten Produkten, so dass immer mehr von mechatronischen¹ Produkten und Systemen die Rede ist. Software nimmt somit nicht mehr nur die Rolle eines Werkzeugs in der Produktentwicklung ein, sondern wird zu einem Bestandteil des Endproduktes. Ein Beispiel hierfür stellt die Automobilindustrie dar. Nach einer aktuellen Studie beträgt der Wertanteil der E/E-Komponenten im Auto heute bereits 20 Prozent und wird bis 2015 auf über 30 Prozent steigen. Auch die Innovationen im Automobilbau kommen maßgeblich aus den Bereichen Elektronik und Software. Über zwei Drittel der Innovationen werden durch diese Technologien erst ermöglicht oder haben einen hohen Anteil an E/E-Komponenten [Merc06]. Durch die Vernetzung und die Abhängigkeiten der mechanischen und E/E-Komponenten untereinander wird die Komplexität des Gesamtproduktes zusätzlich erhöht.

Durch die fortschreitende Globalisierung hat sich die Wettbewerbssituation verändert. Unternehmen können ihre Produkte heute weltweit verkaufen, gleichzeitig stehen sie jetzt aber auch in einem globalen Wettbewerb mit entsprechend stärkerer Konkurrenz. Begünstigt wird dieser Umstand durch das in den letzten Jahren immer vielfältiger genutzte World Wide Web, das es auch kleineren Unternehmen gestattet, ihre Produkte weltweit anzubieten. Zeigten sich die Auswirkungen der Globalisierung zunächst im Konsumgüterbereich (und hier vor allem bei Elektronikprodukten), so sind auch Investitionsgüter und damit der Maschinen- und Anlagenbau immer stärker von der verschärften internationalen Konkurrenzsituation betroffen.

Ein weiterer Trend bei aktuellen Produkten ist die verstärkte Kundenorientierung. Jeder Kunde kann sich das Produkt nach seinen Anforderungen individuell zusammenstellen. Diese „Mass Customization“ führt beispielsweise in der Automobilindustrie zu einer enormen Variantenvielfalt [BDWV04], die durch informationstechnische Systeme sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Produktenstehung verwaltet werden muss.

¹ Der Begriff *Mechatronik* bezeichnet das interdisziplinäre Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik und Informations-/ Systemtechnik.

Regelwerke und Gesetze wie das der Produkthaftung und steigende Anforderungen im Bezug auf Umweltschutz, Energieverbrauch oder Recyclingfähigkeit müssen bei der Entwicklung neuer Produkte ebenfalls berücksichtigt werden.



Abbildung 1-1: Veränderte Rahmenbedingungen in der Produktentwicklung (vgl. [EiSt01])

Um trotz der geänderten Marktbedingungen wirtschaftlich erfolgreich zu bleiben, streben Unternehmen nicht nur Rationalisierungs- und Einsparungsmaßnahmen an, sondern untersuchen ihre Geschäftsprozesse und setzen auf Durchlaufzeitverkürzungen im Produktentstehungsprozess. Durch einen früheren Markteintritt (kürzere *Time-to-market*) vergrößert sich einerseits der potentiell erreichbare Marktanteil eines Produktes, andererseits lassen sich so höhere Verkaufszahlen erzielen, wie Abbildung 1-2 zeigt.

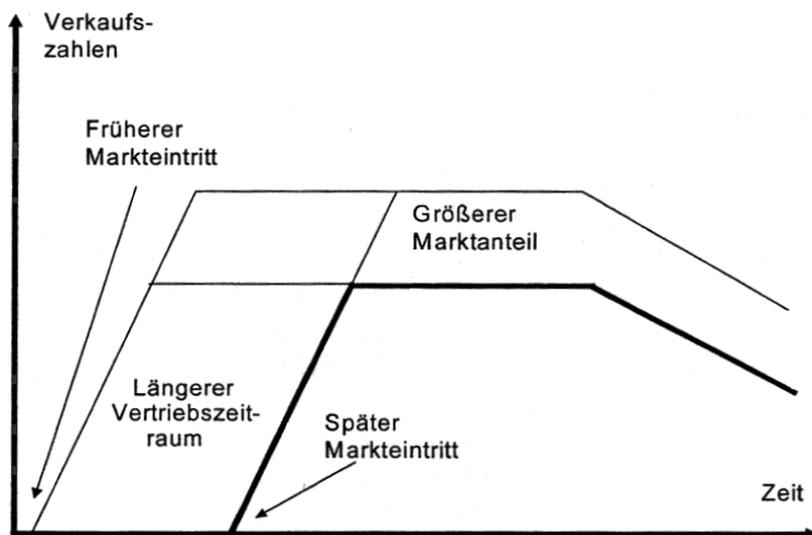


Abbildung 1-2: Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Produkteinführung und dem erreichbaren Marktanteil (nach [SmRe98])

Die Produktentwicklung trägt in der Kostenbetrachtung die zentrale Verantwortung, denn obwohl der Anteil der tatsächlich verursachten Kosten nur 10 Prozent beträgt, werden hier doch 75 Prozent der späteren Produktkosten festgelegt [EiSt01]. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Änderungskosten: Beim Übergang von einer zur nächsten Phase des Produktentstehungsprozesses steigen die Kosten für eine Änderung etwa um den Faktor 10

[Abra05]. Somit trägt das Erkennen und Beheben von Fehlern bereits in der Produktentwicklung wesentlich zur Kostenersparnis bei. Diese Erkenntnisse spiegeln sich in dem Trend zum sogenannten *Frontloading* wider. Dabei werden durch Anwendung von Simulations- und Analysemethoden auf Basis virtueller Modelle bereits in den frühen Phasen der Entwicklung die Produkteigenschaften bzw. die Anforderungen an das Produkt überprüft und abgesichert, um spätere Änderungsumfänge zu verringern [BDWV04]. Diese Vorgehensweise reduziert die Anzahl an teuren, physikalischen Prototypen.

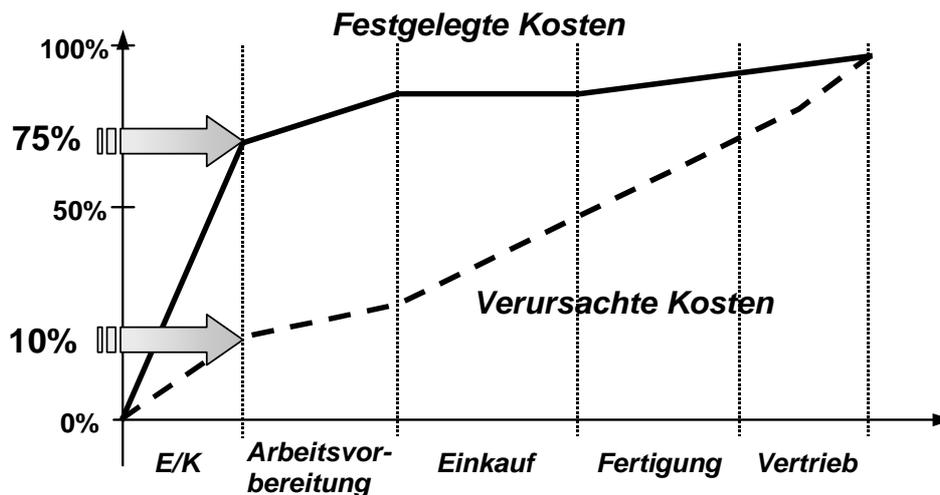


Abbildung 1-3: Kostenstruktur und Entwicklung und Konstruktion [EiSt01]

Aus der Situation des globalen Wettbewerbs und der Forderung nach kürzerer Durchlaufzeit und kürzeren Innovationszyklen ergeben sich für die Organisation und die Arbeitsweise in der Produktentwicklung große Veränderungen. So besteht das Tätigkeitsfeld des Entwicklungsingenieurs oder Konstrukteurs nicht mehr hauptsächlich aus fachlichen Aufgaben und kreativem Gestalten, sondern immer mehr aus Projektmanagement-, Dokumentations- und Kommunikationstätigkeiten. Durch das Aufkommen mechatronischer Produkte gewinnt besonders die Kommunikation über die Grenzen der einzelnen Fachdisziplinen hinaus an Bedeutung, da hier Ingenieure aus dem Maschinenbau und der Elektrotechnik mit Softwareentwicklern gemeinsam Lösungen erarbeiten.

Vergleich von Tätigkeiten eines typischen Tages 2000 und 2006 (in %)

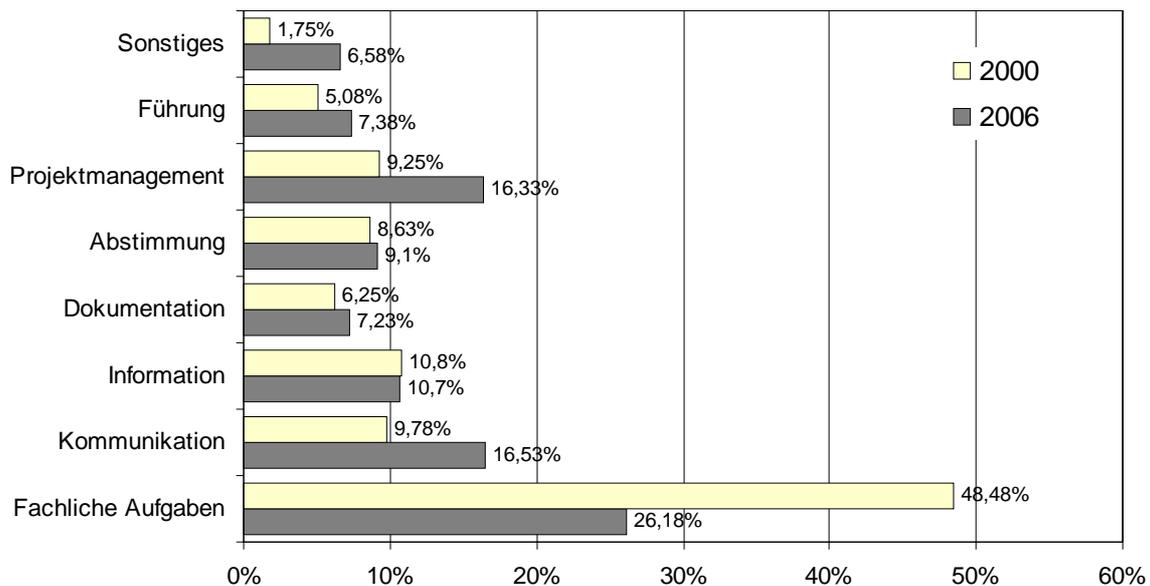


Abbildung 1-4: Veränderung der Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten [EiSc06]

Um die angestrebten Verbesserungen zu erreichen, weisen die Prozesse in der Produktentwicklung – ähnlich wie die Produkte – eine immer höhere Komplexität auf. Waren es früher sequentielle Prozesse, die innerhalb der Unternehmensgrenzen abliefen, werden heute Prozessschritte parallelisiert und Prozesse über mehrere Standorte eines Unternehmens oder auch unternehmensübergreifend zwischen Herstellern und Zulieferern koordiniert. Dazu bedarf es neuer Methoden des Entwicklungsmanagements, wie dem *Simultaneous Engineering*, dem *Concurrent Design* oder dem *Cross Enterprise Engineering*. Die Methode des *Simultaneous Engineering (SE)* beschreibt das simultane oder zeitparallele Vorgehen bei der Entwicklung des Produktes selbst sowie der zugehörigen Betriebsmittel und Vorrichtungen. *Concurrent Design (CD)* oder auch *Concurrent Engineering* ist ein systematischer Ansatz in der Produktentwicklung, bei dem das Produkt in Teilaufgaben zerlegt wird, die dann parallel in Entwicklungsteams bearbeitet werden. Dabei sollen die Anforderungen an das Produkt frühzeitig berücksichtigt werden [EiSt01]. Als *Cross Enterprise Engineering (CEE)* bezeichnet man die durchgehende Unterstützung verteilter Entwicklungsprozesse [Eign05], d.h. es werden über die Grenzen des Unternehmens hinweg Entwicklungspartnerschaften zu einem oder mehreren Zulieferern aufgebaut, so dass der Zulieferer einen bestimmten Anteil der Entwicklungsleistung übernimmt. Es ist leicht nachzuvollziehen, dass in diesem Fall dem Informationsaustausch zwischen den Prozessbeteiligten eine entscheidende Bedeutung zukommt.

Die dargestellten Veränderungen im unternehmerischen Umfeld und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Prozesse und Organisation der Produktentwicklung verändern auch die Anforderungen an den Einsatz von informationstechnischen Systemen

(IT-Systemen). Als Folge der gestiegenen Produktkomplexität hat sich auch die Komplexität der Produktdaten erhöht, und zwar sowohl im Hinblick auf die Datenmenge als auch auf die zu verwaltende Datenstruktur. Weiterhin ist die Anzahl der eingesetzten IT-Systeme im Unternehmen in den vergangenen Jahren enorm gestiegen. Durch die rasante Weiterentwicklung im Bereich der Computertechnologie konnten immer neue Anwendungsbereiche erschlossen und Arbeitsabläufe optimiert und automatisiert werden. Mittlerweile sind viele Geschäftsprozesse im Unternehmen ohne eine entsprechende IT-Unterstützung nicht mehr vorstellbar. Gerade im Bereich der Produktentwicklung existiert für die verschiedenen Disziplinen wie Mechanik, Elektrik/Elektronik und Informationstechnik eine Vielzahl von standardisierten Softwareapplikationen und darüber hinaus auch spezialisierte rechnerunterstützte Systeme. Dazu kommen laufend neue oder aktualisierte Systeme, die weitere Sonderanwendungsfälle abdecken oder eine höhere Leistungsfähigkeit als die bisherigen Systeme besitzen.

Seit Anfang der 90er Jahre gibt es Bestrebungen, die von den verschiedenen Systemen erzeugten Daten über den gesamten Produktentstehungsprozess für alle Prozessbeteiligten verfügbar zu machen. Ziel ist es, immer mit konsistenten und aktuellen Produktdaten zu arbeiten. Aus dieser Anforderung heraus entstanden zur Organisation und Verwaltung der Produktdaten sogenannte *Produktdatenmanagement-Systeme* (kurz: *PDM-Systeme*). Anfangs als Spezialexsysteme für Großunternehmen entwickelt, sind daraus mittlerweile ausgereifte Standardsysteme geworden, die allerdings nicht alle Einsatzfälle gleichermaßen abdecken können. Die auftretenden Problemstellungen sind in den einzelnen Branchen der produzierenden Unternehmen nicht identisch, so dass sich für die eingesetzten IT-Systeme ebenfalls unterschiedliche Anforderungen ergeben. Dazu zählen auch die PDM-Systeme, deren Einsatz im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

1.2 Motivation und Zielsetzung

Der Maschinen- und Anlagenbau stellt als Lieferant komplexer Erzeugnisse und Investitionsgüter für diverse Branchen den größten industriellen Arbeitgeber in Deutschland dar. Die Mehrzahl der Betriebe zählt zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen (kurz: *KMU*), wobei 70% der ca. 6.000 Unternehmen weniger als 100 Beschäftigte aufweisen. Die Branche zeigt sich insgesamt stark exportorientiert, der Hauptabsatzmarkt ist Europa mit einem Anteil von über 50% [BMW05]. In dieser Arbeit soll nicht der Maschinen- und Anlagenbau mit seiner gesamten Produktvielfalt untersucht werden, sondern im Speziellen der Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie mit seinen spezifischen Randbedingungen. Die Automobilindustrie kann nach wie vor als einer der wichtigsten Industriezweige in Deutschland bezeichnet werden, so zählt im Jahr 2005 bezogen auf die

Gesamtindustrie jeder siebte Arbeitsplatz direkt oder indirekt zur Automobilbranche [VDA06].

Auch im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie hat sich die Wettbewerbssituation in den letzten Jahren verschärft. Die zunehmende Globalisierung zwingt zu permanenten Kostensenkungsmaßnahmen. So verlagern Unternehmen nicht mehr nur Fertigungskapazitäten zu externen Firmen ins In- und Ausland, sondern lassen auch Tätigkeiten der Produktentwicklung von externen Dienstleistern durchführen, um die Kosten zu minimieren. Gegenüber den Auftraggebern aus der Automobilindustrie müssen gestiegene Anforderungen und strengere Vorgaben erfüllt werden. Eine hohe Flexibilität in der Produktentwicklung wie auch in der Produktherstellung ist entscheidend, denn die Produkte des Sondermaschinenbaus bestehen heutzutage aus verschiedenen, miteinander vernetzten Teilsystemen von mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten und Baugruppen. Durch die fortschreitende Automatisierungstechnik im klassisch mechanisch geprägten Maschinenbau spielen auch hier E/E-Komponenten eine immer stärkere Rolle, womit die Komplexität des Gesamtsystems zunimmt.

Eine Forderung der Automobilindustrie an die Sondermaschinenbauer ist vor allem die Reduzierung der Investitionskosten bei gleichzeitiger Erhöhung der Flexibilität. Betrachtet man beispielsweise den Endmontagebereich, so genügt es heute nicht mehr, eine Montagelinie für nur einen Fahrzeugtyp zu konzipieren. Stattdessen muss davon ausgegangen werden, mehrere Fahrzeugtypen und –varianten in variablen Stückzahlen auf einer Montagelinie zu fertigen. Auch die Wiederverwendung bestehender Montageanlagen für neue Produkte oder die Möglichkeit, eine Anlage schnell und kostengünstig umbauen zu können, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung neuer Anlagen.

Die geänderten Rahmenbedingungen machen es erforderlich, dass sich die Unternehmen aus dem Sondermaschinenbau verstärkt mit der Optimierung ihrer Geschäftsprozesse auseinandersetzen und vermehrt Interesse für Product Lifecycle Management (PLM) zeigen. Hat sich PLM zunächst in den großen Industriezweigen Automobil-, Flugzeug- und Schiffbau etabliert, so erreicht es nun auch die mittelständisch geprägten Sondermaschinenbauer. Initiativen und Forschungsprojekte wie „PLM4KMU“² zeigen, dass hier dieselben Herausforderungen und Probleme bestehen wie bei den großen Unternehmen.

Als essentielle Kernkomponente einer erfolgreichen PLM-Strategie kommt den PDM-Systemen eine besondere Bedeutung zu. Die steigende Produktkomplexität führt dazu, dass nicht nur die Datenmenge zunimmt, sondern auch die Vernetzung der Daten untereinander.

² Das Projekt "Vorgehensmodell für ein kontinuierliches Product Lifecycle Informationsmanagement für KMU" (kurz: "PLM4KMU") wurde 2002 initiiert als Kooperation des Lehrstuhls für Informationstechnik im Maschinenwesen (itm) der Technischen Universität München und des Forschungszentrums Informatik der Universität Karlsruhe (FZI) zusammen mit Anwenderfirmen, Beratungsunternehmen und Softwareherstellern [ADEK05].

Der fortschreitende Einsatz informationstechnischer Systeme insbesondere in der Produktentwicklung und die anhaltende Parallelisierung von Entwicklungsprozessen durch Methoden wie Simultaneous Engineering oder Concurrent Design sind weitere Faktoren, die ein effizientes Produktdatenmanagement unverzichtbar machen. Die Nutzung moderner 3D-CAD-Systeme ist ohne PDM-Systeme kaum sinnvoll möglich. Dessen ungeachtet stehen viele kleinere Unternehmen im Sondermaschinenbau und deren Zulieferer bzw. Unterlieferanten trotz 3D-CAD-Einsatz erst am Anfang der PDM-Nutzung oder sind noch immer ohne PDM unterwegs. Von einer gesamtheitlichen PLM-Strategie sind sie demzufolge noch weit entfernt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten für den Einsatz von Produktdatenmanagement im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie zu untersuchen und die branchenspezifischen Anforderungen an ein PDM-System aufzuzeigen. Das daraus entstehende Konzept soll exemplarisch in einem Prototyp umgesetzt und verifiziert werden.

Für diese Branche liegen insbesondere im Hinblick auf das Produktdatenmanagement bisher keine Erkenntnisse aus der Literatur vor. Die Analyse und das darauf aufbauende Konzept basieren deshalb wesentlich auf den Erfahrungen und Erkenntnissen des Autors während seiner mehrjährigen Tätigkeit in der Abteilung „Assembly Systems“ (Montagetechnik) bei der DÜRR Assembly Products GmbH. Das mittelständische Unternehmen gehört zum Geschäftsbereich Factory Assembly Systems der DÜRR AG, einem der weltweit führenden Anbieter für Produkte und Systeme rund um die Endmontage in der Automobilindustrie. Das Produktportfolio umfasst Montage-, Befüll-, Prüf- und Fördertechnik.

DÜRR Assembly Products GmbH agiert als Systemlieferant in den Geschäftsfeldern Prüftechnik (z.B. Fahrwerkstände zur Prüfung und Einstellung der Fahrwerkgeometrie, Rollprüfstände zur Funktions- und Leistungsprüfung) und Montagetechnik (z.B. Aggregatemontage, Montage- und Einstellstationen für Vorder-/ Hinterachsen). Im Rahmen dieser Arbeit wird DÜRR Assembly Products GmbH als Referenzunternehmen verwendet, da vor allem in dem Geschäftsfeld Montagetechnik durch die auftragsbezogene, kundenspezifische Produktentwicklung die charakteristischen Randbedingungen für den PDM-Einsatz im Sondermaschinenbau untersucht werden können.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 1.1 wurden bereits die aktuellen Herausforderungen in der Produktentwicklung dargestellt und davon ausgehend Motivation und Zielsetzung definiert.

Kapitel 2 erläutert zunächst den Stand der Technik im Bereich PLM und PDM. Dabei geht es neben der Definition und den Eigenschaften auch um die Abgrenzung beider Ansätze

zueinander. Anschließend werden die im Zusammenhang mit dieser Arbeit relevanten Aspekte von CAD-Systemen betrachtet, dem nach wie vor wichtigsten Erzeugersystem in der Produktentwicklung.

Kapitel 3 analysiert den Entwicklungsprozess im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie und die auftretenden Problemstellungen anhand eines Referenzunternehmens, besonders im Bezug auf das Änderungsmanagement und die Schnittstellen zu Kunden und Unterlieferanten. Aus dieser Analyse ergeben sich die in Kapitel 4 formulierten Anforderungen, anhand derer in Kapitel 5 schließlich das Konzept für ein branchenspezifisches PDM-System erarbeitet wird. In Kapitel 6 erfolgen die prototypische Umsetzung und die Validierung anhand eines konkreten Praxisbeispiels. Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf weiterführende Betrachtungen ab.

Die folgende Abbildung zeigt die Struktur und die wesentlichen Punkte der vorliegenden Arbeit:

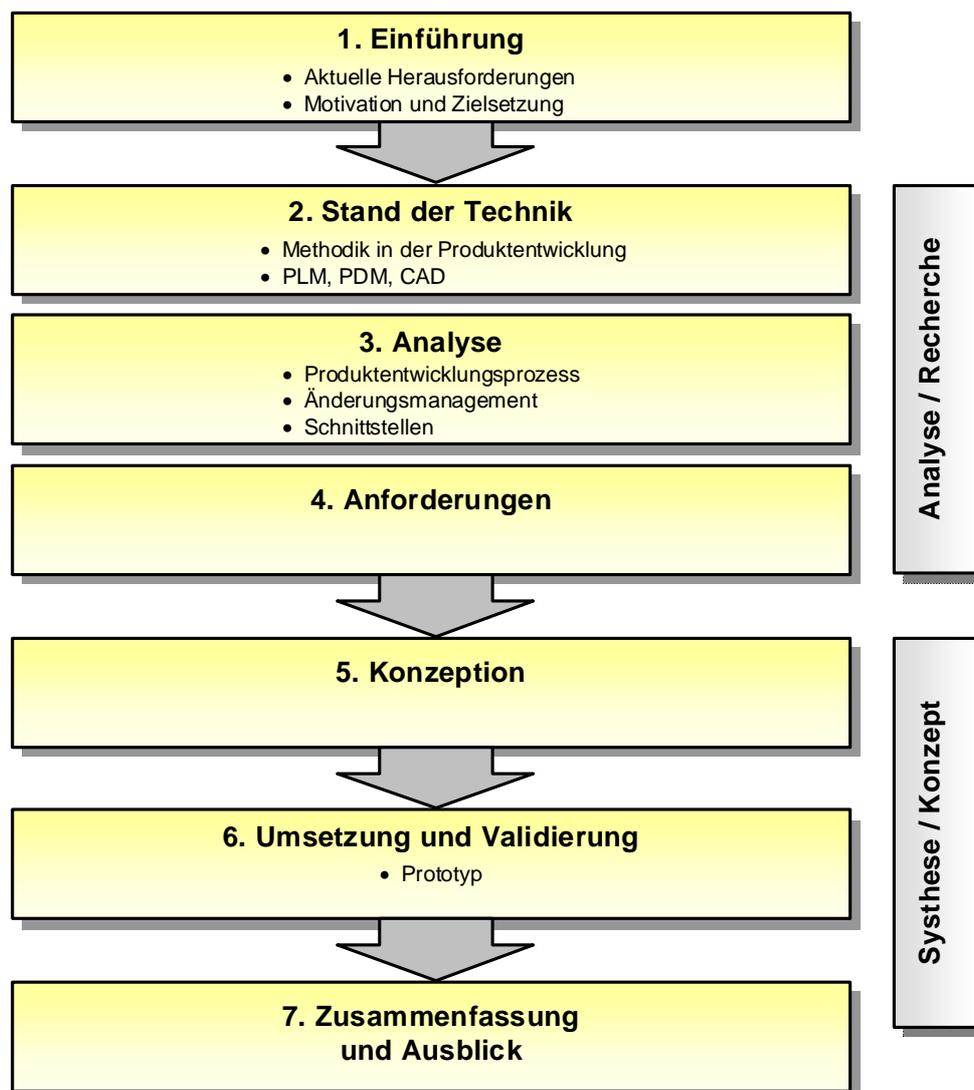


Abbildung 1-5: Struktur und Inhalt der Arbeit

2 Stand der Technik

2.1 Methodik in der Produktentwicklung

2.1.1 VDI-Richtlinie 2221

Eine leistungsfähige Produktentwicklung ist mitentscheidend für den Markterfolg eines Produkts. Generell lässt sich die Produktentwicklung als Problemlösungsprozess verstehen, zu dem sich in der Fachliteratur verschiedene konstruktionsmethodische Vorgehensmodelle finden lassen (z.B. [PaBe97] oder [VDI2221]), von denen die Methodik der VDI-Richtlinie 2221 hier näher beschrieben wird.

Die VDI-Richtlinie stellt eine allgemeine, branchenunabhängige Problemlösungsmethodik vor und gliedert den Produktentwicklungsprozess in vier sich überschneidende Phasen:

I - Planung

II - Konzeption

III - Entwurf

IV - Ausarbeitung

Zum Gesamtvorgehen werden sieben Arbeitsabschnitte mit den jeweiligen Arbeitsergebnissen formuliert (siehe Abbildung 2-1). Die einzelnen Arbeitsabschnitte laufen dabei nicht starr hintereinander ab, sondern werden in Iterationsschleifen mehrfach durchlaufen, um das Ergebnis Schritt für Schritt zu optimieren. Durch das Ziel der allgemeinen Anwendbarkeit gibt die VDI-Richtlinie eine eher grobe Prozessstruktur vor, die je nach Erzeugnis und Unternehmen auszugestalten ist, so dass sich je nach den geltenden Randbedingungen zahlreiche mögliche Prozessvarianten ergeben.

Arbeitsabschnitt 1: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

In diesem Arbeitsabschnitt werden die Anforderungen zu der vom Kunden oder der Produktplanung vorgegebenen Aufgabe geklärt und präzisiert, so dass als Ergebnis eine (strukturierte) *Anforderungsliste* vorliegt, welche die Informationsgrundlage für die folgenden Arbeitsabschnitte bildet. Daher muss diese Anforderungsliste ständig aktualisiert werden, da im Laufe des Produktentwicklungsprozesses neue Anforderungen hinzukommen oder bestehende Anforderungsinhalte sich ändern können.

Arbeitsabschnitt 2: Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen

Ziel dieses Arbeitsabschnittes ist es, die von dem Produkt zu erfüllende Gesamtfunktion und die entsprechenden Teilfunktionen zu ermitteln und zu strukturieren. Die entstandenen

Funktionsstrukturen in Form von Beschreibungen, formalen Darstellungen oder Schaltungen dienen als Grundlage für die Suche nach Lösungsprinzipien.

Arbeitsabschnitt 3: Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

Hierbei wird für die festgelegten Funktionen bzw. Teilfunktionen überprüft, welche physikalischen, chemischen oder anderen Effekte einer Realisierung zu Grunde gelegt werden können. Für diese Effekte werden dann sogenannte „wirkstrukturelle Festlegungen“ getroffen (z.B. Wirkgeometrie, Wirkbewegung, Werkstoffart), welche die Lösungsprinzipien für die einzelnen Teilfunktionen darstellen. Analog zur Funktionsstruktur werden die einzelnen Lösungsprinzipien zu einer Wirkstruktur verknüpft. Das Arbeitsergebnis ist also eine oder eine Auswahl mehrerer *prinzipieller Lösungen* für die gestellte Aufgabe, dokumentiert z.B. in Form von Prinzipskizzen.

Arbeitsabschnitt 4: Gliedern in realisierbare Module

In diesem Arbeitsabschnitt findet eine Gliederung der prinzipiellen Lösung in realisierbare Module statt, was primär bei komplexen Produkten notwendig ist, da die Produktentwicklung für die einzelnen Module in der Regel parallel abläuft. Als Ergebnis erhält man eine *modulare Struktur*, die bereits die Aufteilung in Teilsysteme und Systemelemente sowie deren Schnittstellen enthält.

Arbeitsabschnitt 5: Gestalten der maßgebenden Module

Die für die Produkt- und Systemoptimierung maßgebenden Module werden in diesem Schritt konkretisiert (*Grobgestalten*). Als Arbeitsergebnis erhält man *Vorentwürfe* in Form von groben, maßstäblichen Zeichnungen oder Stromlaufplänen.

Arbeitsabschnitt 6: Gestalten des gesamten Produkts

Dieser Arbeitsabschnitt beinhaltet die weitere Detaillierung der Module (*Endgestalten*), so dass als Ergebnis ein *Gesamtentwurf* in Form von maßstäblichen Zeichnungen oder vorläufigen Stücklisten vorliegt, der alle wesentlichen Gestaltungsmerkmale zur Produktrealisierung enthält.

Arbeitsabschnitt 7: Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

Im letzten Arbeitsabschnitt werden die Ausführungs- und Nutzungsangaben ausgearbeitet mit dem Ziel, eine *Produktdokumentation* bestehend bspw. aus Einzelteil- und Baugruppenzeichnungen, Stücklisten oder Fertigungs-, Montage- und Prüfvorschriften zu erhalten. Dieser Abschnitt überlappt inhaltlich mit dem vorhergehenden, da dort bereits Randbedingungen für die fertigungstechnische Umsetzung festgelegt wurden, die jetzt berücksichtigt werden müssen.

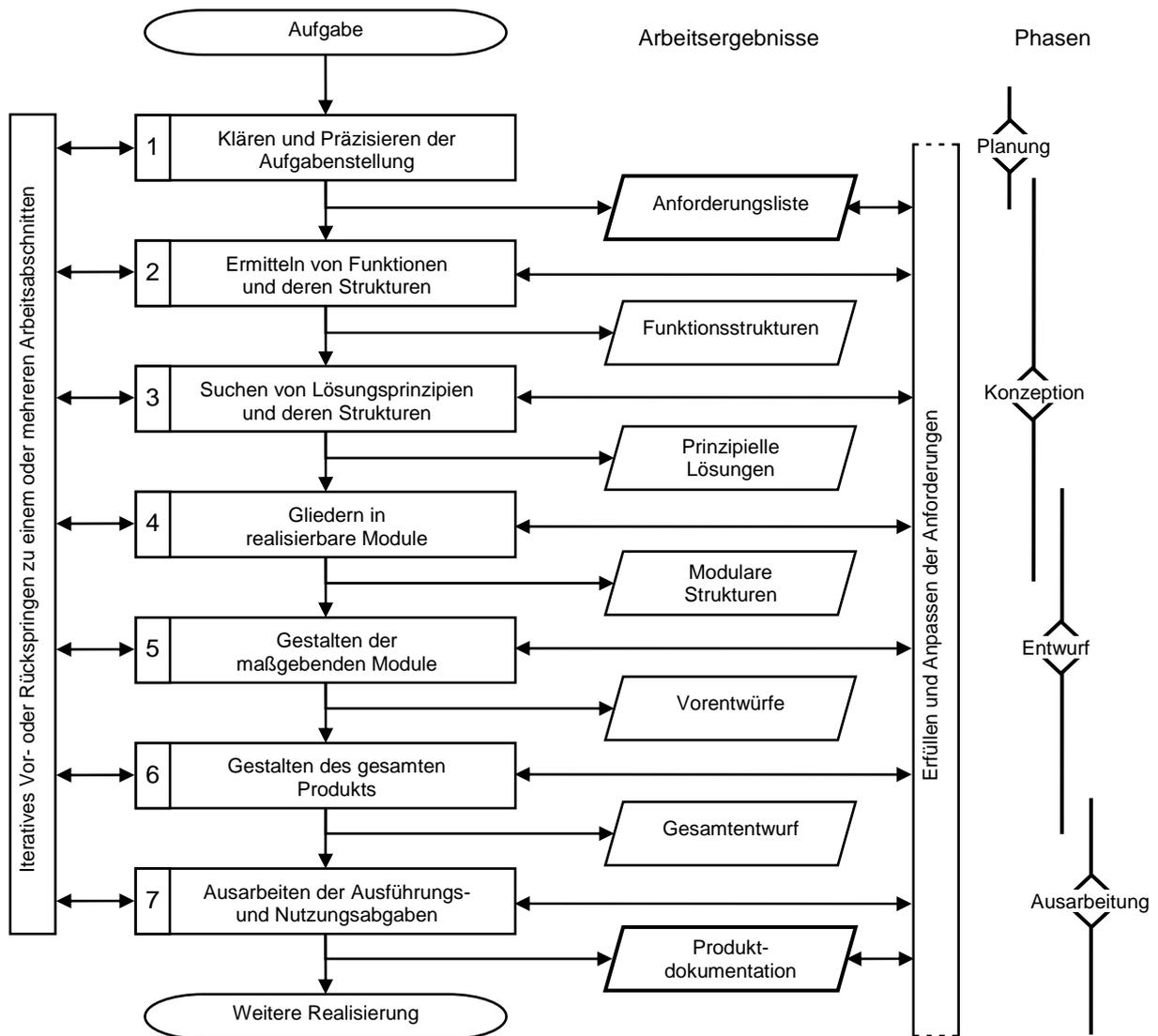


Abbildung 2-1: Generelles Vorgehen in der Produktentwicklung [VDI2221]

In der VDI-Richtlinie 2221 wird zwischen den Begriffen *Entwickeln* und *Konstruieren* bzw. *Entwicklungs-* und *Konstruktionsprozessen* unterschieden. Die Inhalte der Tätigkeit *Entwickeln* liegen laut Definition im „zweckgerichteten Auswerten und Anwenden von Forschungsergebnissen und Erfahrungen“, das Ergebnis muss kein konkretes technisches Produkt sein, sondern kann auch aus grundsätzlichen Lösungen bestehen. Demgegenüber wird *Konstruieren* definiert als „Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit denen - ausgehend von einer Aufgabenstellung - die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts notwendigen Informationen erarbeitet werden und in der Festlegung der Produktdokumentation endet“ [VDI2221]. Diese Definition schließt also die Formulierung der Funktions- und Wirkstrukturen, die Erstellung der Vor- und Gesamtentwürfe und die Detaillierung aller Einzelheiten ein.

Heute wird der Prozessgedanke in den Vordergrund gestellt und in der Literatur oft nicht mehr von Entwicklung oder Konstruktion, sondern allgemein von *Produktentwicklung* gesprochen. Der *Produktentwicklungsprozess* als Teil des gesamten Unternehmensprozesses umfasst alle Aktivitäten, die das Produkt und sein zur Herstellung, Nutzung und Recycling benötigtes Umfeld (Werkzeuge, Vorrichtungen, Maschinen, Anlagen etc.) über den Produktlebenszyklus beschreiben. Sein Resultat ist die vollständige *Produktdefinition (Intellectual Product)*, die aus der Produktstruktur, allen zugehörigen Dokumenten, digitalen Modellen und Konfigurationen sowie den Unterlagen für die notwendigen Betriebsmittel besteht [Eign06].

2.1.2 Produktentwicklung auf der Basis von CPM / PDD

Einen neuen, weiterführenden Ansatz zur Modellierung und Entwicklung von Produkten und Prozessen stellt Weber in [Webe07] mit CPM / PDD vor. Das zweiteilige Konzept, das auf den vorhandenen Ergebnissen aus der Konstruktionsmethodik aufbaut, hat zum Ziel, die zahlreichen bestehenden Modelle und Strategien zur Produktentwicklung in ein gemeinsames Rahmenwerk zu integrieren.

Dazu wird im Teilkonzept des *Characteristics-Properties Modelling (CPM)* zunächst eine Methodik für Produktmodelle formuliert, die auf Merkmalen und Eigenschaften basiert. Daraus folgt in dem anschließenden Teilkonzept des *Property-Driven Development (PDD)* die *Herleitung* einer Methodik für den Produktentwicklungsprozess, um ausgehend von den geforderten Soll-Eigenschaften eines Produkts (z.B. Kundenanforderungen) auf die erforderlichen Merkmale zu schließen.

a) Characteristics-Properties-Modelling (CPM)

CPM unterscheidet zwischen den *Merkmalen (Characteristics)* eines Produkts einerseits und seinen *Eigenschaften (Properties)* andererseits. Die *Merkmale* beschreiben die Struktur, die Gestalt sowie die Beschaffenheit des Produkts und können durch den Konstrukteur direkt beeinflusst werden. Demgegenüber beschreiben die *Eigenschaften* das Verhalten des Produkts und sind in der Regel vorgegeben, d.h. sie können nicht direkt durch den Konstrukteur beeinflusst werden.

Sowohl Merkmale als auch Eigenschaften können in Kategorien eingeteilt werden. Als Beispiel für eine Kategorisierung wurde für die Merkmale eine Art Teilebaumstruktur vorgeschlagen. Zwischen den einzelnen Merkmalen gibt es Abhängigkeiten, z.B.

- geometrische Abhängigkeiten (innerhalb eines oder zwischen mehreren Einzelteilen), die heute in CAD-Systemen abgebildet werden können
- Abhängigkeiten zwischen Werkstoff- oder Oberflächenparametern, die heute noch nicht über CAx-Systeme ausgewertet werden können

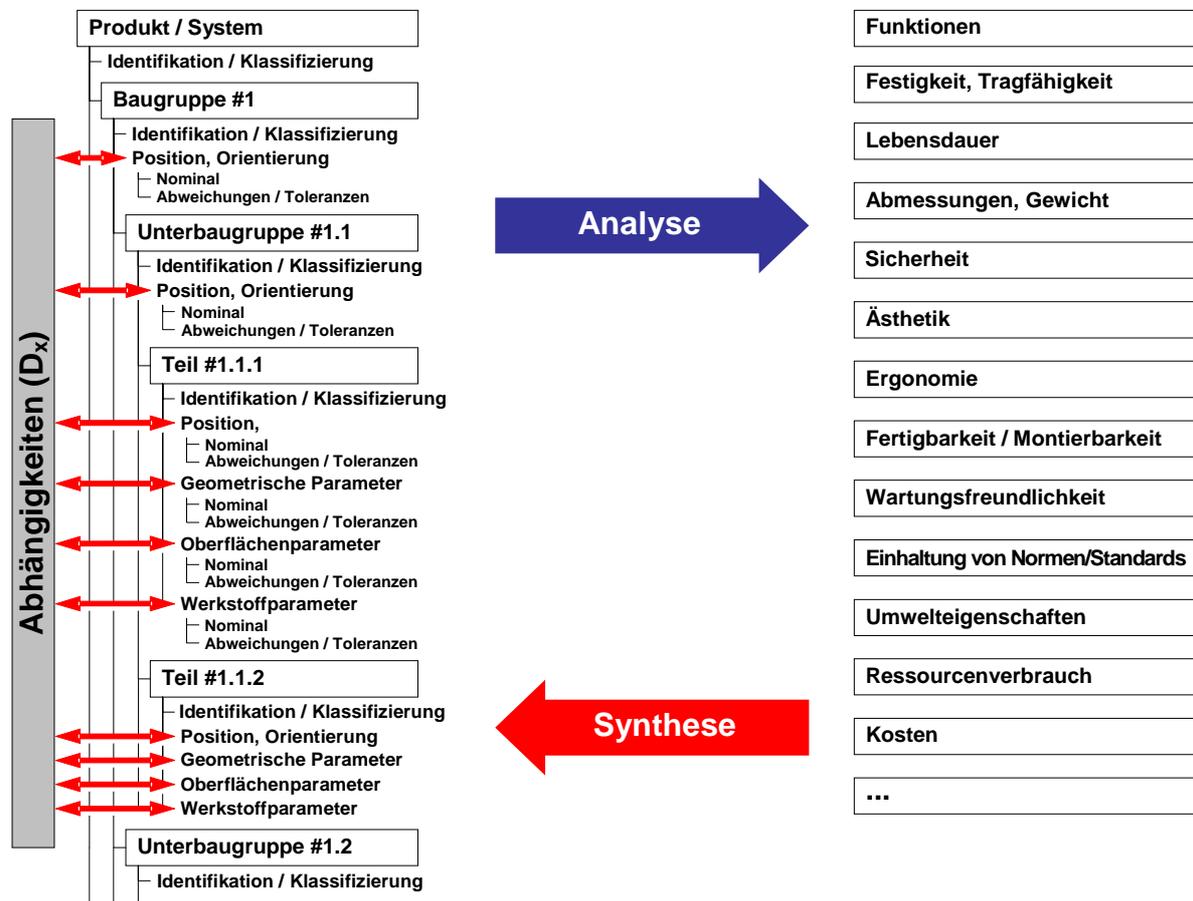


Abbildung 2-2: Zusammenhang zwischen Merkmalen und Eigenschaften eines Produkts nach [Webe07]

Wie die folgende Abbildung zeigt, stehen Merkmale und Eigenschaften zueinander in Beziehung. Über die *Analise* können zu bekannten Merkmalen eines Produkts dessen Eigenschaften ermittelt oder vorhergesagt werden. Dazu bedarf es entweder der Erfahrung des Konstrukteurs, Versuchen, Berechnungen oder Simulationen auf Basis von virtuellen Modellen. Umgekehrt kann von vorgegebenen oder geforderten Eigenschaften über die *Synthese* auf erforderliche Merkmale rückgeschlossen werden, z.B. über ein entsprechendes Regelwerk oder durch die Verwendung von Standard- bzw. Katalogteilen.

Die Prozesse der Analyse und Synthese setzen m Eingangsgrößen zu n Ausgangsgrößen in Beziehung. Abbildung 2-3 zeigt eine formale Darstellung mit Merkmalen C_i , Eigenschaften P_j , geforderten Eigenschaften (Anforderungen) PR_j und Beziehungen R_j . Die Beziehungen können weiterhin externen Bedingungen EC_j unterliegen. Die dargestellten Anhängigkeiten D_x zwischen Merkmalen stellen *Zwangsbedingungen (Constraints)* dar.

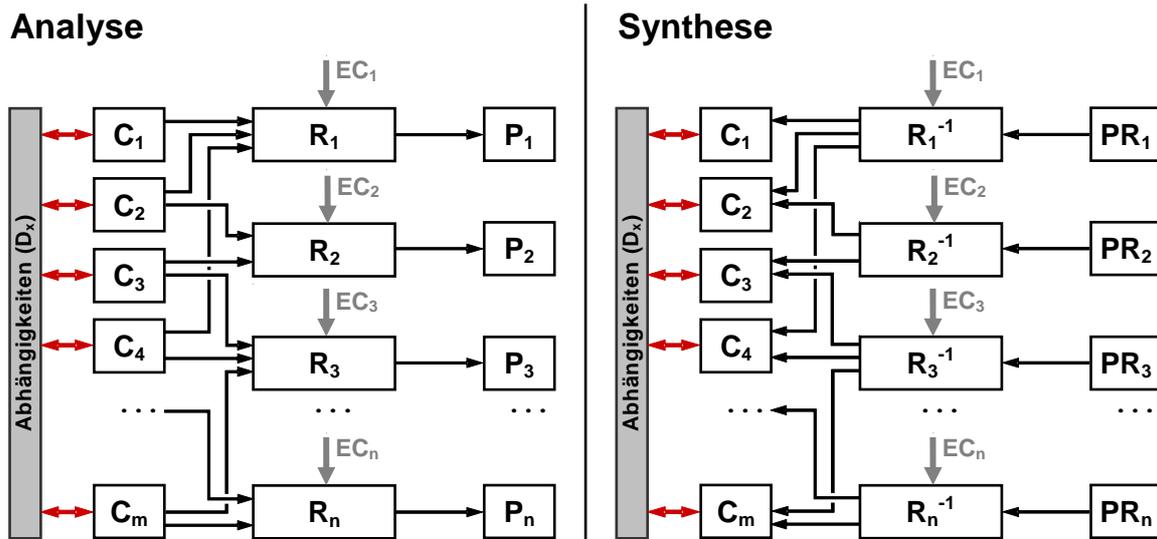


Abbildung 2-3: Formale Darstellung von Analyse und Synthese nach [Webe07]

b) Property-Driven Development (PDD)

Mit Hilfe von CPM kann nun mit PDD der Produktentwicklungsprozess weiterführend als Zusammenspiel von Synthese und Analyse interpretiert werden. Mit jedem Syntheseschritt werden dabei weitere Merkmale des zu entwickelnden Produkts festgelegt, jeder Analyseschritt verfeinert das Wissen über die zu erwartenden Eigenschaften des Produkts. Die Abweichung zwischen den aktuellen zu den geforderten Eigenschaften wird zur Steuerung des weiteren Vorgehens ausgewertet, so dass sich die Abweichung zum Entwicklungsziel schrittweise minimiert. Die Produktentwicklung ist abgeschlossen, wenn:

1. alle Merkmale festgelegt sind, die zur Fertigung und zur Montage benötigt werden;
2. alle relevanten Eigenschaften mit ausreichender Genauigkeit bestimmt oder vorhergesagt werden können;
3. die Abweichung zwischen allen bestimmten/ vorhergesagten Eigenschaften und den geforderten Eigenschaften klein genug ist.

Zusammenfassend lässt sich der Produktentwicklungsprozess mit CPM / PDD durch folgende Iterationsschritte darstellen:

1. Auflisten und Strukturieren aller geforderten Eigenschaften (Soll-Eigenschaften).
2. Im Falle einer Anpassungs-/ Variantenkonstruktion: Auflisten der Merkmale, die bereits für das Produkt festgelegt sind (zusammen mit den zugehörigen Eigenschaften).
3. Für einige Soll-Eigenschaften, die noch nicht ausreichend erfüllt sind, über die Synthese die wesentlichen Merkmale der zukünftigen Lösung bestimmen.

4. Durchführen der Analyse: Welche Auswirkungen haben die bereits festgelegten Merkmale auf alle Eigenschaften, d.h. wie sehen die Ist-Eigenschaften der zukünftigen Lösung aus?
5. Vergleichen von Soll- und Ist-Eigenschaften: Das Ergebnis zeigt das Defizit des aktuellen Entwurfsschritts und gibt Hinweise darauf, welche Soll-Eigenschaften in der nächsten Iterationsschleife betrachtet werden sollen.

Die Schritte 3 bis 5 werden so lange wiederholt, bis die oben beschriebenen Abbruchkriterien erfüllt sind.

Der beschriebene Ansatz stellt eine Methodik bereit, um ausgehend von Anforderungen an ein zu entwickelndes Produkt dessen Merkmale formal zu ermitteln. Von besonderem Interesse ist die Frage, wie aktuelle CAx-Werkzeuge oder Produktdatenmanagement-Systeme geeignet sind oder erweitert werden müssen, um die praktische Umsetzung der Methodik zu unterstützen.

2.2 Product Lifecycle Management

2.2.1 Grundlagen

Die in Kapitel 1.1 beschriebenen veränderten Randbedingungen für die Produktentwicklung stellen viele Unternehmen vor die Frage, wie man den aktuellen Herausforderungen begegnen kann, um auch weiterhin wettbewerbsfähige und innovative Produkte zu entwickeln. Entscheidend für den Erfolg eines Produktes sind nicht mehr nur Qualität und Preis, sondern auch in welcher Zeit es entwickelt, gefertigt und zum Kunden geliefert werden kann. Um diese Faktoren zu verbessern, genügt es nicht, immer neue Softwaresysteme einzuführen. Stattdessen muss die Qualität der Unternehmensprozesse im Vordergrund stehen und es müssen Konzepte gefunden werden, um Informationssysteme im Unternehmen sinnvoll und effizient einzusetzen.

Product Lifecycle Management (Produktlebenszyklus-Management, PLM) bezeichnet das „produktbezogene und unternehmensübergreifende Informationsmanagement und umfasst darüber hinaus die Planung, Steuerung und Organisation der zur Erzeugung und ganzheitlichen Verwaltung aller Daten, Dokumente und Ressourcen erforderlichen Prozesse im gesamten Produktlebenszyklus“[ScSi02]. PLM etabliert einen durchgängigen Informationsfluss, so dass aktuelle Produktinformationen und auch die bisherigen Entwicklungsstände zu jeder Zeit und allen beteiligten Stellen in der Produktentstehung und -herstellung zur Verfügung stehen. PLM betrifft nahezu alle Bereiche des Unternehmens und

zeigt auf, wo Abläufe optimiert oder umgestaltet werden müssen (*Prozess-Reengineering*). Durch transparente Prozesse führt PLM schließlich zur Verbesserung der Produktqualität, zu Kosten- und Zeitvorteilen über den gesamten Produktlebenszyklus. PLM ist als ein unternehmensübergreifender Ansatz zu verstehen, der auch die heutigen global verteilten Produktentstehungsprozesse berücksichtigt, d.h. es werden alle Personen einbezogen, die gemeinsam eine Aufgabe im Prozess bearbeiten, unabhängig von ihrem Standort oder für welches Unternehmen sie tätig sind (z.B. Zulieferer).

Die ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus schließt dabei alle Phasen eines industriellen Produktes mit ein. Durch das Management der Produkthanforderungen (*Requirements Management*) werden bereits die frühen Phasen des Produktlebens unterstützt. Gerade im Bereich der Investitionsgüter (z.B. Maschinen und Anlagen) oder der langlebigen Konsumgüter (z.B. Automobile) spielt die Unterstützung der Produktlebensphasen nach der Auslieferung und Inbetriebnahme (*Aftermarket*) sowie das Produktrecycling eine immer größere Rolle.

Product Lifecycle Management steht auch für die Ablösung des Denkens in abgeschlossenen Abteilungen durch eine Denkweise in Unternehmensprozessen über Abteilungsgrenzen hinweg. Die bisher üblichen, tätigkeits- und abteilungsbezogenen Begriffe wie Entwicklung, Konstruktion oder Arbeitsvorbereitung gehen in die prozessbezogenen Begriffe der *Produktentwicklung* und *Produktionsentwicklung* über und bilden gemeinsam den *Produktentstehungsprozess* [Eign09]. Fertigung und Montage werden als *Produktherstellungsprozess* zusammengefasst. Die Produktentstehung und in Folge die Produktherstellung stellen somit die Wertschöpfungskette im Unternehmen dar.

Der Kreislauf schließt sich durch die Rückführung von Informationen aus nachgelagerten Prozessschritten wie Produktnutzung und Produktrecycling/ -entsorgung mit dem Ziel der Verbesserung der Produkteigenschaften (*Design for X*). So wird ein Regelkreis geschaffen, der es Unternehmen ermöglicht, schneller auf geänderte Kundenanforderungen zu reagieren und Erfahrungen aus der Produkthanwendung gezielt in die Entwicklung neuer, innovativer Produkte einfließen zu lassen. Abbildung 2-4 zeigt den Produktlebenszyklus mit den beschriebenen Phasen, wobei hier zur besseren Übersichtlichkeit auf die Darstellung der heute angestrebten Parallelisierung von Prozessschritten (z.B. durch Methoden des *Simultaneous Engineering* oder des *Concurrent Design*; siehe Kapitel 1.1) verzichtet wurde.

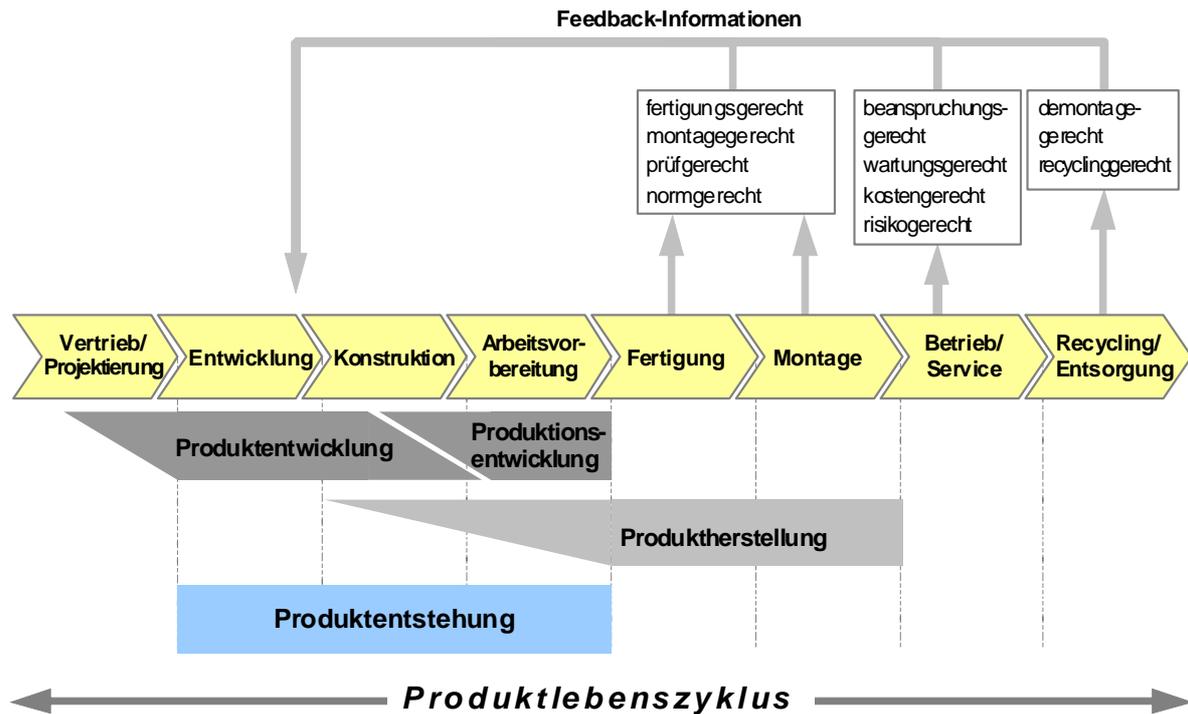


Abbildung 2-4: Produktlebenszyklus (vgl. [Eign09])

Grundlegend für das Verständnis des PLM-Ansatzes ist, dass es sich dabei nicht um die Einführung eines weiteren IT-Systems handelt, sondern um ein Gesamtkonzept, das bestehende (und auch zukünftige) Systeme als Teilkonzepte zu einer Gesamtlösung für das Informationsmanagement im Unternehmen integriert. Betrachtet man die gesamte Prozesslandschaft in einem Industrieunternehmen, das Produkte entwickelt, produziert und vertreibt, dann bildet PLM einen wichtigen Baustein, neben dem weitere Komponenten wie *ERP/ERM* (*Enterprise Resource Planning* bzw. *Enterprise Resource Management*), *SCM* (*Supply Chain Management*) und *CRM* (*Customer Relationship Management*) auftreten. Verschiedene Systeme, Methoden und Informationen realisieren gesamtheitlich die informationstechnische Unterstützung.

Abbildung 2-5 zeigt die einzelnen Lösungskomponenten im Produktlebenszyklus und deren Funktionsbereiche. PLM und ERP/ERM stellen dabei zwei wichtige Kernprozesse eines Industrieunternehmens dar, die durch unternehmensübergreifende Ansätze wie CRM und SCM ergänzt werden. Wie bereits in den vorigen Abschnitten dargestellt, fokussiert PLM die Produkte und deren Entstehungsprozesse. Diese Aufgabenstellung unterscheidet sich grundlegend von der des ERP/ERM, das in erster Linie die Herstellung und eines Produktes und die zugehörigen betriebswirtschaftlichen und logistischen Prozesse betrachtet. Die Schnittstelle zwischen beiden wird dem PLM zugerechnet.

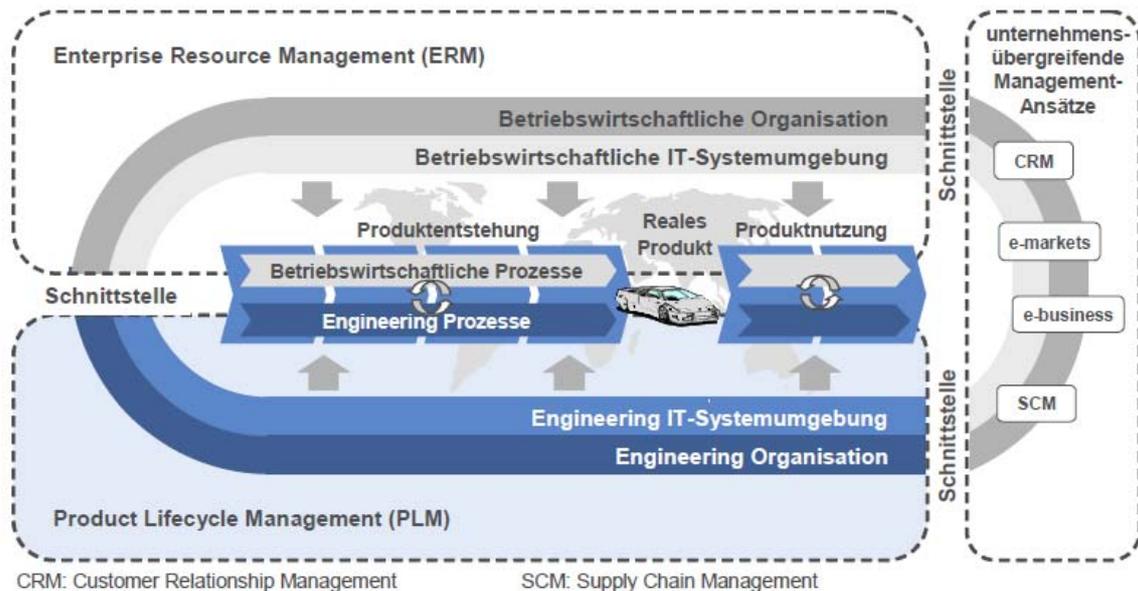


Abbildung 2-5: Bausteine einer PLM-Lösung im Unternehmen [AbSc05]

2.2.2 Begriffsklärung

In der Evolution des Product Lifecycle Managements haben sich – nicht zuletzt aufgrund der vielfältigen Einzelaspekte, die solch ein umfassendes Konzept berücksichtigen muss – unterschiedliche Sichtweisen sowohl auf Anwenderseite als auch auf Seite der Softwareanbieter entwickelt. Während bei den Anwendern eher die strategische und organisatorische Komponente im Vordergrund steht, prägen Softwareanbieter oftmals eine informationstechnische Sicht auf das PLM. Eine eindeutige, allgemein gültige Begriffsbestimmung für PLM, die den verschiedenen Sichtweisen gerecht wird, existiert bis jetzt nicht, genauso wenig wie ein etablierter PLM-Industriestandard [Abra06].

Eine mögliche Definition für die Eigenschaften von PLM und dessen Positionierung im IT-Umfeld bieten die „Liebensteiner Thesen“, die im Jahr 2004 von den im „sendlerscircle“ zusammengeschlossenen Software- und Serviceanbietern für den Produktentstehungsprozess erarbeitet wurden [SeWa05]:

- **Product Lifecycle Management (PLM) ist ein Konzept, kein System und keine (in sich abgeschlossene) Lösung.**

- **Zur Umsetzung/Realisierung eines PLM-Konzeptes werden Lösungskomponenten benötigt. Dazu zählen PDM, CAD, CAE, CAM, VR³ und andere Applikationen für den Produktentstehungsprozess.**
- **Auch Schnittstellen zu anderen Anwendungsbereichen wie ERP, SCM oder CRM sind Komponenten eines PLM-Konzeptes.**
- **PLM-Anbieter offerieren Komponenten und/oder Dienstleistungen zur Umsetzung von PLM Konzepten.**

Der Zweck dieser Thesen liegt auch darin, die PLM-Anbieter klarer von IT-Anbietern anderer Anwendungsbereiche abzugrenzen. Softwareanbieter und Systemhäuser sehen im PLM häufig die Weiterentwicklung von PDM und vertreiben ihre PDM-Lösungen als „PLM-Systeme.“ Dabei ist PLM ja gerade kein weiteres IT-System und auch keine Softwarekategorie. Die „Begriffsverwirrung“ führt auch dazu, dass es Unternehmen gibt, die immer noch fälschlicherweise PLM mit PDM gleichsetzen und die Verantwortung für PLM-Aktivitäten an die IT-Abteilungen weitergeben [AbSc05]. Dieses Vorgehen gefährdet allerdings eine erfolgreiche PLM-Einführung, da IT-Abteilungen in der Regel keinerlei Bezug zum Produkt und dessen Lebenszyklus haben und damit das Kernelement des PLM außer Acht lassen. Die Liebensteiner Thesen bringen es auf den Punkt: PLM ist ein Konzept, das auf verschiedenen IT-Lösungen basiert und diese entlang des Produktentstehungsprozesses zusammenführt. Über dieses Konzept wird eine produktbezogene Gesamtsicht auf Informationen, Prozesse und Ressourcen im Unternehmen realisiert.

2.2.3 Chancen und Nutzen

Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung von PLM im Unternehmen ist die PLM-Strategie, in der die Zielvorgaben und Aktivitäten für einen fest definierten Zeithorizont festgelegt sind. Da PLM nahezu alle Fachabteilungen betrifft, bedarf es unbedingt der Zielführung und Koordination des Managements. Die größten Erfolge mit PLM erreicht man durch so genannte Top-Down-Strategien unter Einbeziehung der Unternehmensführung [AbSc05], denn PLM ist ein langfristiges, strategisches Thema, das viele Abläufe und Gegebenheiten im Unternehmen verändert. Um die breite Akzeptanz von PLM im Unternehmen zu gewährleisten, ist aber auch die Beteiligung der Anwender erforderlich, die aktiv in die PLM-Tätigkeiten eingebunden werden müssen. So lassen sich Konflikte vermeiden und ein Verständnis für PLM auf der Anwenderseite aufbauen.

³ Virtual Reality

PLM ist kein abgeschlossenes Konzept, sondern einem ständigen Wandel unterworfen. Ergeben sich Veränderungen in der Unternehmensorganisation, im betrieblichen Umfeld, bei den eingesetzten IT-Systemen oder etwa im Produktportfolio, müssen die Inhalte und Ziele der PLM-Strategie überprüft werden. PLM entwickelt sich also ständig weiter und ist als eine kontinuierliche Aufgabe zu verstehen [ADEK05].

Unternehmen, die über eine PLM-Initiative nachdenken, stellen berechtigterweise die Frage nach dem wirklichen, nachweisbaren Nutzen von PLM. Diese lässt sich durch Betrachtung der kritischen Erfolgsfaktoren Durchlaufzeit, Kosten und Qualität beantworten, zu deren Verbesserung PLM einen wichtigen Beitrag leisten kann, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Das Hauptaugenmerk von PLM liegt auf der zeitgleichen, unternehmensweiten Bereitstellung von Produktdaten und dem schnellen, geordneten Zugriff darauf, sowie in der Realisierung durchgängiger, standardisierter Unternehmensprozesse. Durch die frühe Verfügbarkeit von aktuellen Produktdaten lassen sich Prozessschritte in der Produktentstehung parallelisieren, so dass bereits während der Produktentwicklung damit begonnen werden kann, Montage- und Fertigungsabläufe zu planen oder zeitkritische Beschaffungsvorgänge z.B. für den Werkzeugbau einzuleiten. Auf diese Weise können Durchlaufzeiten erheblich reduziert werden. Auch im Bereich des Änderungswesens trägt PLM zu einer Kosten- und Zeitersparnis bei. In einer klassischen, sequentiellen Produktentstehung bleiben Fehler oftmals über einen längeren Zeitraum unentdeckt, da der erforderliche Informationsaustausch entlang des Entstehungsprozesses nur zu bestimmten Punkten erfolgt. Der Änderungsprozess selbst ist dann ebenfalls zeit- und kostenintensiv, vor allem bei traditionellen, papiergestützten Vorgängen. Ein integriertes Änderungsmanagement als Teil eines PLM-Konzeptes kann diese Situation entscheidend verbessern, da die betroffenen Stellen rechtzeitig mit den aktuellen Informationen versorgt werden, was auch zu einer höheren Produktqualität führt.

Darüber hinaus leistet PLM einen Beitrag zur Verbesserung der Kommunikation zwischen den am Entstehungsprozess beteiligten Stellen. In einer sequentiellen Aufgabenbearbeitung ohne PLM arbeiten die einzelnen Funktionsbereiche mit eigenen Datenbeständen, die manuell aus den übergebenen Daten der vorangegangenen Bereiche zusammengestellt werden. Durch diese Vorgehensweise werden die Produktdaten unabhängig voneinander an mehreren Stellen im Unternehmen gespeichert und gepflegt. Die wiederholte Datenaufbereitung führt zu redundanten, inkonsistenten und auch fehlerbehafteten Produktdatenständen. Es werden außerdem unnötige Kosten verursacht und Mitarbeiterressourcen gebunden. PLM regelt die Verteilung der Daten im Prozess und stellt leistungsfähige Suchmechanismen bereit. Zwischen den einzelnen Stellen im Prozess werden eindeutige Schnittstellen geschaffen. Im Zusammenhang mit der effizienten Suche nach Produktdaten steht auch die Vermeidung von Doppelarbeit. Können die CAD-Daten eines bereits konstruierten Bauteils nicht gefunden werden, erstellt der Konstrukteur diese Daten

erneut und verursacht neben den eigentlichen Konstruktionskosten auch Kosten in der Arbeitsvorbereitung (durch die Neuerstellung des NC-Programms) oder in der Disposition (durch die Neuanlage der Stammdaten). Abgesehen von diesen offensichtlich vermeidbaren Kosten können durch evtl. auftretende Fehler in der Neukonstruktion weitere Kosten entstehen, auch wenn beim existierenden Bauteil diese Fehler bereits bekannt und beseitigt waren. PLM stellt zur Identifikation und Suche von Produktdaten leistungsfähige Klassifizierungssysteme bereit, welche die Wiederverwendung von Bauteilen und Baugruppen erleichtern und die Teilevielfalt im Unternehmen reduzieren. So lassen sich Ressourcen in der Produktentwicklung einsparen und auch Folgekosten für nachgelagerte Prozessschritte vermeiden. Die dargestellten Beispiele zeigen qualitativ die Nutzenpotentiale von PLM auf. Eine quantitative Bewertung als Grundlage für Managemententscheidungen zeigt die Studie „Benefits of PLM“⁴ [AbSc05]. Hierin wurden 30 Unternehmen der Automobilindustrie (OEMs⁵ und Zulieferer) im Hinblick auf den PLM-Anwendungs- und Integrationsgrad untersucht und der aktuell erreichte Nutzen identifiziert. Generell konnte der Nutzen von PLM über den gesamten Produktlebenszyklus nachgewiesen werden. In den frühen Phasen zeigen sich die Vorteile hauptsächlich in der besseren Informationsdurchgängigkeit, bei der Kommunikation und Kooperation zwischen OEMs und ihren Zulieferern bzw. Entwicklungspartnern sowie in der Standardisierung von Prozessen. Um den wirtschaftlichen Nutzen von PLM nachzuweisen, wurden die beteiligten Unternehmen nach dem Grad der PLM-Anwendung klassifiziert. „PLM-Fortgeschrittene“ erzielen demnach höhere Umsatzrenditen als „PLM-Nachzügler“; sie wirtschaften rentabler und setzen ihr Kapital gewinnbringender ein. Bei PLM-Nachzüglern treten außerdem höhere Fixkosten auf und sie können nicht so flexibel auf Veränderungen des Marktes reagieren wie fortgeschrittene PLM-Anwender.

Damit zeigt die Studie eine direkte Wechselwirkung zwischen dem Unternehmenserfolg und dem Grad der PLM-Anwendung. Die Investition in PLM zahlt sich also aus, denn sowohl im Produktentstehungsprozess als auch in den späten Phasen des Produktlebenszyklus werden Kosten- und Zeiteinsparungen erreicht.

⁴ Die Studie "Benefits of PLM" wurde 2004 vom Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM) der Ruhr-Universität Bochum in Zusammenarbeit mit IBM Business Consulting Services durchgeführt.

⁵ *OEM* steht für *Original Equipment Manufacturer*, d.h. ein Unternehmen nutzt zur Herstellung seines Produkts Komponenten anderer Hersteller. Das Endprodukt wird dann unter dem Markennamen des OEM vertrieben. Im Rahmen dieser Arbeit meint OEM die Automobilhersteller.

2.2.4 Abgrenzung zum Produktdatenmanagement

Nach Abramovici stellt PLM eine konsequente Fortführung und Erweiterung der in der Produktentwicklung bereits bestehenden PDM-Konzepte und -Werkzeuge der 90er Jahre dar. Im Vergleich zu diesen früheren Ansätzen, die überwiegend IT-getrieben waren, liegt der Schwerpunkt von PLM in der Unterstützung durchgängiger Management-Prozesse entlang des gesamten Produktlebens [Abra06].

In den vorangegangenen Abschnitten wurde PLM als Gesamtkonzept für das Informationsmanagement im Unternehmen beschrieben. Die Realisierung dieses Konzeptes erfordert verschiedene Lösungsbausteine, wobei dem Produktdatenmanagement eine Schlüsselrolle im PLM zukommt. Die folgende Aussage von John Stark unterstreicht diesen Sachverhalt nochmals: „PDM – An essential enabler for PLM“ [Star05]. PDM ist die technologische Basis, die PLM erst ermöglicht. Ohne ein PDM-System als zentrale Softwarekomponente lässt sich eine PLM-Strategie im Unternehmen nicht realisieren, umgekehrt benötigt man aber zum produktiven Einsatz von PDM nicht unbedingt ein PLM-Konzept. Dieser Umstand ist ein Grund dafür, dass Unternehmen vor der Entwicklung einer PLM-Strategie zunächst mit der Einführung eines PDM-Systems beginnen. Im Hinblick auf die Kostensituation und die Ressourcenbindung durch eine umfassende PLM-Initiative erreicht man durch die Einführung von PDM in kürzerer Zeit bereits sichtbare Erfolge. KMUs weisen im Vergleich zu großen Unternehmen wie z.B. aus der Automobilindustrie eher flachere Organisationsstrukturen auf und verfügen oftmals nicht über die erforderlichen Ressourcen für groß angelegte PLM-Projekte. Dennoch sind natürlich auch hier die Produktdaten von entscheidender Bedeutung, so dass sich gerade für die kleineren Unternehmen des Sondermaschinenbaus durch PDM bereits große Nutzenpotentiale erschließen.

Die Eigenschaften und Elemente des Produktdatenmanagements werden in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

2.3 Produktdatenmanagement

2.3.1 Grundlagen

In der Produktentwicklung werden mittlerweile seit fast drei Jahrzehnten rechnerunterstützte Verfahren eingesetzt. Durch die Anwendung von sogenannten *CAX-Technologien* wie *CAD* (*Computer Aided Design*), *CAE* (*Computer Aided Engineering*), *CAM* (*Computer Aided Manufacturing*), *CAQ* (*Computer Aided Quality Assurance*) etc. lassen sich Konstruktions- und Fertigungsaufgaben vereinfachen und automatisieren, Durchlaufzeiten verringern und die Produktqualität verbessern. Obwohl diese Technologien in den Fachabteilungen schon

seit langem erfolgreich eingesetzt werden, bestehen immer noch Defizite bei der Integration der Prozesse. Dies liegt in erster Linie daran, dass die CAx-Werkzeuge darauf ausgerichtet sind, einzelne Aufgaben eines Prozesses zu unterstützen und nicht der Gesamtprozess im Fokus liegt. Im Laufe ihrer Entwicklung haben sich aus diesen Werkzeugen hochspezialisierte und optimierte Lösungen entwickelt, die auf komplexen Datenmodellen basieren und entsprechend hohe Anforderungen an die Datenverwaltung stellen. Außerdem werden infolge der steigenden Produktkomplexität immer mehr Informationen in Rechnersystemen abgelegt - und das bereits möglichst früh im Produktentwicklungsprozess.

Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Applikationen gestaltet sich schwierig, da die proprietären Datenformate oftmals inkompatibel sind und auch ein Datenaustausch über Neutralformate wie STEP⁶ oder IGES⁷ nicht von jeder Applikation unterstützt wird oder nicht immer das gewünschte Resultat liefert. Darüber hinaus führt die getrennte, system-spezifische Speicherung und Verwaltung der Daten zur Bildung von Insellösungen (siehe Abbildung 2-6), was die Verfügbarkeit von relevanten und aktuellen Produktdaten in nachgelagerten Prozessschritten zusätzlich erschwert. Es ergeben sich heterogene Systemlandschaften mit einer Vielzahl von Schnittstellen und Medienbrüchen im Laufe des Produktentstehungsprozesses. Um eine durchgängige digitale Prozesskette zu realisieren, muss zum einen die Integrationsfähigkeit der beteiligten Anwendungssysteme verbessert werden. An dieser Stelle sind die Softwarehersteller gefordert, um beispielsweise geeignete offene Datenformate zu etablieren. Zum anderen benötigt man ein Werkzeug, um die im Entwicklungsprozess entstehenden isolierten Partialmodelle zu integrieren und so von jeder Stelle aus gezielt und schnell auf die benötigten Produktdaten zugreifen zu können, unabhängig davon, wo diese letztendlich abgelegt sind und von welcher Applikation sie erzeugt wurden.

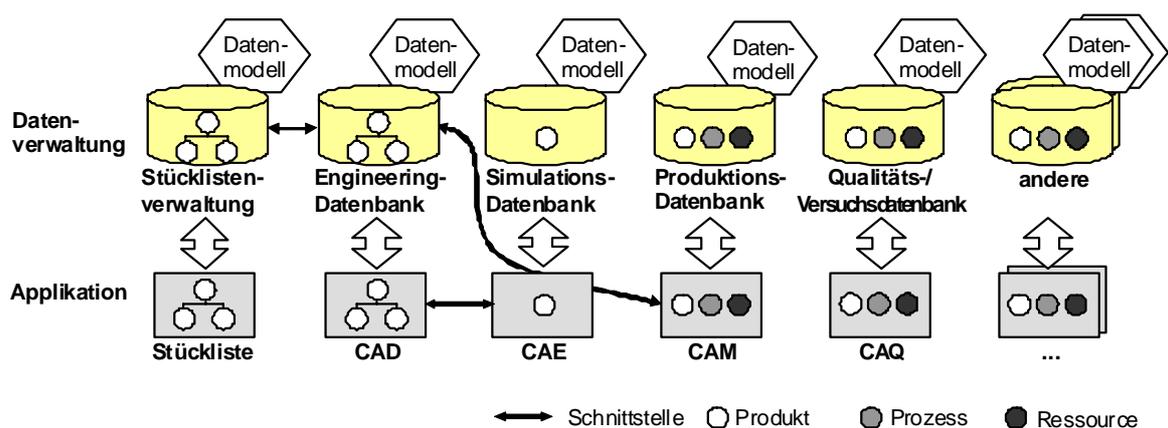


Abbildung 2-6: Heterogene Systemlandschaft im Produktentstehungsprozess (vgl. [BDVH03])

⁶ STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) ist ein system- und herstellerunabhängiger, internationaler Standard zum Austausch von Produktdaten [ISO 10303].

⁷ IGES: Initial Graphics Exchange Specification [ANS US PRO/IPO 100]

Das Fehlen einer durchgängigen, unternehmensübergreifenden Bereitstellung der benötigten Produktdaten resultiert in einer Reihe von Problemfeldern entlang des Produktentstehungsprozesses [BoND07]:

- **Isolierte Datenerzeugung:**
In den einzelnen Unternehmensbereichen werden in den verschiedenen Phasen des Produktentstehungsprozesses parallel und unabhängig voneinander Daten erzeugt.
- **Mangelndes Informationsbewusstsein:**
Die Existenz von Informationen in einem Unternehmensbereich ist anderen Unternehmensbereichen unbekannt.
- **Defizite aus dezentraler Datenverwaltung:**
Es liegen verschiedene Produktdatenbestände verteilt, redundant, nicht aktuell und in nicht konsistenter Form vor.
- **Manuelle Datenaufbereitung:**
Der Produktentwicklung nachgelagerte Tätigkeiten, wie z.B. das Erstellen von Katalogen oder Marketing-Publikationen, erfordern ebenfalls Produktdaten, die aus diversen operativen Systemen zusammengetragen werden müssen.
- **Fehlende automatische Konsistenzprüfung:**
Die Konsistenz von Produktstrukturen muss manuell sichergestellt werden.
- **Mangelnde Organisation:**
Es fehlt an durchgängigen, systemgestützten Organisationskonzepten für Produktkonfigurationen unter Einbeziehung von Versionen und Freigaben.

Das *Produktdatenmanagement (PDM)* ist das entscheidende informationstechnische Werkzeug, das zur Verbesserung dieser Defizite beiträgt. Die Hauptziele von Produktdatenmanagement-Systemen liegen in der Verwaltung sämtlicher Produktdaten über alle Phasen des Produktlebenszyklus und darüber hinaus in der Steuerung der Entwicklungsprozesse, in denen diese Produktdaten benötigt werden (z.B. im Bezug auf die Durchführung von Freigaben und Änderungen). Durch die integrierte, zentrale Sicht auf gegebenenfalls verteilte Produktdaten wird ein erster Schritt zum sogenannten *integrierten Produktmodell* [VDI2219] erreicht. Das PDM-System bildet folglich den „Datenbackbone“ im Unternehmen und ist somit die wesentliche Komponente einer unternehmensweiten PLM-Strategie.

Als Integrationsplattform unterstützen PDM-Systeme die genannten Ziele sowohl direkt, d.h. durch die Beseitigung konkreter Schwachstellen in der Produktentwicklung, als auch indirekt durch die Unterstützung weiterer Maßnahmen und Methoden, die zur Verbesserung der Produktentwicklung beitragen [Ande05]. Die direkte Unterstützung lässt sich durch folgende Umstände aufzeigen:

- Eine Produktentwicklung ohne ein effizientes Produktdatenmanagement weist oftmals Schwachstellen auf, die sich z.B. im wiederholten Erzeugen von Produktdaten statt einer Nutzung bereits bestehender Lösungen darstellen. Dabei ist gerade die Wiederverwendung von früheren Konstruktionen, Norm- und Katalogteilen oder firmenspezifischen Standardteilen bzw. -modulen eine Grundvoraussetzung für die Verkürzung der Entwicklungszeit, der Senkung der Herstellkosten und der Reduzierung der Variantenvielfalt. Die Ursache hierfür liegt häufig in der fehlenden Strukturierung bei der Ablage der Produktdaten. Dadurch wird es schwierig, bestehende Daten wieder zu finden oder in Folgekonstruktionen weiter zu verwenden. Auch kommt es zur Erzeugung von Redundanzen durch das mehrfache Speichern gleicher oder ähnlicher Daten. Mit Hilfe von Produktdatenmanagement-Systemen wird eine strukturierte Datenhaltung erreicht, so dass die beschriebenen Schwachstellen und Probleme in der Produktentwicklung gezielt behoben werden können.
- Organisatorische Abläufe wie Freigaben oder Änderungen beinhalten durch die vielen beteiligten Stellen im Unternehmen und dem ständigen Bedarf an aktuellen Produktdaten ein hohes Fehlerpotential, wenn keine entsprechende informationstechnische Unterstützung vorhanden ist. Die Ablaufsteuerung des PDM-Systems hilft, die notwendigen organisatorischen Vorgaben einzuhalten und durch den Zugriff auf aktuelle Produktdaten Fehlentscheidungen und Inkonsistenzen in den Abläufen zu vermeiden.

Die indirekte Unterstützung durch Produktdatenmanagement betrifft weitergehende Ansätze und Methoden, deren Hauptaugenmerk auf der Optimierung und Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses liegt. Denn Vorgehensweisen wie *Simultaneous Engineering*, *Concurrent Design* oder *Cross Enterprise Engineering* (siehe Abschnitt 1.1) lassen sich nur dann effizient anwenden, wenn die im Prozess verwendeten Produktdaten in einem Produktdatenmanagement-System erfasst und verwaltet werden, zumal durch die angestrebte Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten der gemeinsamen Nutzung der Daten eine besondere Bedeutung zukommt.

2.3.2 Begriffsdefinitionen

Anders als für das in den vorangegangenen Abschnitten betrachtete Product Lifecycle Management gibt es für das Produktdatenmanagement bereits eine allgemeine Definition, die in Form der VDI-Richtlinie 2219 im Jahr 2002 veröffentlicht wurde [VDI2219]. Darin werden *Produktdatenmanagement-Systeme (PDM-Systeme)* als „technische Datenbank- und Kommunikationssysteme“ definiert, „die dazu dienen, Informationen über Produkte und deren Entstehungsprozesse bzw. Lebenszyklen konsistent zu speichern, zu verwalten und transparent für alle relevanten Bereiche eines Unternehmens bereitzustellen. Sie stellen

damit eine Integrationsplattform für die verschiedenen Erzeugersysteme bzw. CAx-Systeme, die während des gesamten Produktentwicklungsprozesses eingesetzt werden, dar.“

Neben dem Begriff *PDM* existieren für diese Technologie eine Fülle weiterer Bezeichnungen bzw. Abkürzungen, die immer wieder für Verwirrung sorgen. Als Beispiele hierfür seien *Technisches Informationssystem (TIS)*, *Engineering Database (EDB)*, *Digital Product Definition (DPD)*, *Virtual Product Development Management (VPDM)*, *Collaborative Product Definition Management (CPDM)*, *Team Data Management (TDM)* oder *Engineering Data Management (EDM)* genannt. Die Begriffsvielfalt liegt in der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Systeme seit den 1980er Jahren und nicht zuletzt auch in den Marketingstrategien der Softwareanbieter begründet, die durch neue Namensgebungen versuchen, ihre Systeme von der Konkurrenz abzugrenzen. Gebräuchlich ist heute neben dem Begriff *PDM* häufig noch *EDM*, wobei in der VDI-Richtlinie 2219 durch die Verwendung der Kombination „EDM/PDM“ zum Ausdruck gebracht wird, dass beide Begriffe synonym verwendet werden, da sie für eine einzige Technologie stehen.

In der Literatur finden sich neben der oben genannten allgemeinen auch speziellere Definitionen, die weitergehende Aspekte wie z.B. den Einsatzbereich von PDM berücksichtigen. Eigner und Stelzer definieren in [EiSt01] PDM als „das Management von produktdefinierenden Daten (*Produktmodell*) in Verbindung mit der Abbildung und dem Management von technischen/organisatorischen Geschäftsprozessen (*Prozessmodell*) sowohl im Bereich 'Discrete Manufacturing' (produzierender Industriebereich: Automobilbau, Maschinen- und Anlagenbau, Aerospace, Konsumgüter, ...) als auch im so genannten 'Non Discrete Manufacturing' Bereich (Chemie, Energieversorger, Utility and Facility Management von Kommunen und Banken, ...). Produkt- und Prozessmanagement zusammen erlauben die lückenlose Rekonfiguration beliebiger Konstruktions- und Fertigungsstände über den gesamten Produktlebenszyklus (*Konfigurationsmodell*).“ Die Rückverfolgbarkeit (*Traceability*) von Änderungen ist gerade in verteilten Entstehungsprozessen komplexer Produkte wie beispielsweise im Maschinen- und Anlagenbau von entscheidender Bedeutung. Durch ein entsprechendes Datenmodell lässt sich sicher bestimmen, welches Teil in welcher Version in einem bestimmten Produkt verbaut wurde, wer der zuständige Entwickler und Lieferant ist und wer aus welchem Grund Änderungen initiiert und durchgeführt hat.

Eine eher praxisorientierte und für den Maschinen- und Anlagenbau interessante Definition bietet Schöttner in [Schö99]: „Produkt Datenmanagement (PDM) ist der Ansatz, ein Fertigungsunternehmen im Hinblick auf den Produktentstehungsprozess mit einem Datenmodell abzubilden. Ziel ist es, die kompletten Fertigungsunterlagen für ein Erzeugnis mit einer informationstechnischen Integrationslösung herzustellen. Auf diesem Ansatz aufgebaute PDM-Systeme sind modulare Software-Lösungen zur Steuerung aller Arbeitsprozesse und zur Verwaltung der dabei entstehenden oder zu ändernden Daten und Dokumente.“ Diese Definition betont das Ergebnis jedes Produktentstehungsprozesses: das

reale Produkt. Die zu seiner Herstellung notwendigen Informationen, also die Fertigungsunterlagen, sind heute allerdings nicht mehr als Papierdokumente zu verstehen, denn Unternehmensprozesse basieren immer mehr auf elektronischen Dokumenten. Die im PDM-System abgelegten 3D-CAD-Modelle lassen sich durchgängig nutzen, indem die in der Fertigung benötigten Geometrie- und Technologieinformationen direkt daraus abgeleitet werden, ohne den Umweg über z.B. technische Zeichnungen zu gehen.

2.3.3 Entwicklungsstufen des PDM

Bevor die einzelnen Aufgaben und Funktionen eines Produktdatenmanagement-Systems erläutert werden, betrachten wir zunächst die Entwicklung von der Zeichnungsverwaltung hin zum modernen Produktdatenmanagement.

Am Anfang der rechnerunterstützten Produktentwicklung in den frühen 1980er Jahren spielten Papierdokumente die wesentliche Rolle im Entwicklungsprozess. Deren Ablage bzw. Archivierung erfolgte in Aktenschränken, eine Verwaltung und Klassifizierung wurde mit Hilfe von Karteikarten ermöglicht. Die gleichzeitige Verfügbarkeit von technischen Zeichnungen an verschiedenen Standorten oder in verschiedenen Abteilungen wie Arbeitsvorbereitung oder Fertigung konnte nur durch das Erstellen von Kopien erreicht werden, die dann manuell an den Zielort transportiert werden mussten. Ein hoher organisatorischer Aufwand wenn man bedenkt, dass die Zeichnungen durch den Einsatz von CAD-Systemen nun digital vorlagen und trotzdem zunächst ausgedruckt werden mussten, um sie im Prozess verwenden zu können.

Der zunehmende produktive Einsatz von 2D-CAD-Systemen brachte diese manuelle, dezentrale Zeichnungsverwaltung schnell an ihre Grenzen. So wurden in einem nächsten Schritt die Dokumente nicht mehr in Papierform, sondern in digitaler Form auf einem zentralen File-Server abgelegt. Die Verzeichnisstruktur des File-Servers ermöglichte eine systematische Einordnung der Dokumente. Über eine informationstechnische Vernetzung der Standorte konnte nun auch ein standortübergreifender Zugriff erreicht werden. Die digitale Speicherung vereinfachte neben dem Datenaustausch auch die Suche nach den Dokumenten.

Bei der dokumentenbasierten Verwaltung wird eine Datenbank eingesetzt, die Ablage der Dokumente erfolgt in einem geschützten Bereich, dem so genannten *Data Vault*. Der Zugriff wird über eine Benutzerverwaltung geregelt, den einzelnen Benutzern werden dabei entsprechende Berechtigungen vergeben. Der Vorteil dieser *Dokumentenmanagementsysteme* (DMS) liegt vor allem darin, die eigentlichen Nutzdaten (z.B. CAD-Dateien) getrennt von den Metadaten abzulegen. Die Metadaten enthalten die beschreibenden und klassifizierenden Attribute sowie die zur Verwaltung notwendigen Informationen wie Ersteller, Erstellungsdatum oder den Dokumentstatus. Die Suche nach Dokumenten kann über die in den Metadaten

definierten Attribute sehr schnell durchgeführt werden. Hinzu kommen neue Funktionen wie Versionierung von Dokumenten und die Unterstützung von Workflows.

Das Produktdatenmanagement stellt eine Weiterentwicklung der gerade beschriebenen Technologie dar. Durch das Aufkommen der 3D-CAD-Systeme und den damit verbundenen komplexeren Datenstrukturen stieg auch der Bedarf, die Beziehungen zwischen den Baugruppen- und Einzelteildokumenten analog einer Produktstruktur in einem Datenmanagement-Werkzeug abzubilden. Durch die Anwendung einer Datenbank in Verbindung mit entsprechend definierten Metadaten lassen sich Informationen über den Aufbau eines Produktes sowie die Beziehungen der Produktkomponenten untereinander ablegen und darauf aufbauend weitere Funktionen realisieren. Es können Stücklisten für verschiedene Anwendungen (z.B. Konstruktion, Fertigung, Montage) generiert, Verwendungsnachweise durchgeführt oder die Hierarchie selbst komplexer Produkte in einem sogenannten *Produktstrukturbrowser* visualisiert werden [ScSi02]. PDM-Systeme stellen nicht nur die Verfügbarkeit der Produktdaten sicher, sondern verwalten und speichern auch die relevanten Prozessdaten zur effektiven Steuerung von unternehmensweiten Geschäftsprozessen (z.B. Freigabe- und Änderungsprozesse).

Die Schwerpunkte der Unterstützung durch PDM-Systeme lagen ursprünglich im Bereich der Produktentwicklung, nämlich in der Verwaltung und strukturierten Ablage von CAD-Modellen. Allerdings ist PDM heute nicht mehr nur ein Thema für Entwicklungs- oder Konstruktionsabteilungen. Das zugrunde liegende Konzept wird auf alle Phasen des Produktlebenszyklus ausgedehnt, neue Funktionalität hinzugefügt und weitere Applikationen integriert. Es schließt sich der Kreis zum Product Lifecycle Management, wie es im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde.

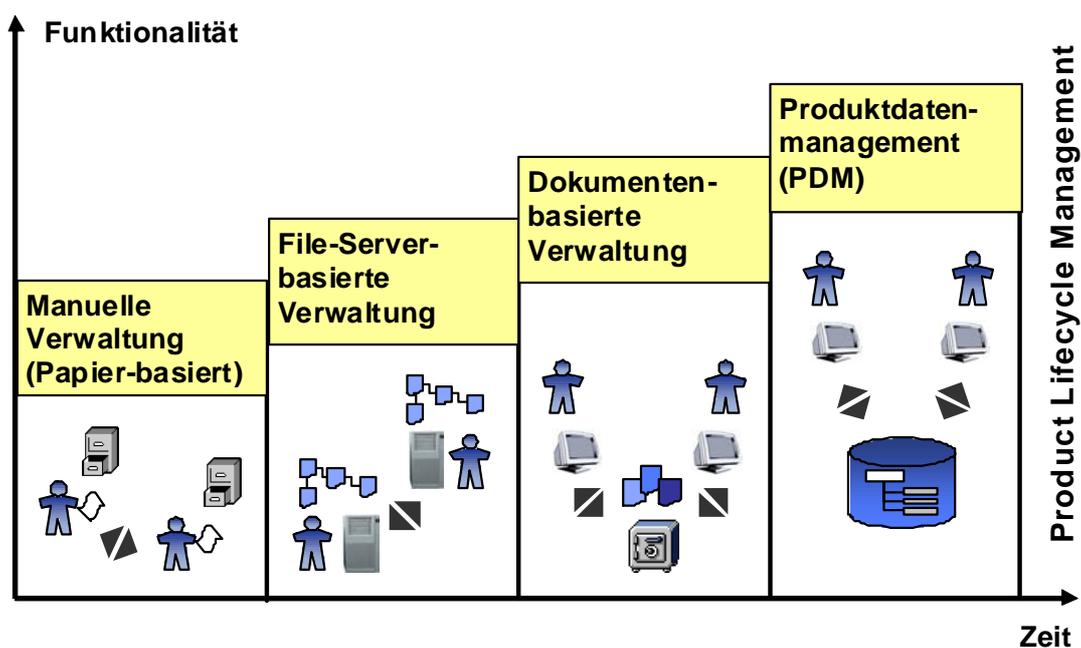


Abbildung 2-7: Entwicklung der PDM-Technologie (vgl. [Ande05])

2.3.4 Systemklassen von PDM-Systemen

Obwohl die am Markt verfügbaren PDM-Systeme grundlegend dieselben Zielsetzungen verfolgen, so unterscheiden sie sich mitunter erheblich in Softwarearchitektur und Funktionsumfang. Diese und weitere Kriterien lassen sich dazu verwenden, um PDM-Systeme in Klassen einzuteilen. Die VDI-Richtlinie 2219 unterscheidet drei Systemklassen, die PDM-Systeme nach ihrem Fokus und der damit verbundenen Funktionalität klassifizieren [VDI2219]:

- erzeugersystemorientierte PDM-Systeme
- funktionsorientierte, erzeugersystemübergreifende PDM-Systeme
- integrierte und übergreifende PDM-Systeme

Zu den *erzeugersystemorientierten PDM-Systemen* zählen diejenigen Systeme, die Teil eines Erzeugersystems sind oder als Zusatzmodul in das Erzeugersystem integriert werden. Als *Erzeuger-* oder auch *Autorensysteme* bezeichnet man Systeme, welche die grundlegenden geometrischen, technologischen oder funktionalen produktrelevanten Daten erzeugen [Eign05], also z.B. CAD-Systeme. PDM-Systeme dieser Klasse bieten erweiterte Funktionen für das Management der erzeugten Dateien bzw. Dokumente, wie Versionsverwaltung oder Variantenmanagement. Anbieter solcher Systeme haben nicht selten auch ein CAD-System in ihrem Portfolio und werben mit der starken Interaktion zwischen CAD und PDM und einer entsprechend weitreichenden Funktionalität. Diese tiefe Verzahnung zwischen Erzeuger- und PDM-System kann aber zugleich auch zum Nachteil werden, wenn weitere Erzeugersysteme (anderer Hersteller) angebunden werden sollen und dann entsprechende Schnittstellen fehlen.

Funktionsorientierte, erzeugersystemübergreifende PDM-Systeme decken nicht alle, sondern nur bestimmte Funktionsgebiete entlang des Produktentwicklungsprozesses ab, wie beispielsweise Dokumenten-, Workflow-, und Konfigurationsmanagement oder Archivierung. Da Systeme dieser Art nicht an ein spezielles Erzeugersystem gebunden sind, lassen sich verschiedene Erzeugersysteme gleichermaßen unterstützen. Durch den generischen Ansatz ist die Integrationstiefe allerdings je nach den Möglichkeiten des Erzeugersystems eingeschränkt.

Die wichtigste Klasse bilden schließlich die *integrierten und übergreifenden PDM-Systeme*, da sie zum einen erzeugersystemunabhängig und zum anderen nicht auf einzelne Funktionsgebiete spezialisiert sind. PDM-Systeme dieser Klasse sind in der Lage, den gesamten Produktentwicklungsprozess zu unterstützen, da sie den gesamten Funktionsumfang, der hierzu erforderlich ist, systemneutral bereitstellen. Auf die einzelnen Funktionen und die Systemarchitektur von PDM-Systemen wird im Abschnitt 2.3.5 näher eingegangen.

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung ist der Standardisierungsgrad der PDM-Lösung und in diesem Zusammenhang der Aufwand für die Implementierung bis zur Produktivsetzung. Schöttner ordnet PDM-Systeme in drei Systemklassen ein [Schö99]:

- *Turnkey-Systeme*
- *Toolbox-Systeme*
- *Toolbox-basierende Turnkey-Systeme*

Als *Turnkey-Systeme* werden „schlüsselfertige“ PDM-Lösungen bezeichnet, die bereits einen sofort nutzbaren Funktionsumfang für den Anwender bereitstellen. Das Basissystem wird durch konfigurierbare Anwendungsmodul und eine Entwicklungsumgebung ergänzt, so dass es sich nicht um eine starre Lösung, sondern um ein flexibles, an den konkreten Anwendungsfall anpassbares Werkzeug handelt. Da PDM-Systeme dieser Klasse als Standardsoftware betrachtet werden können, ist eine produktive Nutzung prinzipiell bereits nach der Konfiguration der Benutzerparameter und Schnittstellen zu den Erzeugersystemen möglich. Weitergehende Anforderungen über den Standard hinaus lassen sich über die zugehörige Entwicklungsumgebung realisieren (mit entsprechenden Kosten für die Implementierungsdienstleistung).

Gerade für kleine und mittelständische Unternehmen ist der Turnkey-Ansatz eine gute Möglichkeit, den Aufwand und die Termine für eine PDM-Einführung sicher zu planen und das Projektrisiko gering zu halten. Eine erfolgreiche und zeitnahe Produktivsetzung bei überschaubaren Kosten ist aber nur dann gegeben, wenn die angebotene Funktionalität der Turnkey-Systeme auch die Anforderungen der Anwender erfüllen kann und wenn man das System nahe an dem angebotenen Standard nutzt. Durch Programmierung lassen sich zwar bestimmte unternehmensspezifische Eigenheiten abbilden, allerdings sollte geprüft werden, ob Prozesse, die vor dem PDM-Einsatz definiert und angewandt wurden, mit PDM unverändert weiter bestehen müssen. Die Einführung von PDM ist gleichzeitig auch eine Gelegenheit, Unternehmensabläufe zu optimieren, so dass die gestellten Anforderungen hauptsächlich durch den Standardfunktionsumfang des PDM-Systems erfüllt werden können. Dies bedeutet jedoch nicht, alle Prozesse im Unternehmen auf das eingesetzte PDM-System auszurichten und anzupassen, vielmehr geht es darum, gezielt Verbesserungspotentiale aufzudecken. Ansatzpunkte bieten bspw. Prozesse, die teilweise noch papiergestützt ablaufen und Daten manuell in IT-Systeme übernommen werden. Mit den Funktionen eines PDM-Systems besteht die Möglichkeit, solche Medienbrüche abzustellen und die Durchgängigkeit zu verbessern.

Ein *Toolbox-System* ist im Wesentlichen eine Entwicklungsumgebung, mit deren Hilfe sich kundenspezifische PDM-Lösungen verwirklichen lassen. Im Kern besteht eine PDM-Toolbox aus Werkzeugen zur Datenmodellierung, Kommunikation und Oberflächen-

gestaltung. Der enormen Flexibilität dieser Systeme steht ein hoher Entwicklungsaufwand gegenüber, denn für eine produktive Lösung müssen alle benötigten PDM-Funktionen zunächst implementiert werden. Es ergibt sich ein hoher Zeit- und Kostenaufwand, der sich darüber hinaus nur schwer planen lässt. Außerdem werden Kapazitäten langfristig gebunden, die zur Analyse, Konzeption, Realisierung, Einführung und Wartung erforderlich sind. In der Vergangenheit haben sich vornehmlich Großunternehmen wie z.B. Automobilhersteller eigenentwickelte PDM-Systeme geleistet, um ihre besonderen Anforderungen wie weltweite Datenverfügbarkeit und Zulieferintegration realisieren zu können. Die hohen Betriebskosten einer solchen Lösung resultieren beispielsweise aus der schnellen Weiterentwicklung der integrierten Erzeugersysteme und dem damit verbundenen Anpassungsaufwand. Heute besteht aber auch bei Großunternehmen die Bestrebung, die eigenentwickelten PDM-Lösungen durch am Markt verfügbare Turnkey-Systeme abzulösen, die inzwischen viele der Anforderungen im Standardumfang abdecken.

Toolbox-basierenden Turnkey-Systemen liegt die Idee zu Grunde, mit Hilfe der in einer Toolbox enthaltenen Entwicklungsumgebung und der Basisfunktionalität eine PDM-Lösung für einen bestimmten Anwendungsfall (z.B. Anlagenbau) zu realisieren. Die Funktionalität entspricht prinzipiell der einer Turnkey-Lösung, allerdings mit der Option, dass auch spezielle Kundenanforderungen berücksichtigt werden können. Im Vergleich zu Turnkey-Systemen erreicht man hier eine höhere Flexibilität, allerdings auch bei höheren Kosten. Denn Lizenz- und Wartungskosten fallen für die Toolbox und zusätzlich für die Turnkey-Implementierung an. Für den Kunden ergeben sich bei dieser Klasse von PDM-Systemen zwei nicht zu unterschätzende Nachteile. Einerseits muss man sich im Falle eines Softwarefehlers mit zwei Ansprechpartnern auseinandersetzen, nämlich mit dem Hersteller der Toolbox und dem Dienstleister, der den Turnkey-Aufsatz entwickelt hat. Hier ist es wichtig, die Verantwortlichkeiten und Schnittstellen klar zu definieren. Andererseits muss die Verfügbarkeit der Lösung auch bei einem Versionswechsel der Toolbox-Software sicher gestellt sein. Wenn es hier zu Problemen kommt, ist eine zeitnahe Anpassung bzw. Aktualisierung der aufgesetzten Turnkey-Lösung durch den Dienstleister unbedingt erforderlich.

Unternehmen, die vor der Entscheidung stehen, ein PDM-System einzuführen, sollten im Vorfeld unbedingt geeignete „Einführungsleitfäden“ und existierende „Best Practice“-Lösungen berücksichtigen, nicht zuletzt wegen der weitreichenden Einflüsse von PDM-Systemen auf die bestehenden IT-Systeme, Unternehmensprozesse und die Arbeitsweise der Mitarbeiter. Informationen hierzu bieten die Softwarehersteller selbst und die entsprechende Fachliteratur, aktuell meist im Kontext einer gesamtheitlichen PLM-Strategie (siehe z.B. [ADEK05] oder [Star05]). Verschiedene PDM-Vorgehensmodelle vergleicht Trippner in [Trip02]. Weiterhin beschreibt die VDI-Richtlinie 2219 ein allgemeines, branchenneutrales Vorgehensmodell zur Auswahl und Einführung von PDM-Systemen [VDI2219].

2.3.5 Systemarchitektur und Funktionalität von PDM-Systemen

Die Systemarchitektur aktueller PDM-Systeme basiert auf einer Client/Server-Technologie mit einer grafischen Benutzeroberfläche. Durch einen modularen Aufbau der einzelnen Systemkomponenten wird die Anpassungs- und Erweiterungsfähigkeit an die Unternehmenssituation gewährleistet.

Wesentlicher Bestandteil eines PDM-Systems ist die Datenmanagementkomponente, die sich aus einem *Datenbank-Management-System (DBMS)* und einem geschützten File-Server zur Datenablage (*Data Vault*) zusammensetzt. Die Metadaten und Nutzdaten können dabei auch auf mehrere Datenbasen verteilt sein, die dann durch das PDM-System zu einem zentralen Produktmodell zusammengeführt werden. Betrachtet man die zugrunde liegende Datenbanktechnologie, so kommen vorwiegend relationale, teilweise auch objektorientierte Datenbanken zum Einsatz.

Bei der Entwicklung der Client-Software geht der Trend hin zu Web-basierten Lösungen, d.h. die Funktionen des PDM-Systems sind über einen üblichen Internetbrowser erreichbar. Im Hinblick auf Performance, Benutzerfreundlichkeit und Systemwartung konnten sich komplett Web-basierte PDM-Systeme noch nicht als vollwertige Alternative etablieren. Bis jetzt dienen die Web-Clients als Ergänzung zu den herkömmlichen Client-Applikationen und bieten einen eingeschränkten Funktionsumfang. Die volle Funktionalität ist nach wie vor nur durch die Installation einer entsprechenden Client-Applikation gegeben [ScSi02].

Zusammen mit den Werkzeugen zur Systemanpassung und den Schnittstellen zum Datenaustausch mit den Anwendungssystemen ergibt sich eine allgemeine PDM-Systemarchitektur, die in Abbildung 2-8 dargestellt ist. Die grundlegende Funktionalität eines PDM-Systems und dessen primäre Objekte werden im Folgenden erläutert, wobei die einzelnen Funktionsmodule je nach PDM-System variieren können.

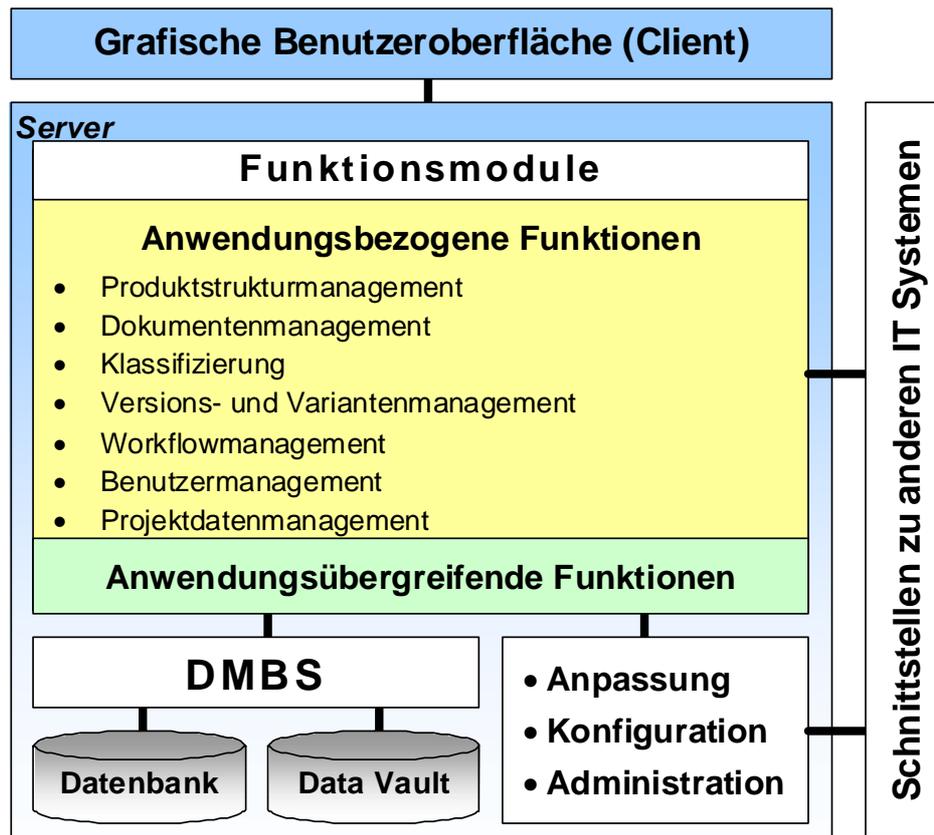


Abbildung 2-8: PDM-Systemarchitektur (vgl. [VDI2219])

2.3.5.1 Produktstrukturmanagement

Um die Komponenten eines Produktes informationstechnisch zu beschreiben, verwendet man im Produktdatenmanagement die Begriffe *Artikel* oder *Teil* [EiSt01, SeWa05]. Ein Artikel repräsentiert den Oberbegriff für die unterschiedlichen Bestandteile eines Produktes. So kann es sich um ein Einzelteil, eine Unterbaugruppe oder aber um ein komplettes Produkt handeln. Als zentrales Objekt im PDM-System repräsentiert der Artikel die Verbindung von Produktentwicklung und Produktherstellung. Andere PDM-Objekte wie z.B. Dokumente werden mit dem Artikel verknüpft und können darüber durch in die Fertigung eingesteuert werden. Darüber hinaus wird der Artikel zur Übergabe von Informationen an das ERP-System genutzt, deshalb ist innerhalb der Produktherstellung für Artikel auch der Begriff *Material* gebräuchlich.

Um einen Artikel im Produktkontext einzuordnen und eindeutig zu identifizieren, dient der Artikelstammsatz. Darin gespeichert sind die wichtigsten beschreibenden Merkmale (*Attribute*), wie beispielsweise die Artikelnummer, die Benennung, der aktuelle Status, die Beschaffungsart (Eigenfertigungs- oder Zukaufteil) oder der Artikeltyp (d.h. ob es sich um ein Einzelteil oder eine Baugruppe handelt). PDM-Systeme trennen zwischen *Nutzdaten*, wie

z.B. einem 3D-CAD-Modell, und *Metadaten*, die beschreibende und klassifizierende Informationen zur Organisation und Verwaltung der Nutzdaten beinhalten [Ovtc05]. Der Artikelstammsatz enthält also die Metadaten und verweist auf die eigentlichen Nutzdaten. Einem Artikel können auf diese Weise beliebige Dokumente unterschiedlicher Dokumentarten oder auch andere Artikel zugeordnet werden. Der Artikelstammsatz wird somit zum zentralen Einstiegspunkt, über den sich auf die referenzierten Dokumente bzw. Objekte zugreifen lässt.

Über Strukturbeziehungen entsteht auf Basis der Artikelstammsätze die Produktstruktur, die ähnlich einer Baumstruktur das Produkt aus Einzelteilen und Baugruppen zusammenstellt. Die unterste Ebene der Produktstruktur ist das Einzelteil, also eine Komponente, die aus Sicht des Betrachters nicht mehr weiter zerlegt werden kann. Beispiele für Strukturbeziehungen sind „Artikel A besteht aus Artikel B und Artikel C“, „Artikel B ist verbaut in Artikel A“ oder „Artikel A ist Vorgänger/Nachfolger von Artikel B“. Weiterhin lassen sich Bedingungen mit Strukturbeziehungen verknüpfen, so dass z.B. die Gültigkeit von Artikelversionen festgelegt, Produktvarianten abgebildet oder verschiedene Sichten auf die Produktstruktur generiert werden können [ADEK05]. Sichten beschreiben den Zusammenbau eines Produktes in einem bestimmten Kontext, wie produktphasenbezogene Sichten (Konstruktions-, Fertigungs-, Montagesicht etc.) oder technologieabhängige Sichten (Elektrik- oder Mechaniksicht).

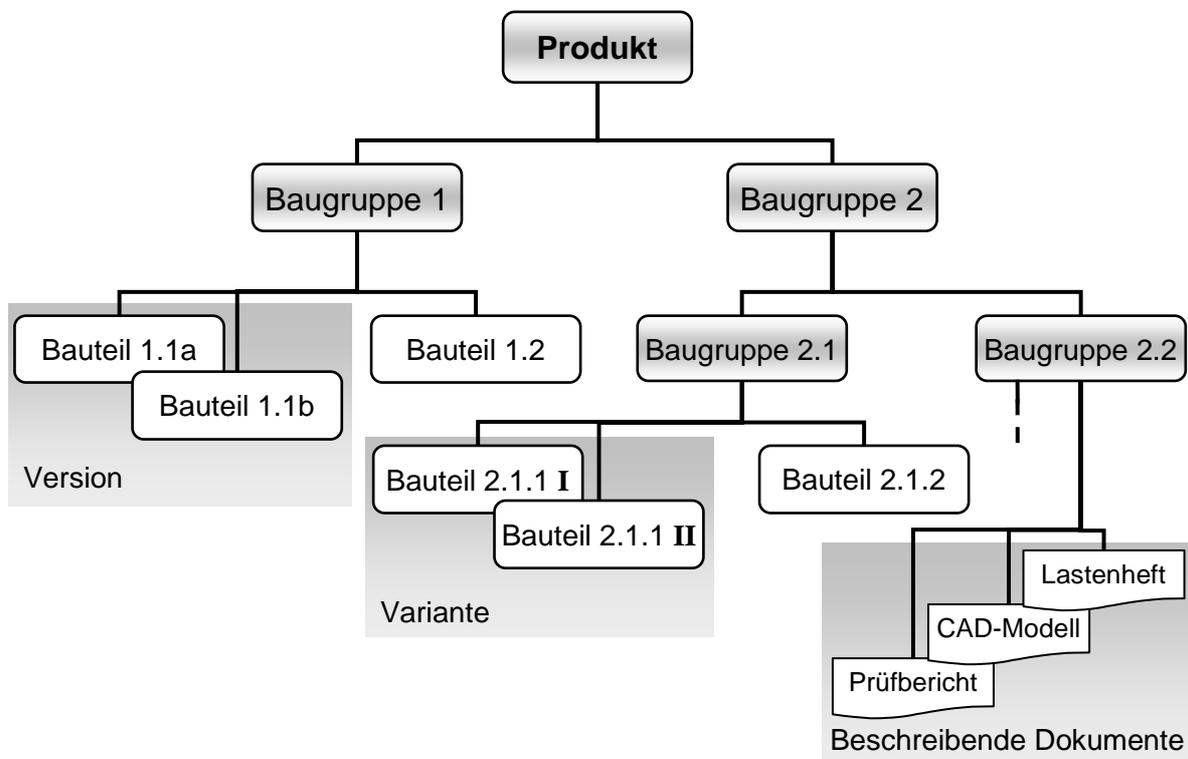


Abbildung 2-9: Produktstruktur und integriertes Produktmodell nach [ADEK05]

Der Schritt von der Produktstruktur hin zum in Abschnitt 2.3.1 angesprochenen integrierten Produktmodell erfolgt durch Hinzufügen von produktbeschreibenden Daten, d.h. im Wesentlichen von unterschiedlichen Dokumenten, deren Verwaltung im PDM-System Aufgabe des Dokumentenmanagements ist.

2.3.5.2 Dokumentenmanagement

Das Dokumentenmanagement als Teil des Produktdatenmanagements beinhaltet die Organisation und Verwaltung aller Unterlagen, die im Verlauf des Produktlebenszyklus entstehen oder verwendet werden [Ande05]. Im Umgang mit PDM-Systemen werden Unterlagen meist als Dokumente bezeichnet, wobei unter diesem Begriff zahlreiche unterschiedliche Informationsträger zusammengefasst werden. Eine allgemeine Definition findet sich in [DIN EN 82045-1], demnach ist ein Dokument „eine festgelegte strukturierte Menge an Informationen, die als Einheit verwaltet werden und zwischen Anwendern und Systemen ausgetauscht werden“. Die Informationen können entweder auf Papier oder in digitaler Form als Datei abgebildet sein. Wie in Abbildung 2-10 dargestellt, können Produktinformationen nach [DIN 6789] zunächst in technische, kommerzielle und Qualitätsinformationen unterteilt werden. Je nachdem, wann die Dokumente entstehen (bzw. wann sie genutzt werden), lassen sich technische Informationen entlang des Produktlebenszyklus in primäre, sekundäre und tertiäre Informationen gliedern. Darüber hinaus gibt es produktneutrale Informationen, die produktübergreifende Relevanz haben und zu denen Normen oder Richtlinien zählen.

Im Gegensatz zu reinen Dokumenten- oder Zeichnungsverwaltungssystemen sind PDM-Systeme in der Lage, Dokumente untereinander zu strukturieren und Beziehungen zu anderen Dokumenten und zur Produktstruktur aufzubauen. Betrachtet man die 3D-CAD-Modelle komplexer Produkte wie z.B. die des Sondermaschinenbaus, so entstehen hier umfangreiche Dokumentstrukturen, die durch das Dokumentenmanagement im PDM-System verwaltet werden müssen. Jedes Dokument kann durch Angabe von Metadaten näher definiert werden.

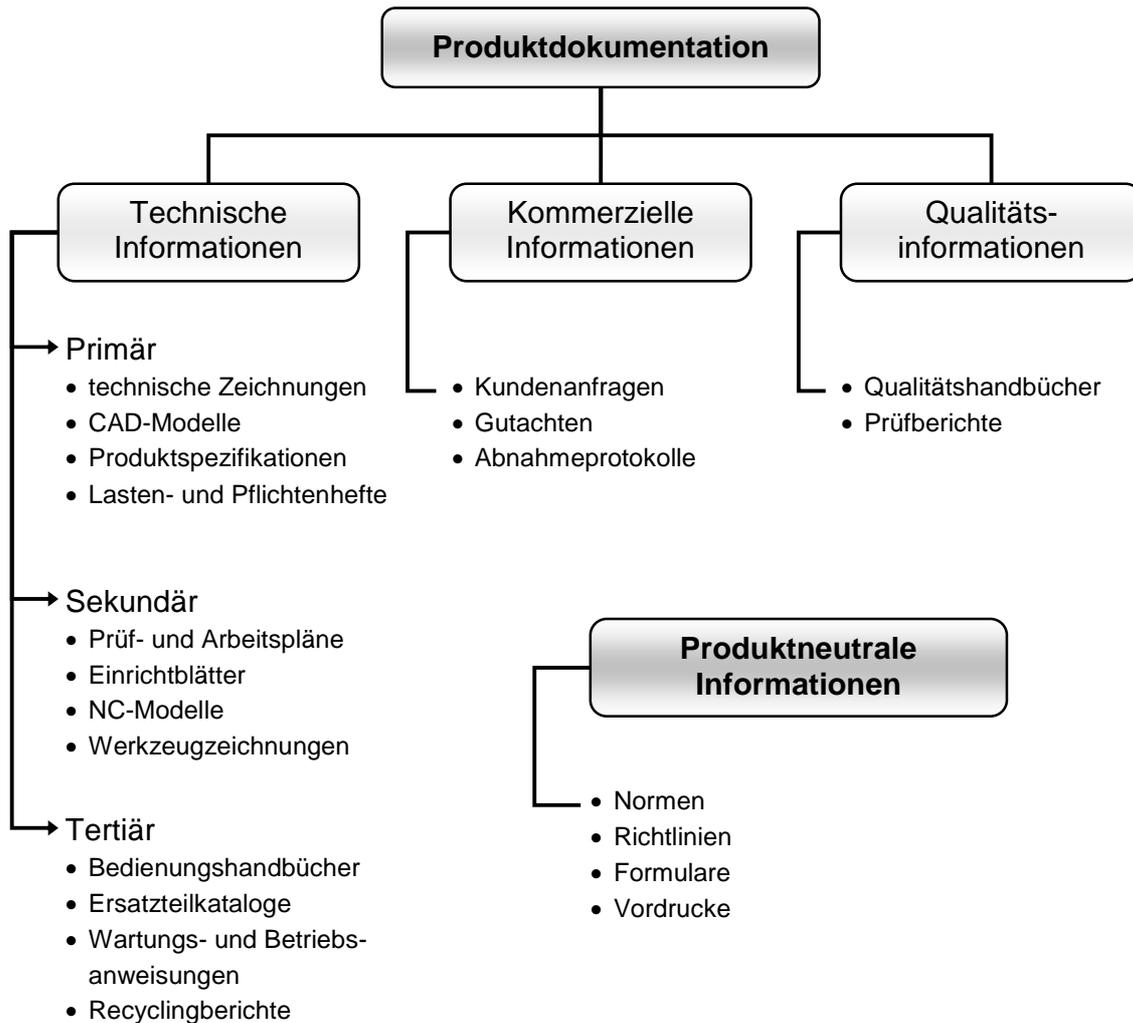


Abbildung 2-10: Gliederung von Informationen im Produktlebenszyklus [DIN 6789]

Das Hauptziel des Dokumentenmanagements besteht darin, benötigte Dokumente zeitnah und aktuell den relevanten Stellen im Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Die Vorteile liegen vor allem in der effizienten Ablage und Wiederauffindbarkeit von Dokumenten, der Abbildung einer Dokumenthistorie und der Protokollierung von Änderungen sowie dem Schutz von Informationen durch Zugriffsberechtigungen. Als zentraler Bestandteil des Produktdatenmanagements nutzt das Dokumentenmanagement Funktionen wie die Klassifizierung oder das Versions- und Änderungsmanagement, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden. Das Dokumentenmanagement steht außerdem in engem Zusammenhang mit der Organisationsstruktur und den Geschäftsprozessen im Unternehmen [ADEK05], wenn es beispielsweise darum geht, ein geeignetes Berechtigungskonzept aufzusetzen, welches das Lesen, Ändern und Anlegen von Dokumenten durch bestimmte Anwender regelt, oder die Änderungsabläufe für ein Dokument im Laufe des Produktlebens abzubilden.

2.3.5.3 Klassifizierung

Eines der Hauptziele des Produktdatenmanagements ist es, Produktdaten systematisch zu verwalten und unnötige Mehrarbeit durch Neukonstruktionen und doppelt angelegte Artikelstämme oder Dokumente zu vermeiden. Die Wiederverwendung von Bauteilen oder Baugruppen setzt allerdings voraus, dass benötigte Produktinformationen schnell und zielgerichtet gefunden werden können. Zu diesem Zweck werden Klassifizierungssysteme eingesetzt, die das Zusammenführen von Objekten mit ähnlichen Merkmalen ermöglichen, wie z.B. das Erkennen konstruktiver oder fertigungstechnischer Ähnlichkeiten von Produkten und deren Komponenten [Ovtc05].

Für Unternehmen bietet die Klassifizierung ein enormes Kostensenkungspotential, wenn man bedenkt, dass durch die erhöhte Wiederverwendung eine Minimierung der Teilevielfalt erreicht wird und so Kosten für die Pflege von Artikelstammdaten und die Erstellung von Konstruktions- und Fertigungsunterlagen eingespart werden. Darüber hinaus reduziert sich der Zeitaufwand für die Produktentwicklung (und damit auch die Durchlaufzeit insgesamt), da sich der Konstrukteur auf die wirklich neu zu entwickelnden Bauteile und Baugruppen konzentrieren kann. Schließlich trägt die Klassifizierung auch zur Qualitätsverbesserung bei, da bestehende und damit bewährte Komponenten auch in neuen Produkten eingesetzt werden. Die Vorteile einer durchgängig angewandten Klassifizierung zahlen sich jedoch erst mittel- und langfristig aus, da zunächst ein Mehraufwand zu leisten ist, um jedes Bauteil bzw. jede Baugruppe eindeutig zu klassifizieren.

Durch die verschiedenen Randbedingungen und Einsatzgebiete haben sich unterschiedliche Ansätze zur Klassifizierung von Objekten entwickelt, von denen die folgenden exemplarisch vorgestellt werden:

- das *Einzelteilverschlüsselungssystem nach Opitz* [ADEK05, Ande05],
- die *Sachmerkmalleisten* nach [DIN 4000-1],
- die *Parts Library* nach [ISO 13584-24, ISO 13584-42]
- die *Thesauri* nach [DIN 1463-2].

a) Einzelteilverschlüsselungssystem nach Opitz

Das *Einzelteilverschlüsselungssystem nach Opitz* stellt eine Klassifizierung auf Nummernbasis dar, die sich aus hierarchischen und nichthierarchischen Elementen zusammensetzt. Ausgangspunkt für die Einordnung der Bauteile ist eine geometrische Formbeschreibung, welches die Teile zunächst gemäß ihrer Grundform (Rotations- und Nichtrotationsteile) gruppiert und anschließend weiter nach Außenform, Innenform und Flächenmerkmalen klassifiziert. Zusätzlich zu diesem allgemein verwendbaren

Formenschlüssel gibt es einen Ergänzungsschlüssel, der betriebsspezifisch ausgeprägt werden kann und weitergehende Merkmale wie Werkstoff oder Genauigkeitsgrade enthält. Dieses Klassifizierungssystem ist vorrangig für Teile des allgemeinen Maschinenbaus (z.B. Wellen, Scheiben, Zahnräder) geeignet und beschränkt sich auf mechanisch bearbeitete Teile. Abbildung 2-11 zeigt ein Beispiel für den Formenschlüssel aus dem Klassifizierungssystem nach Opitz.

1. Stelle		2. Stelle		3. Stelle		4. Stelle		5. Stelle						
Teileklasse		Außenform Formelemente außen		Innenform Formelemente innen		Flächenbearbeitung		Hilfsbohrung und Verzahnung						
0	Rotationsteile	L/D ≤ 0,5		0 glatt ohne Formelemente		0 ohne Bohrung ohne Durchbruch		0 ohne Flächenbearbeitung		0 ohne Hilfsbohrung				
		0,5 < L/D ≤ 3		1 einseitig steigend ohne Formelemente		1 einseitig steigend ohne Formelemente		1 ebene u./o. in einer Richtung gekrümmte Fläche außen			1 axial ohne Teilung			
		L/D > 3		2 einseitig steigend o. glatt Gewinde		2 einseitig steigend Gewinde		2 Flächen, d. zueinander i.e. Teilungsverstehen, außen				2 axial mit Teilung		
		mit Abweichung L/D ≤ 2		3 einseitig steigend o. glatt Funktions-einstich		3 einseitig steigend Funktions-einstich		3 Nut und oder Schlitz, außen					3 radial mit Teilung	
		mit Abweichung L/D > 2		4 mehrfach steigend ohne Formelemente		4 mehrfach steigend ohne Formelemente		4 Vielkeil (Polygon), außen						4 axial u./o. radial u./o. sonstige Richtung
		spezifisch		5 mehrfach steigend Gewinde		5 mehrfach steigend Gewinde		5 ebene Flächen, u./o. Nut, Schlitz, Vielkeil außen						
6	Nichtrotationssteile	A/B ≤ 3 A/C > 4		6 einseitig steigend Funktions-einstich		6 einseitig steigend Funktions-einstich		6 ebene Flächen, u./o. Nut innen		6 Stirnverzahnung				
		A/B > 3		7 Funktionskonus		7 Funktionskonus		7 Vielkeil (Polygon), innen			7 Kegelfverzahnung			
		A/B ≤ 3 A/C < 4		8 Bewegungsgewinde		8 Bewegungsgewinde		8 Vielkeil, Nut u./o. Schlitz innen und außen				8 andere Verzahnung		
		spezifisch		9 sonstige		9 sonstige		9 sonstige					9 sonstige	

Abbildung 2-11: Klassifizierungsschlüssel nach Opitz [ADEK05]

b) Sachmerkmalleisten

Die *Sachmerkmalleiste (SML)* ist ein Klassifizierungssystem zur direkten Umsetzung von charakteristischen Merkmalen und Daten in eine von Suchalgorithmen verarbeitbare Form. Das System basiert darauf, dass Teile gleicher oder ähnlicher Funktion (bzw. Gestalt oder Werkstoff) in Klassen (sog. *Gegenstandsgruppen*) zusammengefasst und die Eigenschaften der so geordneten Teile in der Regel unverschlüsselt als (Sach-)Merkmale tabellarisch erfasst werden.

Im Umfeld der Sachmerkmalleisten sind folgende Begriffe relevant:

- **Merkmal:**

Merkmale sind bestimmte Eigenschaften, die zum Beschreiben und Unterscheiden von Gegenständen einer Gegenstandsgruppe dienen.

- **Sachmerkmal:**

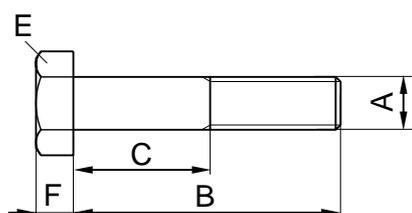
Ein Sachmerkmal ist ein Merkmal, das Gegenstände unabhängig vom Umfeld (z.B. Herkunft, Verwendung) beschreibt.

- **Sachmerkmalname:**
Ein Sachmerkmalname identifiziert ein Einzelmerkmal innerhalb einer Sachmerkmalreihe.
- **Sachmerkmalausprägung:**
Eine Sachmerkmalausprägung kann ein Zahlenwert mit Einheit oder eine textuelle Information sein, die eine Objekteigenschaft beschreibt. Eine Änderung der Ausprägung ergibt einen anderen Gegenstand.
- **Sachmerkmalreihe:**
Eine Sachmerkmalreihe ist die Zusammenstellung und Anordnung aller relevanten Sachmerkmale einer Gegenstandsgruppe.
- **Gegenstandsgruppe:**
Eine Gegenstandsgruppe ist eine durch gemeinsame Sachmerkmale bestimmte Gruppe ähnlicher Gegenstände.

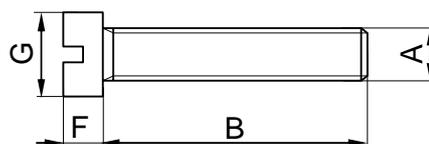
Zum einheitlichen Verständnis der in einer SML definierten Merkmale ist oftmals eine Skizze erforderlich, welche die Merkmale im Sinne von Parametern einem Teil zuordnet (vgl. Beispiel in Abbildung 2-12). Ausgehend davon können aus dem CAD-Modell bzw. der technischen Zeichnung automatisch Sachmerkmale extrahiert und in eine SML überführt werden, so dass in diesem Fall die Anwendung des parametrischen Konstruierens (siehe Abschnitt 2.4.2) die Grundlage für die Klassifizierung von Bauteilen bildet [Schi02a].

Über Sachmerkmalreihen lässt sich gezielt z.B. nach Wiederholteilen suchen, indem man ausgehend von definierten Merkmalswerten die Menge der in Frage kommenden Teile nach und nach eingrenzt. Somit reduziert sich die Erzeugung von Dubletten, da gefundene Bauteile erneut eingesetzt oder als Vorlage verwendet und neuen Anforderungen angepasst werden können.

Sachmerkmal-Leiste DIN 4000 - 2 - 2						
Kennbuchstabe			A	B	C	D
Sachnummer	Kurzbezeichnung	Bild Nr.	Gewinde	Länge	Schaftlänge	
-	-	-	-	mm	mm	
700.317.851	M10x40 DIN 931	1	M10	40	20	
700.317.852	M10x50 DIN 931	1	M10	50	30	
...	
700.373.512	M10x40 DIN 84	2	M10	40	-	



Sachmerkmal-Leiste DIN 4000 - 2 - 2 - B 1



Sachmerkmal-Leiste DIN 4000 - 2 - 2 - B 2

Kennbuchstabe für Bild _____
 Bildnummer _____

Abbildung 2-12: Beispiel für eine Sachmerkmal-Leiste nach [Ade05]

c) Parts Library

Mit der *ISO 13584 „Parts Library“* steht ein internationaler Standard zur hierarchischen Strukturierung von Teilebibliotheken zur Verfügung. Im Gegensatz zur vorher beschriebenen Sachmerkmal-Leisten der DIN 4000 können mit Hilfe der ISO 13584 Produkte unterschiedlicher Hersteller in einer Bibliothek zusammengefasst werden. Damit lassen sich Produkte verschiedener Anbieter miteinander vergleichen, wobei die herstellereigenen Systematiken beibehalten werden können. Dem Konstrukteur steht so eine große Auswahl an Katalogteilen zur Verfügung, ohne explizit in unterschiedlichen Teilebibliotheken suchen zu müssen. Erreicht wird dies durch eine grundsätzliche Trennung zwischen der Inhaltsbeschreibung und dem tatsächlichen Inhalt einer Teilebibliothek, wie der in Abbildung 2-13 dargestellte Ausschnitt aus dem Datenmodell zeigt. Die *Basic Semantic Unit (BSU)* umfasst alle Attribute, die zur Identifizierung eines Elements nötig sind. Über die Relation „identified_by“ wird dem Element eindeutig eine BSU zugeordnet. Zur Beschreibung von Teilefamilien werden *Klassen (classes)* und *Merkmale (properties)* eingeführt. Familien werden über Merkmale beschrieben. Zusätzlich gibt es Klassenmerkmale, die für alle Objekte (Teile) der Klasse (Familie) den identischen Wert haben [ISO 13584-42].

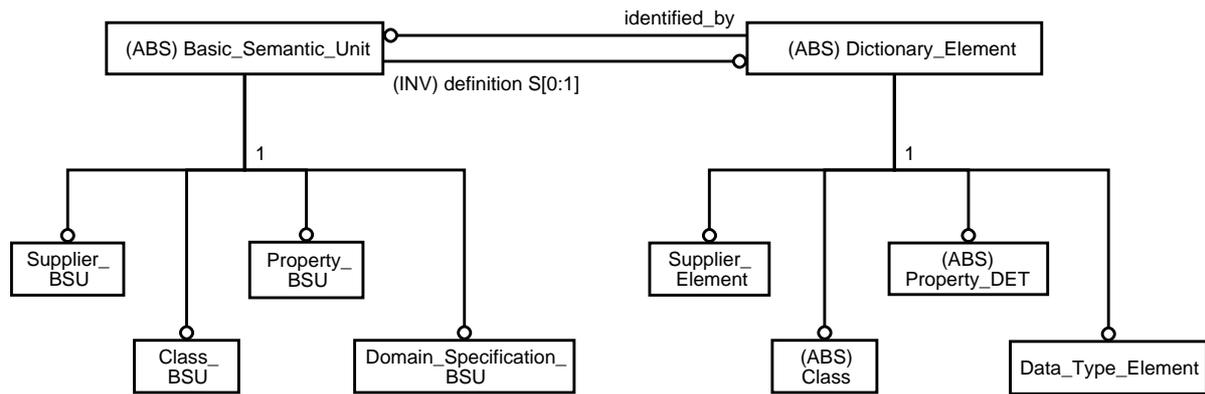


Abbildung 2-13: Ausschnitt aus dem Datenmodell nach [ISO 13584-42]

Im Mittelpunkt steht die rechnergestützte Repräsentation, Anwendung und der Austausch von Teilebibliotheken, d.h. die Daten von Norm- und Zukaufteilen liegen dem Anwender in digitaler Form vor und können in unterschiedliche CAx-Systeme übernommen werden [Ondr03]. Eine wichtige Neuerung für den Teileanbieter stellt die Möglichkeit dar, für seine Produkte eigene Merkmale definieren zu können und sich nicht auf vorgegebene Merkmale beschränken zu müssen.

Was den Einsatzbereich betrifft, so sind „herkömmliche“ Teilekataloge vor der ISO 13584 auf die gestaltgebende Phase des Konstruktionsprozesses hin entworfen worden. Man geht davon aus, dass der Konstrukteur bei der Verwendung eines Kataloges bereits prinzipiell weiß, welches Teil er sucht und darüber hinaus auch schon die Dimensionierung vorgenommen hat. Deshalb sind die Suchkriterien an der Detaillierungsphase ausgerichtet und lassen keine Wahl mehr im Bezug auf das technische Lösungskonzept. Mit der Einführung von *generischen Familien* (*generic families*) in der ISO 13584 kann eine Teilebibliothek auch in früheren Konstruktionsphasen eingesetzt werden. Generische Familien sind als übergeordnete Familien zu sehen, die sich wiederum in (*Basis-*)*Familien* (*simple families*) aufteilen. So lässt sich z.B. eine Familie „Riemen“ als generische Familie der Basisfamilien „Zahnriemen“, „Keilriemen“ und „Flachriemen betrachten. Der Konstrukteur kann auf diese Weise diese zunächst allgemein einen Riemen einsetzen und weitere Randbedingungen wie das Wirkprinzip zu einem späteren Zeitpunkt festlegen [DiOr96].

Den Vorteilen der generischen Strukturierung und der herstellerübergreifenden Vergleichbarkeit von Teilen steht ein hoher Aufwand für die Abbildung neuer Kataloge und der Entwicklung entsprechender Softwarelösungen (Teilebibliothekssysteme) gegenüber.

d) Thesauri

Als *Thesaurus* bezeichnet man die teilhierarchisch geordnete Zusammenstellung von Begriffen und ihren Bezeichnungen eines bestimmten Fachgebiets oder eines selbständigen Teils davon (Abbildung 2-14). Thesauri unterstützen Suchvorgänge über die Verwendung von Schlagwörtern, die direkt als Suchschlüssel dienen und zusätzliche Informationen (wie z.B. Synonyme) enthalten. Analog zu der expliziten Verschlüsselung eines Klassifizierungssystems ist auch hier die Möglichkeit der Eingrenzung eines Objektes über die gewählten charakteristischen Merkmale gegeben.

Nachteilig auf die Anwendung von Thesauri wirkt sich die Tatsache aus, dass die gesamte Ausdrucksvielfalt der Autoren erfasst werden muss, um das Wiederfinden aller Objekte zu gewährleisten. Für den speziellen Fall der Wiederholteilsuche ist dieses Problem allerdings eher von untergeordneter Bedeutung [Ande05]. Die Vorteile von Thesauri als Klassifizierungssystem liegen vor allem in der hohen Flexibilität sowie in der direkten Lesbarkeit der Merkmale, wodurch eine komplizierte Codierung und Dekodierung der Suchbegriffe entfällt.

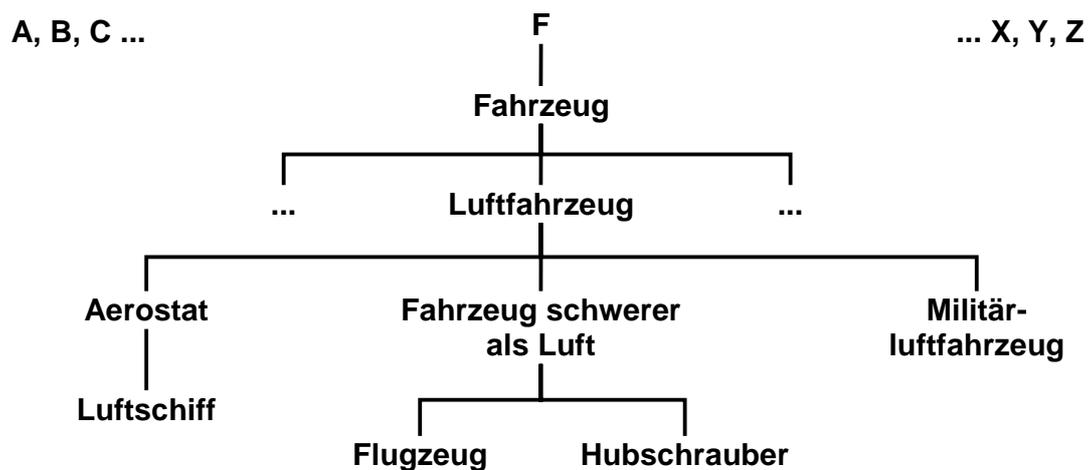


Abbildung 2-14: Beispiel eines Thesaurus nach DIN 1463, Teil 2 (vgl. [EiSt01])

2.3.5.4 Änderungs- und Versionsmanagement

Der Produktentstehungsprozess ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Produkt verschiedene Zustände und Entwicklungsstufen durchläuft, in denen sich die Produktstruktur, die Produktkomponenten oder zugehörige Dokumente ändern können. Die Ursachen für eine Änderung sind vielfältig, wie die folgenden Beispiele aus [DIN 6789] zeigen:

- funktionelle Verbesserung,
- Fertigungsrationalisierung,
- Kundenwunsch oder Marktbedürfnis,
- Behebung von Fehlern in technischen Dokumenten,
- Behebung von Ausschussursachen,
- Sicherheitsanforderungen,
- gesetzliche Bestimmungen.

Bei der Durchführung von Änderungen muss geprüft werden, auf welche anderen Strukturstufen (Auflösung nach unten) und Produkte (Verwendungsnachweis bzw. Auflösung nach oben) sich die Änderung auswirkt [EiSt09]. Darauf aufbauend ist zu entscheiden, ob die *Austauschbarkeit* der geänderten Komponenten gegeben ist. Resultiert aus der Änderung eine austauschbare Komponente, so spricht man von einer *kompatiblen Änderung*. Die geänderte Komponente behält die Artikelnummer, allerdings wird der Versionszähler erhöht. Ist die Austauschbarkeit nach einer Änderung nicht gegeben (*inkompatible Änderung*), wird keine Versionierung durchgeführt, sondern eine neue Artikelnummer vergeben, d.h. der Vorgang wird wie eine Neukonstruktion (oder Variante) gehandhabt [DIN 6789].

Versionen von Informationsobjekten repräsentieren jeweils einen definierten Stand während des Lebenszyklus eines Produkts, einer Produktkomponente oder eines Dokuments [Schi02a]. Versionen stehen in einem zeitlichen Zusammenhang, so dass sich feststellen lässt, zu welchem Zeitpunkt eine Version entstanden und welches die aktuelle Version ist. Eine neuere Version ersetzt in der Regel eine ältere Version bzw. geht durch Änderung oder Weiterentwicklung aus dieser hervor [ADEK05]. Daneben hat jede Version einen Status, der aussagt, ob eine Version z.B. zur Fertigung freigegeben ist oder sich noch in Prüfung befindet. Eine wesentliche Eigenschaft von Versionen ist die *Abwärtskompatibilität*, d.h. man kann eine frühere Version immer durch eine spätere Version bezüglich der spezifischen Merkmale „Form“ (Erscheinungsbild und geometrisches Ausmaß), „Fit“ (Schnittstellen zu benachbarten Komponenten) und „Function“ austauschen. Gerade im Umgang mit Ersatzteilen sind die Einhaltung dieser Kriterien wichtig, denn wenn ein Kunde ein Teil

nachbestellt, kann der Hersteller durchaus die neueste Version liefern und muss nicht alle bisher an Kunden ausgelieferten Versionen für den Reparaturfall vorhalten.

PDM-Systeme unterstützen den Anwender bei der Versionsverwaltung, indem sie die Zusammenhänge zwischen Versionen bzw. ihre zeitliche Abfolge und damit die Historie eines Produktes abbilden. Dies gilt nicht nur für die Versionierung einzelner Dokumente, sondern auch für die Versionierung von zusammenhängenden Datenstrukturen, wie sie bei der Arbeit mit 3D-CAD-Systemen auftreten. Auf diese Weise ermöglichen es PDM-Systeme, den Entwicklungsfortschritt eines Produktes und die aufgetretenen Änderungen vollständig zu dokumentieren. Der Umgang und die Vergabe von Versionen gestaltet sich je nach Unternehmen unterschiedlich und hängt stark von den Entwicklungs- und Änderungsprozessen ab. Beispielsweise gibt es auch die Möglichkeit, dass Konstrukteure während der Produktentwicklung Versionen für Zwischenschritte oder Arbeitsstände anlegen (die nicht öffentlich verfügbar gemacht werden), um jederzeit auf vorangegangene Stände zurückgreifen zu können. Für freigegebene Versionen (bzw. Hauptänderungen) wird dann der Begriff *Revision* eingeführt [SeWa05].

Die folgenden Beispiele verdeutlichen den Ablauf einer kompatiblen und einer inkompatiblen Änderung. Zur Vereinfachung werden die durchzuführenden Dokumentänderungen nicht berücksichtigt.

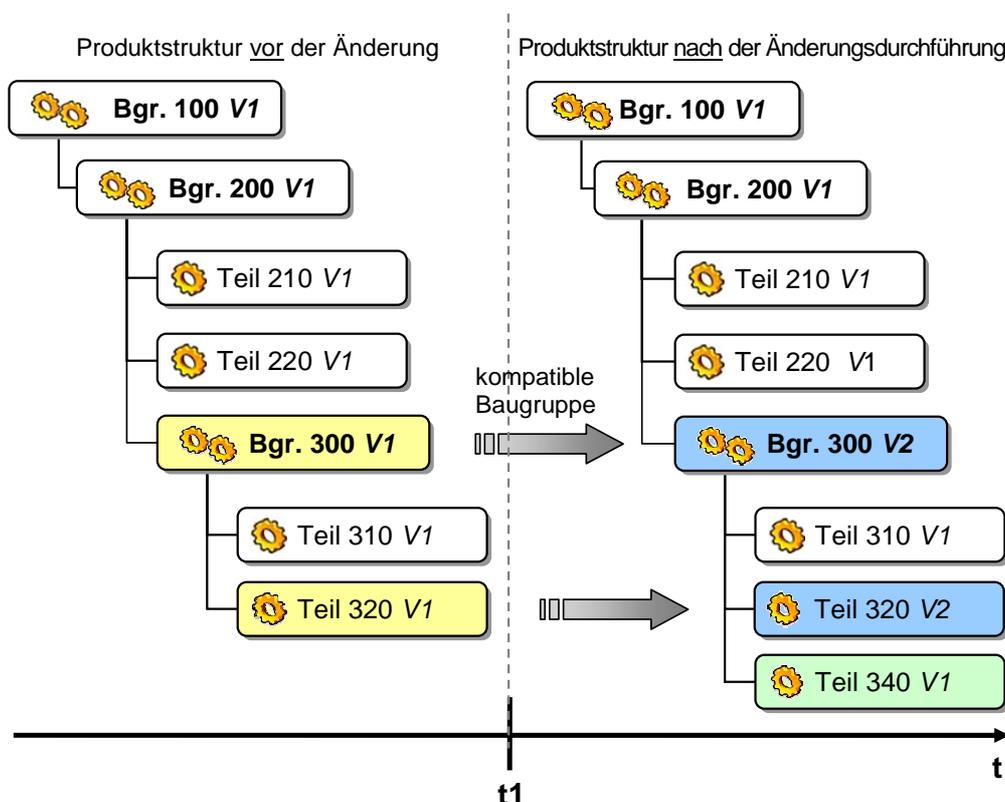


Abbildung 2-15: Ablauf einer kompatiblen Änderung

Abbildung 2-15 zeigt die kompatible Änderung einer Baugruppe. In der Baugruppe mit der Artikelnummer 300 wird das Teil 320 (Version 1) durch das Teil 320 (Version 2) ersetzt und das Teil 340 (Version 1) hinzugefügt. Insgesamt bleibt die Baugruppe 300 austauschbar, somit wird die Version inkrementiert. Der Versionszähler der Baugruppe 200 bleibt unverändert, da die Unterbaugruppe 300 kompatibel von der Version 1 in die Version 2 geändert wird.

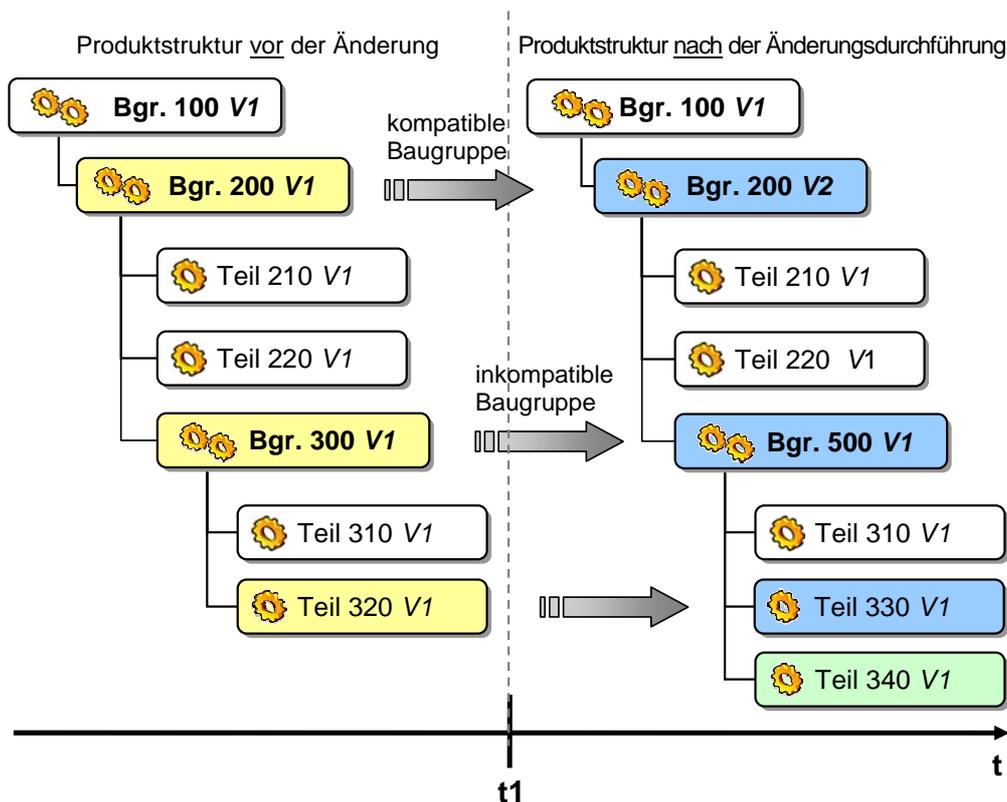


Abbildung 2-16: Ablauf einer inkompatiblen Änderung

Bei einer inkompatiblen Änderung wie in Abbildung 2-16 wird die Baugruppe mit der Artikelnummer 300 (Version 1) durch die inkompatible Baugruppe 500 (Version 1) ersetzt. Unter der Annahme, dass die Änderung auf der Ebene der Baugruppe 200 kompatibel ist, wird der Versionszähler der Baugruppe 200 von 1 auf 2 inkrementiert.

2.3.5.5 Variantenmanagement

Varianten sind „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil an identischen Baugruppen oder Teilen“ [DIN 199-1] und entstehen durch die Berücksichtigung von unterschiedlichen Randbedingungen bei der Entwicklung von Produkten. Eine Variante wird charakterisiert durch ein oder mehrere Merkmale, die mit einem Wert belegt sind. Beispiele für Merkmale und deren Ausprägungen aus dem Bereich

des Automobilbaus sind die Form der Karosserie (Limousine, Cabrio, Kombi), die Motorisierung (Benziner, Diesel) oder der Antriebsart (Front-, Heck-, Allradantrieb) [Schi02a]. Varianten entstehen aus verschiedenen Gründen, so dass man folgende Kategorien unterscheiden kann [ADEK05]:

- *Kundenvarianten:*
Varianten, die vom Kunden ausgewählt oder am Markt angeboten werden, z.B. Modellvarianten bei Fahrzeugen;
- *Herstellungsvarianten:*
Varianten, die aufgrund ihrer Abmessungen, Schnittstellen und Funktion gleichwertig sind und alternativ verbaut werden können, z.B. Motoren verschiedener Hersteller oder Zulieferer;
- *Mengenvarianten:*
In Abhängigkeit von verschiedenen Parametern ändert sich die Anzahl eines Teils oder einer Baugruppe in der Struktur.

Darüber hinaus differenzieren Eigner und Stelzer in [EiSt01] Varianten nach dem Einfluss auf die Produktstruktur:

- *Teilevarianten:*
Eine Teilevariante weist ein oder mehrere Einzelteile auf, die in verschiedenen Ausprägungen vorkommen. Die Produktstruktur als solches bleibt unverändert.
- *Strukturvarianten:*
Die Strukturvarianten entstehen dadurch, dass in einer Produktstruktur verschiedene Komponenten variieren können. Dabei gibt es *Muss-Komponenten* (d.h. alternative Teile und Baugruppen, wovon immer eine Ausprägung gewählt werden muss), *Kann-Komponenten* (optionale Komponenten) und *Festkomponenten*, die in allen Varianten vorkommen.

In einem PDM-System bezeichnet man mit *Variantenmanagement* die Abbildung und Verarbeitung von Produktvarianten durch Verwendung von auftragsneutralen Strukturen. Dazu wird in der Produktstruktur ein Variantenplatzhalter eingefügt [ADEK05]. Die Produktkomponenten, die den Variantenplatzhalter in einem konkreten Produkt ersetzen können, stehen in einer Variantenliste. Für einen Kundenauftrag werden die benötigten Komponenten ausgewählt und so die auftragsspezifische Produktstruktur nach den Anforderungen des Kunden abgeleitet.

2.3.5.6 Konfigurationsmanagement

Als Weiterentwicklung des Änderungsmanagements hat sich das *Konfigurationsmanagement* (engl. *Configuration Management, CM*) vor allem in Unternehmen mit komplexen Produkten (z.B. Luft- und Raumfahrtindustrie) oder hohen Produkthaftungsrisiken etabliert und wird heute in immer mehr Unternehmen verschiedenster Branchen eingesetzt [EiSt09]. Die *Konfiguration* beschreibt das Produkt anhand der zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem definierten Auslieferungsstatus gültigen Produktstruktur. Konfigurationsmanagement ist nach [ANSI/EIA-649-A] definiert als ein Verfahren zur Herbeiführung und ständiger Sicherstellung der Übereinstimmung der Leistungs-, Funktions- und physischen Charakteristiken eines Produktes mit den zugehörigen Anforderungen, den Ausführungen, den Ausführungsunterlagen und den für den Betrieb erforderlichen Informationen während des gesamten Produktlebenszyklus. Wesentliches Ziel ist es also, den aktuellen Bauzustand (d.h. die aktuelle Produktkonfiguration) sowie den Erfüllungsgrad physischer und funktionaler Anforderungen zu dokumentieren und volle Transparenz darüber herzustellen, welche Aktivitäten und Maßnahmen zur aktuellen Konfiguration geführt haben. Dazu werden im Konfigurationsmanagement nach [DIN EN ISO 10007] folgende Methoden angewandt:

- *Konfigurationsidentifizierung (Configuration Identification)*
Identifizierung und Dokumentation der physikalischen und funktionalen Eigenschaften der *Konfigurationseinheiten (Configuration Item, CI)*; Definition der Produktstruktur
- *Konfigurationsüberwachung (Configuration Control)*
Steuerung und Kontrolle von Änderungen an Konfigurationseinheiten
- *Konfigurationsbuchführung (Configuration Status Accounting)*
Formalisierte Dokumentation und Berichte bzgl. der geltenden Konfigurationsdokumente einschließlich des Status von Änderungsvorschlägen und des Implementierungsstatus von genehmigten Änderungen
- *Konfigurationsauditierung (Configuration Audits)*
Formale Prüfung des Ausführungsstandes von Konfigurationseinheiten/ der Produktkonfiguration auf Übereinstimmung mit ihren geltenden Konfigurationsdokumenten

Konfigurationsmanagement ist nicht an einen bestimmten Anwendungskontext gebunden, sondern auf Hardware, Software und die zugehörige Dokumentation gleichermaßen anwendbar. Insbesondere bei mechatronischen Produkten spielt dies eine große Rolle. Das Konfigurationsmanagement ermöglicht die Verbindung von Produkt und zugehöriger Dokumentenstruktur über den gesamten Lebenslauf her. Der Zusammenhang wird über die

sogenannte *Gültigkeit* (engl. *Effectivity*) dargestellt. Die Gültigkeit gibt an, für welchen Zeitbereich Änderungen, Versionen und auch Varianten für ein konkretes Produkt erlaubt oder eingeschränkt sind. Sie kann durch einen Zeitpunkt oder Zeitraum, ein Ereignis oder eine besondere Produktbenummerung (z.B. Serialnummern) definiert werden. Abbildung 2-17 gibt die Zusammenhänge zwischen Produkt- und Dokumentenstruktur entlang der Gültigkeitsachse wieder. Die Konfigurationen in der Vergangenheit stellen die bisher konstruierten und/oder hergestellten Bauzustände dar, die der Gegenwart den aktuell gefertigten Bauzustand. Die Konfigurationen in der Zukunft befinden sich gerade in Änderung, d.h. es sind Produkt- und Dokumentstrukturen, die noch nicht für die Produktion freigegeben sind.

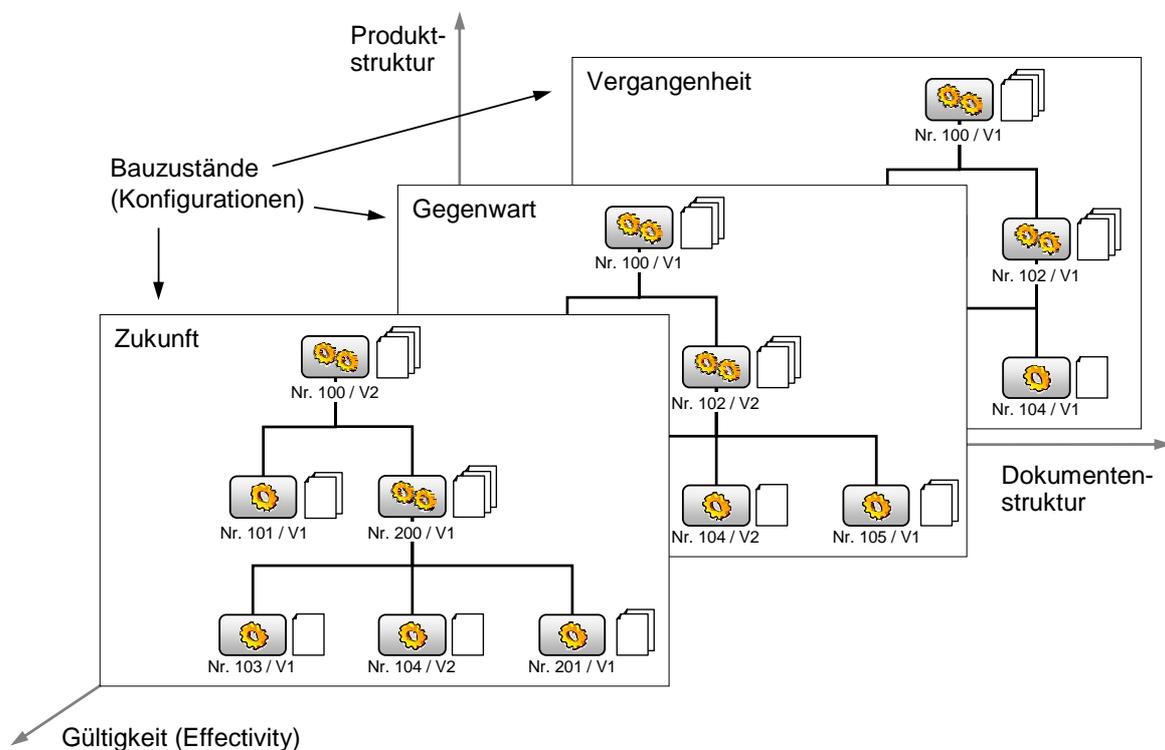


Abbildung 2-17: Gültigkeiten im Konfigurationsmanagement (vgl. [EiSt09])

2.3.5.7 Workflow-Management

Innerhalb des Produktlebenszyklus durchlaufen Produktdaten immer wieder bestimmte, im Unternehmen detailliert definierte Abläufe wie Änderungs- oder Freigabeprozesse (z.B. Fertigungsfreigabe). Um diese mitunter komplexen Arbeitsläufe informationstechnisch zu unterstützen und für den Anwender besser handhabbar und nachvollziehbar zu gestalten, enthalten PDM-Systeme Funktionen zum Workflow-Management.

Die englische Bezeichnung *Workflow* ist heute allgemein gebräuchlich und wird synonym zu den Begriffen *Ablauf*, *Arbeitsablauf* oder *Vorgang* verwendet. Ein Workflow ist gemäß der „Workflow Management Coalition“ wie folgt definiert:

The automation of a business process, in whole or part, during which documents, information or tasks are passed from one participant to another for action, according to a set of procedural rules [WFMC99].

Das Workflow-Management hat die Aufgabe, den Ablauf von Geschäftsprozessen zu beschreiben, zu verwalten und zu steuern, so dass eine Automatisierung im Informationsfluss erreicht wird. Bei den in einem Workflow verarbeiteten Informationen handelt es sich üblicherweise um Artikel und/oder Dokumente. Die benötigten Ressourcen (z.B. Mitarbeiter, Werkzeuge) werden den einzelnen Aktivitäten zugeordnet und deren Durchführung überwacht und protokolliert, so dass der aktuelle Abarbeitungsgrad eines Vorgangs jederzeit transparent ist. Darüber hinaus koordiniert und kontrolliert das Workflow-Management den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Mitarbeitern. Dazu gehört auch, dass die für eine Aktivität im Workflow erforderlichen Dokumente über das PDM-System verfügbar sind und so direkt in den Workflow eingebunden werden können. Zu einem definierten Zeitpunkt, z.B. bei einem Statuswechsel, werden die Dokumente automatisch an die relevanten Personen weitergegeben und so Verzögerungen oder Wartezeiten minimiert. Workflows laufen im Gegensatz zur herkömmlichen, manuellen Vorgangsbearbeitung papierlos ab, der Anwender erhält eine Nachricht (z.B. E-Mail) über die durchzuführende Aktivität, in der die für ihn relevanten Dokumente referenziert sind. Über die Benutzer- und Rechteverwaltung, die im nachfolgenden Abschnitt beschrieben wird, erfolgt schließlich die Festlegung, welche Person oder Personengruppe eine bestimmte Aktivität ausführen darf. Dazu zählt z.B. die Vergabe von Berechtigungen für den Lese- oder Schreibzugriff auf Dokumente oder für die Neuanlage von Dokumenten. Je nach Art der Tätigkeit (z.B. Änderung, Prüfung) im Workflow und dem Status (z.B. „in Bearbeitung“, „freigegeben“) sind unterschiedliche Zugriffsregelungen zweckmäßig [ADEK05].

Die Modellierung von Abläufen innerhalb des Workflow-Managements erfolgt in der Regel in einem grafischen Workflow-Editor, im dem die einzelnen Tätigkeiten und die zugehörigen Regeln für die Übergänge von einem Schritt zum nächsten definiert werden. Die Anwendung von Workflows ist in erster Linie dann sinnvoll, wenn es sich um wiederholt auftretende, dokumentintensive Vorgänge handelt, die räumlich und zeitlich getrennt durchgeführt werden und unterschiedliche Informationsquellen nutzen [Ande05].

2.3.5.8 Benutzer- und Rechtemanagement

In Softwaresystemen und Datenbanken besteht generell die Anforderung, den unbefugten Zugriff auf sensible Daten zu verhindern. Dies ist gerade bei Produktdaten im PDM-System von großer Wichtigkeit, beinhalten sie doch das Know-How des Unternehmens und müssen als geistiges Eigentum („Intellectual Property“) geschützt werden. Ein PDM-System muss also sicherstellen, dass die Produktdaten nur von den Personen zur Anzeige oder zur Bearbeitung geöffnet werden können, die auch dazu berechtigt sind.

Über das Benutzer- und Rechtemanagement lassen sich Benutzer in Gruppen zusammenfassen und detaillierte Zugriffsrechte auf Datenbestände vergeben. Durch die Zuordnung von Funktionen bzw. Rollen wird klar definiert, wer an einem bestimmten Objekt welche Aktion durchführen darf (z.B. die Neuanlage von Artikelstammsätzen oder den Statuswechsel an einem Dokument). Benutzergruppen können hierarchisch gegliedert werden, so dass man sowohl die Organisationsstruktur des Unternehmens abbilden als auch die in einem Projekt zusammengestellten Teams für die Organisation im PDM-System verwenden kann.

2.3.5.9 Projektdatenmanagement

Innerhalb eines PDM-Systems dienen Projekte dazu, um die während der Bearbeitung eines Prozesses anfallenden und benötigten Daten ablauforientiert zu strukturieren [EiSt01]. Typische Beispiele in diesem Zusammenhang sind Auftragsprojekte im Maschinen- und Anlagenbau oder Entwicklungsprojekte. Ein Projekt bildet eine Art „Klammer“ um die in einem bestimmten Kontext zusammengehörigen Artikel und Dokumente [SeWa05].

Im Gegensatz zu den klassischen Projektmanagementsystemen, die in erster Linie eine detaillierte Termin- und Ressourcenplanung ermöglichen, gehen die Ziele des Projektdatenmanagements in eine andere Richtung. Sie reichen von der Organisation in Teil- und Unterprojekte über die Verwaltung projektspezifischer Zugriffsrechte bis hin zum Controlling im Bezug auf den Fortschritt der Produktentwicklung (Erreichen von „Meilensteinen“). Dabei kann nicht nur der aktuelle Status einer Baugruppe oder eines Teils abgefragt werden, sondern es lassen sich darüber hinaus die zugehörigen CAD-Modelle oder Konstruktionszeichnungen direkt öffnen, vorausgesetzt man verfügt über die notwendigen Zugriffsrechte. Somit stellt das Projekt im PDM-System für den Anwender ein Einstiegsobjekt dar, von dem aus er direkten Zugriff auf die für ihn relevanten (d.h. seiner Rolle bzw. Funktion im Projekt entsprechenden) Produktdaten erhält.

2.4 Computer Aided Design

2.4.1 Überblick und historische Entwicklung

Die Thematik des PDM-Einsatzes im Sondermaschinenbau lässt sich nicht losgelöst von den zu integrierenden Erzeugersystemen betrachten, weil gerade hier das größte Nutzenpotential für die Anwendung von PDM besteht. Zu den wichtigsten Erzeugersystemen zählen die CAD-Systeme, die sowohl in der Mechanik (*M-CAD*) als auch in der Elektrotechnik (*E-CAD*) eingesetzt werden. Im Folgenden wird daher auf die Eigenschaften und die historische Entwicklung von CAD-Systemen eingegangen.

Die Abkürzung *CAD* bedeutet *Computer Aided Design*, also Rechner unterstütztes Konstruieren und Entwerfen. Erste Entwicklungen im Bereich CAD erfolgten bereits in den späten 1960er Jahren. CAD-Systeme arbeiteten anfangs rein zweidimensional, die Zeichnungserstellung erfolgte in ähnlicher Weise wie vorher am Zeichenbrett. Das Ergebnis des Konstruktionsprozesses blieb nach wie vor die technische Zeichnung. Waren CAD-Systeme anfangs noch die Domäne der Großindustrien, so setzten sich im Laufe der 1980er Jahre 2D-CAD-Systeme zunehmend durch und verdrängten die Reißbretter aus den Konstruktionsabteilungen [WVSS94]. Gründe hierfür waren vor allem die Zeitersparnis bei Änderungen und einfache Wiederverwendbarkeit bestehender Zeichnungen.

Die Arbeit am 2D-CAD-System bedeutete für den Konstrukteur die Verwendung eines neuen Werkzeugs, nicht jedoch eine Veränderung der grundlegenden Arbeitsmethodik bei der Produktentwicklung. Eine Unterstützung in den frühen Phasen (Planen und Konzipieren) war kaum möglich. Im Gegensatz dazu kommt der Wechsel von der 2D-Konstruktion zur 3D-Modellierung einem Wandel im Konstruktionsprozess gleich. Das Erstellen eines dreidimensionalen Modells im Rechner erfordert vom Konstrukteur eine völlig andere Arbeitsweise, die zunächst erlernt werden muss. Die Einführung von 3D-CAD ist deshalb mit einem entsprechenden Schulungsaufwand auch im methodischen Bereich verbunden, um mit der neuen Technologie effizient arbeiten zu können.

Einer der wesentlichen Vorteile von 3D-CAD-Systemen liegt in der Visualisierung der Konstruktion anhand eines virtuellen dreidimensionalen Modells, und das bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess. Damit lassen sich Baugruppen auf Kollisionen hin überprüfen, Einbauuntersuchungen durchführen oder die Funktionsweise einer Konstruktion am Bildschirm kinematisch simulieren (zusammenfassend bezeichnet als *Digital Mock-Up, DMU*). Auf diese Weise werden Fehler bereits frühzeitig, nämlich noch in der Produktentwicklung, erkannt und spätere Änderungskosten in der Fertigung vermieden. Über die Anwendung weitergehender Simulationstechniken gelangt man zu dem Ziel, möglichst alle Eigenschaften eines zukünftigen Produktes durch virtuelle Modelle

abzusichern. Eine wichtige Rolle hierbei spielen bspw. die *Finite-Elemente-Methode (FEM)*, die *Mehrkörpersimulation (MKS)*, die Ergonomiesimulation oder die Hardware/Software-Simulation. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von *Virtueller Produktentwicklung*, da vor dem wirklichen Produkt ein virtuelles Produkt im Rechner entsteht. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die „durchgehende Rechnerunterstützung bei der Produktentwicklung unter intensiver Anwendung von Simulations- und Verifikationstechniken auf der Basis digitaler realitätsnaher Modelle“ [Eign05]. Das Nutzenpotenzial der 3D-CAD-Technologie liegt demnach nicht nur in der Konstruktionsabteilung selbst, sondern besonders in nachgelagerten Prozessschritten im Sinne einer durchgängigen CAx-Prozesskette. Das „x“ stellt hierbei den Bezug zur jeweiligen Engineering-Disziplin dar. Beispielsweise werden im Bereich CAE anhand von 3D-CAD-Modellen Netze für FEM-Berechnungen generiert, mit deren Hilfe sich die Anzahl von Versuchsläufen mit realen Prototypen reduzieren lässt. Im Bereich CAM ermöglicht die Nutzung von CAD-Geometrien die Programmierung von NC-gesteuerten Werkzeugmaschinen. Die Vertriebsabteilung wird durch die Verwendung von virtuellen dreidimensionalen Modellen ebenfalls unterstützt, da sich so die Vorzüge und Eigenschaften des Produktes dem potentiellen Kunden besser veranschaulichen lassen. Berücksichtigt man den heute herrschenden Kostendruck und die Forderung nach immer kürzeren Entwicklungszeiten bei gleichzeitig hoher Qualität, so ist die Anwendung der 3D-CAD-Technologie als Grundlage für eine effiziente Produktentwicklung heute unabdingbar geworden.

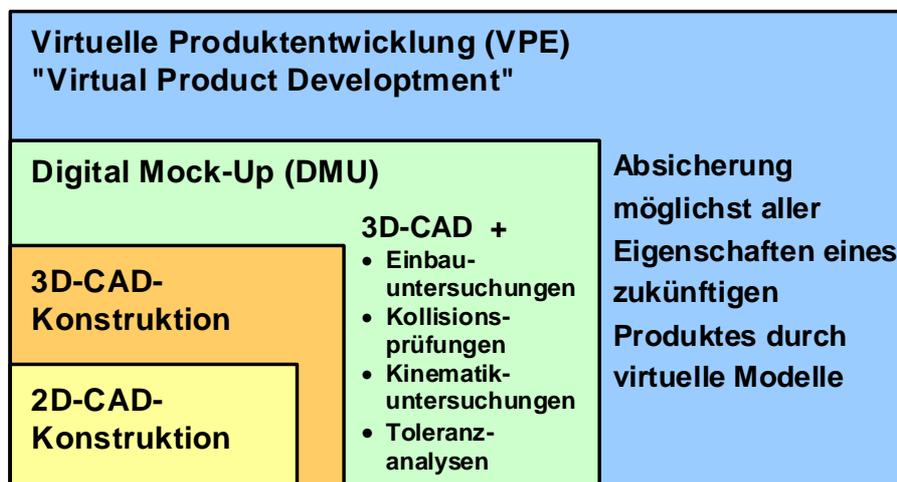


Abbildung 2-18: Entwicklungsstufen der rechnerunterstützten Produktentwicklung (vgl. [Abra05])

Ähnlich wie bei der Verbreitung der 2D-CAD-Systeme, so war anfangs auch bei 3D-CAD-Systemen der produktive Einsatz zunächst auf Großunternehmen und deren Zulieferer beschränkt, wie z.B. die Flugzeugindustrie, die bereits in den 1980er Jahren die 3D-CAD-Technologie nutzten. Es handelte sich um „Expertensysteme“, für deren Betrieb anfangs Großrechner und dann UNIX-Workstations notwendig waren. Für einen flächendeckenden Einsatz waren die Systeme noch zu aufwändig und die erforderliche Hardware zu teuer.

Ende der 1990er Jahre und mehrere Systemgenerationen später sind 3D-CAD-Systeme - nicht zuletzt durch die rasante Weiterentwicklung der Hardware - zu Standardsystemen auch für kleine und mittelständische Unternehmen geworden [SeWa05, RuDi03].

Durch die Anwendung von 3D-CAD wird das dreidimensionale Modell zum zentralen Informationsträger in der Produktentwicklung. Die technische Zeichnung stellt nur noch eine Ableitung dieses Modells dar. Dennoch ist gerade im Maschinen- und Anlagenbau die technische Zeichnung noch immer der Standard zur Übermittlung produktbeschreibender Daten für Fertigungs- und Montage- oder Freigabeprozesse. Beispielsweise werden Oberflächenangaben oder Toleranzen oft nur in der Zeichnung eingetragen, ohne dass ein Bezug zum 3D-CAD-Modell besteht. Mittlerweile gibt es jedoch Ansätze, diese Situation zu verbessern und das 3D-CAD-Modell zum sogenannten *Digital Master* zu erweitern, der durch die gesamte Prozesskette als Informationsträger dient und eine vollständige Beschreibung des Produktes darstellt [BDWV04]. Dabei werden alle relevanten Informationen (z.B. Maße, Toleranzen, Hinweise und technische Anweisungen mit Geometriebezug) direkt dem 3D-CAD-Modell hinzugefügt und so der Bedarf an abgeleiteten Zeichnungen oder anderen Zusatzdokumenten weitgehend eliminiert. Für eine erfolgreiche Realisierung dieses Konzepts müssen natürlich die nachgelagerten Prozesse umgestaltet werden, um z.B. Freigaben, die bisher durch Unterschriften auf der Zeichnung erfolgt sind, nun innerhalb des 3D-CAD-Modells festzuhalten. PDM-Systeme können diese Entwicklung unterstützen, da sie bereits Funktionen wie Statusverwaltung oder entsprechende Sicherheitsmechanismen bereitstellen.

Einen ersten Schritt zur Ablösung der technischen Zeichnung beschreibt die VDA-Empfehlung 4953 „Vereinfachte CAD-Zeichnung“ [VDA4953], die in der Automobilindustrie Anwendung findet. Bei der konventionellen technischen Zeichnung wird eine Vielzahl von Informationen wie Änderungsbeschreibungen, Fertigungs- und Montageanweisungen, angewandte Normen oder firmenspezifische Standards in Form von Texten ohne direkten Geometriebezug hinterlegt. Diese Vorgehensweise reduziert den verfügbaren Bereich für die Geometrie und darüber hinaus lässt sich auf diese Textinformationen nur sehr schwer über ein PDM-System zugreifen. Die Empfehlung definiert eine digitale Stammdatenliste, welche die weiterführenden Informationen strukturiert aufnimmt und sie damit im PDM-System verfügbar macht. Die Stammdatenliste kann entweder in einer separaten Datei (XML-Format⁸) oder direkt in einer Datenbank verwaltet werden. Die vereinfachte Zeichnung enthält nur noch die Textinformationen, die für das generelle Verständnis und die Identifikation erforderlich sind. Der parallele Pflegeaufwand für Produktinformationen auf der Zeichnung und zusätzlich im PDM-System wird so reduziert

⁸ *Extensible Markup Language (XML)* ist eine Auszeichnungssprache (Metasprache), die Textdateien zur Speicherung von hierarchisch strukturierten Daten verwendet [W3C08].

und die Dateninkonsistenz verbessert. Außerdem sind die auf diese Weise abgelegten Informationen systemneutral abgelegt und auch dann editierbar, wenn kein CAD-System zur Verfügung steht.

Die vollständige Beschreibung eines Bauteils setzt sich demnach aus den folgenden Dokumenten zusammen:

- 3D-CAD-Modell
- Vereinfachte Zeichnung nach VDA 4953
- Stammdatenliste nach VDA 4953

Innerhalb des Produktentstehungsprozesses stellt nach VDA-Empfehlung 4953 das 3D-CAD-Modell die führende Geometriebeschreibung und die Stammdatenliste die führende Beschreibung nicht-geometrischer Informationen dar. Mit dem VDA4953-XML-Format wird ein neutraler Stammdatenaustausch auch getrennt vom 3D-CAD-Modell möglich.

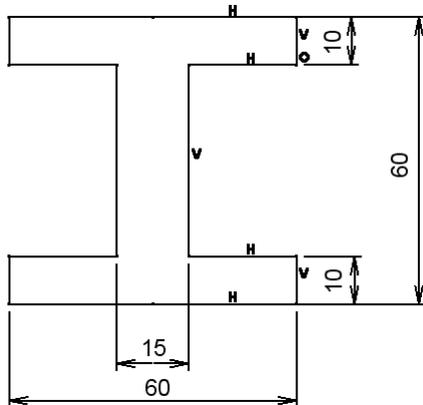
2.4.2 Parametrisches Konstruieren

Die Unterstützung des parametrischen Konstruierens stellt einen der bedeutendsten Schritte im Laufe der Entwicklung der 3D-CAD-Technologie dar. Der Begriff *Parametrik* bedeutet im Zusammenhang mit CAD-Systemen, dass die geometrischen Elemente innerhalb eines 3D-CAD-Modells mathematisch nicht absolut durch fixe Koordinatenwerte beschrieben werden, sondern in einer parametrisierten Form. Demnach werden keine festen Maße verwendet, sondern veränderliche Parameter, die bauteilintern oder auch bauteilübergreifend miteinander verknüpft werden können. Die Modifikation der Geometrie erfolgt durch Veränderung der Parameterwerte.

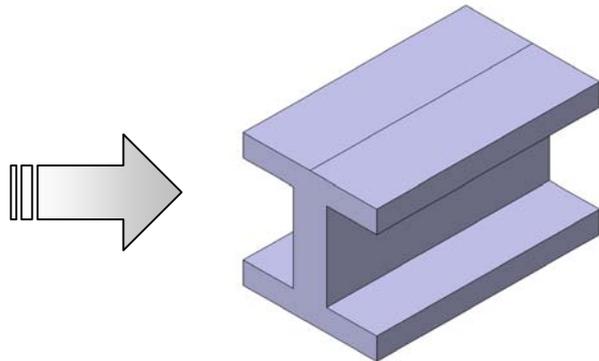
Ausgangspunkt bei der parametrischen Konstruktion ist in der Regel eine Skizze (*Sketch*), deren Geometrielemente durch Anbringen von Maßen bestimmt werden. Die Bemaßung stellt also eine Randbedingung (*Constraint*) an die Geometrie dar. Zur vollständigen Definition der Skizze sind weitere Constraints erforderlich. Man unterscheidet beim *constraint based design* [SpKr97] zwischen *geometrischen (topologischen)* und *funktionalen Constraints*. Geometrische Constraints verknüpfen Geometrielemente miteinander (z.B. Rechtwinkligkeit, Parallelität, tangentialer Übergang zwischen zwei Elementen, Deckungsgleichheit zwischen zwei Elementen). Nicht geometrische Beziehungen wie z.B. Formelbeziehungen zwischen Parametern oder technologisch bedingte Abhängigkeiten werden unter dem Begriff der funktionalen Constraints zusammengefasst. Um schließlich aus einer parametrisierten Skizze einen Volumenkörper zu generieren, definiert man durch

sogenannte *Produktionsfunktionen* (z.B. Translation, Rotation) die „Erstreckung“ in die dritte Dimension.

Schritt 1: Erstellen einer parametrischen Skizze



Schritt 2: Lineare Austragung



Schritt 4: Aktualisieren der Geometrie

Schritt 3: Parameter "Breite" ändern

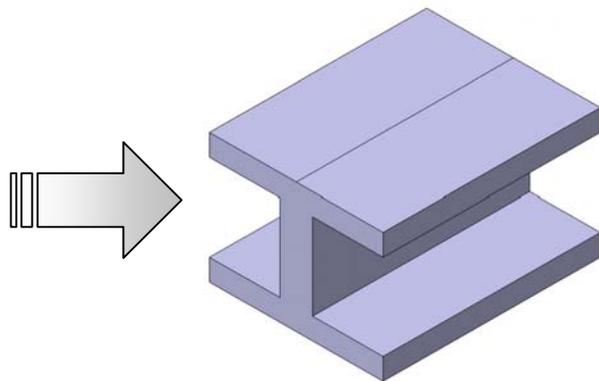


Abbildung 2-19: Beispiel zum parametrischen Konstruieren

Die Arbeit mit parametrischen CAD-Systemen bedingt zunächst einen erhöhten Aufwand, da zu Beginn der Modellierung die Definition der Parameter und der Modellaufbau gedanklich strukturiert werden muss. Diese Vorüberlegungen sind notwendig, da die sinnvolle Wahl der Parameter und die Vorgehensweise bei der Modellierung die spätere Änderbarkeit des Modells entscheidend beeinflussen [VaWe06]. Werden für einen Anwendungsfall die „falschen“ Maße parametrisiert oder ist das Modell durch zu viele Parameter und Beziehungen zu komplex oder zu unflexibel, lässt sich das Modell eventuell nicht mehr weiterverwenden und muss neu aufgebaut werden. Der Aufwand für ein systematisch aufgebautes und parametrisiertes Modell rechnet sich insbesondere für Einzelteile und Baugruppen mit hoher Änderungswahrscheinlichkeit oder bei der Wiederverwendung in Folgekonstruktionen. Aber auch in der Entwicklungsphase, bei der in der Regel mehrere Iterationsschritte durchlaufen werden, kann durch Verwendung geeigneter Parameter die Konstruktion leicht an veränderte Vorgaben (z.B. Anschlussmaße) angepasst werden. Vor allem die Erzeugung von Varianten wird durch eine entsprechende Parametrisierung wesentlich vereinfacht, wie das Beispiel in Abbildung 2-20 zeigt. Die Geometrie des

Winkels lässt sich über die Parameter L_1 und L_2 für die Schenkellängen, B für die Breite, D_1 für den Bohrungsdurchmesser und S für die Blechdicke steuern. Aus diesen Parametern wurde eine Konstruktionstabelle erstellt, mit der deren Hilfe man die Varianten auswählt und neue Varianten durch Hinzufügen von Parameterzeilen generieren kann.

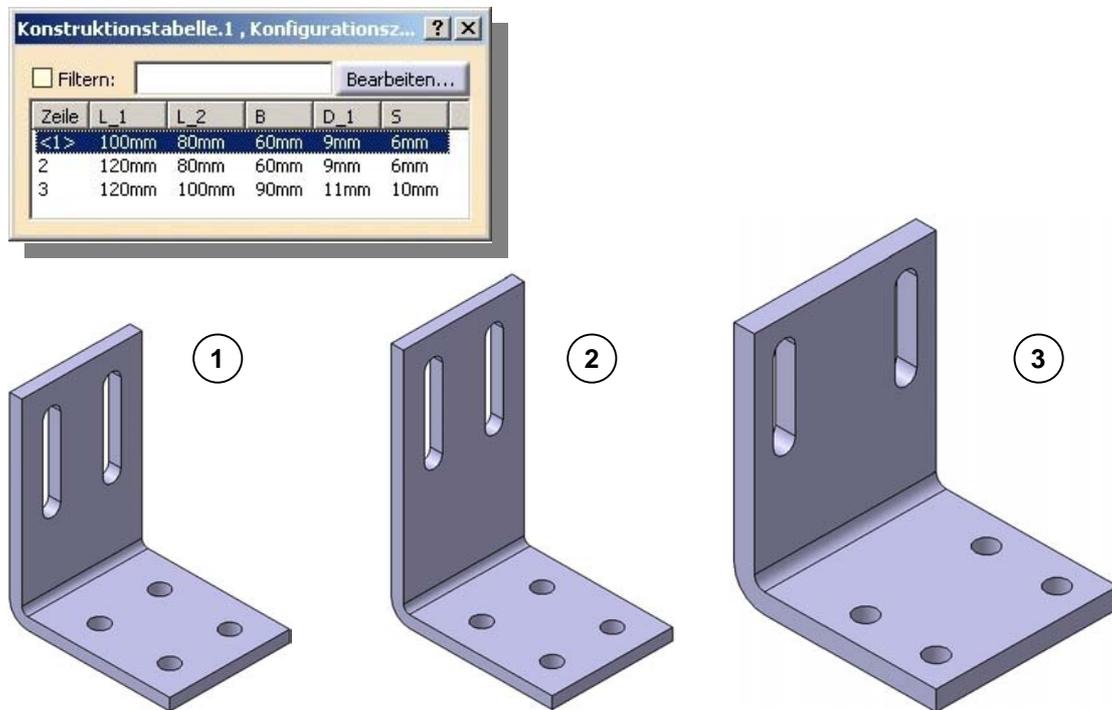


Abbildung 2-20: Beispiel für die Erzeugung von Varianten in einem parametrischen CAD-System

2.4.3 Feature-Technologie

Die *Feature-Technologie* erweitert den Ansatz des parametrischen Konstruierens durch die Verwendung von semantisch definierten Gestaltelementen (*Features*). Die VDI-Richtlinie „Feature-Technologie“ definiert Features allgemein als „informationstechnische Elemente, die Bereiche von besonderem (technischen) Interesse von einzelnen oder mehreren Produkten darstellen“ [VDI2218]. Ein Feature wird durch eine Aggregation von Eigenschaften eines Produktes beschrieben, wobei die heute verfügbaren 3D-CAD-Systeme sich oftmals noch auf die Aggregation geometrischer Elemente beschränken.

Ein featurebasiertes CAD-System stellt Bibliotheken mit parametrisierten Geometrie-elementen bereit, so dass der Konstrukteur nicht mehr mit abstrakten Begriffen arbeiten muss, sondern das CAD-Modell mit Hilfe von benannten Objekten wie etwa „Bohrung“ oder „Verstärkungsrippe“ aufbauen kann. Dadurch wird die Bedienung eines solchen Systems erheblich vereinfacht. Die Feature-Bibliotheken können dabei je nach Anwendungsfall durch benutzerdefinierte Features erweitert werden.

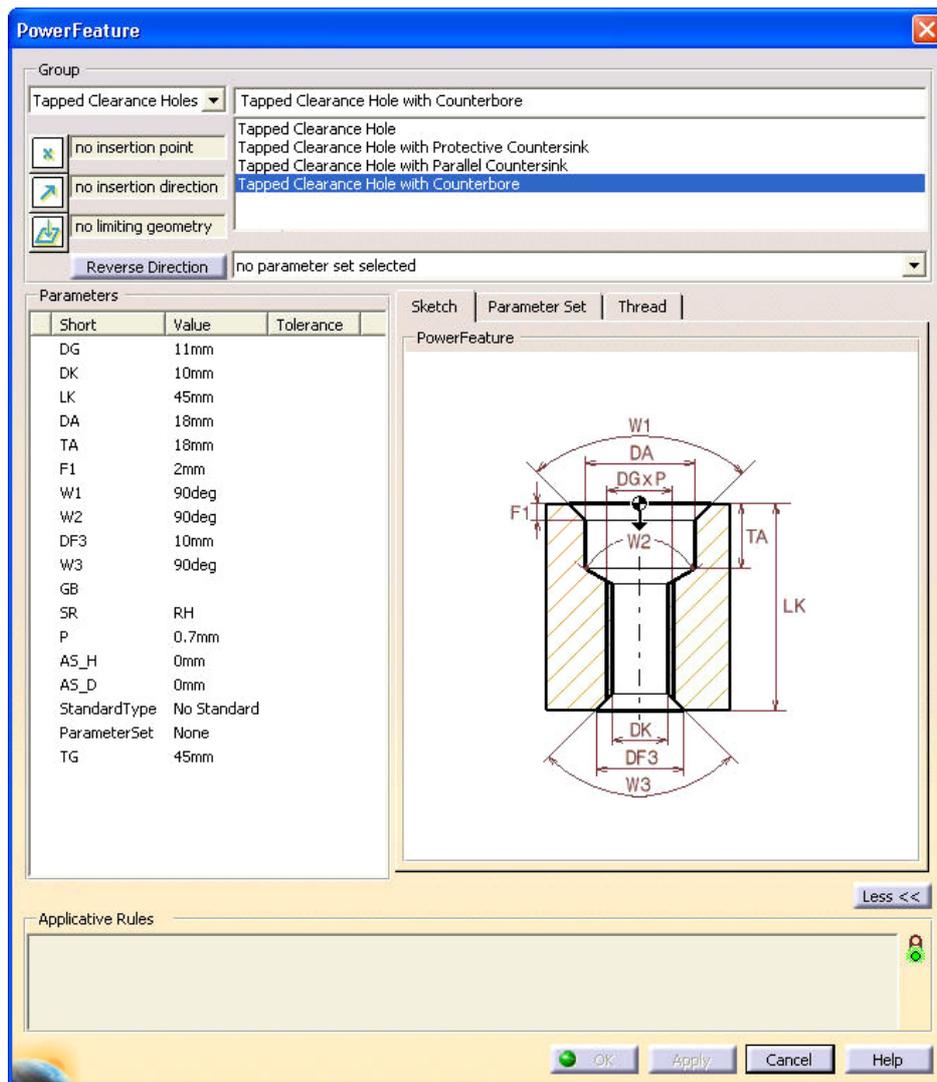


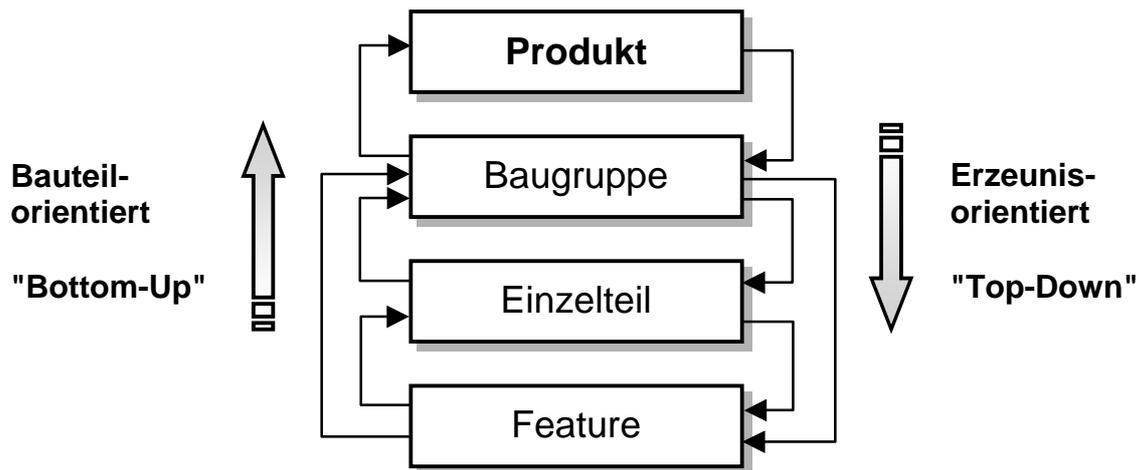
Abbildung 2-21: Beispiel für ein Bohrungsfeature (Quelle: Dassault Systèmes)

Durch die Verknüpfung von parametrischen geometrischen Elementen mit nicht-geometrischen Informationen zeigen sich die Potentiale der Feature-Technologie. Zu den nicht-geometrischen Informationen zählen beispielsweise Toleranzen, Werkstoffkennwerte oder Fertigungsparameter von Maschinen und Werkzeugen. Auf diese Weise lassen sich Informationen, die bereits in verschiedenen Abteilungen (Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Montage) vorhanden sind, bereits in der Konstruktionsphase im Sinne eines firmenspezifischen Erfahrungswissens nutzen, so dass nachgelagerte Prozessschritte vereinfacht werden. Beispielsweise arbeitet man im 3D-CAD-Modell mit vordefinierten Blechbearbeitungsfeatures (mit entsprechenden Kennwerten), welche die Werkzeugmaschine in der Fertigung weiterverarbeiten kann. Die Feature-Technologie bildet somit die Basis einer durchgängigen Prozesskette und verbessert nicht zuletzt die Kommunikation zwischen den einzelnen Abteilungen über den Produktentwicklungsprozess [BeMü99].

Die Feature-Technologie bildet eine wichtige Grundlage für die Entwicklung hin zur *wissensbasierten Konstruktion (Knowledge Based Engineering, KBE)*. Zusätzlich zu der parametrischen, Feature-basierten Modellierung werden hier regelbasierte Methoden angewandt, die das vorhandene Wissen über Produktgestalt, -funktion und -verhalten sowie Herstellbarkeit direkt im CAD-System (z.B. in Form von Software-Assistenten) zur Verfügung stellen. Einerseits lassen sich so wiederkehrende Konstruktionsaufgaben automatisieren, andererseits werden Fehler durch die Einhaltung von Standards vermieden, da kritische Bauteilausführungen durch das hinterlegte Konstruktionswissen ausgeschlossen werden können. Damit lassen sich Produktänderungen schneller durchführen und auch absichern; Fehlerkosten im Konstruktionsprozess werden reduziert. Durch die frühe Verfügbarkeit von Wissen und Regeln im Produktentwicklungsprozess leistet die wissensbasierte Konstruktion somit einen wichtigen Beitrag, um Produktivität und Qualität in der Konstruktion zu steigern.

2.4.4 Aufbau von Produktstrukturen

Moderne 3D-CAD-Systeme sind in der Lage, umfangreiche hierarchische Produktstrukturen abzubilden, die analog zum realen Produkt aus Einzelteilen und Unterbaugruppen aufgebaut sind. In der Regel werden die Datenobjekte für Einzelteile und Baugruppen sowie die daraus abgeleiteten Zeichnungen als eigene Dokumente abgelegt. Während sich Zeichnungen aus 2D-CAD-Systemen noch in Papierform oder in einem einfachen Ablagesystem elektronisch verwalten lassen, verlangen die Datenstrukturen eines 3D-CAD-Systems nach einem Werkzeug, um neben der Geometrie auch die vielfältigen Beziehungen und darüber hinaus die Produktstruktur mit ihrer Historie abzubilden. Dieser Umstand ist mit ein Grund dafür, warum der Einsatz von PDM-Systemen für die Produktentwicklung mit 3D-CAD-Systemen unverzichtbar ist. Im Hinblick auf die komplexen Produktmodelle im Sondermaschinenbau und die daraus resultierenden Anforderungen an PDM-Systeme werden im Folgenden zunächst die grundlegenden Modellierungsstrategien beschrieben, die bei modernden 3D-CAD-Systemen Anwendung finden.



A

Abbildung 2-22: Vorgehensweisen bei der Baugruppenmodellierung (vgl. [AnKr98])

Zur Zeit der zeichnungsorientierten Konstruktion am Zeichenbrett oder mit 2D-CAD-Systemen wurde üblicherweise „Top-Down“ konstruiert. Dies bedeutet, dass auf Produktebene zunächst ein Gesamtentwurf erstellt wurde, der sowohl Einzelteil- als auch Zusammenbauinformationen enthielt. Diese Entwurfszeichnung bildete den Ausgangspunkt für die spätere Detaillierung. Die über Jahre angewandte und etablierte „Top-Down“-Vorgehensweise konnte zunächst nicht mit 3D-CAD-Systemen abgebildet werden. Hier mussten zuerst die Einzelteile modelliert und diese in ein Zusammenbaumodell eingefügt und zueinander positioniert werden. Die Entwurfsphase spielte sich außerhalb des 3D-Modells ab und erfolgte oft nur papierbasiert. Die Anwendung dieser bauteilorientierten „Bottom-Up“-Vorgehensweise im Zuge der Umstellung von 2D- auf 3D-CAD kam einem Paradigmenwechsel in der Konstruktion gleich, was anfangs zu erheblichen Problemen geführt hat. Gerade erfahrene Konstrukteure, die jahrelang am Zeichenbrett oder mit dem elektronischen Pendant 2D-CAD gearbeitet hatten, sahen sich grundlegenden Veränderungen gegenüber.

Mittlerweile hat sich die Situation verbessert, aktuelle CAD-Systeme unterstützen neben der Bottom-Up-Vorgehensweise auch Top-Down-Methodiken durch die Integration von Entwurfskonzepten und Zusammenbauinformationen. Dennoch kann die bauteilorientierte Modellierung (Bottom-Up) dort sinnvoll sein, wo bestimmte Bauteile oder Baugruppen unabhängig von der Erzeugnisstruktur erstellt werden sollen (z.B. bei der Vergabe von Umfängen an externe Dienstleister) oder bei der Wiederverwendung existierender Bauteile und Baugruppen, die in das Modell eines neuen Produktes integriert werden [VaWe06].

Eine Möglichkeit zur Realisierung einer erzeugnisorientierten Top-Down-Vorgehensweise ist die *Skelettmodellierung*. Ein *Skelettmodell* (engl. *Skeleton*) bildet ein Konstruktionsgerüst, in dem Referenzgeometrien definiert werden (im Wesentlichen Punkte, Kanten, Flächen, Achsen oder Ebenen), die über Parameter steuerbar sind. Damit können sich die Referenzelemente an die Anforderungen anpassen, so dass das Skelettmodell ein

Produkttemplete darstellen kann. Durch Verbindung der Anforderungen mit dem Modell über entsprechende Schnittstellen wird ein flexibles Produktmodell erreicht [Boss07].

Die Geometrielemente in einem Skelettmodell erfüllen zwei wesentliche Aufgaben:

- a) Die Positionierung von Bauteilen, indem im Skelettmodell Referenzpunkte und -achsen definiert werden, an denen die Bauteile ausgerichtet werden. Bei einer Verschiebung der Referenzgeometrie wandern auch die Bauteile entsprechend mit. Außerdem lassen sich Bauraumbeschränkungen oder Hüllen von Einzelteilen und Baugruppen als Strukturierungshilfe in einem Skelettmodell abbilden.
- b) Die Steuerung von Einzelteilgeometrien, indem die im Skelettmodell definierte Geometrie im Einzelteil referenziert wird und somit die Teilegeometrie zentral im Gesamtkontext der Baugruppe modifiziert werden kann. Im Falle einer durchgängigen erzeugnisorientierten Modellierung legt das Skelettmodell durch die Referenzgeometrie das Gerüst für die spätere Einzelteilgeometrie fest, so dass alle parametrischen Abhängigkeiten darauf aufbauen. Dies sorgt für einen klaren Referenzfluss im CAD-Modell, jedoch fassen Konstrukteure diese Vorgehensweise unter Umständen als Einschränkung ihrer Modellierungsfreiheit auf [VaWe06]. Das folgende Beispiel einer Kurbelwelle basiert auf einem einfachen Skelettmodell aus Ebenen und Achsen, mit denen sich die Geometrie im Bezug auf die Lagerabstände, die Exzentrizität und den Winkelversatz einstellen lässt.

Ein weiterer Anwendungsfall für die Skelettmethodik ist die Abbildung von Schnittstellen zwischen benachbarten Einzelteilen einer Baugruppe. Das Skelettmodell enthält dabei die relevante Schnittstellengeometrie. Im nachfolgenden Anwendungsbeispiel (Abbildung 2-24) aktualisieren sich die dargestellten Durchmesser und das Bohrbild von Grundplatte und Aufnahme bei Änderungen im Skelettmodell. Erstellt man für jede Schnittstelle in der Baugruppe ein entsprechendes Skelettmodell, erreicht man auf diese Weise konsistente Schnittstellen, wobei keine direkten Abhängigkeiten zwischen den Einzelteilen bestehen [GKS04].

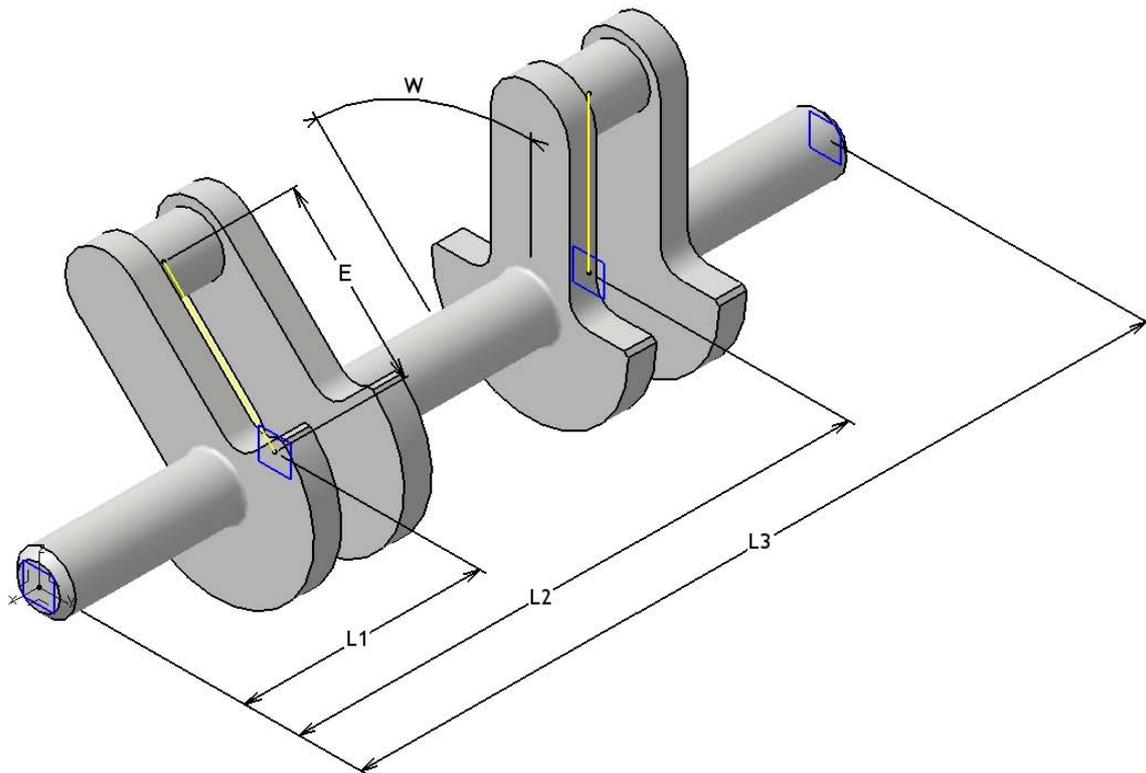


Abbildung 2-23: 3D-CAD-Modell einer Kurbelwelle als Beispiel für ein einfaches Skelettmodell

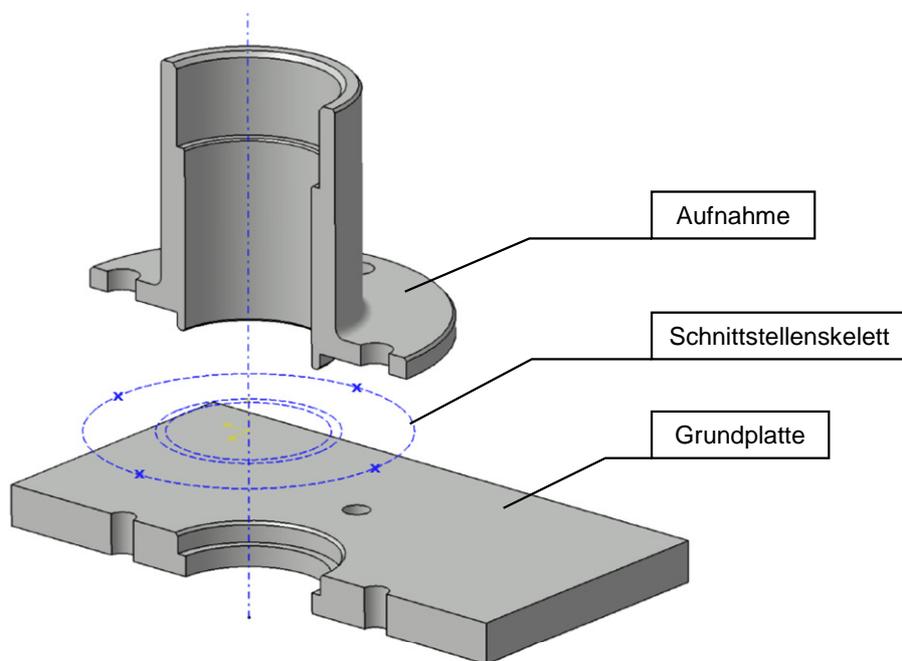


Abbildung 2-24: Anwendung der Skelettmodellierung zur Definition von Schnittstellen

Um auch bei komplexeren Baugruppenstrukturen die Handhabbarkeit sicherzustellen ist es erforderlich, die einzelnen Skelettmodelle hierarchisch zu gliedern [BäHa01]. Wie Abbildung 2-25 zeigt, wird auf oberster Ebene ein Zusammenbau-Skelettmodell (Assembly Skeleton) eingeführt, das die Referenzgeometrie und globale Parameter für die untergeordneten Baugruppen und Einzelteile enthält. Diese Informationen werden in die untergeordneten Skelettmodelle assoziativ kopiert („Import-Links“, siehe Abbildung 2-26). Ein Unterbaugruppen-Skelettmodell (Subassembly Skeleton) enthält demnach globale Informationen des Zusammenbau-Skelettmodells und – falls erforderlich – weitere Referenzgeometrien und lokale Parameter, die wiederum Skelettmodellen der gleichen oder einer niedrigeren Hierarchieebene zur Verfügung gestellt werden. Dabei sollten sich zusätzlich erzeugte Referenzgeometrien möglichst auf importierte Referenzen beziehen, denn diese Vorgehensweise generiert eine konsistente und übersichtliche Datenstruktur. Durch eine Verlinkung der Skelettmodelle wird eine einfache Änderbarkeit gewährleistet, da sich untergeordnete Modelle automatisch aktualisieren. Die unterste Ebene in der Hierarchie der Skelettmodelle stellt das Einzelteil-Skelettmodell (Part Skeleton) dar. Es erhält Referenzen und Parameter aus höheren Hierarchieebenen, gibt jedoch selbst keine Informationen weiter.

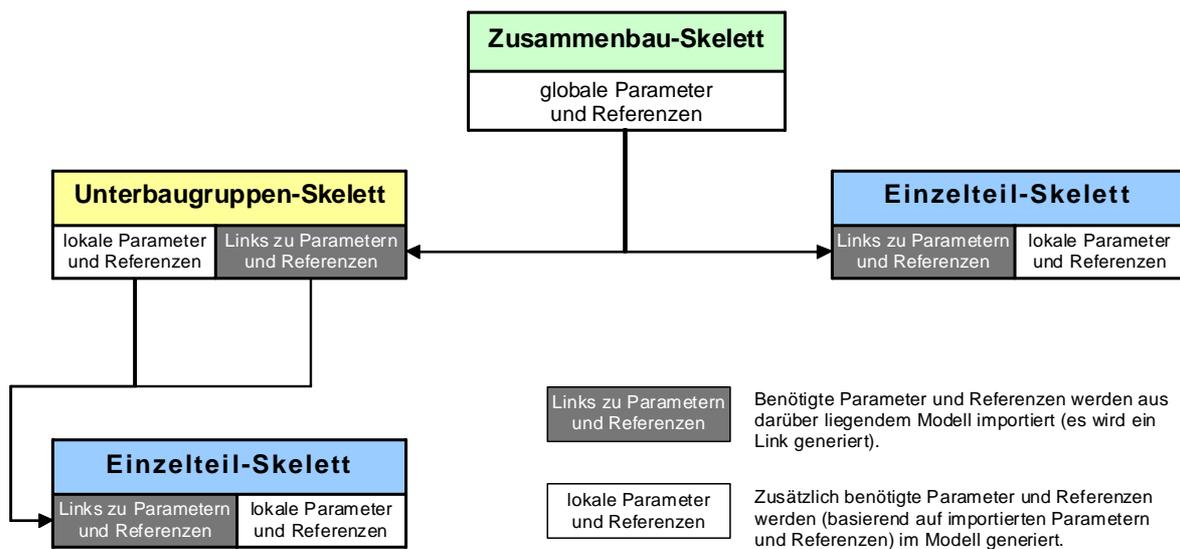


Abbildung 2-25: Strukturierung von Skelettmodellen (vgl. [BäHa01])

2.4.5 Link-Management

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erläutert, bestehen Produktmodelle moderner 3D-CAD-Systeme aus einzelnen Dokumenten für Baugruppen, Einzelteilen und Zeichnungen. Zwischen diesen Dokumenten können verschiedene Verknüpfungen - sogenannte *Links* - bestehen. Je nach der angewandten Modellierungsmethodik und der Komplexität der

Produktstruktur variiert der Grad der Vernetzung zwischen den Dokumenten. Abbildung 2-26 zeigt eine Auswahl der Linktypen aus dem 3D-CAD-System CATIA V5 (Dassault Systèmes). Als Beispiel sei an dieser Stelle die Verbaugung eines Einzelteils in einer Baugruppe genannt, durch die zwischen beiden Dokumenten ein „Exemplar-Link“ besteht. Die Baugruppe selbst enthält dabei keine Geometrie, sondern lediglich die Referenz auf das Einzelteildokument über den Exemplar-Link.

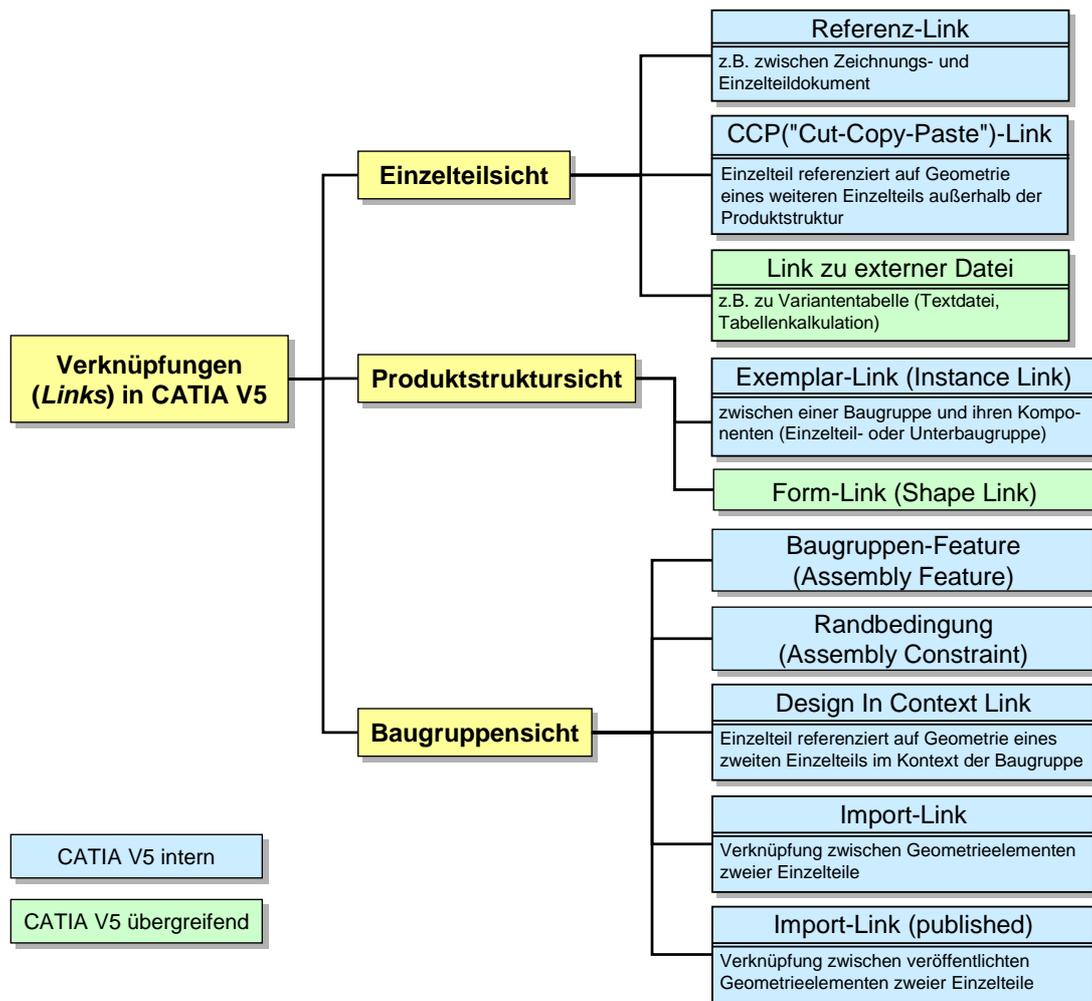


Abbildung 2-26: Klassifizierung von Verknüpfungen in dem CAD-System CATIA V5 (vgl. [Vraa03])

Durch direkte Verlinkung zwischen Einzelteilen ergeben sich für den Konstrukteur neue Möglichkeiten im Rahmen der bauteilübergreifenden Modellierung. Im Formenbau beispielsweise lässt sich über „Import-Links“ eine Assoziativität zwischen Form- und Bauteilgeometrie herstellen, so dass bei einer Änderung des Bauteils die Form automatisch angepasst wird. Um die Vorteile einer direkten Verlinkung von Bauteilen nutzen zu können, ist eine sinnvolle Definition der teileübergreifenden Abhängigkeiten notwendig. Ähnlich der parametrischen Modellierung kann es ohne eine entsprechende Methodik zu unüberschaubaren Anhängigkeitsnetzen kommen, die bei Änderungen zu Aufbaufehlern führen, so

dass das CAD-Modell mit erheblichem Aufwand repariert werden muss. Auch zusammenbauorientierte Entwicklungsmethodiken (Top-Down), wie z.B. die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Skelettmodellierung, führen zu einer teileübergreifenden Verlinkung. Neben einem methodischen Vorgehen ergeben sich in diesem Zusammenhang auch Anforderungen an das PDM-System, um das Link-Management prozesssicher zu unterstützen und die bestehenden Abhängigkeiten dem Anwender transparent darzustellen. Dabei reicht es nicht aus, im PDM-System nur die Information abzulegen, ob ein Link zu einem anderen Dokument besteht, sondern beispielsweise auch, um welchen Typ von Link es sich handelt. Die Funktionalität von CAD-Systemen im Bereich der Top-Down-Methodiken und die daraus resultierenden komplexen bauteilübergreifenden Beziehungen können von den immer noch eher bauteilorientierten PDM-Systemen bisher nur unzureichend verwaltet werden. Eine Herausforderung stellt hier der Austausch von Einzelteilen in einer Baugruppe und die Aktualisierung aller damit verbundenen Abhängigkeiten durch das PDM-System dar. An dieser Stelle hat auch das verwendete Datenformat einen großen Einfluss, denn die nativen CAD-Datenformate und -strukturen lassen sich in der Regel nicht über standardisierte, herstellerunabhängige Mechanismen auswerten. Am Beispiel von CATIA V5 werden in [Thei06] PDM-Systeme nach ihrer Fähigkeit, Links aus dem CAD-System zu verarbeiten, in vier Kategorien eingeteilt:

- **Kategorie 1: „Full Link Support“**

Das PDM-System löst alle Verknüpfungen, Strukturinformationen und Transformationen aus dem CAD-Baugruppendokument („CATProduct“) auf. Damit wird das CAD-Baugruppendokument selbst nicht im PDM-System gespeichert und beim Check-out erneut generiert. Eine solch tiefe Integration lässt sich nur realisieren, wenn die benötigten Informationen aus dem nativen CAD-Format direkt zugänglich sind. Da heutzutage die Hersteller diese Informationen z.B. aus Gründen des Know-How-Schutzes nicht allgemein offenlegen, müssten hierfür CAD- und PDM-System vom selben Anbieter kommen.

- **Kategorie 2: „Dynamic Assembly Structure“**

Hier werden CAD-Baugruppendokumente im PDM-System abgelegt und zusätzlich die Baugruppenstruktur und die Transformationen, jedoch keine anderen Links. Die Verbauung von Komponenten (Exemplar-Links) wird mit der im PDM-System vorhandenen Baugruppenstruktur bidirektional synchronisiert (ebenso die Transformationen). Die Baugruppenstruktur im PDM-System ist führend, so dass beim Check-out das CAD-Baugruppendokument aktualisiert wird und z.B. Bauteilversionen ausgetauscht werden, wodurch Verknüpfungen beschädigt werden können („Broken Links“).

- **Kategorie 3: „Static Assembly Structure“**

Bei dieser Kategorie hält das PDM-System zwar die Baugruppenstruktur, allerdings keine Transformationen oder Links. Die CAD-Baugruppendokumente sind im PDM-System gespeichert und stellen ein statisches Abbild der Baugruppenstruktur dar, d.h. sie werden beim Check-out nicht verändert und verschiedene Versionen führen zu separaten Baugruppendokumenten. Die Verbauung von Komponenten wird mit der im PDM-System vorhandenen Baugruppenstruktur bidirektional synchronisiert, nicht jedoch die Transformationen.

- **Kategorie 4: „Isolated Geometry“**

Im PDM-System werden keinerlei Links oder Strukturinformationen, sondern lediglich isolierte CAD-Modelle abgelegt, die ein Abbild der Geometrie einer vollständigen CAD-Baugruppenstruktur darstellen. Diese isolierten CAD-Modelle weisen keine Links zu anderen CAD-Dokumenten auf. Die Quelldateien können zusätzlich in einem Archivformat (z.B. ZIP) als eine Art „Container“ im PDM-System abgelegt werden.

Aktuelle PDM-Systeme lassen sich den Kategorien 2 oder 3 zuordnen, wobei abzuwarten bleibt, in wie weit sich CAD- und PDM-Anbieter annähern, so dass sich die Links im PDM-System abbilden lassen und ein „Full Links Support“ wie in Kategorie 1 beschrieben möglich wird. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bedeutung von PDM-Systemen wächst, je weiter sich der Funktionsumfang von CAD-Systemen und die Definition von Abhängigkeiten zwischen Produktdaten entwickeln. Abbildung 2-27 zeigt die Entwicklungsstufen von Konstruktionssystemen im Bezug auf die Zusammenbauorientierung und den Entwicklungsbedarf bei PDM-Systemen.

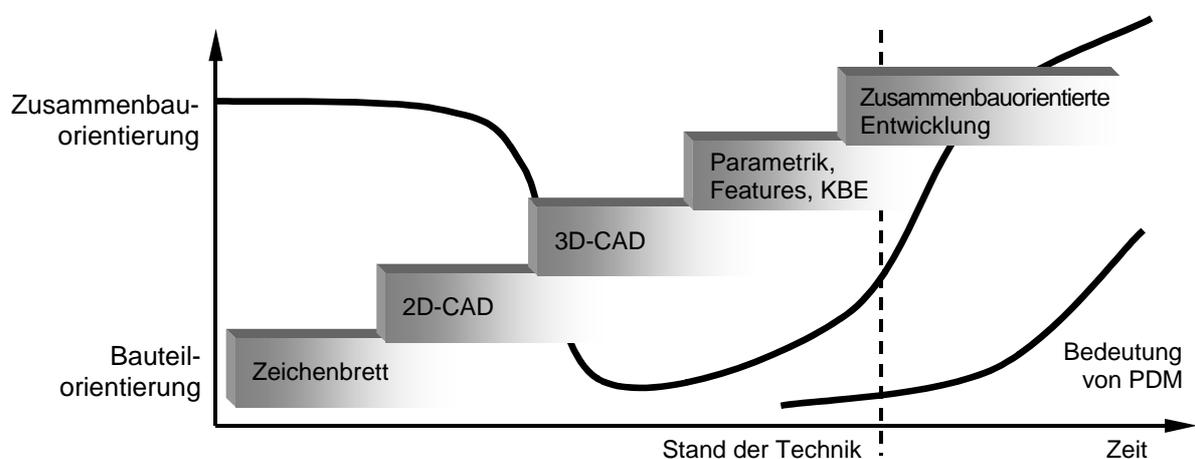


Abbildung 2-27: Paradigmenwechsel bei Konstruktionssystemen (vgl. [BDWV04])

2.4.6 Schnittstellen zum Produktdatenmanagement

Damit Produktdatenmanagement-Systeme überhaupt die von Erzeugersystemen erstellten Produktdaten verarbeiten können, muss eine Verbindung zwischen dem PDM-System und der externen Applikation wie z.B. dem CAD-System hergestellt werden. Dabei kommt eine Schnittstellensoftware zum Einsatz, die auf Basis einer *API (Application Programming Interface)* auf die Applikation zugreift und einen Datenaustausch ermöglicht. Man spricht in diesem Zusammenhang von *Integration* oder *Kopplung*, je nachdem, wie tief die Einbindung in die Applikation ausgeprägt ist [EiSt01].

Die einfachste Form der Anbindung stellt das *Launching* dar. Die Funktionalität ist recht eingeschränkt und besteht darin, vom PDM-System aus ein abgelegtes Dokument auszuchecken, das zugehörige Erzeugersystem zu starten und das Dokument dort zu laden. Die Vorteile für den Anwender liegen darin, dass die leistungsfähige Dokumentrecherche des PDM-Systems genutzt werden kann und die zugehörige Applikation automatisch geöffnet wird.

Bei einer *Kopplung* besteht durch die Nutzung der API des Erzeugersystems die Möglichkeit, die erzeugten Daten durch das PDM-System auszuwerten und auch zu verändern. Für CAD-Systeme heißt das konkret, dass z.B. Baugruppenstrukturen für das Ableiten einer Stückliste ausgelesen oder Metadaten aus dem PDM-System wie die Dokumentennummer oder der aktuelle Bearbeiter in das Schriftfeld der Zeichnung geschrieben werden können. Das Rückspeichern von Daten direkt aus dem Erzeugersystem heraus wird erst mit einer Kopplung möglich. Die Funktionen zum Laden und Speichern stehen als Menübefehle im CAD-System zur Verfügung.

Eine *Integration* erweitert die bei der Kopplung angebotenen Funktionen um die weitergehende Einbindung von Informationen aus dem PDM-System, wie beispielsweise die Anzeige des Strukturbrowsers innerhalb des CAD-Systems. Außerdem kann das PDM-System direkt auf Ereignisse des Erzeugersystems reagieren. Tritt z.B. ein Fehler auf, weil das CAD-System versucht, auf eine Datei zuzugreifen, die lokal nicht vorhanden ist, kann die Integration eine entsprechende Fehlerbehandlung durchführen und die Datei automatisch aus dem PDM-System auschecken. Somit stellt die Integration die höchste Form der PDM-Nutzung innerhalb des Erzeugersystems dar.

Die folgende Abbildung stellt nochmals die drei Formen der Verbindung zwischen Erzeugersystem und PDM-System dar. Die Verwendung der Begriffe *Integration* und *Kopplung* ist in der Praxis nicht eindeutig. Dies hängt sowohl mit den Anforderungen an die Anbindung der Systeme als auch mit den technischen Möglichkeiten der Erzeugersysteme selbst zusammen. Auf eine besondere Unterscheidung von *Kopplung* und *Integration* wird daher in dieser Arbeit verzichtet.

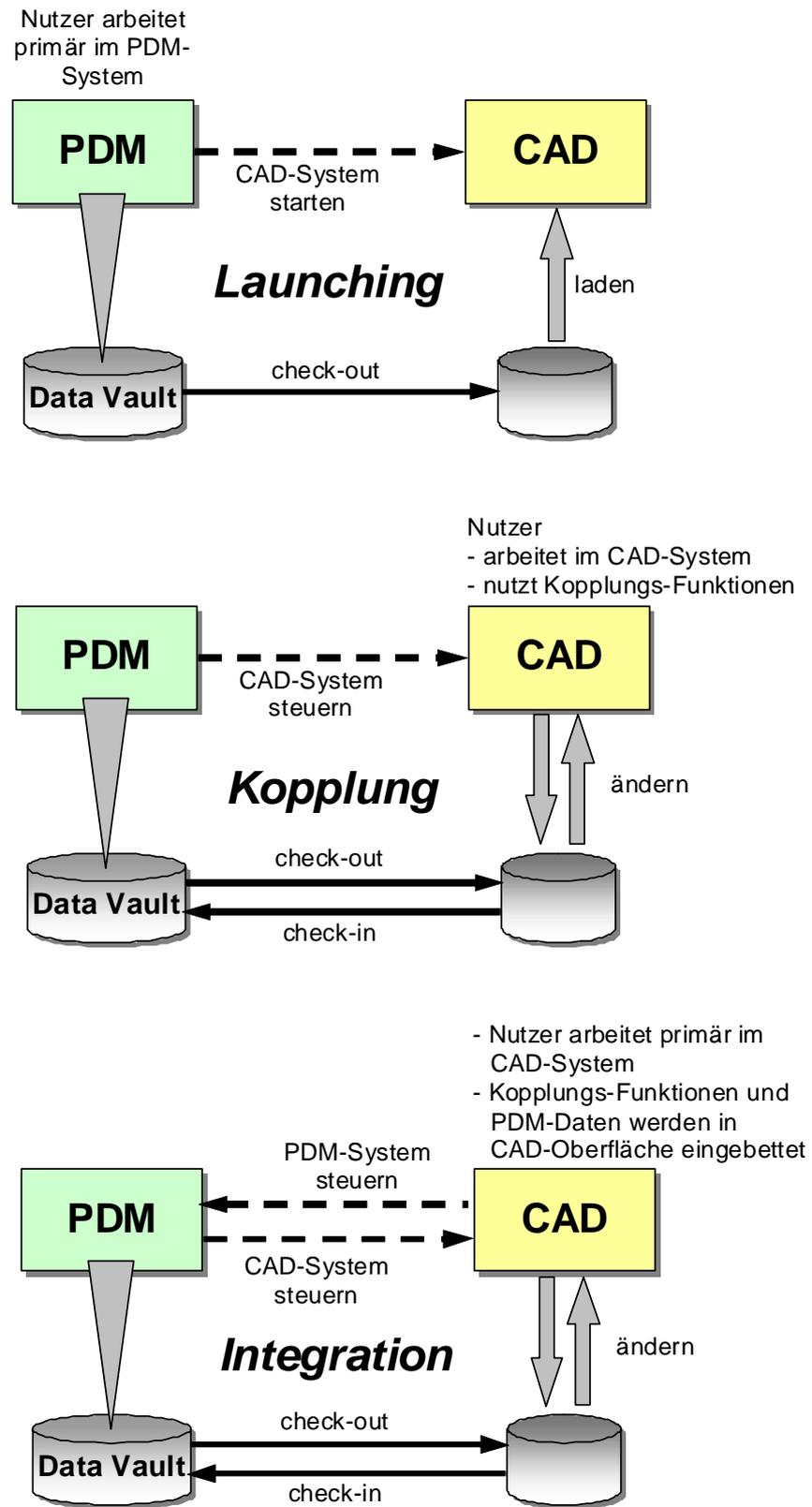


Abbildung 2-28: Möglichkeiten der Verbindung von Erzeugersystem und PDM-System (vgl. [EiSt01])

3 Analyse der Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie

3.1 Branchenspezifische Randbedingungen

Bevor näher auf den Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie und dessen Charakteristika eingegangen wird, sollen zunächst kurz die wesentlichen Merkmale des automobilen Produktionsprozesses erläutert werden. Die Automobilindustrie entwickelt und fertigt komplexe Produkte (z.B. PKW oder LKW), die in großer Stückzahl hergestellt werden. Obwohl es sich um Serienprodukte mit definierten Ausstattungsvarianten handelt, hat doch die Anzahl dieser Varianten in den letzten Jahren stark zugenommen. Die Forderung der Kunden nach individuellen Fahrzeugen („Mass customization“) führt nicht zuletzt zu komplexeren Prozessen in Entwicklung und Fertigung. Betrachtet man die wirtschaftlichen Aspekte, so bilden angesichts der hohen Stückzahlen die Produktionskosten den größten Anteil an den Gesamtkosten über den Produktlebenszyklus. Verglichen mit den Produktionskosten je Fahrzeug wirken sich die durchaus hohen Entwicklungskosten bei Umlage auf das einzelne Fahrzeug eher gering aus. Demzufolge wurden kostensenkende oder qualitätsverbessernde Maßnahmen in der Automobilindustrie häufig im Bereich der Produktion initiiert, z.B. durch die Einführung von Fließbändern oder durch den Einsatz von Industrierobotern.

Vergleicht man diese Situation mit der des Maschinen- und Anlagenbaus, so findet man auch hier Produkte, die in einer Basisausführung und mit einer bestimmten Anzahl von Zusatzoptionen angeboten werden. Als Beispiel sei der Fahrwerk-Einstellstand genannt, bei dem in der Basisausführung die Spureinstellung manuell durch den Werker durchgeführt wird. Hierbei regelt der Werker den betreffenden Parameter der Fahrwerkgeometrie (z.B. die Einzelspurwerte der Vorderachse) anhand einer Anzeige. Optional kann der Einstellvorgang halbautomatisch oder vollautomatisch erfolgen. Bei halbautomatischer Einstellung muss der Werker ein Einstellwerkzeug adaptieren, das dann den Spur- bzw. Sturzwinkel verändert. Bei vollautomatischer Einstellung wird zusätzlich das Einstellwerkzeug mit Hilfe eines Roboters adaptiert. Ein weiteres optionales Ausstattungsmerkmal wäre in diesem Beispiel das automatische Ein- und Ausfordern des Fahrzeugs anstelle des manuellen Befahrens des Fahrwerk-Einstellstandes durch den Werker. Der Kunde kann also in einem bestimmten Umfang das Produkt gemäß seinen Anforderungen auswählen und konfigurieren, d.h. es zeigt sich eine gewisse Ähnlichkeit zur Automobilbranche. Jedoch gibt es im Maschinen- und Anlagenbau zwei signifikante Unterschiede:

- Es handelt sich nicht um Massenprodukte und Konsumgüter für den Endverbraucher, sondern um Investitionsgüter, d.h. verglichen mit der Automobilindustrie wird in wesentlich kleineren Stückzahlen gefertigt. Daraus folgt, dass die Kosten für die Produktentwicklung einen viel größeren Anteil an den Gesamtkosten darstellen. Im Maschinen- und Anlagenbau wirken sich demzufolge Optimierungs- und Rationalisierungsmaßnahmen in der Produktentwicklung stärker auf die Gesamtkosten aus als im Automobilbau [Schl03].
- Selbst wenn wie in dem o.g. Beispiel des Fahrwerk-Einstellstandes von definierten Produktvarianten gesprochen wurde, so muss das Endprodukt doch zu einem bestimmten Teil kundenspezifisch angepasst werden. Durch sogenanntes *Applikations-Engineering* werden die Hauptabmaße gemäß den Kundenvorgaben festgelegt und z.B. Anpassungen an das vorhandene Produktionssteuerungs-System des Kunden oder an bauliche Gegebenheiten vorgenommen.

Einen Schritt weiter als der Maschinen- und Anlagenbau geht der *Sondermaschinenbau*. Hier geht es darum, Lösungskonzepte für eine spezielle, technologisch anspruchsvolle Aufgabenstellung zu finden und eine Maschine bzw. Anlage nach vorgegebenen Kundenanforderungen neu zu entwickeln [Schl03]. In der Regel spricht man von Sondermaschinen, wenn der Anwendungsfall nicht oder nur in geringem Maße durch Standardprodukte abgedeckt werden kann. Daraus ergibt sich, dass die Zahl der identisch produzierten Einheiten sehr klein ist und sogar eine Losgröße 1 erreicht wird. Eine klare Grenze zwischen Sondermaschinenbau und allgemeinem Maschinen- und Anlagenbau lässt sich nicht ziehen, der Übergang ist fließend. Als ein mögliches Unterscheidungskriterium lässt sich der Individualitätsgrad der Produkte heranziehen, so dass sich die folgende Einordnung des Maschinen- und Anlagenbaus sowie des Sondermaschinenbaus ergibt (Abbildung 3-1).

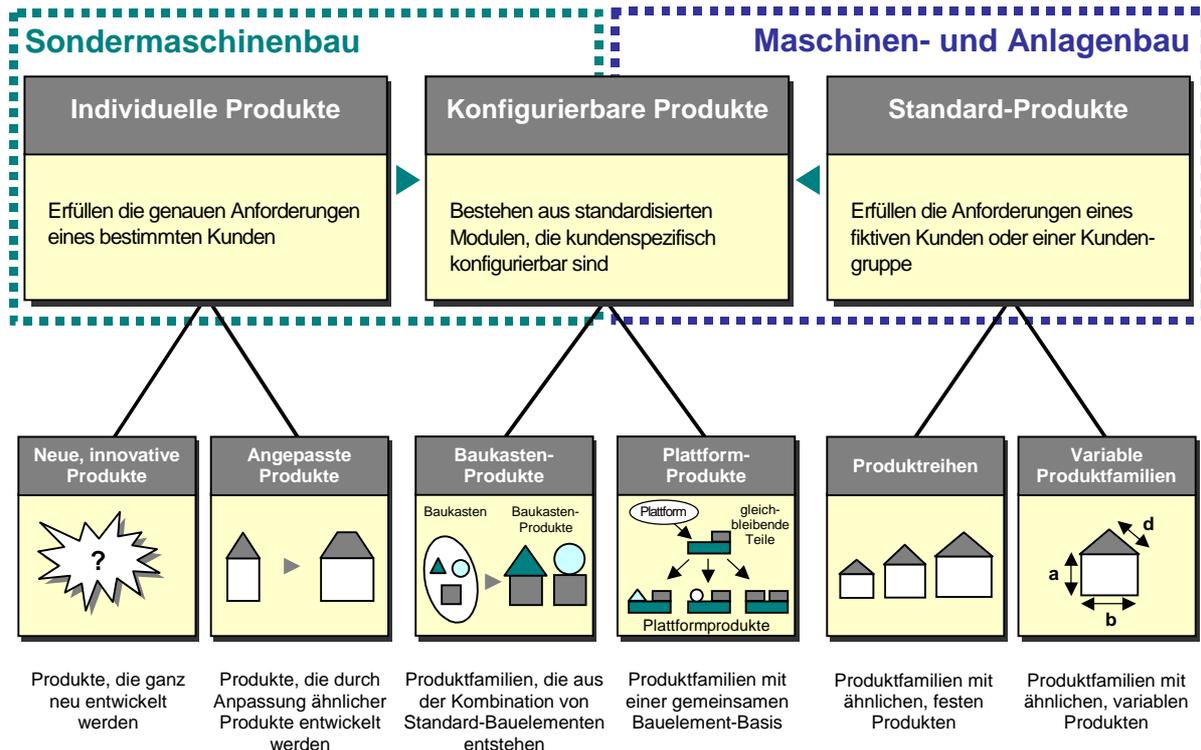


Abbildung 3-1: Klassifizierung materieller Industrieprodukte nach dem Individualitätsgrad und Zuordnung des Maschinen- und Anlagenbaus bzw. des Sondermaschinenbaus (vgl. [Abra05])

3.2 Definition eines Referenzobjektes

Der Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie umfasst die breite Produktpalette der *Betriebsmittel* entlang des automobilen Produktionsprozesses. Im Automobilbau erfolgt ein Großteil der Wertschöpfung durch das Zusammenfügen von Komponenten und Baugruppen. Zum einen handelt es sich um Schweiß- und Klebeverbindungen im Bereich des Karosseriebaus, zum anderen um Montageverbindungen in der Vor- und Endmontage. Die in der Vormontage gefügten Baugruppen wie z.B. Antriebsaggregat, Lenkung, Frontend oder Cockpit werden im Rahmen der Endmontage zusammengefügt. Einer der wichtigsten Fertigungsschritte der Endmontage ist die *Aggregatmontage*⁹ (oder auch „Hochzeit“ genannt). Die Hauptinhalte sind hierbei das Fügen (hier: Verschrauben) von Fahrwerk und Antriebsstrang mit der Karosserie, wobei die Montage weiterer Fahrzeugbauteile und -baugruppen wie z.B. Abgasanlage oder Kraftstoffbehälter in diesen Schritt integriert wird. Je nach Kundenanforderungen kommen unterschiedliche Fügeverfahren zum Einsatz, am

⁹ Der Begriff "Aggregatmontage" bezeichnet im Rahmen dieser Arbeit nicht die Vormontage der Komponenten eines Antriebsaggregats (wie Kurbelgehäuse, Getriebe etc.), sondern beinhaltet die Montage des fertigen Antriebsaggregats in das Fahrzeug.

häufigsten treten Schraub- und Clipsverbindungen auf. Die folgende Abbildung zeigt die Einordnung der Aggregatmontage in den automobilen Produktionsprozess mit den relevanten Fahrzeugbaugruppen.

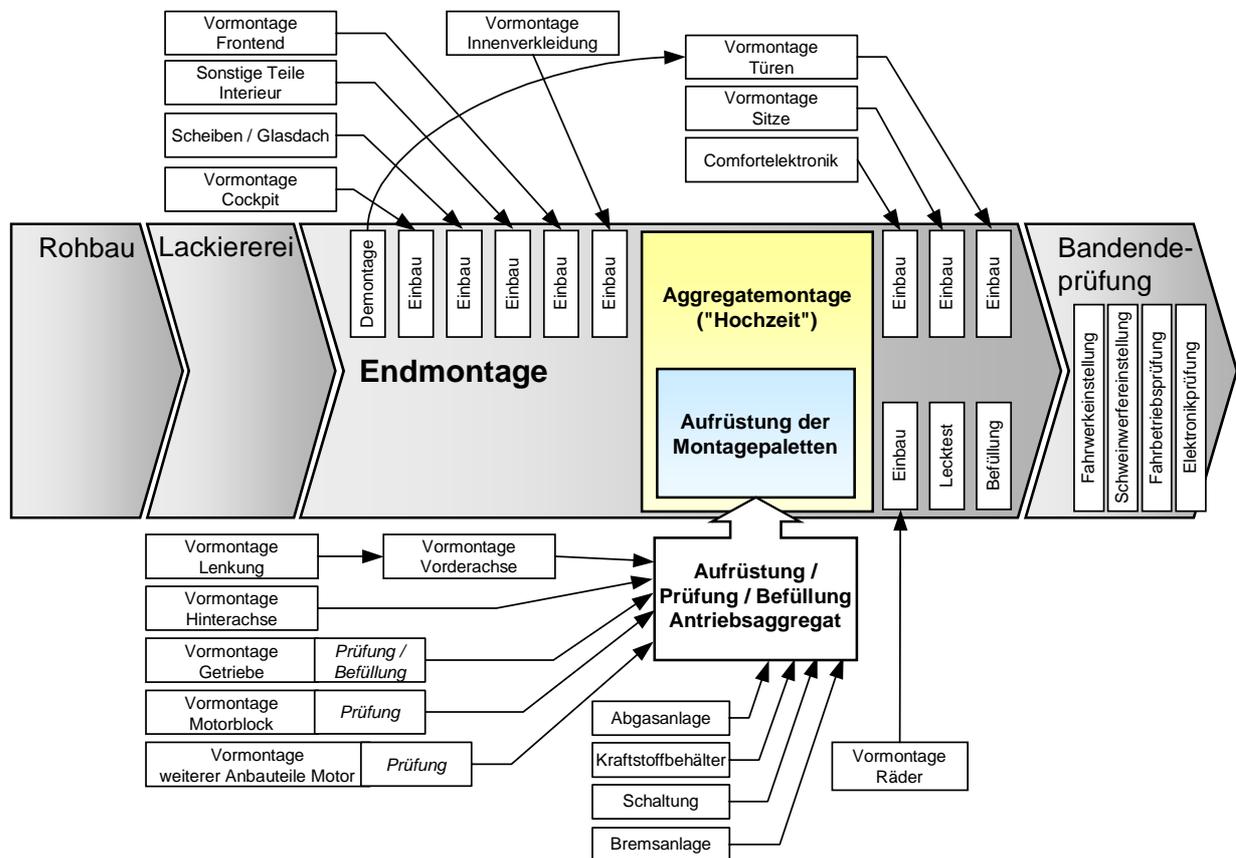


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des Produktionsprozesses in der Automobilindustrie

Abbildung 3-2 stellt nicht nur die zentrale Position der Aggregatmontage innerhalb der Endmontage heraus, sondern zeigt auch deren Komplexität, denn es müssen eine Vielzahl von Komponenten und vormontierten Baugruppen koordiniert bereitgestellt, positioniert und gefügt werden. Die Erfahrung zeigt, dass es nicht die Aggregatmontage gibt, sondern eine Aggregatmontage, die den jeweiligen Randbedingungen gerecht wird. Jeder Automobilhersteller hat seine eigenen Anforderungen und Vorstellungen, nach denen das Montagesystem für ein bestimmtes Fahrzeug entwickelt, konstruiert und umgesetzt werden soll. Der Sondermaschinenbauer muss spezifische Anforderungen und Schnittstellen berücksichtigen und umsetzen, angefangen von der eingesetzten Steuerungssoftware über den bevorzugten Hersteller für Norm- und Kaufteile (z.B. Pneumatik-, Hydraulik- oder Elektronikelemente) bis hin zu Konstruktionsrichtlinien für Betriebsmittel, die ihm vom Kunden vorgegeben werden.

Darüber hinaus beginnt die Entwicklung eines solchen Montagesystems bereits, wenn die Entwicklung der zu fügenden Fahrzeugteile und -baugruppen noch lange nicht abgeschlossen ist. Die Herausforderung besteht also auch darin, nicht nur die Produktdaten der Anlage konsistent zu halten, sondern auch die neuen Bauteilversionen vom Automobilhersteller in den laufenden Konstruktionsprozess einzubringen und nachvollziehbar zu verwalten. Damit bietet sich die Aggregatmontage als Referenzobjekt an, um daran die charakteristischen Anforderungen für ein effizientes Produktdatenmanagement im Sondermaschinenbau zu formulieren, welche dann die Grundlage für das in Kapitel 5 entwickelte Konzept bilden.

3.2.1 Funktionale Anlagenbeschreibung

Das Referenzobjekt der Aggregatmontage wurde im vorangegangenen Abschnitt als komplexes Produkt im automobilen Anlagenbau charakterisiert. Es handelt sich um ein mechatrisches System, das sich aus integrierten mechanischen, sensorischen, aktorischen, informations- und leistungselektronischen Teilsystemen zusammensetzt [Schi02b]. Durch die Vernetzung der in der Vergangenheit isoliert betrachteten Domänen Mechanik, Elektronik und Informations-/ Systemtechnik (Steuerungssoftware) ist es eine Herausforderung, die einzelnen Teilsysteme und -komponenten bereits in den frühen Phasen als Gesamtsystem zu konzipieren und funktional abzusichern.

Zur informationstechnischen Abbildung der Anlage kommen innerhalb des Produktlebenszyklus unterschiedliche Modelle zum Einsatz, die eine Abstraktion der realen Produktstruktur bzw. des realen Verhaltens der Anlage darstellen. In den meisten Fällen berücksichtigen diese Modelle nur bestimmte Aspekte der Anlage, da es sich um domänenspezifische und voneinander isolierte Partialmodelle handelt, wie z.B. 3D-Geometriemodell (M-CAD), elektrotechnisches Modell (E-CAD) oder Anlagensteuerungssoftware (CASE¹⁰). Um die Anlage domänenunabhängig beschreiben zu können, bietet sich die Einführung einer *Funktionsstruktur* an. In dieser Struktur werden ausgehend von der Gesamtsystemebene die Hauptfunktionen der Anlage hierarchisch in Teilfunktionen gegliedert. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Funktionsstruktur für die Aggregatmontage ausgehend von der Funktionsebene des Teilsystems „Werkstückträger“, wobei sich die dargestellten Funktionen nach unten noch weiter aufgliedern lassen:

¹⁰ CASE: Computer Aided Software Engineering

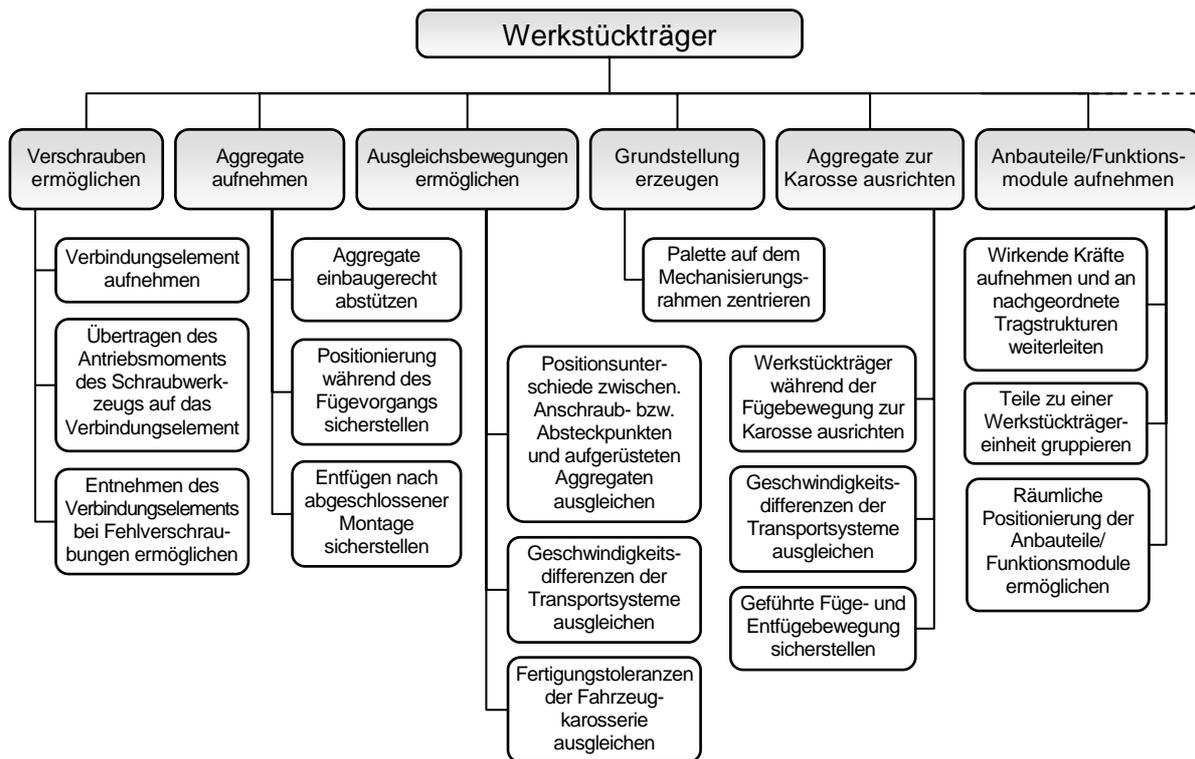


Abbildung 3-3: Funktionsstruktur des Werkstückträgers (vgl. [Heid04])

Die aus der Spezifikation stammenden Anforderungen, die selbst eine hierarchische Struktur bilden (*Anforderungsstruktur*) werden im nächsten Schritt den einzelnen Funktionen zugeordnet. Die Funktionsstruktur bildet somit eine gemeinsame Referenzstruktur, welche die Anforderungen an das Produkt mit den Datenmodellen aus allen Entwicklungsdomänen verknüpft (Abbildung 3-4). Sie hat die Aufgabe, die Korrelation zwischen den domänenspezifischen Anlagenmodellen sicherzustellen und beispielsweise die Auswirkung von Anforderungsänderungen über Domänengrenzen hinweg transparent zu machen [EiZa09, Schi08]. Die Funktionsstruktur dient nicht nur als Grundlage für die Produktentwicklung, sondern kann in weiteren Phasen der Produktherstellung verwendet werden (z.B. zur Rückverfolgung von Testergebnissen oder um den Erfüllungsgrad von Anforderungen zu überprüfen). Ziel der aktuellen Forschung ist es, die domänenspezifischen Partialmodelle über die Funktionsstruktur zu verbinden und so ein mechatronisches Anlagenmodell (*Funktionsmodell*) abzuleiten, auf dessen Basis sich eine virtuelle Inbetriebnahme der Anlage realisieren lässt [EiZa09].

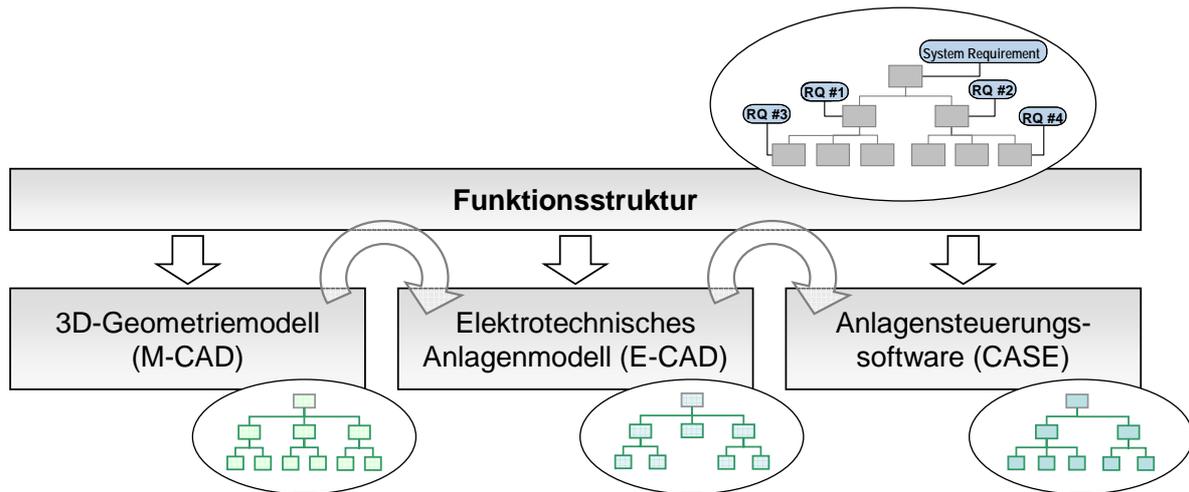


Abbildung 3-4: Zusammenhang zwischen Funktionsstruktur und domänenspezifischen Modellen [EiZa09]

Durch die nach wie vor große Bedeutung von mechanischen Komponenten bei der Aggregatmontage liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in der Analyse der Produktentwicklung für mechanische Komponenten und den damit verbundenen Problemstellungen im Produktdatenmanagement. Die Systemelemente für die Aggregatmontage sowie deren Aufgaben und Eigenschaften werden nachfolgend vorgestellt.

3.2.2 Beschreibung der Systemelemente

Das Gesamtsystem Aggregatmontage besteht aus den folgenden Hauptelementen:

- Werkstückträger
- Transportsystem
- Schraubeinheiten
- Positioniervorrichtung

Der Werkstückträger hat die Aufgabe, die zu fügenden Komponenten formschlüssig aufzunehmen. Er muss so gestaltet sein, dass ein einfaches Einlegen und Montieren der Komponenten ermöglicht wird. Dabei handelt es sich u.a. um die Vorder- und Hinterachse (z.T. vormontiert), das komplette Antriebsaggregat, den Kraftstoffbehälter, die Bremsanlage, die Abgasanlage und die Wärmeschutzbleche. Der Werkstückträger besteht aus den Hauptmodulen Vorder- und Hinterachspalette sowie dem Mechanisierungsrahmen (Tragrahmen), der beide Paletten aufnimmt und schwimmend in einem definierten Toleranzbereich lagert. Die Vorderachspalette dient der Lagerung der Aggregate des vorderen Fahrzeugbereichs, die Hinterachspalette nimmt entsprechend Fahrzeug-

komponenten des Heckbereichs auf. In bestimmten Fällen kommt eine zusätzliche Mittelpalette zum Einsatz, z.B. wenn die Einbauposition des Kraftstoffbehälters dies erfordert. Heutzutage besteht oft die Anforderung, mehrere Fahrzeugmodelle in einer Produktionslinie zu fertigen. Deshalb muss bei unterschiedlichen Radständen die Hinterachspalette über Verstellrichtungen verfügen, um den Achsabstand entsprechend variieren zu können. Außerdem müssen die Bauteilaufnahmen flexibel gestaltet sein (schwenkbar oder klappbar), um die Komponenten unterschiedlicher Fahrzeugvarianten aufnehmen zu können. Bei einem hohen Aufrüstgrad¹¹ der Paletten bewirkt diese Flexibilität aber auch, dass sich die Anzahl potentieller Störkonturen zwischen den Bauteilen erhöht. nach Bauform und Montagekonzept (Fügen im Fließbetrieb oder im Taktbetrieb) unterscheiden sich die Werkstückträger (und auch die weiteren Systemelemente) grundlegend, wie die in Abbildung 3-5 dargestellten Beispiele aus Projekten des Referenzunternehmens zeigen.

Das Transportsystem fördert den Werkstückträger durch die Aufrüststrecke, anschließend in die Anlage ein und nach Abschluss des Fügeprozesses wieder aus. Es muss also das Gewicht des Werkstückträgers sowie das der Fahrzeugkomponenten tragen (und ggf. das Gewicht der Karosserie, wenn diese beim Fügen aus dem Gehänge ausgehoben wird). Zum Einsatz kommen hier z.B. *Hubwagen- und Schubplattformsysteme*, die fremdgetrieben (in einem Ovalband) kontinuierlich umlaufen, sowie aktuell sogenannte *Fahrerlose Transportsysteme (FTS)* mit eigenem Fahrtrieb. Letztere arbeiten mit einer induktiven Fahrwegsteuerung und können daher sehr flexibel und taktzeitoptimiert eingesetzt werden. Zu dem Transportsystem gehören auch Hubeinheiten, die für die vertikale Zustellbewegung während des Fügeprozesses sorgen.

¹¹ Der Aufrüstgrad gibt an, wie viele (verschiedenartige) Fahrzeugkomponenten von den Werkstückträgerpaletten aufgenommen werden müssen. Je höher der Aufrüstgrad, desto enger sind die Bauraumverhältnisse auf den Paletten. Weiterhin nimmt mit steigendem Aufrüstgrad die Zahl der Schraub- und Aufnahmepunkte zu.

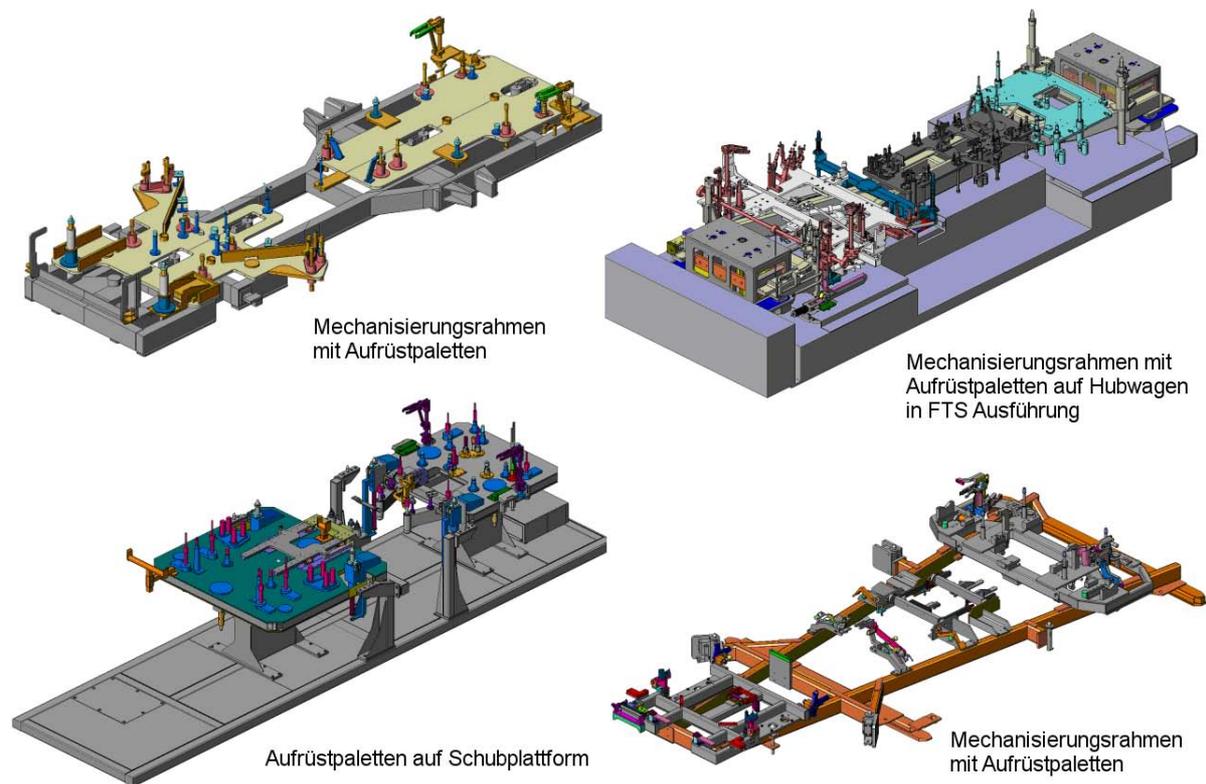


Abbildung 3-5: Beispiele für Werkstückträgerausführungen (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)

Die Schraubeinheit dient dazu, nach vorgegebenen Parametern automatisch eine Schraubenverbindung herzustellen und das Schraubergebnis informationstechnisch zu dokumentieren. Die Schraubeinheit muss eventuelle Lagetoleranzen der Schraubpunkte ausgleichen können. Zur formschlüssigen Aufnahme der Schraube werden Schraubnüsse von Normteileherstellern verwendet, die Verschleißteile darstellen und nach einer bestimmten Anzahl von Schraubvorgängen ausgetauscht werden müssen. Die Nuss sitzt auf der Schraubspindel, die sowohl elektrisch als auch pneumatisch angetrieben werden kann. Über die Schrauberanordnungseinheit wird die Schraubeinheit zur Karosserie bzw. zu den Fahrzeugkomponenten vorpositioniert.

Um alle Fahrzeugkomponenten der Aggregatmontage erfolgreich fügen zu können, müssen vorher Werkstückträger und Karosserie in eine definierte Position zueinander gebracht werden, vor allem wenn das Fügen im Fließbetrieb erfolgen soll. Dies wird über eine am Mechanisierungsrahmen befestigte Positioniervorrichtung erreicht, die z.B. als federnd gelagerter Absteckstift ausgeführt wird und in die dafür vorgesehene Bohrungen im Längsträger an der Unterseite der Karosserie passt.

3.2.3 Prozessbeschreibung

Zur Realisierung der Aggregatmontage gibt es zwei typische Montagekonzepte, das Fügen im *Fließbetrieb* oder im *Taktbetrieb*. Je nach gewähltem Konzept unterscheiden sich auch die Montagesysteme und die Anforderungen daran.

Das *Fügen im Fließbetrieb* zeichnet sich durch einen kontinuierlichen Montageablauf aus. Ein stetig umlaufendes Transportsystem fördert den Werkstückträger zunächst durch eine Aufrüststrecke und anschließend in den Montagebereich. Während des Fügevorgangs ist die Synchronisation von Werkstückträger- und Karosserietransportsystem entscheidend. Die Montagetechnik (z.B. Schraubeinheiten) befindet sich nicht in einer fest angeordneten Station, sondern auf getrennten Schlitten, die sich parallel zum Werkstückträger bewegen lassen. Nach Abschluss des Fügevorgangs wird der leere Werkstückträger erneut in den Aufrüstbereich gefördert.

Das *Fügen im Taktbetrieb* ist dadurch gekennzeichnet, dass die Montageinhalte in mehrere Einzelschritte aufgeteilt werden. Dazu durchläuft der Werkstückträger zunächst eine Aufrüststrecke mit mehreren Vormontagestationen. Der aufgerüstete Werkstückträger wird dann am Ende der Vormontagelinie über Querförderstrecken in die Endmontagelinie eingeschleust, wo die einzelnen Montageaufgaben an unterschiedlichen Arbeitsstationen schrittweise ausgeführt werden. Nach Abschluss des Fügevorgangs wird der Werkstückträger entkoppelt, aus der Endmontagelinie ausgeschleust und wieder in die Aufrüststrecke zurückgeführt.

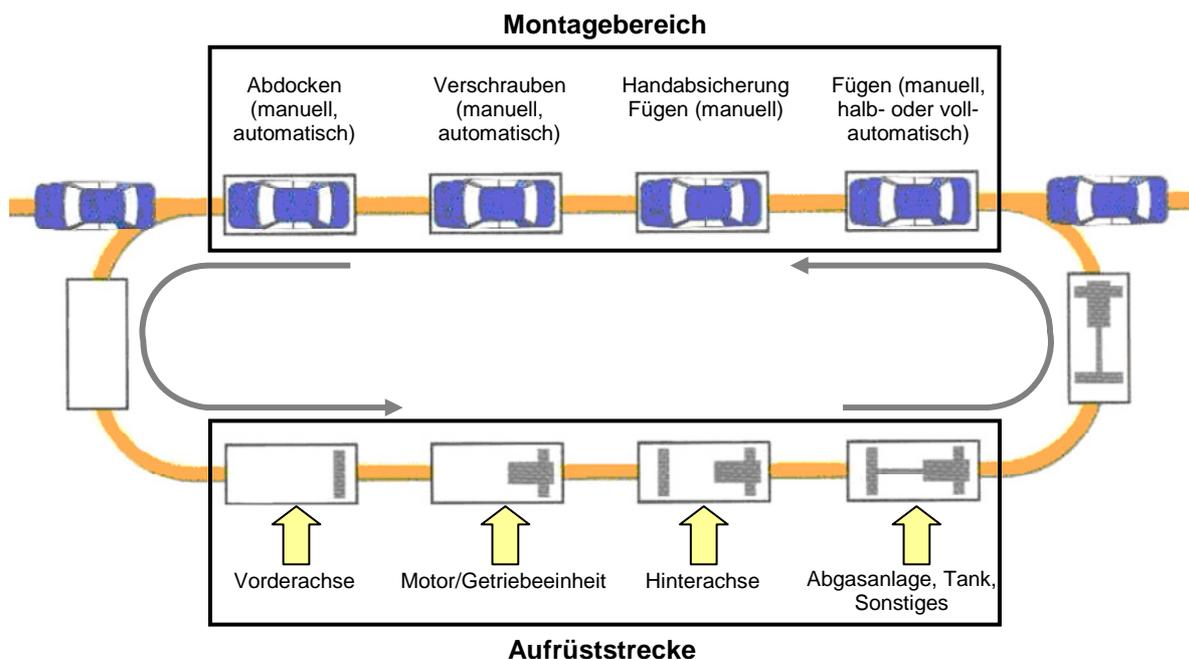


Abbildung 3-6: Montageprozess im Fließbetrieb [Heid04]

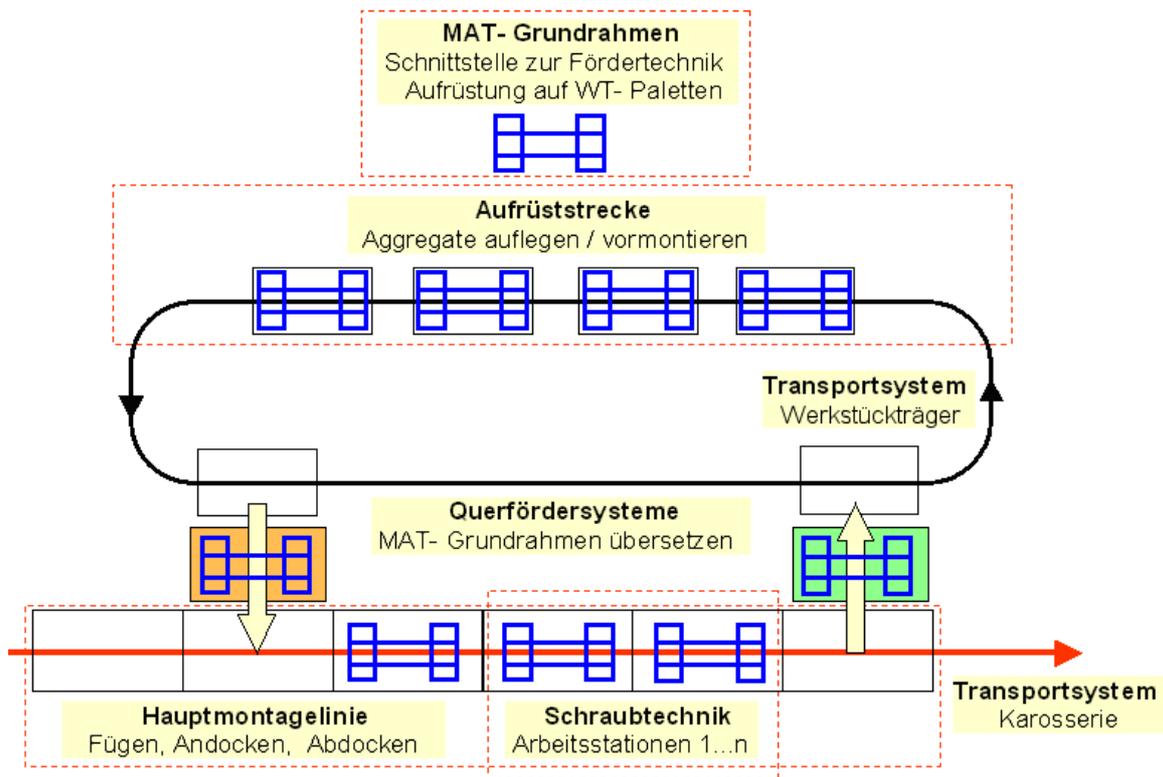


Abbildung 3-7: Montageprozess im Taktbetrieb [Heid04]

3.3 Auftragsabwicklung im Sondermaschinenbau

Die Auftragsabwicklung stellt einen der Kernprozesse im Unternehmen dar. Sie umfasst alle Tätigkeiten, die zur Bearbeitung einer Kundenanfrage und dem sich in der Folge eventuell ergebenden Auftrags erforderlich sind [Bär77]. Es lässt sich zwischen *kaufmännischer* und *technischer Auftragsbearbeitung* unterscheiden. Die kaufmännische Auftragsabwicklung beinhaltet die Bereiche Kalkulation, Einkauf und Finanzbuchhaltung und wird im Verlauf dieser Arbeit nicht näher betrachtet. Die technische Auftragsabwicklung umfasst alle Bereiche, die „ausgehend von der Erteilung des Konstruktionsauftrages bis zur Fertigmontage an der Herstellung eines Erzeugnisses beteiligt sind“ [Ever96]. Darüber hinaus werden häufig auch der Vertrieb bzw. die Projektierung und der Versand des fertigen Produktes zur technischen Auftragsabwicklung gezählt [Müll92]. Abbildung 3-8 zeigt die Einordnung der technischen Auftragsabwicklung im Kontext des Unternehmens.

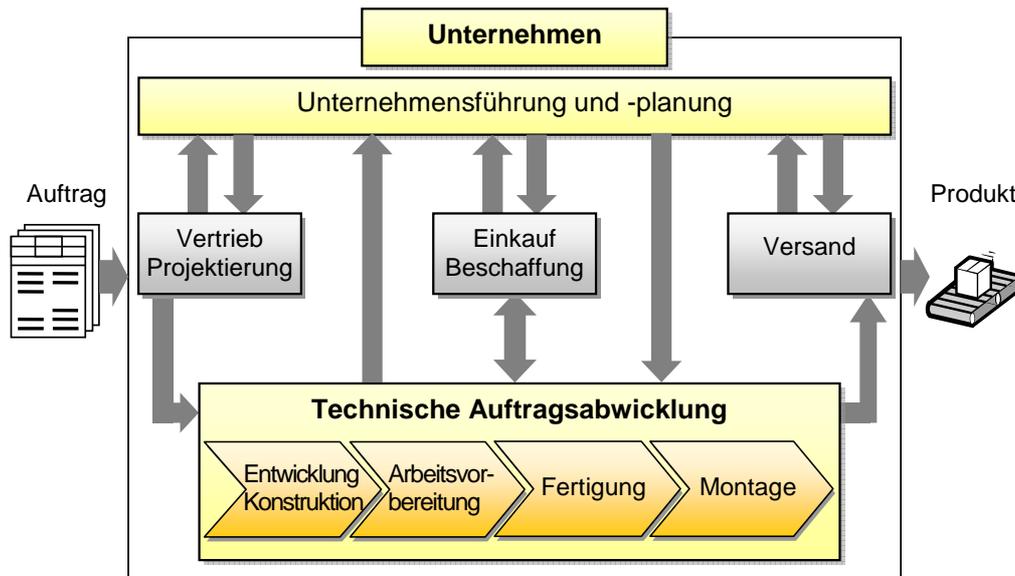


Abbildung 3-8: Einordnung der technischen Auftragsabwicklung nach [Ever96]

Produzierende Unternehmen weisen unterschiedliche Strategien bei der Auftragsabwicklung auf. Je nachdem, welche Einflussfaktoren die Unternehmensabläufe bestimmen, finden sich andere Ausprägungen für die Auftragsabwicklung. Typische Einflussfaktoren sind das zu fertigende Produkt, die Produktionsstruktur oder die Marktanforderungen. Von wesentlicher Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der *Kundenentkopplungspunkt*, der bestimmt, wie weit der Kundeneinfluss in die Prozesse der Produktentwicklung und -herstellung hineinreicht. Es lässt sich leicht nachvollziehen, dass je nach den herrschenden Randbedingungen in den Unternehmen eine große Anzahl möglicher Ausprägungen für die Auftragsabwicklung zu finden ist, zum Teil mit gravierenden Unterschieden. Als Hilfsmittel zur Einordnung kann das im Folgenden dargestellte morphologische Schema dienen, mit dem sich produzierende Unternehmen hinsichtlich ihrer Auftragsabwicklung typisieren lassen [Ever96]. Damit werden Gruppen von Unternehmen gebildet, die sich im Bezug auf ihre Auftragsabwicklung in den Merkmalsausprägungen gleichen, was nicht zwangsläufig bedeutet, dass auch die Produktkategorie oder die Branche übereinstimmen müssen. Die Grundlage zur typologischen Einordnung bilden die sogenannten *Strukturgrößen*, deren Bewertung dann einen bestimmten Unternehmenstyp kennzeichnet. Wie aus Tabelle 3-1 ersichtlich, bilden sich an den Grenzen des Merkmalspektrums zwei Extremformen aus, die *programmgebundenen* und die *auftragsorientierten Unternehmen*.

Strukturgrößen		Auftragsorientiert produzierendes Unternehmen				
1	Auftragsauslösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	kundenanonyme Vor-/kundenauftragsbezogene Endproduktion	Produktion auf Lager	
2	Erzeugnispektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikationen	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten	
3	Erzeugnisstruktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur		mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur		geringteilige Erzeugnisse
4	Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs	bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene	teilw. erwartungs-/teilw. bedarfsorientiert auf Kompon.ebene	erwartungsorientiert auf Komponentenebene	Erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene	verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene
5	Auslösung des Sekundärbedarfs	Auftragsorientiert		teilw. auftragsorientiert teilw. periodenorientiert	periodenorientiert	
6	Beschaffungsart	weitgehender Fremdbezug		Fremdbezug in größerem Umfang	Fremdbezug unbedeutend	
7	Bevorratung	keine Bevorratung von Bedarfspositionen	Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen	Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen	Bevorratung von Erzeugnissen	
8	Produktionsart	Einmalproduktion	Einzel- und Kleinserienproduktion	Serienproduktion	Massenproduktion	
9	Ablaufart in der Fertigung	Werkstattfertigung	Inselfertigung	Reihenfertigung	Fließfertigung	
10	Ablaufart in der Montage	Standplatzmontage	Gruppenmontage	Reihenmontage	Fließmontage	
11	Produktionsstruktur	Produktion mit großer Tiefe		Produktion mit mittlerer Tiefe	Produktion mit geringer Tiefe	
12	Kundenänderungseinfluss während der Fertigung	Änderungseinflüsse in größerem Umfang		Änderungseinflüsse gelegentlich	Änderungseinflüsse unbedeutend	

Auftragsorientiertes Unternehmen
Programmgebundenes Unternehmen

Tabelle 3-1: Merkmalschema zur ablauforganisatorischen Kennzeichnung von Unternehmenstypen nach [Ever96]

Bei einem *programmgebundenen Unternehmen* erfolgt die Fertigung kundenanonym auf Lager. Das Produktionsprogramm wird unanhängig vom Kunden auf Basis von Absatzprognosen und Marktanforderungen festgelegt mit dem Ziel, eine hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung zu erreichen. Der Erzeugnis- oder Komponentenbedarf wird verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene ermittelt, die Auslösung des Sekundärbedarfs erfolgt periodenorientiert. Da kein direkter Kundeneinfluss vorliegt, müssen in der Regel auch keine kurzfristigen und unvorhergesehenen Änderungen bei der Produktionsplanung und -steuerung beachtet werden. Bei diesem Unternehmenstyp stellt die Produktentwicklung keinen Bestandteil der Auftragsabwicklung dar, da sie bereits im Vorfeld abgeschlossen ist.

Ganz anders zeigt sich die Situation bei einem *auftragsorientierten Unternehmen*, das stark kundenorientiert arbeitet, d.h. Produktentwicklung und Fertigung erfolgen erst nach Eingang eines konkreten Kundenauftrags. Da oftmals Einzelstücke produziert werden, kommt es hier

nicht zu einer Bevorratung von Bedarfspositionen. Die wesentlichen Unternehmensziele sind die Einhaltung der mit dem Kunden vereinbarten Liefertermine und die Verkürzung der Durchlaufzeiten. Daher gilt es, eine übergeordnete Planung und Steuerung der an der Auftragsabwicklung beteiligten Prozesse zu realisieren, die sowohl die Produktentwicklung als auch die Produktherstellung koordiniert. Charakteristisch für diesen Unternehmenstyp ist die Tatsache, dass Auftragseingänge kurzfristig und in variabler Anzahl erfolgen können. Außerdem müssen die mitunter zahlreichen Änderungswünsche des Kunden jederzeit berücksichtigt werden, auch wenn sich das Produkt bereits in der Fertigung befindet. Eine Herausforderung ist es daher, trotz komplexer Produktionsprozesse eine aktuelle Auftragsverfolgung zu gewährleisten.

Die beiden beschriebenen Extremformen kommen in dieser Art wohl kaum in der Praxis vor, stattdessen finden sich in vielen Unternehmen Mischformen mit kundenneutralen und kundenspezifischen Anteilen an der Auftragsabwicklung. Bei einem breiten Produktspektrum kann der Kundenentkopplungspunkt sogar in Abhängigkeit der Produkte innerhalb eines Unternehmens variieren. Bei der Einordnung des Sondermaschinenbaus in das beschriebene morphologische Schema zeigt sich eine große Ähnlichkeit mit dem auftragsorientierten Unternehmenstyp. Die Unternehmen des Sondermaschinenbaus arbeiten in erster Linie auftragsorientiert, d.h. die Produktentwicklung ist Teil der Auftragsabwicklung. Gegenstand des Sondermaschinenbaus ist es, Erzeugnisse nach Kundenspezifikation herzustellen und damit eine Lösung für eine konkrete Aufgabenstellung zu entwickeln. Produkte des Sondermaschinenbaus stellen spezialisierte, mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur dar, in der Regel werden Einzelstücke oder auch Kleinserien produziert. Durch den weitreichenden Kundeneinfluss sind nicht nur während der Produktentwicklung, sondern auch während der Fertigung und selbst noch in der Montage Änderungen in größerer Zahl zu erwarten, die entsprechend koordiniert und eingesteuert werden müssen. Im Hinblick auf die Produktion werden Bauteile in größerem Umfang fremdbeschafft.

Die Situation im Referenzunternehmen sieht so aus, dass nahezu alle Fertigungsteile bei umliegenden Unternehmen oder durch den zunehmenden Kostendruck auch im Ausland beschafft werden. Die firmeninterne Fertigungsabteilung dient weitestgehend der Herstellung von Musterteilen oder der Durchführung von kurzfristigen Änderungen. Die Fremdvergabe beinhaltet nicht nur die Fertigung einzelner Bauteile, sondern auch die Fertigung und Vormontage von Baugruppen und Modulen. Die Montage bis zur vollständigen Anlage erfolgt im Unternehmen. Die Strukturgröße der Produktionsstruktur ist demnach im Referenzunternehmen als Produktion mit mittlerer Tiefe zu bewerten. Die folgende Tabelle stellt die typologischen Merkmale von Sondermaschinenbauern, Zulieferern und Automobilherstellern gegenüber.

Strukturgrößen		Sondermaschinenbauer	Zulieferer	Automobilhersteller
1	Auftragsauslösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion; Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion
2	Erzeugnispektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikationen	Standarderzeugnisse mit Varianten; typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten; Erzeugnisse nach Kundenspezifikationen	Standarderzeugnisse mit Varianten ¹²
3	Erzeugnisstruktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur
4	Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs	bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene	teilw. erwartungs-/ teilw. bedarfsorientiert auf Komponentenebene; bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene	bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene
5	Auslösung des Sekundärbedarfs	auftragsorientiert	auftragsorientiert; teilw. periodenorientiert	teilw. auftragsorientiert; teilw. periodenorientiert
6	Beschaffungsart	Fremdbezug in größerem Umfang	Fremdbezug in größerem Umfang	Fremdbezug in größerem Umfang
7	Bevorratung	Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen	Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen	keine Bevorratung von Bedarfspositionen
8	Produktionsart	Einmalproduktion; Einzel- und Kleinserienproduktion	Serienproduktion	Massenproduktion
9	Ablaufart in der Fertigung	Werkstattfertigung; Inselfertigung	Inselfertigung	Fließfertigung
10	Ablaufart in der Montage	Standplatzmontage; Gruppenmontage	Reihenmontage; Gruppenmontage; Fließmontage	Fließmontage; Gruppenmontage
11	Produktionsstruktur	Produktion mit mittlerer Tiefe; Produktion mit großer Tiefe	Produktion mit großer Tiefe	Produktion mit mittlerer Tiefe
12	Kundenänderungseinfluss während der Fertigung	Änderungseinflüsse in größerem Umfang	Änderungseinflüsse in größerem Umfang	Änderungseinflüsse unbedeutend

Tabelle 3-2: Gegenüberstellung der typologischen Merkmale von Sondermaschinenbauern, Zulieferern und Automobilherstellern

¹² Die zunehmende Kundenorientierung im Automobilbau ("Mass Customization") führt dazu, dass eine sehr hohe Variantenanzahl entsteht. Dennoch handelt es sich nicht um kundenspezifische Varianten, sondern um Standarderzeugnisse mit Varianten, wenn auch die Konfigurationsmöglichkeiten nahezu individuelle Fahrzeuge möglich machen.

3.4 Produktentwicklungsprozess

Die Produktentwicklung ist ein zentraler Bestandteil im Produktentstehungsprozess (siehe Abbildung 2-4). Als Grundlage für die Formulierung von Anforderungen für das Produktdatenmanagement im Sondermaschinenbau analysiert und beschreibt der Autor den Produktentwicklungsprozess so, wie er sich im Referenzunternehmen darstellt.

Wie im vorhergehenden Abschnitt dargestellt, kann die Arbeitsweise im Sondermaschinenbau als auftragsorientiert bezeichnet werden, d.h. der Kunde bestellt ein Produkt nicht aus einer Auswahl von angebotenen Typen oder Varianten, sondern stellt eine Anfrage für eine individuelle Lösung nach seinen konkreten Anforderungen. Ausgehend von der Kundenanfrage initiiert die „Projektierungsabteilung“ (bzw. der Vertrieb) zunächst ein Vorprojekt mit dem Ziel, auf Basis des Lastenhefts ein verbindliches Angebot zu erstellen. Dazu bedarf es oft bereits der Unterstützung durch die Konstruktionsabteilung¹³, wenn es beispielsweise darum geht, die technische Machbarkeit der geforderten Lösung anhand von bereitgestellten 3D-CAD-Daten des Fahrzeugs abzusichern. Zu diesem frühen Stadium ist die Fahrzeugentwicklung noch lange nicht abgeschlossen, so dass die Fahrzeugdaten noch mit Unsicherheiten behaftet sind und im Laufe des Produktentwicklungsprozesses des Betriebsmittels (hier: Montageanlage) immer wieder neue Bauteilstände zu berücksichtigen sind.

Im Gegensatz zu Serienprodukten, bei denen der Vertrieb in der Regel erst nach der Produktentwicklung einsetzt, finden im Sondermaschinenbau Vertrieb und Projektierung vor Beginn der Produktentwicklung und in enger Abstimmung mit der Konstruktionsabteilung statt. Dies ist deshalb so wichtig, damit bereits im Vorfeld eines Projektes¹⁴ alle technischen Gesichtspunkte möglichst genau erfasst und eventuelle Risiken frühzeitig aufgezeigt werden können. Ein entsprechendes Schema stellt Weber in [VWBZ07] vor, welches abweichend von der ursprünglichen Darstellung in der VDI-Richtlinie 2221 [VDI2221] den Vertrieb an zwei verschiedenen Stellen im Lebenslauf eines technischen Produktes positioniert. Während die Position nach der Produktherstellung (b) eher auf Serienprodukte (mit anonymen Kunden) zutrifft, spiegelt die Position (a) die in dieser Arbeit beschriebene Situation im Sondermaschinenbau wider.

¹³ Im Referenzunternehmen findet die Produktentwicklung für eine Sondermaschine überwiegend in den Abteilungen "Konstruktion Mechanik" bzw. "Konstruktion Elektrik" statt, wobei der Fokus dieser Arbeit auf der Analyse der mechanischen Seite liegt. In der Prozessbeschreibung wird daher verallgemeinert von "Konstruktionsabteilung" gesprochen.

¹⁴ "Projekt" meint im Referenzunternehmen ein Auftragsprojekt, d.h. die Abwicklung eines Kundenauftrags.

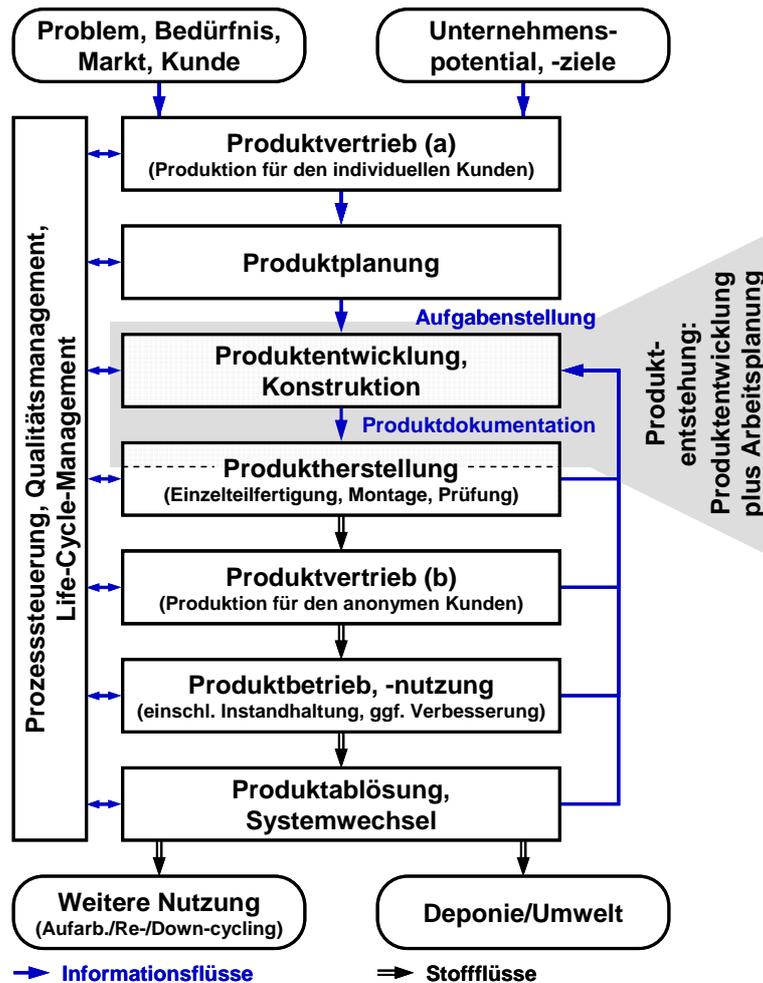


Abbildung 3-9: Lebensphasen technischer Produkte [VWBZ07] (in Anlehnung an [VDI2221])

Nach der Auftragserteilung beginnt der eigentliche Produktentwicklungsprozess mit dem sogenannten „Kick-Off“, bei dem die projektverantwortlichen Mitarbeiter aus Konstruktion, Einkauf, Fertigung und Montage zusammen kommen, um gemeinsam mit der Projektierungsabteilung die Aufgabenstellung im Detail abzustimmen und eventuelle offene technische Fragen zu klären. Danach beginnen die Aktivitäten der Konstruktionsabteilung mit dem Festlegen der übergeordneten Produktstruktur und dem Erstellen eines ersten Entwurfs. Als Folge der auftragsorientierten Arbeitsweise im Sondermaschinenbau ergibt sich ein hoher Anteil an Neukonstruktionen, denn kaum eine Montageanlage gleicht der nächsten. Wenn möglich, wird auf bekannte Lösungsprinzipien einer ähnlichen, bereits bestehenden Anlage zurückgegriffen. Die Wiederverwendung von bestehenden Baugruppen und Bauteilen bzw. deren Weiterverwendung in Anpassungskonstruktionen fällt im Referenzunternehmen dennoch gering aus, da zur Suche keine Klassifizierung angewandt wird und das Auffinden von Einzelteilen oder Baugruppen direkt vom Wissen der am Projekt beteiligten Konstrukteure abhängt. Eine Modularisierung im Sinne von firmeninternen Standardbaugruppen ist angestrebt und konzeptionell umgesetzt [Heid04], wird jedoch noch

nicht konsequent in Projekten angewandt. Die Ursache hierfür liegt z.T. auch in der Forderung der Kunden nach einer individuellen Lösung.

Anhand der noch recht groben Struktur des zu entwickelnden Produkts wird dann festgelegt, welche Systemelemente (oder Umfänge) an Unterlieferanten oder Entwicklungsdienstleister vergeben werden. Im konkreten Fall des Referenzobjektes „Aggregatmontage“ wird beispielsweise das Transportsystem an einen Hersteller für Fördertechnik vergeben, der dann Konstruktion, Fertigung und die Installation beim Kunden eigenständig durchführt. Bestimmte Umfänge, vor allem im Bereich der Kernkompetenzen, bleiben nicht zuletzt aus Gründen des Know-how-Schutzes der Konstruktionsabteilung des Sondermaschinenbauers selbst vorbehalten und werden nicht nach außen vergeben. Oftmals laufen mehrere Kundenprojekte parallel, so dass je nach Ressourcensituation Tätigkeiten flexibel an externe Entwicklungsdienstleister ausgelagert werden müssen, die dann in engem Kontakt mit dem Sondermaschinenbauer die Entwicklung und Detailkonstruktion eines Teilsystems bzw. Moduls durchführen. Darüber hinaus wird aus Kostengründen die Vergabe an externe Dienstleister gegenüber dem Ausbau der eigenen (internen) Konstruktionsabteilung bevorzugt, besonders für die arbeitsintensive Detailkonstruktion. Im Gegenzug steigt der Betreuungs- und Koordinationsaufwand für die externen Partnerfirmen an, genauso wie der Zeitbedarf für die Prüfung der extern erzeugten Produktdaten.

Ein wichtiger Meilenstein im Entwicklungsprozess ist die Vorfregabe, bei der die einzelnen Systemelemente und Module anhand der CAD-Daten geprüft werden, um die Systemfregabe vorzubereiten. Im Rahmen der Systemfregabe wird die Montageanlage digital abgesichert, indem die 3D-CAD-Daten von externen Dienstleistern gemeinsam mit den im Unternehmen erstellten Daten in einem digitalen Produktmodell zusammengeführt werden. Anhand dieses Produktmodells und den Fahrzeugdaten des OEMs führt man eine DMU-Untersuchung durch, die dazu dient, Störkanten und Bauteilkollisionen zu identifizieren und zu prüfen, ob die Montageanlage die geforderten Funktionen erfüllt. Auf Basis der aktuellen Fahrzeugdaten werden die Positionen der Schraubeinheiten mit den Schraubpunkten am Fahrzeug abgeglichen oder kontrolliert, um auf diese Weise festzustellen, ob die Konturaufnahmen und die entsprechende Bauteilgeometrie zueinander passen. Außerdem werden Kinematik-Analysen durchgeführt, um z.B. die Verfahrswege von Verstelleinrichtungen oder den Mechanismus von klappbaren Bauteilaufnahmen zu überprüfen. Ziel der DMU-Untersuchung ist es, eventuelle Fehler zu erkennen und zu beheben, bevor der Fertigungsprozess beginnt, da eine spätere Fehlerbehebung einen viel höheren Zeit- und Kostenaufwand erfordert. Externe Dienstleister arbeiten nicht immer mit demselben CAD-System wie der Sondermaschinenbauer, so dass zunächst eine Datenkonvertierung erforderlich sein kann, um die Daten in das Gesamtmodell der Montageanlage zu integrieren.

Nach erfolgreicher DMU-Untersuchung kann die Fertigungsfreigabe erfolgen, wenn auch die zugehörigen Fertigungszeichnungen erstellt und freigegeben sind. Für bestimmte Komponenten – sogenannte „Langläufer“ – wie komplexe Schweißbaugruppen, die eine relativ lange Fertigungs- bzw. Lieferzeit haben und somit die Durchlaufzeit eines Kundenauftrags vorrangig beeinflussen, muss die Fertigung bereits vor der Freigabe des Gesamtsystems starten. Hierfür wird eine Komponentenfreigabe erteilt, um den geplanten Endtermin für die Montageanlage einzuhalten, auch unter dem Risiko späterer Änderungskosten.

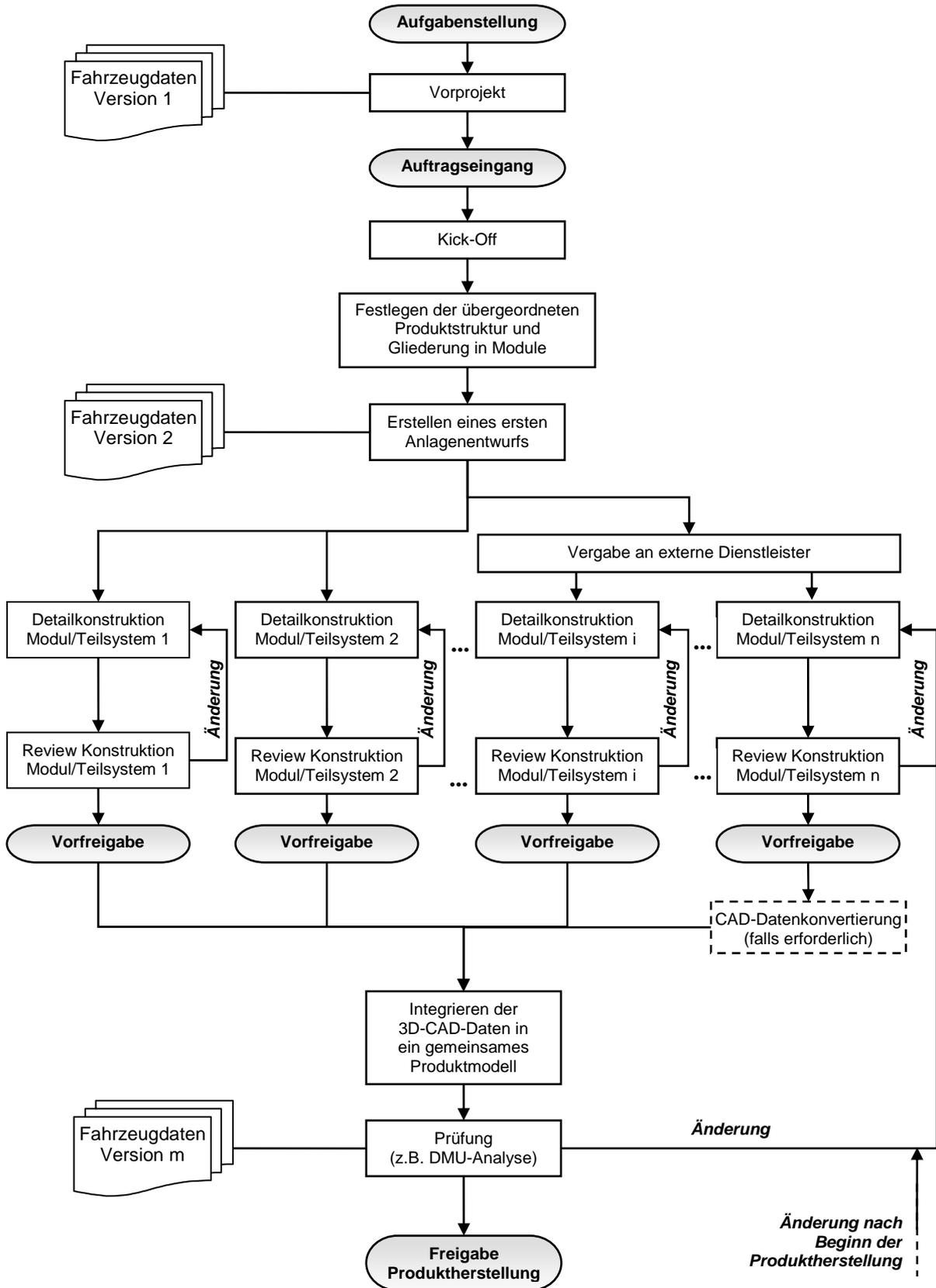


Abbildung 3-10: Produktentwicklungsprozess im Referenzunternehmen

Der hier beschriebene Produktentwicklungsprozess stellt keinen rein sequentiellen Ablauf dar, sondern vielmehr einen iterativen Prozess mit paralleler Ausführung von Tätigkeiten, dessen Teilprozesse mehrere Schleifen durchlaufen, bis das endgültige Ergebnis vorliegt. Hauptsächlich werden diese Iterationen durch Änderungen hervorgerufen, die verschiedene Ursachen haben und die von verschiedenen Stellen in den Prozess eingebracht werden. Im hier untersuchten Produktentwicklungsprozess für den Sondermaschinenbau konnten folgende wesentliche Änderungsgründe identifiziert werden:

- **Änderung der Fahrzeugdaten**

Die durch den OEM bereitgestellten Fahrzeugdaten spielen bei den Änderungen eine entscheidende Rolle. Die Änderung eines Fahrzeugbauteils kann weitreichende Auswirkungen auf die gesamte Produktstruktur der Aggregatmontage haben. Ändert sich z.B. die Position einer Absteckbohrung, muss die entsprechende Positioniereinheit auf der Palette verschoben werden. Hierzu muss man evtl. die Grundplatte oder den Rahmen der Palette anpassen. Treten an der neuen Position Kollisionen mit bestehenden Aufnahmen oder sonstigen Bauteilen auf, muss außerdem die Geometrie der gesamten Positioniereinheit überarbeitet werden. Es kann auch vorkommen, dass der Montageumfang um neue Fahrzeugbauteile erweitert wird, für die dann neue Aufnahmen konstruiert werden müssen. Bei einem hohen Aufrüstgrad der Palette und engen Platzverhältnissen kann es darüber hinaus erforderlich sein, bestimmte Aufbauten auf der Palette klappbar oder schwenkbar zu gestalten, um die neuen Fahrzeugbauteile aufnehmen zu können.

Einen ersten Stand an Fahrzeugdaten erhält bereits der Vertrieb, der anhand dieser Daten ein Angebot über die zu entwickelnde Montageanlage erstellt. Da die Fahrzeugdaten zu diesem Zeitpunkt noch nicht freigegeben und noch vielen Änderungen unterworfen sind, stellt der Automobilhersteller nach Auftragsvergabe einen aktuellen Satz der Fahrzeugdaten als Basis für die Produktentwicklung des Sondermaschinenbauers bereit. Charakteristisch für den Produktentwicklungsprozess ist die Tatsache, dass die Entwicklung eines Betriebsmittels beginnt, obwohl die Entwicklung des zu montierenden Fahrzeugs noch lange nicht abgeschlossen ist. Aus diesem Grund sind während des Entwicklungsprozesses des Betriebsmittels und auch noch während der Produktion zahlreiche Änderungen an den Fahrzeugdaten zu erwarten, die durch den Sondermaschinenbauer berücksichtigt werden müssen. Die folgende Abbildung verdeutlicht die parallel laufenden Produktentwicklungsprozesse von Fahrzeug und Betriebsmittel. Unterlieferanten und externe Dienstleister erhalten die für sie relevanten Fahrzeugdaten nicht vom OEM direkt, sondern über den Sondermaschinenbauer, da sie selbst oftmals nicht über die erforderlichen datentechnische Anbindung zum OEM verfügen.

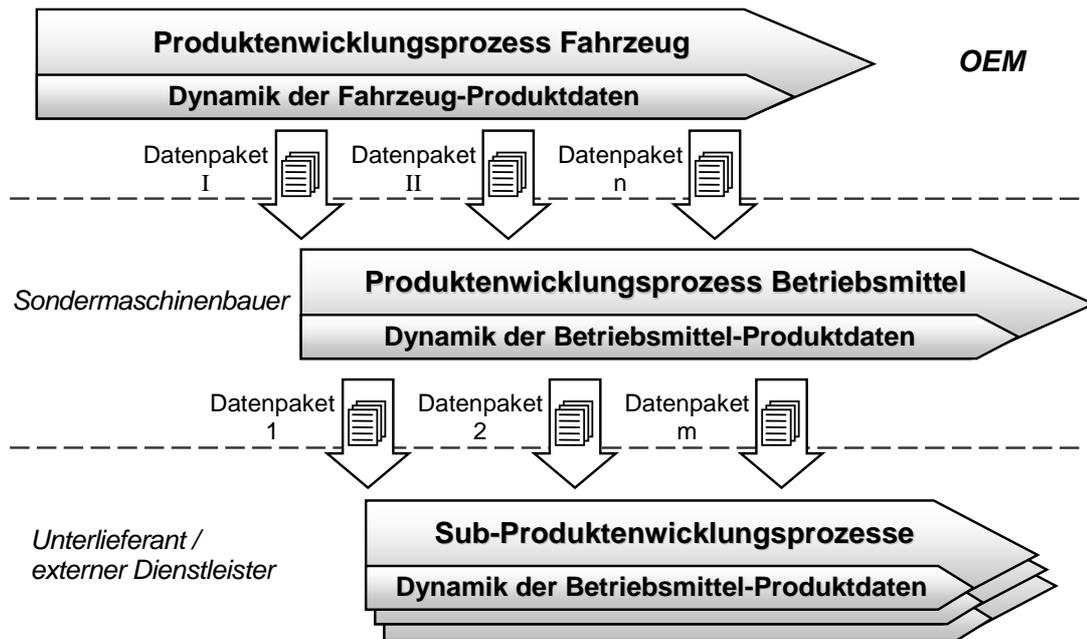


Abbildung 3-11: Zusammenhang der Produktentwicklungsprozesse von Fahrzeug und Betriebsmittel

Die Weitergabe von Fahrzeugdaten vom OEM zum Sondermaschinenbauer ist eine der Hauptgründe für die fehlende Durchgängigkeit in den Änderungsprozessen während der Produktentwicklung und auch der Produktherstellung von Betriebsmitteln. Die auf Seiten des OEMs in einem dynamischen Entwicklungsprozess befindlichen Fahrzeugdaten werden in Form eines statischen Datenpakets übergeben, stellen also einen „Schnappschuss“ des aktuellen Entwicklungsstandes dar. Auf Basis dieser Eingangsdaten entsteht beim Sondermaschinenbauer erneut eine dynamische Struktur, wenn die Betriebsmittelentwicklung beginnt. Im Bezug auf das Produktdatenmanagement stellen die Übergänge zwischen Dynamik und Statik eine große Herausforderung dar, vor allem wegen der parallelen Änderungsmechanismen bei OEM und Sondermaschinenbauer. Immer wieder gehen neue Stände von Fahrzeugdaten ein, während gleichzeitig die Betriebsmittelentwicklung abläuft [ReZi04].

- **Änderung von Anforderungen durch den Kunden**

Auch die Produktionsplanung seitens der Automobilhersteller ist noch nicht beendet, wenn die Entwicklung des Betriebsmittels beim Sondermaschinenbauer beginnt. Die anfangs gestellten Anforderungen können sich im Verlauf des Planungsprozesses noch ändern. Deshalb müssen die geänderten Anforderungen zielgerichtet in den laufenden Produktentwicklungsprozess des Sondermaschinenbauers eingesteuert und deren Auswirkungen sowohl terminlich als auch kostenseitig bewertet werden. Ein Beispiel hierfür ist der Wechsel des Montagekonzeptes für eine Komponente von Schraub- zu Clipsverbindungen.

- **Kollision bei DMU-Untersuchung**

Als Kollisionen bezeichnet man die Überlagerung von Bauteilvolumina bei 3D-CAD-Modellen. Im Rahmen einer DMU-Analyse können solche Kollisionen identifiziert werden, die sowohl zwischen den Anlagenbauteilen als auch zwischen Anlagen- und den Fahrzeugbauteilen auftreten können.

- **Beschaffungsprobleme**

Lässt sich z.B. ein eingesetztes Zukaufteil zur Zeit nicht (oder nicht innerhalb der geforderten Lieferzeit) beschaffen, wird es wenn möglich durch das eines anderen Herstellers ausgetauscht. Das neue Zukaufteil kann im Bezug auf technische Daten, Anschlussmaße und Abmessungen gegenüber dem ursprünglich eingesetzten Bauteil abweichen, so dass ggf. konstruktive Anpassungen notwendig sind.

- **Rückmeldung aus der Fertigung**

Lieferschwierigkeiten bestimmter Halbzeuge können zur Folge haben, dass Bauteile konstruktiv abgeändert werden müssen, so dass man schneller verfügbare Halbzeuge einsetzen kann und nachfolgende Termine nicht gefährdet werden. Ändern können sich z.B. das Fertigungsverfahren, die Oberflächengüte oder bestimmte Toleranzen, sofern die Funktion des Bauteils davon nicht beeinträchtigt wird.

- **Rückmeldung aus der Montage**

Trotz der immer stärkeren Anwendung von DMU-Analysemethoden kommt es vor, dass sich eine reale Baugruppe schlecht oder sogar überhaupt nicht montieren lässt. Die Ursache hierfür kann in Fertigungsfehlern liegen; können diese ausgeschlossen werden, sind konstruktive Änderungen notwendig.

- **Kompensation von Fertigungsfehlern**

Fertigungsfehler, die nicht durch Nacharbeit korrigiert werden können, bedeuten normalerweise, dass es sich bei dem betreffenden Bauteil um Ausschuss handelt und es erneut gefertigt werden muss. Bei teuren Fertigungsteilen mit langer Lieferzeit (z.B. Guss- oder komplexe Schweißteile) versucht man, das vorhandene Bauteil mit entsprechenden Modifikationen dennoch verwenden zu können und so den geplanten Liefertermin der Anlage einzuhalten. Voraussetzung ist selbstverständlich, dass die Funktion sichergestellt bleibt.

- **Rückmeldung nach Testlauf**

Bei der Inbetriebnahme der Montageanlage werden die einzelnen Funktionen überprüft und die Erfüllung der Kundenanforderungen untersucht. Angesichts der Komplexität gerade bei dem Referenzobjekt der Aggregatmontage gibt es nach den ersten Testläufen oftmals Bedarf für Nachbesserungen, die z.B. Anpassungen an der Steuerungssoftware oder konstruktive Änderungen bedeuten.

3.5 Aktuelle Defizite im Referenzunternehmen

Bei der Untersuchung der vorhandenen Arbeitsabläufe im Referenzunternehmen konnte der Autor Schwachstellen in verschiedenen Bereichen aufdecken und Handlungsfelder für den effizienten Einsatz eines Produktdatenmanagement-Systems identifizieren. Die gefundenen Defizite lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- fehlende zentrale Bereitstellung der Produkt- und Projektdaten
- fehlende Prozessunterstützung bei Freigaben und Änderungen
- Mängel bei der Integration von Untertierlieferanten und den Schnittstellen zum Kunden

In den nachstehenden Abschnitten werden die genannten Punkte näher ausgeführt und mögliche Ursachen hierfür aufgezeigt.

3.5.1 Fehlende zentrale Bereitstellung von Produkt- und Projektdaten

Ein Kernproblem für die Situation im Referenzunternehmen liegt in der fehlenden zentralen Bereitstellung der aktuellen und konsistenten Produktdaten sowie der damit verbundenen mangelnden Durchgängigkeit im Produktentstehungsprozess. Informationen, die man mehrfach benötigt, werden in der Regel vielfach redundant gehalten. Ein übergeordnetes Konzept für die Datenhaltung und -übergabe zwischen den einzelnen Arbeitsbereichen fehlt. Betroffen sind nicht nur die im CAD-System erstellten Dokumente, die momentan in verschiedenen Ablagesystemen zu finden sind, sondern die Produktdokumentation im weitesten Sinne, also auch Produktspezifikationen, Lasten- und Pflichtenhefte sowie andere, im Laufe der Auftragsabwicklung entstehenden Dokumente (z.B. Terminpläne, Besprechungs- oder Abnahmeprotokolle).

Die Ursachen hierfür liegen einerseits in der historischen Entwicklung des Unternehmens, die geprägt ist von mehreren Umstrukturierungsmaßnahmen und schließlich der Eingliederung in eine übergeordnete Konzernstruktur. Durch die Konzernleitung wurden dem Referenzunternehmen neue organisatorische und auch informationstechnische Randbedingungen gesetzt, wie z.B. die Einführung neuer konzernweiter IT-Systeme oder die Umstellung langjährig gewohnter Abläufe. Eine weitere Ursache zeigt sich in der IT-Landschaft, in der Systeme unterschiedlicher Hersteller im Laufe der Jahre kombiniert wurden, um die Produktentwicklung informationstechnisch zu unterstützen und die Produktdaten sowie weitere Projektdokumente abzulegen. Jede Lösung weist eine eigene Dateninfrastruktur auf, die meist inkompatibel zu anderen Systemen ist, so dass sich eine heterogene IT-Landschaft mit Insellösungen für spezifische Anwendungsfelder gebildet hat.

Betrachtet man die Historie des CAD-Einsatzes im Referenzunternehmen, so zeigt sich eine Entwicklung ähnlich der in Abschnitt 2.4.1 beschriebenen. Zuerst wurde am Zeichenbrett konstruiert, dann ein 2D-CAD-System eingeführt und schließlich der Schritt hin zur 3D-CAD-Technologie vollzogen. Allerdings nicht für alle Geschäftsfelder gleichzeitig, sondern zunächst für den Bereich Prüftechnik. Aufgrund der hohen Hardware- und Softwarekosten für die damals weit verbreiteten UNIX-basierten CAD-Systeme führte man statt dessen erfolgreich das Windows-basierte System SolidWorks (Dassault Systèmes) ein, da sich dessen Funktionalität besonders für den Maschinen- und Anlagenbau eignet. Im Geschäftsfeld Montagetechnik blieb man bei AutoCAD (Autodesk) als 2D-CAD-System und entschied zunächst, einen Arbeitsplatz mit CATIA V4 (Dassault Systèmes) einzurichten, vorrangig jedoch um 2D-Ableitungen der Fahrzeugdaten erstellen und auf diese Weise weiter zweidimensional arbeiten zu können. Kundenprojekte auf Basis von CATIA V4 wurden komplett über externe Dienstleister abgewickelt. Trotz der guten Erfahrungen mit SolidWorks im Geschäftsfeld Prüftechnik konnte SolidWorks im Bereich Montagetechnik nur in wenigen Projekten eingesetzt werden. Die Gründe liegen in erster Linie in den zahlreichen Abhängigkeiten zu den Fahrzeugdaten, wie sich am Beispiel der Aggregatmontage (Abbildung 3-2) leicht nachvollziehen lässt. Für einen Fahrwerk-Einstellstand aus dem Bereich Prüftechnik sind diese Abhängigkeiten wesentlich geringer. Die Mehrzahl der Kunden des Referenzunternehmens stellt CAD-Daten des Fahrzeugs in CATIA V4 (bzw. später in CATIA V5) bereit. Die Datenkonvertierung in ein von SolidWorks lesbares Format wäre mit erheblichem Zeitaufwand verbunden und wirtschaftlich nicht tragbar gewesen, so dass das Referenzunternehmen im Jahr 2004 schließlich CATIA V5 (Dassault Systèmes) im Geschäftsfeld Montagetechnik einführte. Dies ist nicht zuletzt als Reaktion auf die Anforderungen der verschiedenen Kunden aus der Automobilindustrie zu werten, die ihrerseits von den Betriebsmittellieferanten die Bereitstellung von bestimmten CAD-Dateiformaten und die Anwendung vorgegebener Richtlinien oder Methoden erwarten (wie in Abschnitt 3.5.3 beschrieben).

Heute werden im Referenzunternehmen nach wie vor mehrere CAD-Systeme parallel eingesetzt: im Geschäftsfeld Prüftechnik SolidWorks, in der Montagetechnik CATIA V4 und V5 sowie AutoCAD als 2D-CAD-System, das noch zu Konzeptions- und Planungszwecken sowie für die Erstellung des Anlagenlayouts verwendet wird. Zusätzlich gibt es eine Reihe von proprietären und z.T. webbasierten Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen der verschiedenen Hersteller von Norm- und Zukaufteilen (z.B. Pneumatik, Hydraulik, Wälzlager, Industrieroboter), die oftmals eine eigenständige Datenbank mitbringen. Eine Ablösung von SolidWorks durch CATIA V5 ist aus zwei Gründen vorerst nicht geplant: Betrachtet man die wirtschaftliche Seite, so liegen die Lizenz- und Wartungskosten für CATIA V5 für den benötigten Funktionsumfang je Arbeitsplatz etwa dreimal so hoch wie bei dem „Mid-Range-System“ SolidWorks. Der wichtigere Grund ist jedoch, dass SolidWorks gerade für den Maschinen- und Anlagenbau einen sehr weitreichenden und angepassten

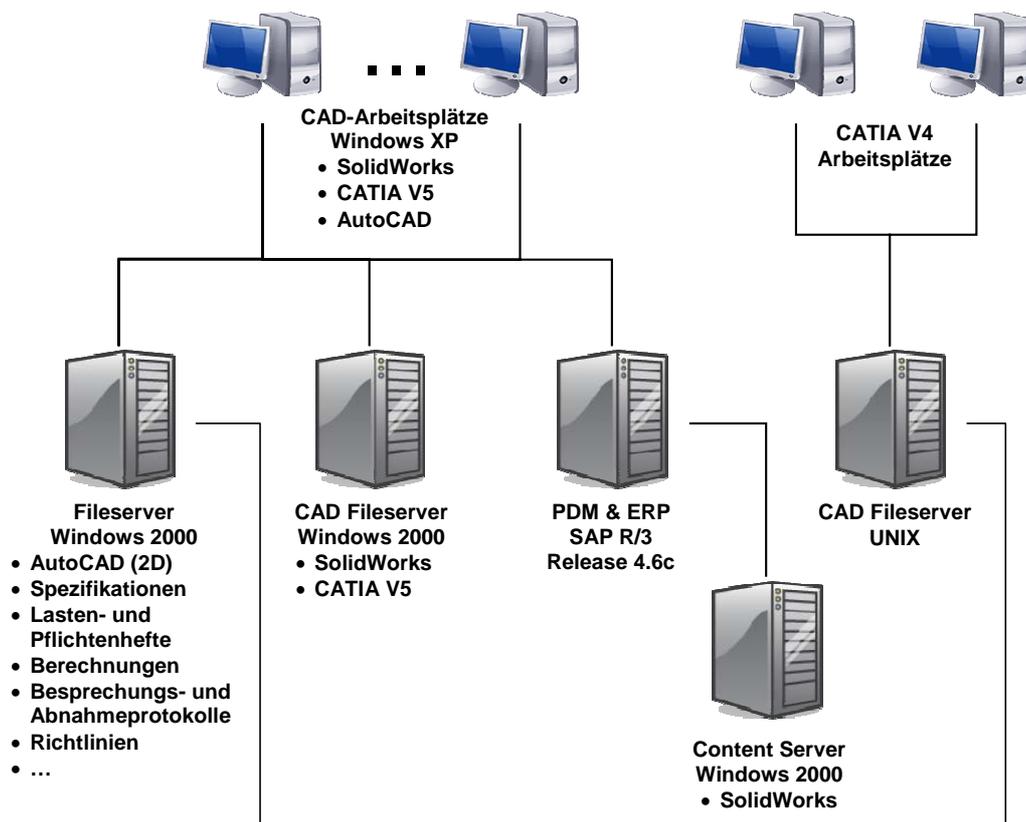
Funktionsumfang mitbringt, was den Ausschlag für die Einführung von SolidWorks im Bereich Prüftechnik gegeben hat. Vom Datenmodell her sind SolidWorks und CATIA V5 beides parametrische 3D-CAD-Systeme, mit denen sich Produktstrukturen durch Referenzen zwischen einzelnen Dateien für Teile, Baugruppen und Zeichnungen aufbauen lassen. In ihrer Oberfläche und Bedienung sind die Systeme nicht identisch, aber ähnlich aufgebaut, so dass Anwender nach kurzer Einarbeitungszeit auch beide Systeme bedienen können, wenn sie vorher bereits mit einem der beiden gearbeitet haben. Dies ist ein wichtiger Aspekt, denn Mitarbeiter sollen je nach Kapazitätsauslastung sowohl in der Prüftechnik als auch in der Montagetechnik eingesetzt werden können.

Für die Verwaltung der CAD-Daten wird im Referenzunternehmen bisher nur im Geschäftsfeld Prüftechnik rudimentär ein PDM-System (hier: SAP PLM¹⁵) eingesetzt. Die Nutzung beschränkt sich die Dokumentenverwaltung, genauer gesagt auf die Ablage der CAD-Daten aus SolidWorks in einer Datenbank. Weitergehende Funktionen wie z.B. Prozessunterstützung durch Workflows, Klassifizierung oder Plott-Management sind nicht implementiert bzw. werden nicht verwendet. Im Geschäftsfeld Montagetechnik liegen die CAD-Daten auftragsbezogen in einer Ordnerstruktur auf dem File-Server, es gibt also keine Datenbankunterstützung. Auch die Ablage weiterer produktbezogener Dokumente (z.B. Datenblätter, Berechnungen, Testergebnisse) erfolgt auf dem File-Server. Das Auffinden von vorhandenen CAD-Modellen kann sehr zeitintensiv ausfallen, denn die Suche bleibt auf den Dateinamen beschränkt und wird durch nicht aussagefähige oder nicht standardisierte Benennungen zusätzlich erschwert. Die Durchführung von Verwendungsnachweisen ist nicht möglich. Im Zusammenhang mit der häufig auftretenden parallelen Bearbeitung mehrerer Aufträge ist es ohne das Wissen der beteiligten Konstrukteure unmöglich, bereits erstellte CAD-Daten oder bewährte Lösungsprinzipien zu berücksichtigen. Ähnliches gilt für Unterlieferanten oder externe Dienstleister, die nicht auf bestehende Produktdaten zugreifen können und somit ggf. weitere Lösungsalternativen einbringen. Diese Umstände führen weiterhin zur Generierung von Dubletten, da existierende identische oder ähnliche Bauteile nicht ermittelt werden können. Versionierungs- und Freigabemechanismen fehlen, so dass durch die komplexen Datenstrukturen von 3D-CAD-Modellen frühere Konstruktionsstände nicht oder nur unter hohem Aufwand manuell wieder hergestellt werden können. Obwohl das Referenzunternehmen die 3D-CAD-Technologie in der Produktentwicklung einsetzt, bleibt die technische Zeichnung nach wie vor das relevante Dokument für die Fertigung, wenn auch in digitaler Form (z.B. als PDF¹⁶- bzw. TIFF¹⁷-Datei oder im DXF¹⁸-Format zur Abbildung von

¹⁵ SAP fasst PDM-Funktionen unter der Bezeichnung "SAP Product Lifecycle Management" (kurz: "SAP PLM") zusammen. Aus den in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Gründen wird in dieser Arbeit jedoch nicht von einem "PLM-System" gesprochen.

¹⁶ Das *Portable Document Format (PDF)* ist ein von der Firma Adobe entwickeltes, proprietäres Dateiformat zur Speicherung von Text- und Bild- und Vektorgrafikdaten.

Laser- oder Brennschneidekonturen). Dies liegt in der Tatsache begründet, dass die Fertigung nahezu vollständig bei externen Unternehmen im In- und Ausland stattfindet. Während der Produktentwicklung ist oftmals noch nicht festgelegt, wo die Anlage letztendlich gefertigt wird und ob überhaupt die Möglichkeit einer CAM-Integration zur Verfügung steht. Das Ausleiten der Zeichnungen einer kompletten Anlagenkonfiguration für ein externes Fertigungsunternehmen muss mit entsprechendem Zeitaufwand manuell durchgeführt werden, indem ein Mitarbeiter die relevanten Dateien in ein Verzeichnis auf den Server kopiert. Die Integration in das ERP-System (hier: SAP R/3) zur logistischen Auftragsabwicklung erfolgt derzeit ebenfalls manuell durch den Zugriff auf den letzten gültigen Zeichnungsstand in einem Neutralformat. Eine automatische Synchronisation zwischen den Stücklisten im ERP-System und der Produktstruktur im CAD-System findet nicht statt. Das Fehlerpotential insbesondere durch die manuellen Arbeitsschritte und das Arbeiten mit inkonsistenten oder nicht mehr aktuellen Produktdaten ist auf diese Weise erheblich.



**Abbildung 3-12: IT-Infrastruktur der Konstruktionsabteilung im Referenzunternehmen
(Quelle: Dürr Assembly Products GmbH, Stand 2008)**

¹⁷ Das *Tagged Image File Format (TIFF)* ist ein Dateiformat zur Speicherung von Bilddaten.

¹⁸ Das *Drawing Interchange Format (DXF)* ist ein von der Firma Autodesk entwickeltes Dateiformat zum Austausch von CAD-Daten, dessen Spezifikation frei zugänglich ist.

Einen Überblick der verschiedenen Datenablagen im Umfeld der Produktentwicklung des Referenzunternehmens zeigt Abbildung 3-12. Für die Auftragsabwicklung im Allgemeinen gibt es die sogenannte „Maschinenmappe“, in der alle Projektdokumente in einer Verzeichnisstruktur auf einem Fileserver abgelegt sind. Wie aus Abbildung 3-13 ersichtlich, enthält die Maschinenmappe nicht nur die für die Produktentwicklung erforderlichen Dokumente, sondern auch solche aus vor- und nachgelagerten Schritten im Produktentstehungsprozess, wie z.B. für Kalkulation, Montage oder Inbetriebnahme (IBN). Allerdings stellt diese Struktur keine vollständige Sicht auf ein Projekt bzw. ein Produkt dar, denn die CAD-Daten liegen wie bereits beschrieben in anderen Ablagesystemen (Fileserver und SAP PLM), Produktstruktur- und Logistikinformationen werden in SAP gehalten. Außerdem fehlen Funktionen zur Status- und Versionsverwaltung oder Freigabemechanismen.

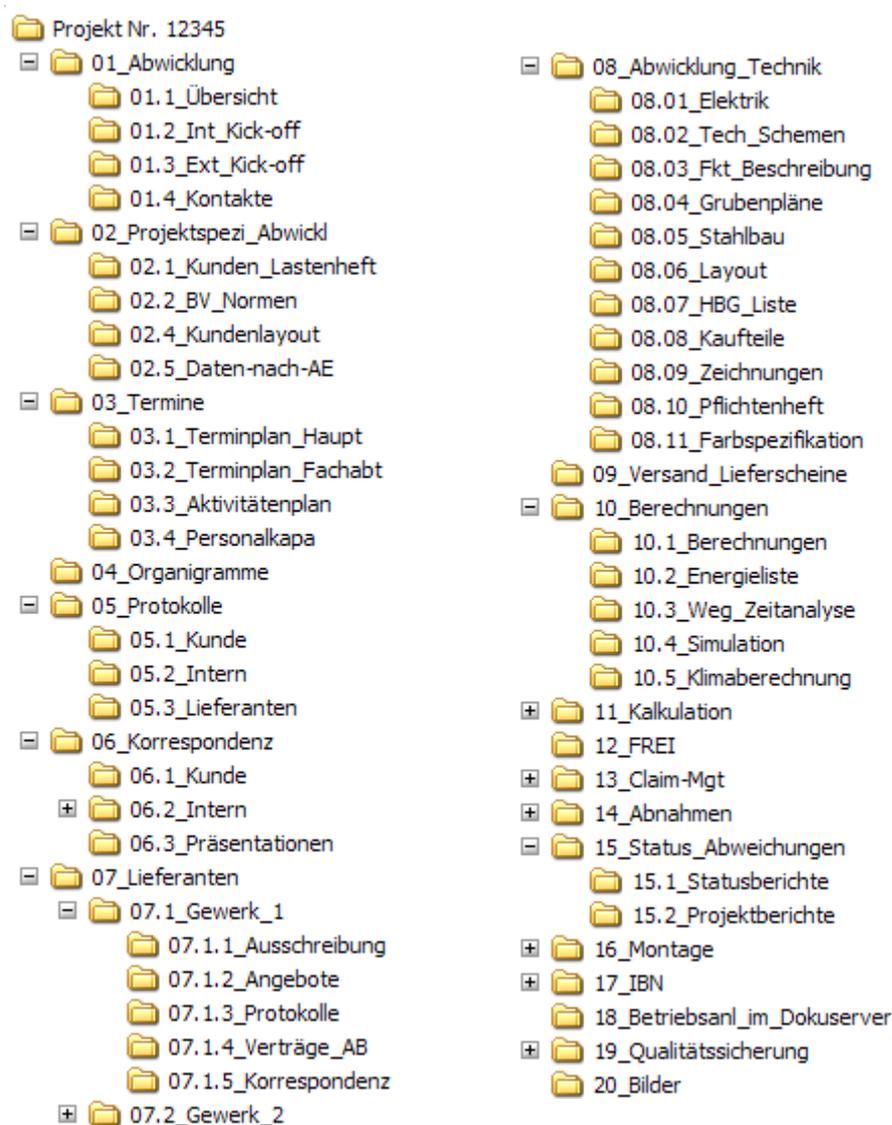


Abbildung 3-13: Verzeichnisstruktur der Maschinenmappe (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)

3.5.2 Fehlende Prozessunterstützung bei Änderungen und Freigaben

Im Angebot für die zu liefernde Montageanlage wird ein Festpreis auf Basis der vorgelegten Kundenspezifikation definiert. Durch die im Laufe des Produktentstehungsprozesses auftretenden Änderungen entstehen jedoch zusätzliche Kosten, die der Anlagenlieferant – im Falle von z.B. geänderten Kundenanforderungen – beim Auftraggeber (i.d.R. dem OEM) einfordern kann, da eine Abweichung gegenüber dem ursprünglich vereinbarten Auftragsumfang vorliegt („Change Order“). Voraussetzung dafür ist allerdings, dass der Anlagenlieferant die Auswirkungen und damit auch die Kosten einer Änderung nachweisen kann. Es sind in erster Linie Änderungen während der Fertigungs- und Montagephase, die kostenintensiv sein können und daher genau verfolgt und dokumentiert werden müssen. Jedoch macht es die Vielzahl von Änderungen – verbunden mit der Komplexität der Montageanlage und dem Zeitdruck im Produktentstehungsprozess – schwierig, eine genaue Aussage über die Änderungsaufwände zu treffen. Es stellt sich also die Frage, wie ein effizientes Produktdatenmanagement dazu beitragen kann, den Änderungsprozess im Sondermaschinenbau transparent zu machen, um den ohnehin schon engen Kostenrahmen nicht zusätzlich durch unberücksichtigte Änderungskosten zu belasten.

Der Trend zu kürzeren Entwicklungszyklen im Automobilbau wirkt sich auch auf die Zusammenarbeit zwischen OEM und Zulieferer bzw. Sondermaschinenbauer aus. Die Automobilhersteller tendieren dazu, die Aufträge für Betriebsmittel sehr spät zu vergeben, so dass trotz zahlreich auftretender Änderungen enge Terminpläne eingehalten werden müssen. Tritt ein Problem in der Fertigung, Montage oder bei einem Anlagentestlauf auf, ist eine schnelle und flexible Reaktion erforderlich, die nicht über einen streng formalisierten und mitunter langwierigen Änderungsprozess realisiert werden kann. Vielmehr muss der zu Grunde liegende Prozess in der Lage sein, auch „Ad-hoc-Änderungen“ durch eine methodische Vorgehensweise zu unterstützen.

Im Referenzunternehmen werden Änderungsanfragen entweder an den Projektleiter oder direkt an den projektverantwortlichen Konstrukteur adressiert, welcher wiederum die beteiligten Konstruktionsdienstleister informiert. Die Entscheidung über die Durchführung vor allem von umfangreichen Änderungen obliegt letztendlich dem Projektleiter, da dieser auch die Kostenverantwortung für das Projekt trägt. Die betriebliche Praxis zeigt jedoch, dass die Durchführung von Änderungen oftmals direkt vom Konstrukteur entschieden wird, um möglichst schnell die erforderlichen geänderten Konstruktionsunterlagen bereitzustellen und Stillstandszeiten bei laufender Fertigung und Montage zu minimieren sowie Terminverschiebungen zu vermeiden.

Für den Änderungs- wie auch für den Freigabeprozess besteht derzeit im Referenzunternehmen keine informationstechnische Unterstützung im Sinne einer Prozesssteuerung. Ein eigenes Freigabe- oder Änderungswesen, wie in größeren Unternehmen üblich, gibt es

hier nicht, statt dessen ist der projektverantwortliche Konstrukteur für die Koordination und Umsetzung der Änderung zuständig, d.h. er stellt die geänderten Produktdaten zusammen und gibt diese frei. Auch die Verteilung der Änderungsergebnisse erfolgt manuell, indem der ausführende Konstrukteur die nachfolgend an der Auftragsabwicklung beteiligten Stellen wie Einkauf, Fertigung (oftmals externe Unternehmen) und Montage informiert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der schnellen Abwicklung durch die Nutzung kurzer organisatorischer Wege, jedoch kann solch ein pragmatischer Ansatz nur mittels der flachen Strukturen des mittelständischen Unternehmens funktionieren. Außerdem werden durch diese manuelle Vorgehensweise Mitarbeiterressourcen in der Produktentwicklung gebunden, da der ausführende Konstrukteur auch nach Fertigstellung der Änderungsunterlagen erster Ansprechpartner bleibt und die Umsetzung begleitet. Es fehlt also generell an einer durchgängigen Bereitstellung der Änderungsunterlagen, so dass alle beteiligten Stellen automatisch mit den notwendigen Informationen versorgt werden. Durch die manuellen Arbeitsschritte besteht nicht zuletzt ein erhöhtes Fehlerpotential, wenn es beispielsweise darum geht, den aktuellen Bauteilstand zu ermitteln und immer das gültige Bauteil zu verwenden.

Durch die fehlende Prozesssteuerung ergeben sich auch Nachteile für die Nachverfolgung laufender Änderungsvorgänge. Ohne die beteiligten Mitarbeiter zu befragen, lässt sich keine Aussage über den Umsetzungsstatus oder die Termine treffen. Es fehlt an Auswertungsmechanismen, um beispielsweise die Durchlaufzeiten und Aufwände einer oder mehrerer Änderungen zu einem Projekt transparent darzustellen, wodurch auch die Kosten nicht ohne Weiteres gegenüber dem OEM zu vertreten sind. Werden solche Kennzahlen nicht erfasst, können auch keine Verbesserungspotentiale für einen effizienteren Änderungsprozess identifiziert werden. Darüber hinaus kann die Auswirkung einer Änderung nur manuell festgestellt werden, d.h. es gibt keine automatisierte Auswirkungsanalyse, um bereits im Vorfeld schnell festzustellen, welche Baugruppen und Bauteile durch eine geplante Änderung betroffen sind. Besonders bei Fahrzeugdaten gestaltet sich eine verlässliche Aussage schwierig, da diese nicht im PDM-System abgelegt werden und somit keine Verknüpfung zwischen den CAD-Daten der Anlage und den Fahrzeugdaten existiert, die man zur Auswertung heranziehen könnte.

3.5.3 Mängel bei der Integration von Unterlieferanten und den Schnittstellen zum Kunden

Der parallele Durchlauf mehrerer Kundenprojekte macht es für das Referenzunternehmen erforderlich, dass Entwicklungsumfänge an externe Dienstleister ausgelagert werden. Wie bereits erläutert, sind es vornehmlich Kostenaspekte, die den Ausschlag für die Einbeziehung von Unterlieferanten gegenüber dem Ausbau der eigenen (internen) Konstruktionsabteilung geben. Bei den externen Dienstleistern handelt es sich überwiegend um kleinere Konstruktionsbüros, so dass in einem umfangreichen Projekt wie z.B. einer kompletten Aggregatmontage mit Fördertechnik auch mehrere Dienstleister zusammenarbeiten und durch das Referenzunternehmen koordiniert werden müssen. Die Herausforderungen dabei resultieren aus zwei Umständen:

- Die Arbeit mit 3D-CAD-Systemen erfordert aufgrund der komplexen Datenstrukturen den Einsatz von PDM-Systemen, nicht zuletzt um die Historie der Konstruktionsänderungen zu dokumentieren und konsistente Datenstände zu gewährleisten. Auch wenn das Referenzunternehmen bereits damit begonnen hat, PDM-Technologien zu nutzen, so trifft dies häufig noch nicht auf die Unterlieferanten zu. Hier arbeitet man primär mit einer File-basierten Vorgehensweise, nur vereinzelt werden PDM-Systeme eingesetzt, und das trotz der genannten Nachteile. Der Fokus der Konstruktionsbüros liegt auf der Entwicklung der ihnen zugeteilten Umfänge und dem Transfer der Produktdaten zum Sondermaschinenbauer, der dann die Integration in die Gesamtstruktur der Anlage vornimmt. Die Rückmeldung von Änderungen und die Sicherung der Datenkonsistenz sind manuelle Arbeitsschritte und stellen potentielle Fehlerquellen dar, insbesondere angesichts der umfangreichen Baugruppenstrukturen und der komplexen Abhängigkeiten. Ein standardisierter Datenaustausch und der automatisierte Import der Produktdaten des Konstruktionsbüros in das PDM-System des Sondermaschinenbauers könnten diese Situation nachhaltig verbessern und den Zeitbedarf für die administrativen Tätigkeiten verringern. Die folgende Abbildung verdeutlicht nochmals die Situation der Zusammenarbeit zwischen OEM, Sondermaschinenbauer und den Unterlieferanten.

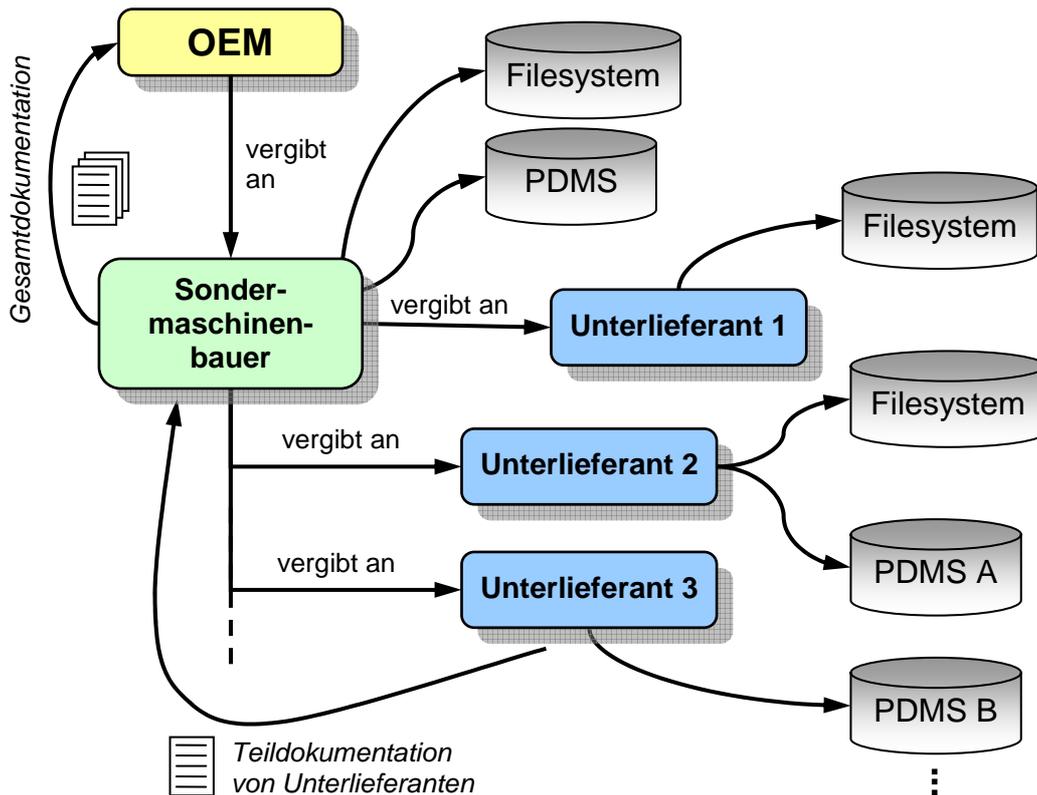


Abbildung 3-14: Situation der Sondermaschinenbauer im automobilen Umfeld

- Bestimmte Gewerke wie z.B. Lüftungs- oder Fördertechnik werden in der Regel komplett an Unterteilern vergeben, d.h. auch die Fertigung sowie die spätere Montage und Installation. Hier kann der Fall eintreten, dass der Unterteiler nicht mit dem identischen CAD-System wie der Sondermaschinenbauer (oder der OEM) arbeitet, obwohl mittlerweile viele im Automobilumfeld tätige Dienstleister dem dort vorherrschenden Trend zu CATIA V5 gefolgt sind. Eine Konvertierung der entstehenden Daten wird notwendig, um sie in das gemeinsame Produktmodell der Anlage integrieren zu können, was zu einem Mehraufwand an Zeit und Kosten führt, den man in der anfänglichen Projektplanung und -kalkulation nicht berücksichtigen kann. Generell ist es für Unterteilern oder kleinere Konstruktionsbüros fast ausgeschlossen, verschiedene CAD-Systeme für verschiedene Auftraggeber vorzuhalten, da die Systeme mittlerweile sehr komplex sind und erhebliche Anschaffungs-, Betriebs- und Schulungskosten anfallen würden.

Verantwortlich für die abschließende Dokumentation nach den Betriebsmittelvorschriften und Richtlinien des OEM ist der Sondermaschinenbauer. Bisher existiert gegenüber den verschiedenen Automobilherstellern keine allgemein gültige Vorgehensweise oder ein festgelegter Standard für die Produktdatenkommunikation, so dass sich der Sondermaschinenbauer als Lieferant für Betriebsmittel auf jeden OEM separat einstellen muss [ABHe04].

In der Regel erhält der OEM die vollständigen CAD-Daten der Montageanlage, also sowohl die 3D-Modelle als auch die 2D-Zeichnungen. Dabei genügt es nicht, nur mit dem geforderten CAD-System zu arbeiten, sondern außerdem die beim Automobilhersteller aktuell eingesetzte Version und dessen „Umgebung“ zu verwenden, d.h. die jeweiligen CAD-spezifischen Einstellungen, Startmodelle oder Zeichnungsrahmen. Weiterhin werden auch die Teile- und Zeichnungsnummern sowie Namenskonventionen vom Kunden vorgegeben. Auch der Aufbau der zu übergebenden Stammdaten kann je nach OEM unterschiedlich ausfallen, so dass ggf. ein Mapping zwischen den eigenen und den Kundenstammdaten notwendig ist oder Stammdaten mehrfach (in unterschiedlichen Datenfeldern) gehalten werden. Die Folgen sind ein erhöhter administrativer Aufwand, um die korrekten Versionen der CAD-Systeme und die Kundenumgebungen vorzuhalten, und außerdem ein Synergieverlust, denn die Übernahme bestehender CAD-Daten von einem zum anderen Kunden wird deutlich erschwert. Vor allem für die kleinen und mittelständischen Sondermaschinenbauer sind die damit verbundenen Kosten für Softwarelizenzen und die Bindung von Mitarbeiterressourcen zur CAD-Administration nicht unerheblich, zusätzlich zum erhöhten Schulungsbedarf für die verschiedenen Systeme. Nur in seltenen Fällen werden Neutralformate wie STEP für den 3D-Datenaustausch bzw. TIFF oder PDF für den 2D-Datenaustausch akzeptiert. Die Automobilhersteller begründen ihre Forderung damit, zukünftige Änderungen bzw. Umbauten an der Anlage selbst (z.B. durch die interne Instandhaltungsabteilung) durchführen oder an einen anderen Betriebsmittellieferanten vergeben zu können. Für diesen Zweck müssen die CAD-Daten änderbar sein, Neutralformate reichen also nicht aus. Die Möglichkeit, firmeninternes Know-How zu schützen, indem Detailgeometrien oder die Konstruktionshistorie vor dem Datenaustausch zum OEM entfernt werden, hat der Betriebsmittellieferant in diesem Fall nicht.

Die Aufbereitung der Dokumentation nach den Richtlinien und Vorschriften des OEM stellt heute im Referenzunternehmen eine manuelle Tätigkeit dar. So werden z.B. bereits neutral vorliegende Zeichnungen mit dem geforderten kundenspezifischen Schriftfeld versehen und auf diese Weise sogenannte „Kundenoriginale“ erstellt. Gerade bei umfangreichen Projekten ergibt sich dadurch ein beträchtlicher Zeit- und Kostenaufwand.

Für die beschriebenen Aufgaben bei der Datenübergabe zum Kunden und die Integration der Unterlieferanten werden also spezielle Import- und Exportfunktionalitäten sowie Konvertierungsmechanismen für den PDM-Einsatz immer wichtiger. Zusammen mit der vorangegangenen Analyse des Produktentwicklungsprozesses führen die dargestellten aktuellen Defizite im nachfolgenden Kapitel zu einem Konzept für den Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie.

4 Anforderungen an das Produktdatenmanagement

Die Analyse des Produktentwicklungsprozesses im Referenzunternehmen hat im Umgang mit Produktdaten Handlungsbedarfe in verschiedenen Bereichen aufgezeigt, die sich in drei wesentliche Punkte zusammenfassen lassen:

1. Um die Forderungen der einzelnen Automobilhersteller erfüllen zu können, müssen IT-Infrastrukturen für CAD-Systeme mehrfach vorgehalten werden. Dies wirkt sich nachteilig auf die Durchgängigkeit im Produktentstehungsprozess aus, da keine zentrale Bereitstellung der aktuellen und konsistenten Produktdaten besteht.
2. Freigabe- und Änderungsprozesse laufen bisher ohne IT-Unterstützung durch ein PDM-System ab. Die Folgen sind mangelnde Transparenz und Kontrolle über die vielen auftretenden Änderungen.
3. Um den Datenaustausch mit Kunden und Unterlieferanten durchführen zu können, kommen dem Import, Export und der Konvertierung von Produktdaten eine hohe Bedeutung im Bezug auf den PDM-Einsatz im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie zu.

Die in Abschnitt 2.3.5 beschriebene Funktionalität wird als grundlegend für PDM-Systeme angesehen, so dass die nachfolgend aufgestellten Anforderungen darauf aufbauen bzw. auf dort nicht behandelte Aspekte eingehen.

4.1 Zentraler Zugriff auf die in der Produktentwicklung benötigten Daten und Prozesse

Die Analyse der IT-Infrastruktur in der Produktentwicklung des Referenzunternehmens hat gezeigt, dass die Produkt- und Projektdaten (historisch bedingt) auf verschiedene unabhängige Systeme und Server verteilt sind. Eine Hauptanforderung ist deshalb die Bereitstellung einer durchgängigen IT-Infrastruktur und ein zentraler Zugriff auf alle in der Produktentwicklung benötigten Daten und Prozesse.

4.2 Integration mehrerer CAD-Systeme in das PDM-System

Aufgrund der dargestellten IT-Landschaft ergibt sich die Anforderung, dass das zukünftige PDM-System in der Lage sein muss, CAD-Systeme verschiedener Anbieter zu integrieren. Diese „Multi-CAD-Unterstützung“ durch das PDM-System ist erforderlich, da die

Geschäftsfelder Prüftechnik und Montagetechnik aus bereits vorgestellten Gründen nicht mit dem identischen CAD-System arbeiten. Dabei soll das PDM-System die Arbeit mit den angebundenen CAD-Systemen über eine einheitliche Oberfläche ermöglichen.

4.3 Verwaltung extern erstellter CAD-Daten

In Kundenprojekten arbeitet man oft mit externen Dienstleistern zusammen, so dass auch dort CAD-Daten generiert werden, die der Sondermaschinenbauer in sein (internes) PDM-System aufnehmen muss. Nur so kann das CAD-Gesamtmodell einer Anlage abgebildet und die Wiederverwendbarkeit in zukünftigen Projekten erreicht werden.

Wie in der Darstellung des Produktentwicklungsprozesses im Referenzunternehmen beschrieben, wird während eines Projektes zu bestimmten Meilensteinen (z.B. Vorfregabe) oder nach dem Auftreten von Änderungen der aktuelle Entwicklungsstand überprüft. Dazu stellen die betroffenen externen Dienstleister Zwischenstände ihrer CAD-Modelle bereit, die der Sondermaschinenbauer zusammenführt und dann beispielsweise eine DMU-Untersuchung durchführt. Hierbei ist ein manuelles Einchecken der Dokumente aufgrund der umfangreichen Datenmenge indiskutabel, statt dessen bedarf es leistungsfähiger Importfunktionen für extern erstellten CAD-Daten. Dabei ist neben dem eigentlichen dateibasierten Import auch die Übernahme der Produktstrukturinformationen in das PDM-System des Sondermaschinenbauers zu berücksichtigen.

4.4 Verwaltung von Fahrzeugdaten

Wie in Abschnitt 3.4 beschrieben übergibt der OEM während des Produktentwicklungsprozesses mehrfach Fahrzeugdaten an den Betriebsmittellieferanten. Für die Aggregatmontage ist je nach zu berücksichtigender Variantenanzahl der in der Anlage zu montierenden Fahrzeuge ein Datenvolumen von bis zu 20 GB an CAD-Modellen zu erwarten. Bedingt durch dieses hohe Datenaufkommen werden gerade bei der Erstbereitstellung die Daten nicht auf elektronischem Weg versandt (z.B. über ENGDAT¹⁹), sondern in Form von Datenträgern (CDs oder DVDs) dem Sondermaschinenbauer übergeben. Erst für die Aktualisierung einzelner Komponenten wird dann ein Datenaustauschwerkzeug genutzt. Die Fahrzeugdaten bilden die Grundlage für die Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie und sollten daher auch im PDM-System des Sondermaschinenbauers abgelegt sein, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten und Änderungen bzw.

¹⁹ ENGDAT (Engineering Data Message) ist ein Standard zum unternehmensübergreifenden, elektronischen Datenaustausch von CAD-Dateien.

Aktualisierungen der Fahrzeugdaten protokollieren zu können. Über die Historie der verschiedenen Versionen eines Fahrzeugteils ist somit direkt aus dem PDM-System ersichtlich, wann dem Sondermaschinenbauer welche Version zur Verfügung stand. Ähnlich wie bei der Anforderung in Abschnitt 4.3 für extern erstellte CAD-Daten erfordert auch hier die große Datenmenge eine automatisierte Importfunktion für die Fahrzeugdaten.

4.5 Abbildung von Freigabe- und Änderungsprozessen

Aus der Analyse des Produktentwicklungsprozesses im Referenzunternehmen geht hervor, dass der projektverantwortliche Konstrukteur eine zentrale Funktion bei der Initialisierung und Durchführung von Änderungs- und Freigabeprozessen²⁰ übernimmt. Aus diesem Umstand resultiert die Anforderung, dem Konstrukteur eine Arbeitsumgebung im PDM-System bereitzustellen, die alle Informationen zu einer Änderung (bzw. Freigabe) zusammenfasst und von der aus ein Workflow zur Abwicklung gestartet werden kann. Folgende Punkte muss der Konstrukteur im Laufe des Änderungsprozesses klären:

- Was ist die Ursache für die Änderung?
- Was ist zu tun?
- Welche Teile und Baugruppen (d.h. welche Dokumente) sind betroffen?
- Wer ist zu informieren?
- Wer trägt die Kosten?
- Welche Termine ergeben sich für die Umsetzung der Änderung?

Diese Informationen sollen über die Arbeitsumgebung zum Änderungsmanagement erfasst und Veränderungen daran protokolliert werden. Je nach Änderungsursache kann es sein, dass andere Mitarbeiter bzw. Stellen involviert sind und informiert werden müssen (z.B. Einkauf, Montage, interne/externe Fertigung oder externe Konstruktionsdienstleister). Zusammen mit anderen Merkmalen wie z.B. den Auswirkungen einer Änderung ergeben sich so für das Referenzunternehmen verschiedene Arten von Änderungen, die im PDM-System abzubilden sind. Der einer Änderung zu Grunde liegende Workflow muss daher flexibel sein und vom Initiator – dem projektverantwortlichen Konstrukteur – an die konkreten Randbedingungen angepasst werden können. Ein starr vorgegebener Ablauf hilft im Sondermaschinenbau nicht weiter, denn der Workflow muss schnell und einfach auch noch während des Ablaufs um neue Schritte ergänzt oder um nicht benötigte Schritte reduziert werden können (z.B. um

²⁰Da eine Freigabe formal wie eine Änderung betrachtet werden kann, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter zwischen Freigabe- und Änderungsprozessen unterschieden.

zusätzlich einen bestimmten Lieferanten zu informieren). Primäres Ziel einer Workflow-Unterstützung für das Änderungsmanagement im Sondermaschinenbau ist die Sicherstellung der Nachverfolgbarkeit (Wer hat wann welche Tätigkeit durchgeführt und wie ist der aktuelle Status?) und nicht das Erzwingen eines formalisierten Prozesses.

4.6 Effizientes Auffinden bestehender Produktdaten

Die Wiederverwendung von bestehenden Baugruppen und Bauteilen stellt eine essentielle Möglichkeit dar, um die Kosten in der Produktentwicklung zu senken und die Durchlaufzeiten zu reduzieren. Zwar besteht im Sondermaschinenbau durch die individuellen Anforderungen der Kunden immer ein hoher Anteil an Neukonstruktionen, dennoch müssen die durch das PDM-System zur Verfügung stehenden Recherchefunktionen genutzt werden, um die vorhandenen, für den neuen Anwendungsfall passenden CAD-Dokumente von Teilen und Baugruppen in kurzer Zeit wiederzufinden. Dazu ist im PDM-System eine auf das Referenzunternehmen zugeschnittene Klassifizierung einzurichten, die den Konstrukteur gezielt bei der Suche nach Dokumenten unterstützt.

4.7 Unterstützung beim Datenaustausch zum Kunden

Zur Produktdokumentation einer Montageanlage gehören nicht nur Bedienungshandbücher, Ersatzteilkataloge sowie Wartungs- und Betriebsanweisungen, sondern auch die CAD-Daten in Form von 3D-Modellen und technischen Zeichnungen. Deshalb ist ein effizienter Datenaustausch wesentlicher Bestandteil der heutigen Produktentwicklung und wegen steigender Anforderungen der Kunden an die Produktdokumentation von strategischer und auch wirtschaftlicher Bedeutung.

Vor jedem Projektstart wird im Rahmen einer Datenaustauschvereinbarung geregelt, in welchem Format und in welchem Umfang der Betriebsmittellieferant die CAD-Daten im Rahmen der Produktdokumentation zu liefern hat. In der Regel fordert der OEM die vollständigen CAD-Daten einer Montageanlage, also 3D-Modelle und 2D-Zeichnungen, in dem von ihm vorgegebenen CAD-Datenformat und nach seinen Richtlinien (z.B. die anzuwendende Methodik für den Aufbau von CAD-Datenstrukturen). Dabei können die eingesetzte Version des CAD-Systems, die spezifischen Einstellungen sowie die Startmodelle und Zeichnungsrahmen je nach OEM variieren. Dennoch sind die Betriebsmittellieferanten gezwungen, diese Forderungen im Vorfeld zu bestätigen, über überhaupt die Beauftragung für ein Projekt zu bekommen. Die Aufwände zur korrekten Aufbereitung der CAD-Daten verlagern sich auf die Betriebsmittellieferanten. Deshalb muss es deren besonderes Anliegen sein, die zusätzlichen Aufwände hierfür möglichst gering zu

halten und trotz der unterschiedlichen Vorgaben der einzelnen OEMs ihre eigenen Standards (vgl. Konstruktionskatalog für den Werkstückträger im Referenzunternehmen) nutzen zu können.

Deshalb besteht die Anforderung einer Exportfunktion im PDM-System, um den Vorgaben der Automobilhersteller gerecht zu werden. Diese Funktion muss nicht nur die Produktdaten einer Montageanlage aus dem PDM-System auf den Fileserver exportieren, sondern auch automatisch Anpassungen daran vornehmen wie bspw. die Dateien entsprechend den Richtlinien des OEM umzubenennen. Bei 2D-Zeichnungen ist darüber hinaus die Anpassung bzw. der Austausch des Schriftfeldes erforderlich.

5 Konzept für den Einsatz von PDM-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie

Anhand der dargestellten Anforderungen wurde ein Konzept erarbeitet, das die Einsatzmöglichkeiten für den PDM-Einsatz im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie aufzeigt und die nachstehenden Themenbereiche behandelt:

- Infrastruktur und Arbeitsumgebung
- CAD-Integration
- Freigabe- und Änderungsmanagement
- Klassifizierung
- Schnittstellen und Datenaustausch zum Kunden

Eine Abgrenzung zu vergleichbaren Ansätzen und Vorgehensweisen aus der Literatur schließt das Kapitel ab.

5.1 Infrastruktur und Arbeitsumgebung

Um eine durchgängige IT-Infrastruktur zu erreichen, erfolgt in einem ersten Schritt die Konsolidierung der verteilten Datenablagen, die in Abbildung 3-12 dargestellt sind. Vor allem die CAD-Daten aus CATIA V5 und AutoCAD, die sich aktuell noch auf einem Fileserver befinden, sollten dringend in das PDM-System integriert werden. Um effizient in einem Projekt zu arbeiten, muss der Konstrukteur oder Projektingenieur außerdem alle für seine Aufgaben relevanten Produktdaten und Projektdokumente von einem Punkt aus erreichen können, und das unabhängig davon, ob er das jeweilige Erzeugersystem kennt. Dafür stellt das PDM-System eine Informationsplattform für die Produktentwicklung bereit, welche die verschiedenen Datenquellen zusammenführt und den direkten Zugriff darauf ermöglicht. Diese Plattform integriert neben der aktuellen Datenbereitstellung auch die mit den Produktdaten verbundenen Vorgänge und zeigt so jederzeit bspw. den aktuellen Status von Freigaben und Änderungen zu einem bestimmten Projekt.

Im Referenzunternehmen zählen zu den Aufgaben des Konstrukteurs auch die Stammdaten- und Stücklistenpflege. Durch die Verwendung von SAP als PDM- und ERP-System gibt es für den Artikel einen gemeinsamen Stammsatz (hier „Materialstamm“), der sowohl Inhalte für die Produktentwicklung als auch für die sich anschließenden logistischen Prozesse der Produktherstellung bereitstellt. Demzufolge wird durch die Integration von ERP-Inhalten in die Informationsplattform sinnvoll, so dass ein Konstrukteur über den Materialstamm z.B.

direkt auf Auftragsdaten, Bestandsdaten oder Bestellungen zugreifen kann, ohne dafür bei einem Mitarbeiter des Einkaufs oder Disposition nachfragen zu müssen.

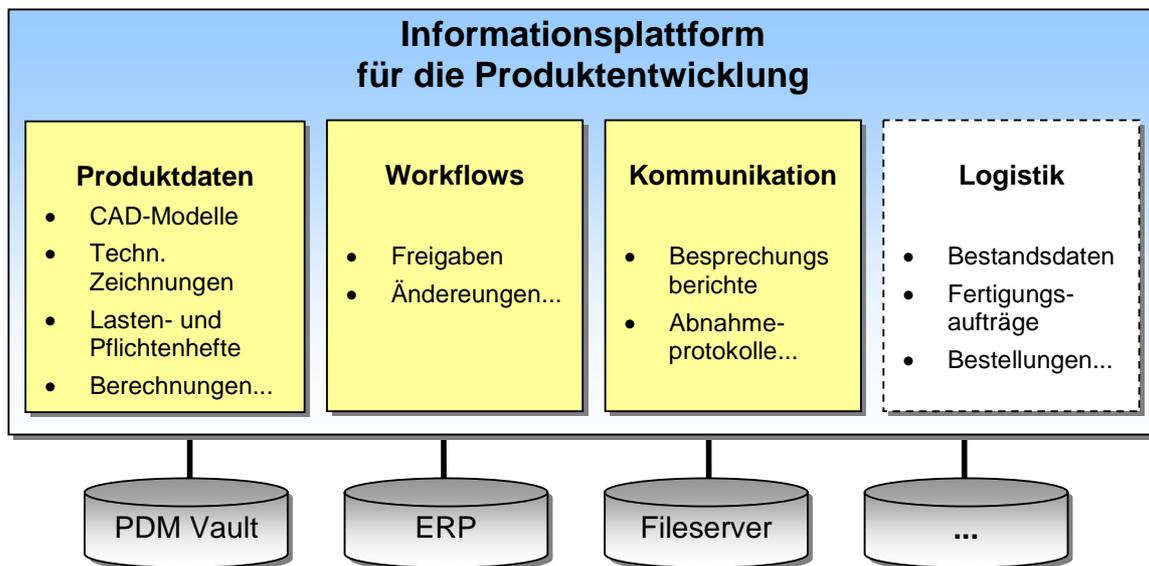


Abbildung 5-1: Schema für eine Informationsplattform in der Produktentwicklung

5.2 CAD-Integration

Die typische Arbeitsweise im Referenzunternehmen, Umfänge der Produktentwicklung an externe Dienstleister auszulagern und bestimmte Gewerke vollständig (Produktentwicklung und -herstellung) an Untertierlieferanten zu vergeben, führt zu unterschiedlichen Gruppen von CAD-Daten, die im PDM-Konzept zu berücksichtigen sind:

- Intern erstellte CAD-Daten
- Extern erstellte CAD-Daten
- Fahrzeugdaten

5.2.1 Intern erstellte CAD-Daten

Zu dieser Gruppe zählen alle CAD-Daten, die innerhalb der Produktentwicklung des Referenzunternehmens erstellt worden sind. Es besteht die Anforderung, verschiedene CAD-Systeme unterschiedlicher Hersteller zu integrieren. Daraus folgt die Erzeugersystemunabhängigkeit des einzusetzenden PDM-Systems, denn solche Systeme stellen die benötigten Funktionen systemneutral bereit und bieten eine einheitliche Oberfläche. Auch wenn die Tiefe der Integration und die Interaktion zwischen CAD und PDM nicht so weit reicht wie bei erzeugersystemorientierten PDM-Systemen, ist die Forderung nach einer

zentralen Sicht auf die Produktdaten unabhängig vom CAD-System ausschlaggebend für die Auswahl des PDM-Systems.

5.2.2 Extern erstellte CAD-Daten

Aus der durchgeführten Analyse der Produktentwicklung im Sondermaschinenbau geht hervor, dass bei der Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern verschiedene Konstellationen möglich sind, die im Rahmen eines automatisierten dateibasierten Datenaustauschs unterschiedlich behandelt werden müssen. Hauptkriterium für die Realisierung von Import-Mechanismen ist hierbei, ob der externe Dienstleister ein PDM-System einsetzt oder nicht.

a) Externer Dienstleister setzt ein PDM-System ein

Wenn der externe Dienstleister bereits mit einem PDM-System arbeitet, lassen sich beim Datenaustausch zwischen den beteiligten PDM-Systemen auch Metadaten sowie Struktur- und Versionsinformationen zu den einzelnen CAD-Dokumenten übergeben. Ein direkter, Datenbank-basierter Austausch ist theoretisch möglich, wenn beide Partner das identische PDM-System einsetzen, scheitert aber in der Regel an unterschiedlichen Einstellungen oder firmenspezifischen Ausprägungen. Sinnvoller ist hier ein Datei-basierter Datenaustausch auf Basis einer standardisierten Schnittstelle zur Kommunikation zwischen den beteiligten PDM-Systemen. Ein in der Automobilindustrie weit verbreiteter und von vielen CAD- und PDM-Systemen unterstützter Standard stellt STEP, dessen Applikationsprotokoll 214 (STEP AP214: „Core Data for Automotive Mechanical Design Processes“; [ISO 10303-214]) die Produkt- und Betriebsmitteldaten von Entwicklungsprozessen in der Automobilindustrie beschreibt und u.a. folgende Informationen abbildet [ProS08]:

- Teile und Betriebsmittel sowie deren Baugruppen, einschließlich Versionierung und Zulieferinformationen
- Prozessplaninformation zur Verwaltung der Beziehungen zwischen Teilen und Betriebsmitteln, die zu ihrer Herstellung benötigt werden
- Produktstruktur- und Konfigurationsdaten
- Verwaltung und Dokumentation der Entwurfs- und Änderungsprozesse
- Identifikation von Standardteilen
- Organisationsdaten (Verantwortlichkeiten, Freigaben, etc.)
- Geometriebeschreibung (2D und 3D)

- Referenzierung von Produktdokumentationen, die nicht durch die ISO 10303 Norm abgedeckt sind
- Eigenschaften von Teilen und Betriebsmitteln

In diesem konkreten Fall geht es nicht darum, STEP zum Austausch von Geometrieinformationen zu verwenden, sondern zum Austausch von Produktstrukturinformationen. Das Datenpaket besteht aus der systemneutralen Datei im STEP-Format und den Nutzdateien im nativen Format des CAD-Systems. Die neutrale Datei enthält die Metadaten (z.B. Artikelnummer, Version, Ersteller, Erstellungsdatum etc.), die Zusammenbauinformationen (Produktstruktur und Transformationen) und zusätzlich Referenzen auf die eigentlichen Nutzdaten. Der externe Dienstleister übergibt dieses Datenpaket an den Sondermaschinenbauer, der dann die extern erstellten CAD-Dokumente, deren Strukturinformationen und die zugehörigen Metadaten in sein eigenes PDM-System importieren kann. Der Nachteil bei einem standardisierten Datenaustausch über STEP besteht darin, dass die zwar die mit der Produktstruktur zusammenhängenden Links berücksichtigt werden, nicht jedoch die internen Beziehungen in den CAD-Modellen [Kras03], da diese nicht im Standard abgebildet sind und demzufolge auf diesem Wege nicht ausgetauscht werden können. Für CATIA V5 bedeutet das, dass sich Referenz- und Exemplar-Links austauschen lassen (vgl. Abbildung 2-26).

Zusammengefasst ergibt sich folgendes Datenaustauschscenario:

- 1) Der Anwender beim externen Dienstleister wählt die zu exportierenden CAD-Dokumente aus (z.B. durch Angabe einer Baugruppe; die referenzierten Bauteile und Unterbaugruppen werden über die Produktstruktur automatisch selektiert). Ein manuelles Ergänzen oder Reduzieren der Exportliste muss möglich sein.
- 2) Das PDM-System checkt die betroffenen nativen CAD-Dateien in das Zielverzeichnis aus und generiert eine STEP-Datei mit den Strukturinformationen, Transformationen (wenn erforderlich) sowie den Metadaten der zugehörigen CAD-Dokumente.
- 3) Die CAD-Dateien werden zusammen mit der STEP-Datei entweder automatisiert über ein Datenaustauschwerkzeug oder manuell durch den Anwender zum Sondermaschinenbauer übermittelt (z.B. per E-Mail, CD, DVD)
- 4) Der Anwender beim Sondermaschinenbauer importiert die CAD-Dokumente über die STEP-Datei in das PDM-System. Bei Konfliktsituationen (z.B. wenn zwischenzeitlich im PDM-System des Sondermaschinenbauers selbst eine Änderung an den CAD-Dokumenten durchgeführt wurde) muss der Anwender im konkreten Fall über den Import des Dokuments entscheiden.
- 5) Artikelstämme und Stücklisten können anhand der in der STEP-Datei enthaltenen Produktstrukturinformationen ebenfalls automatisch generiert werden. Logistik- oder

Fertigungsinformationen müssen ggf. manuell durch Mitarbeiter des Sondermaschinenbauers nachgepflegt werden.

Analog lässt sich auch der umgekehrte Weg des Datenaustauschs mit dem externen Dienstleister beschreiben, beispielsweise um diesem Standardbaugruppen oder Norm- und Kaufteile zur weiteren Verwendung in einem Projekt bereitzustellen. Dabei wählt der Anwender auf Seiten des Sondermaschinenbauers die zu exportierenden CAD-Dokumente aus und das PDM-System generiert die entsprechende STEP-Datei mit den Strukturinformationen, Transformationen und Metadaten, die dann zusammen mit den nativen CAD-Dateien an den externen Dienstleister übermittelt werden. Dieser importiert die Daten in sein PDM-System und kann sie in seinem Konstruktionsumfang verwenden.

Im Zuge der fortschreitenden Anwendung Web-basierter Kommunikationstechnologien spielt XML als Metasprache beim Datenaustausch eine immer größere Rolle. Aus diesem Grund wurde das Forschungsprojekt „PDTnet“ als Kooperation von Herstellern und Zulieferern aus der Automobilindustrie durchgeführt, mit dem Ziel, Lösungen für die brancheneinheitliche Produktdatenintegration und -kommunikation zu realisieren. Ergebnis war die Entwicklung eines XML-Schemas, das auf der Semantik von STEP AP214 basiert, so dass STEP-konforme XML-Dateien zum Austausch von Zusammenbauinformationen und Metadaten verwendet werden können [PROS03]. Die Projektergebnisse lassen sich auch auf die Sondermaschinenbauunternehmen als Lieferanten für Betriebsmittel übertragen, die im Hinblick auf den Datenaustausch vor ähnlichen Herausforderungen wie die Automobilzulieferer stehen, auch wenn sie selbst nicht direkt in die Fahrzeugentwicklung involviert sind.

b) Externer Dienstleister setzt kein PDM-System ein

Ohne PDM-System muss eine Lösung gefunden werden, um die Produktstruktur aus dem CAD-System des externen Dienstleisters in das PDM-System des Sondermaschinenbauers zu übergeben. Dazu bieten moderne CAD-Systeme die Funktionalität, die Strukturinformationen nach STEP AP214 auszuleiten. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, enthalten diese STEP-Dateien keine Geometrieinformationen, sondern eine Abbildung der Struktur aus dem CAD-System und Verweise auf die nativen CAD-Dokumente. CATIA V5 beinhaltet bereits einen STEP-Strukturdatenexport, andere CAD-Systeme müssten ggf. um solch eine Funktionalität erweitert werden. Viele Systeme lassen sich über die Nutzung von API-Methoden um kundenspezifische Funktionen erweitern.

Neben der Struktur können auch Metadaten beim Export berücksichtigt werden. Die zu übergebenden Metadaten hängen von den Möglichkeiten des Erzeugersystems ab, Abbildung 5-2 zeigt die Metadaten („Eigenschaften“) für ein Einzelteildokument aus CATIA V5. Hier können neben im Standard vorhandenen auch eigene Eigenschaften definiert werden.

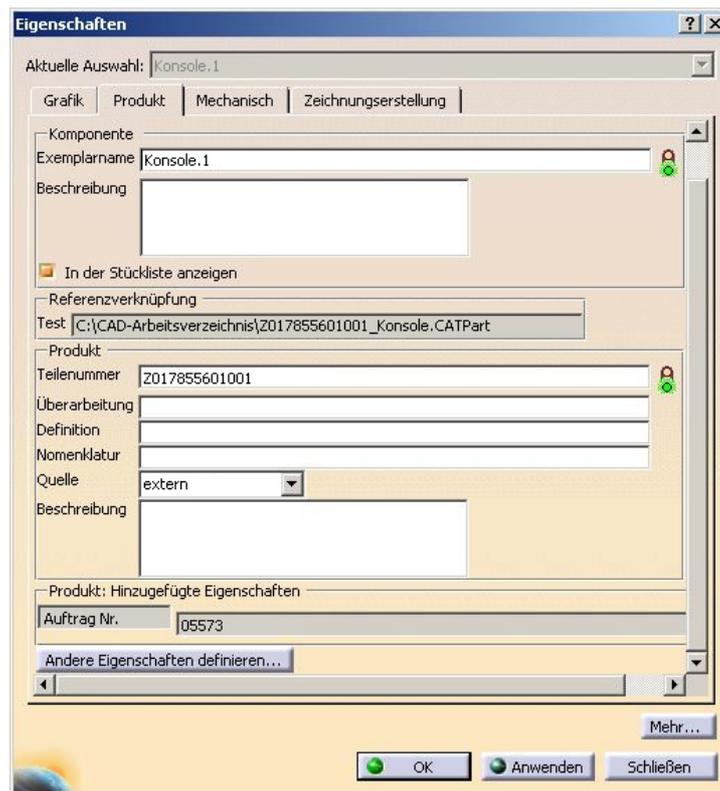


Abbildung 5-2: Eigenschaften / Attribute eines Einzelteildokuments in CATIA V5

Es ergibt sich ein ähnliches Datenaustauschscenario wie im vorangegangenen Abschnitt:

- 1) Der Anwender beim externen Dienstleister öffnet die zu exportierende Baugruppe im CAD-System und startet den Exportvorgang (die referenzierten Bauteile und Unterbaugruppen werden über die geöffnete CAD-Produktstruktur automatisch selektiert).
- 2) Das CAD-System kopiert die betroffenen nativen CAD-Dateien in das Zielverzeichnis und generiert eine STEP-Datei mit den Strukturinformationen, Transformationen (wenn erforderlich) sowie den Metadaten der geöffneten CAD-Dokumente.
- 3) Die CAD-Dateien werden zusammen mit der STEP-Datei entweder automatisiert über ein Datenaustauschwerkzeug oder manuell durch den Anwender zum Sondermaschinenbauer übermittelt (z.B. per E-Mail, CD, DVD)
- 4) Der Anwender beim Sondermaschinenbauer importiert die CAD-Dokumente über die STEP-Datei in das PDM-System. Bei Konfliktsituationen muss der Anwender im konkreten Fall über den Import des Dokuments entscheiden.
- 5) Artikelstämme und Stücklisten können anhand der in der STEP-Datei enthaltenen Produktstrukturinformationen ebenfalls automatisch generiert werden. Logistik- oder Fertigungsinformationen müssen ggf. manuell durch Mitarbeiter des Sondermaschinenbauers nachgepflegt werden.

c) Unterlieferanten für komplette Gewerke

Eine Sonderstellung nehmen die CAD-Daten von Unterlieferanten für komplett vergebene Gewerke (z.B. Lüftungs- oder Fördertechnik) an. Solche Gewerke werden in der Produktstruktur der Anlage nicht in Form von detaillierten Stücklisten mit allen Einzelteilen, sondern durch Angabe eines Artikelstamms für das komplette Gewerk aufgeführt. Die CAD-Daten werden vorrangig dazu benötigt, sie in das 3D-Gesamtmodell der Anlage zu integrieren und so DMU-Analysen durchführen zu können. Da diese Lieferanten auch andere als die vom Sondermaschinenbauer verwendeten CAD-Systeme einsetzen, ist oftmals zunächst eine Konvertierung erforderlich.

5.2.3 Verwaltung von Fahrzeugdaten

Viele OEMs liefern zu den Fahrzeugdaten auch Metadaten mit, indem sie die eigentlichen nativen CAD-Daten durch STEP-Dateien (oder XML-Dateien basierend auf AP214) ergänzen, so dass dem Sondermaschinenbauer neben den reinen Nutzdaten außerdem Struktur- und Versionsinformationen zur Verfügung stehen [Kras03]. Diese Informationen lassen sich nutzen, um die Fahrzeugdaten automatisch in das PDM-System zu importieren. Im Unterschied zu den extern erstellten CAD-Daten (vgl. Abschnitt 5.2.2) werden Fahrzeugdaten durch den Sondermaschinenbauer selbst nicht verändert, so dass das PDM-System die Daten gegen Veränderungen sperrt und so einen Nur-Lese-Zugriff sicherstellt.

Der Schlüssel zur Identifikation von Produktdaten im PDM-System ist allgemein die Dokumentnummer, wobei jeder OEM hier eine eigene Nummernsystematik anwendet, die allerdings nicht mit der des Sondermaschinenbauers übereinstimmen muss. Es könnte sogar vorkommen, dass ein Fahrzeugbauteil eine Nummer aufweist, die der Sondermaschinenbauer bereits für eines seiner eigenen Bauteile verwendet hat. Daher ist zwischen interner und externer Dokumentnummer zu unterscheiden. Die interne Nummer ist der Identifikator, unter der das PDM-System ein Dokument führt. Die externe Nummer wird zum Zweck der eindeutigen Kommunikation mit dem Kunden ebenfalls im PDM-System als Merkmal zum Dokumentattribut abgelegt und entspricht der Nummer der Komponente im PDM-System des OEM.

Zur besseren Auffindbarkeit ist neben den typischen Metadaten wie Dokumentnummer, Bezeichnung oder Version eine Klassifizierung erforderlich, und zwar in erster Linie nicht nach geometrischen, sondern nach strukturellen und organisatorischen Gesichtspunkten in Form eines Thesaurus. Ziel der Klassifizierung ist es, eine für alle Kunden einheitliche Identifikation von Fahrzeugbauteilen und –baugruppen im PDM-System des Sondermaschinenbauers zu erreichen. Über die Merkmale „Kunde“ und „Fahrzeugtyp“ wird zunächst die Vorauswahl getroffen und diese anschließend über das Merkmal

„Fahrzeugbaugruppe“ weiter eingeschränkt. Letzteres Merkmal ist wichtig, um Fahrzeugdaten schnell den „Hauptbaugruppen“ zuordnen zu können. Auf diese Weise steht trotz der abweichenden Teilebezeichnungen der verschiedenen Kunden eine neutrale Suchmöglichkeit zur Verfügung. Die Tiefe und der hierarchische Aufbau dieses Merkmals sind in der Praxis zu überprüfen, d.h. in wiefern beispielsweise auch für die Klassifizierung die Vorderachse in Federbein, Lenkgetriebe etc. aufgliedert wird. Um angesichts der Menge an CAD-Daten den Aufwand für die Klassifizierung gering zu halten, lassen sich bestimmte Werte (z.B. Kunde, Fahrzeugtyp) voreinstellen und Merkmalswerte einer Baugruppe auf untergeordnete Teile und Baugruppen vererben. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft den Aufbau von Identifikationsmerkmalen von Fahrzeugbauteilen aus Sicht des Betriebsmittellieferanten.

Fahrzeugteil/ -baugruppe	
Merkmal	Ausprägung (Beispiele)
Dokumentnummer Kunde	
Eingangsdatum	
Kunde (OEM)	BMW, Daimler, Ford, Volkswagen etc.
Fahrzeugtyp (abhängig von Merkmalsbewertung „Kunde“)	BR204, BR211 → Daimler PQ35, PQ46 → Volkswagen
Fahrzeugbaugruppe	Vorderachse, Hinterachse, Unterboden, Antriebsstrang, Abgasanlage, Bremssystem etc.

Tabelle 5-1: Übersicht der Merkmale für Fahrzeugdaten im PDM-System des Betriebsmittellieferanten

5.2.4 Verwaltung von Skelettmodellen

Im Referenzunternehmen wird die Skelettmodellierung vorrangig im Geschäftsfeld Montagetechnik angewandt, sowohl zur Abbildung von Steuerungs- und Positionierungsgeometrie als auch zur Begrenzung des verfügbaren Bauraumes. Skelettmodelle enthalten beispielsweise die Koordinaten der Schraubpunkte für die Aggregatmontage, an denen dann die Schraubspindeln ausgerichtet werden, oder aber Freiformflächen, die zur Modellierung von Konturaufnahmen dienen.

Ein Ziel der Skelettmodellierung ist es, die Fahrzeuggeometrie von der Anlagenkonstruktion zu entkoppeln und die benötigten Geometrielemente in das (Zusammenbau-)Skelettmodell zu übernehmen, so dass mehr Rechenleistung für die eigentliche Konstruktionstätigkeit zur Verfügung steht. Das Übernehmen der Geometrie erfolgt deshalb durch eine nicht-assoziative Kopie, so dass keine Links zwischen Anlagen- und Fahrzeugbauteilen generiert werden. Um dennoch den Bezug zu den Fahrzeugdaten herzustellen, kann diese Verbindung durch das PDM-System aufrechterhalten werden. Auf diese Weise lassen sich bei Änderungen der

Fahrzeugdaten bereits im PDM-System die betroffenen Skelettmodelle identifizieren und trotzdem die Anlagenkonstruktion CAD-datentechnisch entkoppeln. Insofern gibt es im PDM-System neben den Teile-, Baugruppen-, und Zeichnungsdokumenttypen auch einen Dokumenttyp für Skelettmodelle, der als einziger zu den Dokumenten für die Fahrzeuggeometrie Referenzen im PDM aufbauen darf.

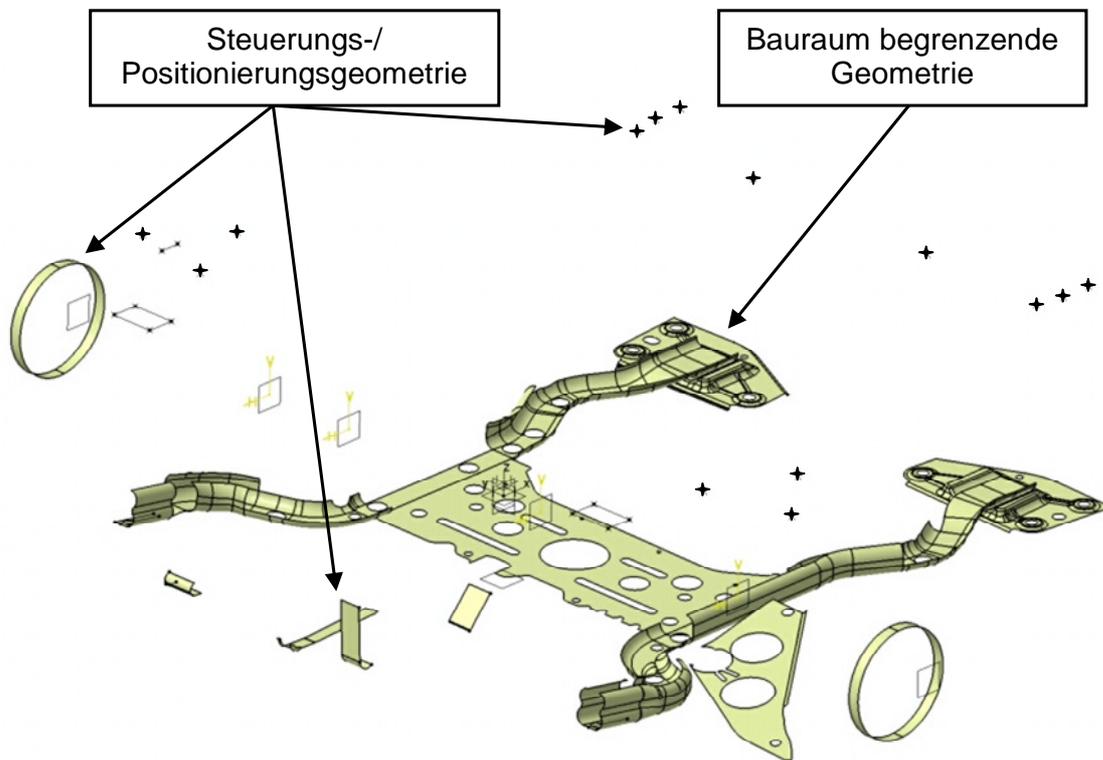


Abbildung 5-4: Beispiel für ein Skelettmodell mit Fahrzeuggeometrie und Schraubpunkten
(Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)

Zum Aufbau der Produktstruktur im CAD-System setzt das Referenzunternehmen Vorlagen ein, die bereits initiale Modelle für die einzelnen Systemelemente enthalten sowie für die Verwendung von strukturierten Skelettmodellen vorbereitet sind. Zu Projektbeginn werden damit top-down die Hauptkomponenten der Anlage vorgegeben, später werden die einzelnen Baugruppen bottom-up konstruiert. Das Gesamtmodell stellt auch die Verbindung zwischen dem Fahrzeug- und Anlagenkoordinatensystem her. Die folgende Abbildung zeigt ein schematisches Beispiel für das Teilsystem Werkstückträger der Aggregatmontage in CATIA V5 und den Referenzfluss zwischen den einzelnen Skelettmodellen. Diese werden nicht generell in jeder Baugruppenebene, sondern je nach Konstruktionsaufgabe optional verwendet.

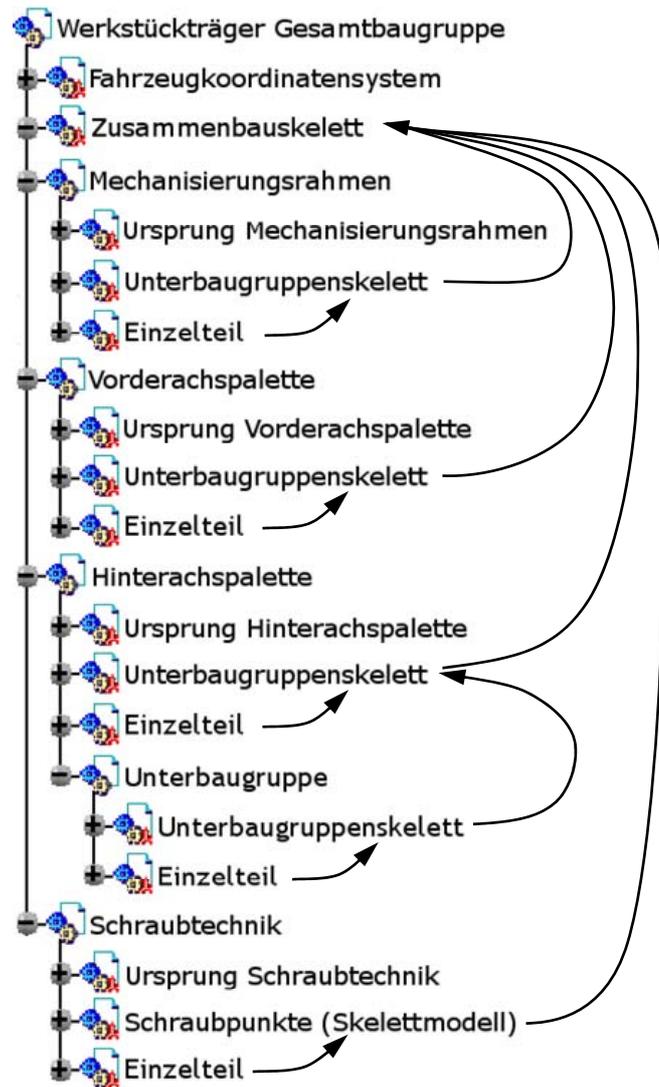


Abbildung 5-5: Beispiel für die CAD-Struktur eines Werkstückträgers in CATIA V5

Zur Abbildung von Links aus dem CAD-System muss gesagt werden, dass das im Referenzunternehmen eingesetzte PDM-System SAP PLM nur mit statischen Baugruppenstrukturen arbeiten kann (siehe Kategorie 3, Abschnitt 2.4.5). Damit werden die direkten Links zwischen Skelettmodell und Einzelteilen nicht durch das PDM-System ausgewertet, sondern nur die Verbauung im Baugruppendokument über Exemplar-Links.

5.3 Freigabe- und Änderungsmanagement

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der grundsätzliche zukünftige Änderungsprozess im Referenzunternehmen erarbeitet, wie er in Abbildung 5-6 schematisch dargestellt ist. Die Durchführung der Änderungen und insbesondere die Übergabepunkte zu externen Stellen wurden in der Vergangenheit nicht ausreichend dokumentiert. Für die Abwicklung von Änderungsprozessen wird deshalb im PDM-System eine Arbeitsumgebung mit Workflow-Unterstützung realisiert, in der die benötigten Informationen zu einem Änderungsvorgang übersichtlich erfasst werden können:

- Änderungsursache
- Änderungsumfang
- Beteiligte Personen
- Kosten
- Termine, z.B. für die Änderungsumsetzung
- Status

Jedem Änderungsprozess lässt sich eine Urachse zuordnen. Die typischen Änderungsursachen aus dem Referenzunternehmen wurden bereits in Abschnitt 3.4 beschrieben:

- Änderung der Fahrzeugdaten
- Änderung von Anforderungen durch den Kunden
- Kollision bei DMU-Untersuchung
- Beschaffungsprobleme
- Rückmeldung aus Fertigung und Montage
- Kompensation von Fertigungsfehlern
- Rückmeldung nach Testlauf

Die Ursache kann als Kriterium dienen, die zu informierenden Personen sowie den Ablauf der Schritte im Änderungsprozess festzulegen. Darüber hinaus muss der Initiator einer Änderung den Workflow selbst anpassen können, um flexibel auf Entscheidungen oder geänderte Randbedingungen zu reagieren. Selbstverständlich kann eine Änderung von verschiedenen Stellen oder Beteiligten im Produktherstellungsprozess ausgehen. Als Prämisse wurde festgelegt, dass grundsätzlich der projektverantwortliche Konstrukteur die Änderungen im PDM-System initiiert.

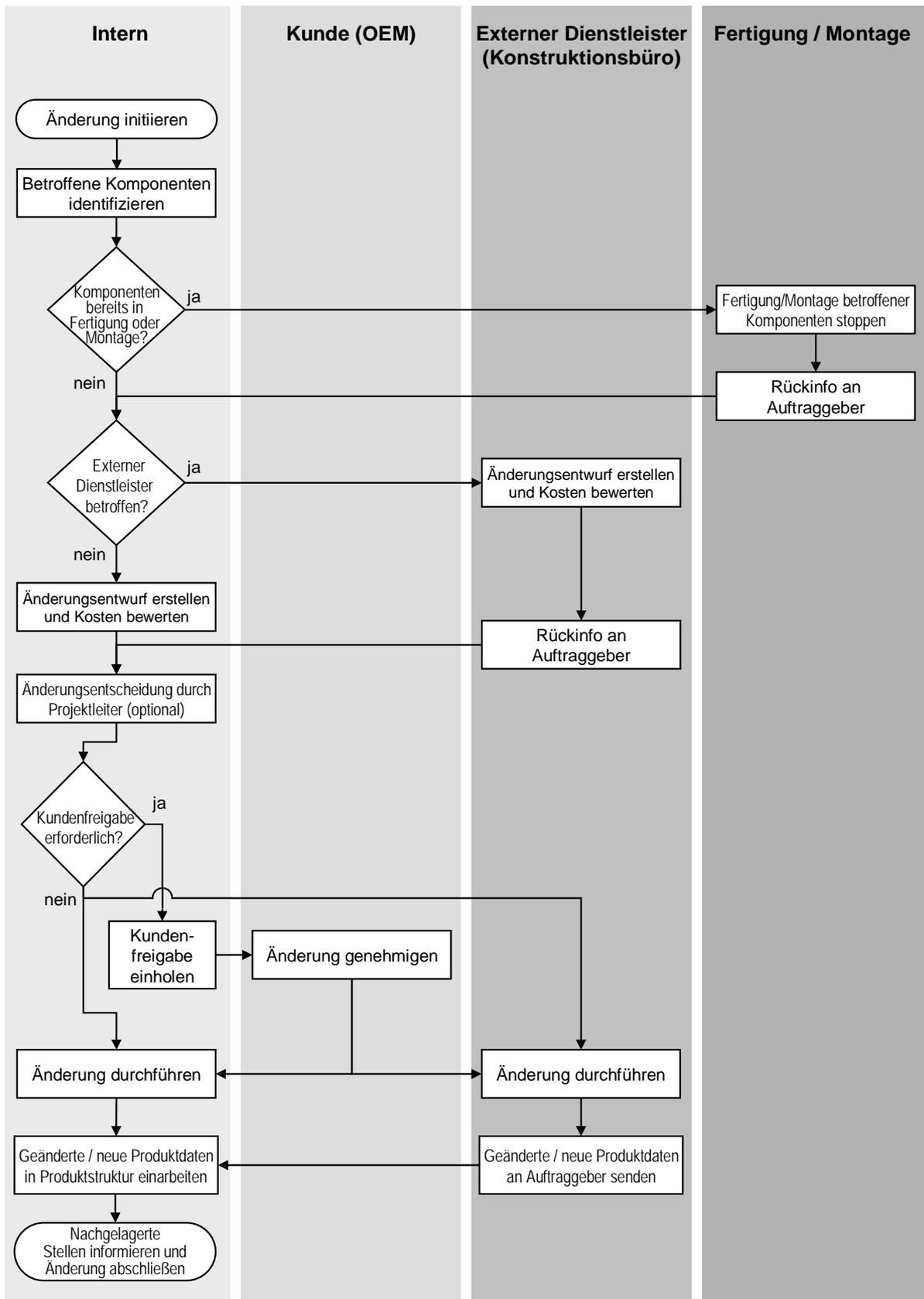


Abbildung 5-6: Schematischer Ablauf des Änderungsprozesses

Der Prozess startet üblicherweise mit einem oder wenigen Bauteilen, die den Ausgangspunkt für die Festlegung des Änderungsumfangs darstellen. Über einen Verwendungsnachweis

kann man anhand der Produktstruktur ermitteln, in welchen Baugruppen die betroffenen Bauteile enthalten und wo eventuell weitere konstruktive Änderungen notwendig sind. Änderungen können während des gesamten Produktherstellungsprozesses auftreten. Während der Fertigungs- und Montagephase müssen die involvierten Abteilungen bzw. die beauftragten externen Fertigungsunternehmen zeitnah über die von einer Änderung betroffenen Komponenten informiert werden, um deren Produktion bzw. Montage zu stoppen. Eine Änderung nach Fertigungsbeginn kann außerdem zur Folge haben, dass Teile verschrottet oder nachgearbeitet werden müssen.

Im nächsten Schritt erfolgt die Erstellung des Änderungsentwurfs entweder intern oder durch den entsprechenden externen Dienstleister, der für das betroffene Anlagenmodul oder Teilsystem verantwortlich ist. In Abschnitt 3.4 wurde bei der Darstellung des Produktentwicklungsprozesses besprochen, dass aus Kosten- und Ressourcengründen bestimmte Umfänge an Untertierlieferanten oder Entwicklungsdienstleister (Konstruktionsbüros) vergeben werden. Auf Basis des Entwurfs und weiterer Informationen lassen sich zunächst die zu erwartenden Änderungskosten grob schätzen, so dass der Projektleiter bei umfangreichen Änderungen eine Entscheidungsgrundlage über die weitere Durchführung verfügt. In bestimmten Fällen (z.B. kritische Änderungen oder besondere Vertragsbedingungen) durch den Projektleiter zusätzlich die Freigabe des Kunden eingeholt werden, wofür die zu erwartenden Kosten ebenfalls eine Rolle spielen. Im Gegensatz zur schematischen „linearen“ Darstellung in Abbildung 5-6 können im Laufe des Prozesses mehrere Iterationsschleifen notwendig sein.

Nach positiver Prüfung des Entwurfs entstehen im Rahmen der anschließenden Änderungsdurchführung, die analog zur Entwurfserstellung intern oder extern abläuft, geänderte bzw. neue Produktdaten, die in die Produktstruktur der Anlage eingearbeitet werden müssen. Hierbei ist konsequent zwischen kompatibler und inkompatibler Änderung zu unterscheiden. Nachdem die nachfolgenden Stellen durch den Workflow über die Änderung informiert worden sind, schließt der Konstrukteur den Änderungsprozess ab (die Änderung wird auf den Status „Freigegeben“ gesetzt). Die Änderung der Fertigungsunterlagen (wie z.B. NC-Programme oder Arbeitspläne) wird im Referenzunternehmen nicht mehr direkt im Änderungsprozess betrachtet, da die Fertigung überwiegend extern abläuft. Eine automatische Verteilung der geänderten Dokumente kann nach Abschluss des Änderungsprozesses angestoßen und somit systemtechnisch protokolliert werden. Die heutige manuelle Verteilung der Dokumente (per E-Mail oder Datenträger) wird dadurch abgelöst.

Durch die dokumentierte Kostenbewertung (Plan- und Ist-Kosten) in Verbindung mit Änderungsursache und Änderungsbeschreibung stehen dem Projektleiter außerdem detaillierte Informationen zur Verfügung, um die Kosten für eine Änderung beim Auftraggeber einfordern zu können.

5.4 Klassifizierung

5.4.1 Klassifizierung auf Basis eines Konstruktionskataloges

Um die Erfahrungen aus vorhandenen Projekten zu nutzen, wurden im Referenzunternehmen zunächst anhand des Teilsystems „Werkstückträger“ aus der Aggregatmontage bestehende Lösungen analysiert und daraus ein erweiterbarer Konstruktionskatalog entwickelt, der flexible Modulvarianten für die Einzelteilmfunktionen eines Werkstückträgers enthält, die in neuen Projekten eingesetzt werden sollen [Heid04].

Wenn die CAD-Dokumente der Modulvarianten über das PDM-System verfügbar sind, bedarf es einer entsprechenden Klassifizierung, um effizient mit dem Konstruktionskatalog arbeiten zu können. Dafür eignet sich ein Klassifizierungssystem, das sich an den Hauptfunktionen des Werkstückträgers orientiert, denen Funktionsmodule zugeordnet werden, die sich über verschiedene Lösungsvarianten realisieren lassen (Abbildung 5-7). Ausgehend davon lässt sich schließlich ein hierarchisches Klassifizierungssystem in Form eines Thesaurus aufbauen.

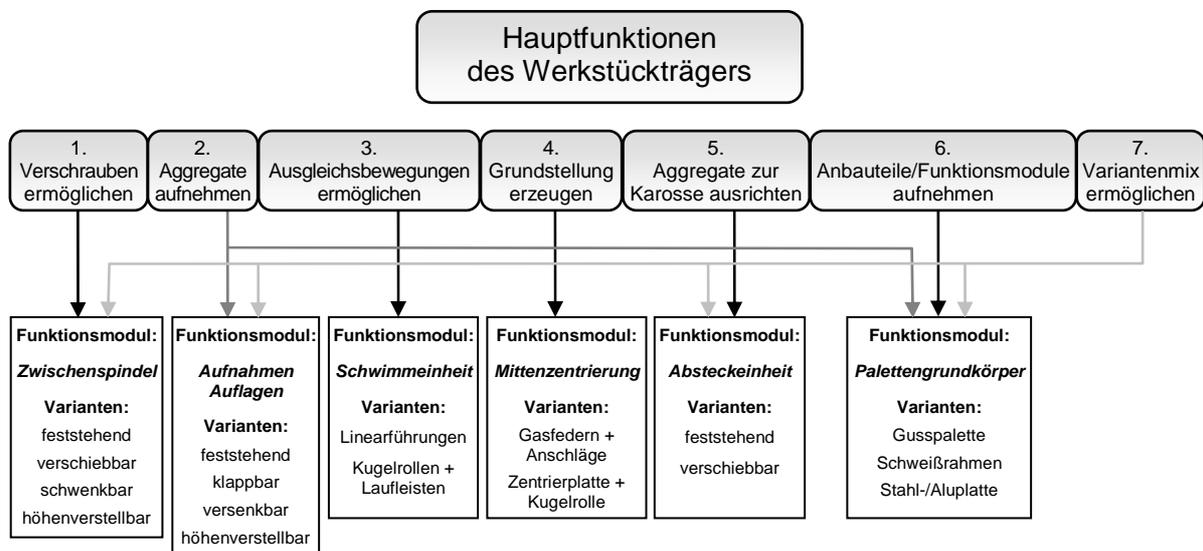


Abbildung 5-7: Hauptfunktionen des Teilsystems Werkstückträger (vgl. [Heid04])

Der erstmalige Aufwand für eine durchgängige Klassifizierung der Modulvarianten rechnet sich bereits nach kurzer Zeit durch das vereinfachte und schnellere Auffinden. Bei einem neuen Projekt prüft der Konstrukteur zuerst anhand des Kataloges, welche Standardbaugruppen und –bauteile im konkreten Anwendungsfall übernommen oder als Grundlage für eine neue Variante verwendet werden können. Er erhält direkt die zugehörigen CAD-Dokumente, indem er im PDM-System einen Suchvorgang für die gewünschten Varianten ausführt und die entsprechenden Klassifizierungsmerkmale als Suchparameter verwendet. Einen Einblick in das Klassifizierungssystem für Standardbauteile- und –baugruppen des Teilsystems „Werkstückträger“ gibt Tabelle 5-2, die analog dem Konstruktionskatalog von [Heid04] aufgebaut ist.

Um die Anwendbarkeit und Qualität sicherzustellen, muss das Klassifizierungssystem stets aktuell gehalten werden, d.h. in Projekten entstehende, neue Varianten sind ebenfalls mit Merkmalen zu versehen und in die Hierarchie einzuordnen.

Klassifizierung zu Standardbauteilen und -baugruppen des Werkstückträgers
--

Absteckereinheit zur Karosserie▶ **Drehmomenthohlwellen-Bauweise**

- ▶ feststehend
- ▶ verschiebbar
 - ▶ Führungssystem
 - ▶ Gasdruckfeder
 - ▶ Mittenzentrierung

▶ **Teleskopbauweise + Gasdruckfeder**

- ▶ feststehend
- ▶ verschiebbar
 - ▶ Führungssystem
 - ▶ Gasdruckfeder
 - ▶ Mittenzentrierung

▶ **Teleskopbauweise + Schraubendruckfeder****Aggregatepositionierung (Aufnahmen / Auflagen)**▶ **x/y/z-Abstützung (= Aufnahme)**

- ▶ einteilige Aufnahme
- ▶ mehrteilige Aufnahme
 - ▶ Kontaktteil Aggregat
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ horizontal schwenkbar
 - ▶ versenkbar
 - ▶ vertikal klappbar
 - ▶ Kontaktteil Palette
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ [...]
 - ▶ Zwischenelemente
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ [...]

▶ **z-Abstützung (= Auflage)**

- ▶ einteilige Auflage
- ▶ mehrteilige Auflage
 - ▶ Kontaktteil Aggregat
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ horizontal schwenkbar
 - ▶ versenkbar
 - ▶ vertikal klappbar
 - ▶ Kontaktteil Palette
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ [...]
 - ▶ Zwischenelement
 - ▶ federnd
 - ▶ feststehend
 - ▶ höhenverstellbar
 - ▶ [...]

- Fortsetzung -

▶ **Federbeinaufnahme**

- ▶ Positionierung über Federbeinrohr
 - ▶ automatisch vertikal schwenkbar
 - ▶ feststehend
 - ▶ manuell horizontal schwenkbar
- ▶ Positionierung über Federbeinteller

Mittenzentrierung

- ▶ **Gasdruckfeder + Anschläge**
- ▶ **Zentrierplatte + federbelastete Kugelrolle**

Palettengrundkörper

- ▶ **Gussbauweise**
 - ▶ Aluminiumguss
- ▶ **Plattenbauweise**
 - ▶ Aluminiumplatte
 - ▶ Stahlplatte

▶ **Stahl-Schweißkonstruktion**

- ▶ Stahlrahmen mit Deckplatten
- ▶ Stahlrahmen ohne Deckplatten

Schwimmeinrichtung Palette auf Mech.-Rahmen

- ▶ **Kugelrolle**
- ▶ **Linearführungen**
- ▶ **Schleißplatte**

Zwischenspindel

- ▶ **Einfachspindel**
 - ▶ Schraubenspindel
 - ▶ einteilig
 - ▶ mehrteilig (klappbar)
 - ▶ Spindelhalter
 - ▶ Spindelhalter einteilig
 - ▶ feststehend
 - ▶ horizontal schwenkbar
 - ▶ verschiebbar
 - ▶ Spindelhalter mehrteilig
 - ▶ Führungsteil beweglich
 - ▶ Führungsteil feststehend
- ▶ **Mehrfachspindel**
 - ▶ Schraubenspindel
 - ▶ [...]
 - ▶ Spindelhalter
 - ▶ verschraubt
 - ▶ als Schweißbaugruppe

Tabelle 5-2: Auszug aus der Klassifizierung für Standardbauteile- und baugruppen des Werkstückträgers

5.4.2 Automatische Klassifizierung

Ist bei Standardbaugruppen und –bauteilen eine manuelle Klassifizierung im Rahmen des Konstruktionskataloges noch möglich und sinnvoll, so trifft dies nicht für den hohen Anteil an Neukonstruktionen zu, die innerhalb eines Projektes anfallen. Ziel muss es sein – trotz der im Sondermaschinenbau hohen Anzahl an kundenindividuellen Lösungen – die Erzeugung von Dubletten zu vermeiden und die Wiederverwendung zu erhöhen. Ein geometrisches Klassifizierungssystem wie das der Sachmerkmalleisten (siehe Kapitel 2.3.5.3) bietet sich an, jedoch ist eine manuelle Merkmalsbewertung bei der Vielzahl der unterschiedlichen Bauteile sehr zeitintensiv und kompliziert, deshalb kann sie nicht durch den Konstrukteur durchgeführt werden.

Mittlerweile finden sich auch Systeme am Markt, die den Anwender bei der Durchführung der Klassifizierung unterstützen oder sogar Komponenten automatisch klassifizieren können. Dadurch ergeben sich methodische Vorteile, die Weißkopf in [Weiß02] zusammenfasst:

- Klassifikation über Applikationsgrenzen hinweg
- Minimierung der Klassifikationsaufwandes
- Sicherstellung von fehlerfreien Klassifikationsergebnissen
- Mehrfachklassifikation von Bauteilen

Systeme zur automatischen Klassifizierung auf Basis der Bauteilgeometrie setzen bereits im 3D-CAD-System an bzw. sind darin integriert. Hierzu wird ein Regelwerk hinterlegt, anhand dessen die Geometrie der 3D-CAD-Modelle automatisch analysiert und diese in eine Klassifizierungsstruktur eingeordnet werden. Die Befüllung der Sachmerkmalleiste einer Klasse erfolgt ebenfalls automatisch. Das folgende Beispiel zeigt eine Auswahl klassifizierter Biegeteile, die einzelnen Klassen sind im linken Fenster als Baumstruktur dargestellt (Abbildung 5-8). Um dem Anwender das Auffinden klassifizierter Bauteile zu erleichtern, werden in der Suchoberfläche neben alphanumerischen Merkmalen auch Piktogramme und Vorschaubilder angezeigt. Da die automatischen Klassifizierungssysteme eine Integration in das CAD-System erfordern, muss vorher geprüft werden, ob das eingesetzte CAD-Systeme dafür geeignet ist.

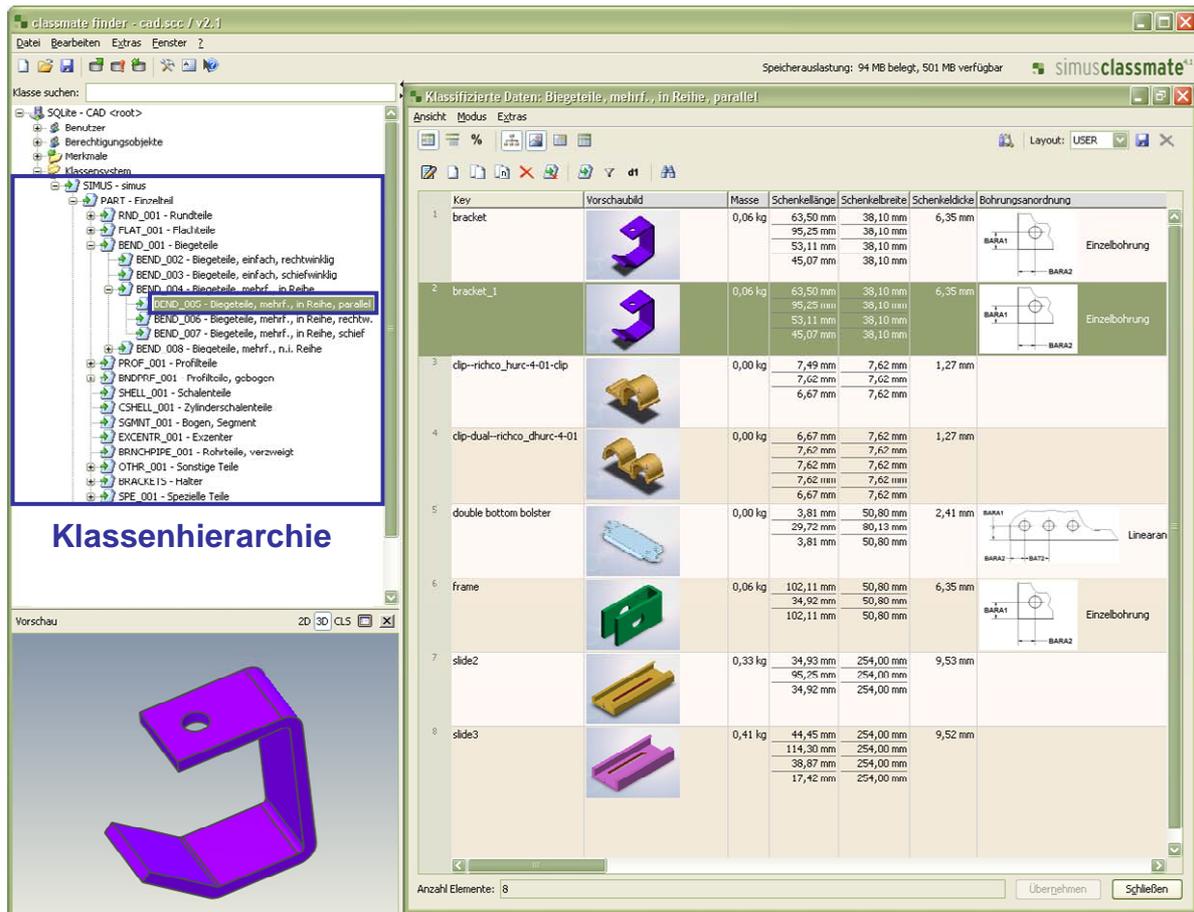


Abbildung 5-8: Beispiel für die Bauteilsuche mit „classmate FINDER“ (Quelle: simus systems)

5.5 Schnittstellen und Datenaustausch zum Kunden

5.5.1 Datenaustausch von nativen CAD-Daten

Wurden in vorangegangenen Abschnitten die Integration von CAD-Daten externer Dienstleister und von Fahrzeugdaten in das PDM-System des Sondermaschinenbauers besprochen, geht es nachfolgend um die Unterstützung der Übergabe von CAD-Daten zum Kunden durch das PDM-System.

Um den Forderungen der Automobilhersteller gerecht zu werden, stellt das PDM-System eine Exportfunktion bereit, die sich an der in Abschnitt 5.2.2 dargestellten Vorgehensweise auf Basis von STEP AP 214 orientiert und folgendes Austauschzenario unterstützt:

- 1) Selektion der zu exportierenden CAD-Dokumente durch den Anwender (z.B. durch Angabe einer Baugruppe, die referenzierten Bauteile und Unterbaugruppen werden anhand der Produktstruktur automatisch erfasst)

- 2) Auschecken der betroffenen nativen CAD-Dateien in das Zielverzeichnis durch das PDM-System.
- 3) Automatisches Umbenennen der CAD-Dateien nach den Richtlinien des OEM über ein im PDM-System hinterlegtes Regelwerk. Dabei ist zu beachten, dass die Referenzen zwischen den CAD-Dateien erhalten bleiben müssen. Aufgrund der mitunter hohen Komplexität ist auf jeden Fall eine manuelle Überprüfung auf „Broken Links“ durch den Konstrukteur erforderlich.
- 4) Generieren einer STEP-Datei mit den Strukturinformationen, Transformationen (wenn erforderlich) sowie den Metadaten der zugehörigen CAD-Dokumente. Dieser Schritt muss nach dem Umbenennen der CAD-Dateien erfolgen, damit diese in der STEP-Datei korrekt referenziert werden.
- 5) Die CAD-Dateien werden zusammen mit der STEP-Datei entweder automatisiert über ein Datenaustauschwerkzeug oder manuell durch den Anwender in Form von Datenträgern (CD/DVD) zum OEM übermittelt.

Für 3D-CAD-Modelle besteht im PDM-System die Möglichkeit, für die Zusammenarbeit mit verschiedenen Kunden eigene Startmodelle zu hinterlegen und in einem Projekt bei Neukonstruktionen das jeweils passende zu nutzen. Standardbaugruppen und -bauteile hingegen, die kundenübergreifend verwendet werden, müssen für die konkreten Verwendung im Projekt kopiert und die Eigenschaften und Metadaten (entsprechend der Vorgaben des OEM angepasst werden.

Was 2D-CAD-Zeichnungen betrifft, so setzt jeder OEM eigene Schriftfelder ein, die er auch auf den Zeichnungen des Betriebsmittellieferanten erwartet. Dieser wiederum hat ein eigenes Schriftfeld, das die aus seiner Sicht und für seine Prozesse relevanten Informationen enthält (z.B. Angabe von Änderungsindizes, zu berücksichtigende Normen etc.). Die in der Automobilindustrie verwendeten Schriftfelder weichen vom Aussehen und den Inhalten z.T. erheblich von den Schriftfeldern ab, die typischerweise im Maschinen- und Anlagenbau und auch im Referenzunternehmen eingesetzt werden. Ein Beispiel für ein Schriftfeld aus dem Referenzunternehmen zeigt die folgende Abbildung. Dieses Schriftfeld basiert noch auf der mittlerweile zurückgezogenen Norm [DIN 6771-1]. Seit 2004 gibt es statt dessen mit der [DIN EN ISO 7200] einen internationalen Standard für die Inhalte von Schriftfeldern.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage ist nicht gestattet. Alle Eigentums- und Urheberrechte verbleiben bei Dürr Assembly Products GmbH.		Zchg. Nr. Auftraggeber	
Nicht bemaßte Kanten ISO 13715 +0,5 +0,3 -0,5 -0,3		Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK Tolerierungsgrundsatz ISO 8015 Schweißkonstr. ISO 13920 - B F Form- und Lagetol. ISO 1101, ISO 5459 Passungen ISO 286 Teil 1+2	
		Maßstab im Original 1 : 1	
		Werkstoff St37K 1.0037+C	
		Gewicht 2,3 kg	
		Datum Name	
		Bearb. 10.06.08 MSch	
		Gepr. 15.06.08 HMei	
		Norm	
		Format d. Drsg. A3	
		Benennung (2. Zeile für Fremdsprache) Konsole Support	
		Zeichnung Nr. Z012345601	
		Version 02 Revision 01	
		Blatt 1 1 Bl.	
1 6589 15.07.08 MSch			
		Dürr Assembly Products GmbH D-66346 Püttlingen	
Zust. Änderung Datum Name Urspr.		Ers. für Ers. durch	

Abbildung 5-9: Beispiel für ein ausgefülltes Schriftfeld im Referenzunternehmen (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)

In der Vergangenheit, als im Referenzunternehmen noch ausschließlich mit 2D-CAD gearbeitet wurde (AutoCAD), hat man im Rahmen der Produktdokumentation das ursprüngliche, firmeninterne Schriftfeld um 180° gedreht und in die linke obere Ecke des Zeichnungsrahmens verschoben. Links unten wurde das Kundenschriftfeld platziert und das nach dessen Richtlinien ausgefüllt. Da die Schriftfelder der Kunden in der Regel größer sind als das des Referenzunternehmens und sich jetzt zwei Schriftfelder auf der Zeichnung befinden, steht für die eigentliche Zeichnung weniger Platz zur Verfügung. Demzufolge muss entweder der Zeichnungsrahmen durch den der nächsten Blattgröße ersetzt oder die dargestellte Geometrie verschoben werden. Die beschriebenen Tätigkeiten zur Erstellung der sogenannten „Kundenoriginale“ wurden durch einen technischen Zeichner manuell ausgeführt. Mit der Einführung von 3D-CAD und PDM kann dieser Vorgang automatisiert werden, indem Dokumentvorlagen angelegt werden, wo die Zeichnungsrahmen bereits beide Schriftfelder an der richtigen Position enthalten. Im Rahmen des Exportvorganges wird das Originaldokument kopiert und der Austausch der Dokumentvorlage für die 2D-Zeichnung im CAD-System angestoßen. Das Befüllen der Schriftfelder läuft heute typischerweise über Metadaten aus dem PDM-System ab, die in dafür vorgesehene Datenfelder in der CAD-Datei geschrieben und im Schriftfeld dargestellt werden. Ein Mapping zwischen dem eigenen Schriftfeld und dem des OEM sorgt dafür, dass in beiden Schriftfeldern benötigte Inhalte (z.B. Ersteller, Benennung, Maßstab) synchron bleiben.

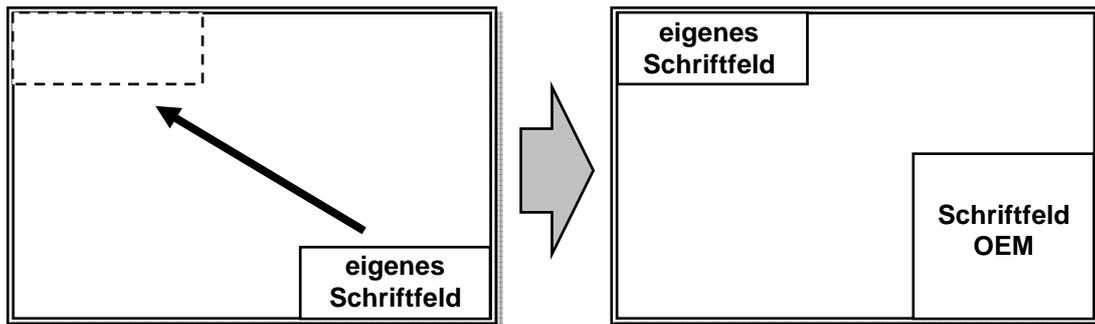


Abbildung 5-10: Erstellen von Kundenoriginalen im Referenzunternehmen manuell ohne PDM-System

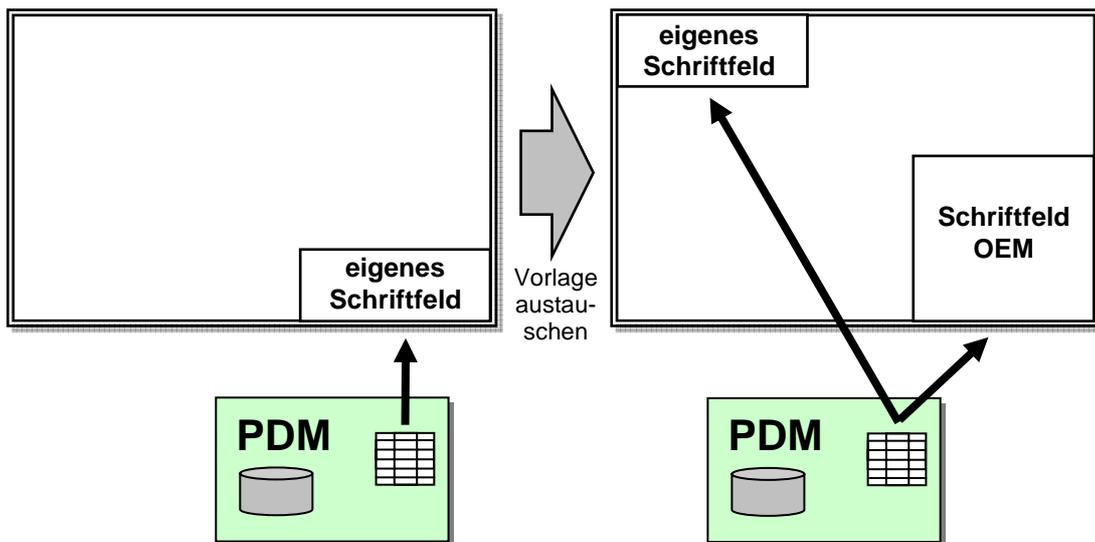


Abbildung 5-11: Erstellen von Kundenoriginalen über das PDM-System

Zusammengefasst können die Anforderungen der Kunden aus der Automobilindustrie an die Produktdokumentation in Form von 2D- und 3D-CAD-Daten durch eine intelligente Exportfunktion im PDM-System realisiert werden. Der Aufwand zur Abbildung von Regelwerken oder Mapping-Tabellen lohnt sich, da sich nachträgliche manuelle Anpassungen an der Produktdokumentation auf ein Minimum reduzieren lassen. Durch die Verzahnung von CAD und PDM bei der hier dargestellten Datenexportfunktionalität muss sichergestellt sein, dass entsprechende Programmierschnittstellen zwischen beiden Systemen vorhanden sind, damit das PDM-System als führendes System die Anpassungen in den CAD-Daten automatisiert durchführen kann.

5.5.2 Datenaustausch auf Basis neutraler Formate

Durch die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Vorgehensweise lassen sich dem OEM die kompletten Produktdaten eines Betriebsmittels in dem von ihm bevorzugten Format zusammenstellen. Stellt man die Frage, wozu der OEM die Produktdaten z.B. einer Montageanlage einsetzt, so geht es primär um die virtuelle Absicherung des automobilen Montageprozesses mit Methoden der *Digitalen Fabrik*. Hierfür sind allerdings 3D-CAD-Daten aufgrund des hohen Detaillierungsgrads und der großen Datenmenge nicht direkt geeignet, sie müssen vorher durch den OEM entsprechend aufbereitet.

Neutrale Datenformate werden aus verschiedenen, bereits beschriebenen Gründen durch die Automobilhersteller nicht akzeptiert, STEP AP 214 hat sich als Format zum Geometriedatenaustausch nicht durchgesetzt. Eine Alternative könnte allerdings der offene Industriestandard *JT (Jupiter Tessellation)* darstellen, der ursprünglich als 3D-Visualisierungsformat konzipiert wurde und die Datenmenge von CAD-Modellen erheblich reduzieren kann. Seit September 2009 ist die JT-Spezifikation offiziell als ISO *Publicly Available Specification (PAS)* verfügbar [ISO/NP PAS 14306].

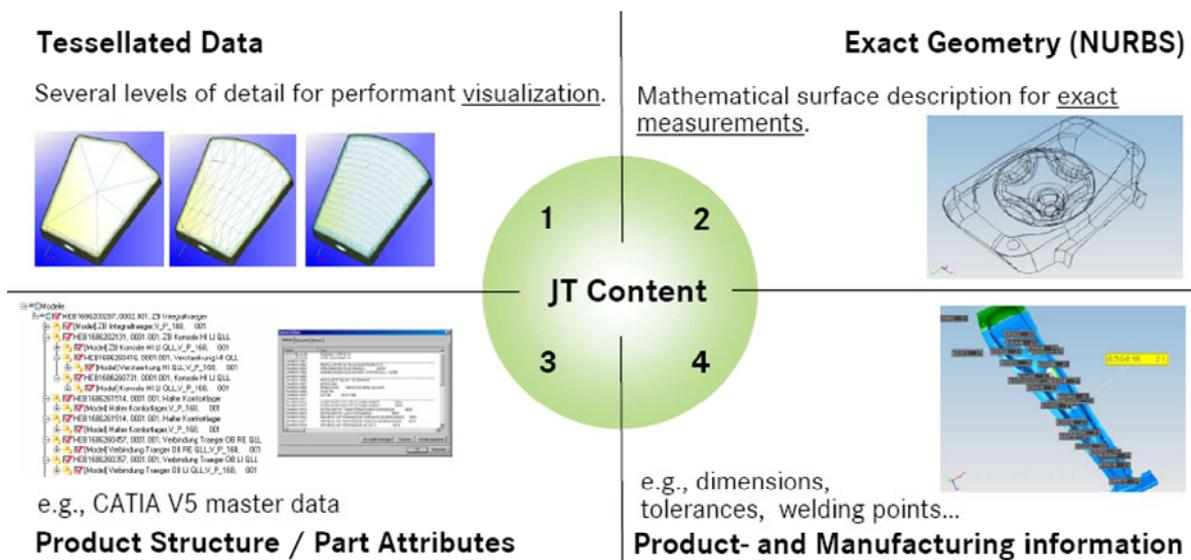


Abbildung 5-12: Inhalte des JT-Datenformats [Pütz05]

Das JT-Datenformat zeichnet sich dadurch aus, dass es sowohl tessillierte als auch exakte Geometrie enthält (Abbildung 5-12). Es lassen sich Produktstrukturen abbilden und entsprechende Attribute und Eigenschaften definieren. Je nach Anwendungsbereich kann entweder eine monolithische JT-Datei generiert werden, welche alle die komplette Struktur enthält, oder es lassen sich für die einzelnen CAD-Modelle separate JT-Dateien erzeugen und in einer übergeordneten JT-Datei referenzieren. Bestimmte CAD-Systeme gestatten bereits das Hinzuladen von JT-Dateien zu 3D-CAD-Modellen. Außerdem gibt es für JT frei verfügbare Viewer, so dass keine zusätzlichen Lizenzkosten anfallen. Durch die

Verwendung von JT als neutrales Format ist außerdem der Schutz des geistigen Eigentums gewährleistet.

JT bietet sich in verschiedenen Anwendungen entlang des Produktentstehungsprozesses als übergreifendes, neutrales Datenformat an. Beispiele sind die Visualisierung bei Änderungs- oder Freigabeprozessen (insbesondere in heterogenen CAD-Umgebungen), die digitale Fertigungsunterstützung und vor allem DMU-Analysen. Über JT könnten heute bereits etwa 60% des Datenaustauschs abgewickelt werden (Abbildung 5-13). Die fehlenden Funktionen liegen weniger an den Fähigkeiten des Datenformats selbst, als vielmehr an fehlenden Schnittstellen zu den am Produktentstehungsprozess beteiligten IT-Systemen [EiGe08].

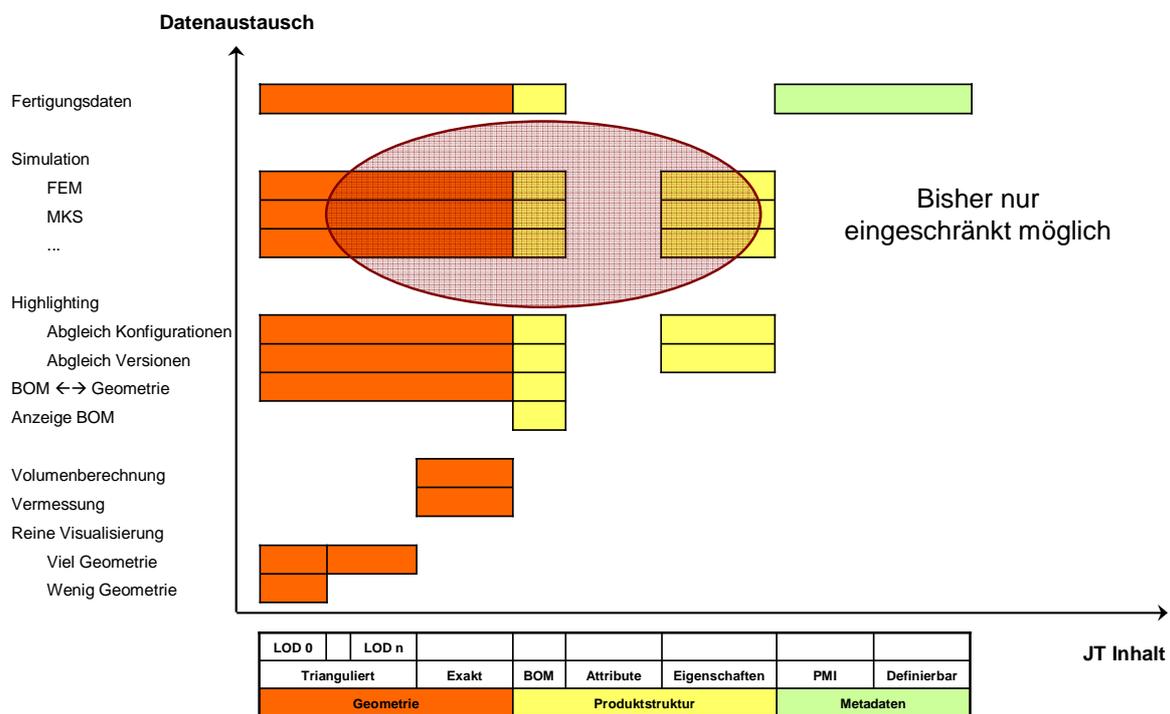


Abbildung 5-13: Abdeckungsgrad von JT in Hinblick auf den Datenaustausch [EiGe08]

Die Generierung von JT-Dateien und die Attributierung mit Metadaten sind technisch im PDM-System ohne weiteres möglich, indem der benötigte JT-Prozessor über Konvertierungsmechanismen eingebunden wird. Die Konvertierung kann durch den Anwender direkt oder automatisch bei der Freigabe von CAD-Dokumenten erfolgen.

Die Einsatz von JT wäre ein wichtiger Schritt zur Vereinfachung und Effizienzsteigerung im Datenaustausch zwischen Betriebsmittellieferant und OEM. Hier bleibt abzuwarten, inwiefern die organisatorischen Randbedingungen geschaffen werden, die es dem Betriebsmittellieferant erlauben, dieses Format auch tatsächlich im Rahmen der Produktdokumentation zu nutzen.

5.6 Abgrenzung zu anderen Konzepten

Bevor in Kapitel 6 die Umsetzung und Validierung des Konzeptes erfolgt, soll vorab auf die Abgrenzung zu vergleichbaren Ansätzen und Vorgehensweisen eingegangen werden, die sich mit der Thematik des Produktdatenmanagements in der Automobilindustrie und im Sondermaschinenbau beschäftigen.

So beschreibt Wehlitz in [Wehl00] eine Vorgehensweise zur Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems in der Automobilindustrie und führt hierbei den Produktentwicklungsprozess von E/E-Komponenten als Praxisbeispiel an. Da der Fokus klar auf der PDM-Einführung liegt, werden die Funktionen eines PDM-Systems nicht im Detail besprochen. Dies betrifft auch die im Zusammenhang mit der Integration von Zulieferern erforderlichen Import- und Exportschnittstellen, die den PDM-Grundfunktionen zugeordnet, jedoch nicht näher definiert werden.

Eine Recherche hat weiterhin ergeben, dass gerade der Bezug zum Sondermaschinenbau derzeit kaum in PDM-Konzepten berücksichtigt wird. Hervorzuheben ist die Arbeit von Schloter, der in [Schl03] ein Gesamtkonzept für die Produktentwicklung im Sondermaschinenbau anhand eines mittelständischen Unternehmens definiert. Es finden sich durchaus Parallelen zur vorliegenden Arbeit, z.B. in der Analyse der Produktentwicklung im Sondermaschinenbau und der daraus abgeleiteten, notwendigen Funktionalität eines PDM-Systems. Der wesentliche Unterschied liegt jedoch darin, dass das von Schloter vorgestellte Referenzunternehmen seine Produkte (vorwiegend Maschinen und Anlagen für die Textilindustrie) nach Kundenanforderungen, aber dennoch in gewisser Weise „autark“ entwickelt und ebenso bei der Auswahl von IT-Systemen unabhängig von seinen Kunden agieren kann. Der Kunde erhält eine technische Dokumentation des Produktes, nicht jedoch die nativen CAD-Daten. Demgegenüber besteht in der vorliegenden Arbeit eine weitaus engere Abhängigkeit zu den Kunden aus der Automobilindustrie. Zum einen sind die Fahrzeugdaten grundlegend für die Entwicklung von den Betriebsmitteln, zum anderen beinhaltet die abschließende Produktdokumentation auch die vollständigen, nativen CAD-Daten und muss nach den Richtlinien und im Datenformat des OEM erstellt werden. Dem nativen CAD-Datenaustausch mit dem OEM und den Unterlieferanten kommt eine viel höhere Bedeutung zu. Dieser Umstand spiegelt sich in der IT-Systemauswahl wider, die unter Berücksichtigung der Kundenvorgaben erfolgt. Weiterhin unterscheiden sich die Randbedingungen für das Änderungsmanagement grundlegend, denn hier liegt ist der Einfluss der Fahrzeugdaten zu berücksichtigen. Gerade zu Beginn der Betriebsmittelentwicklung sind Änderungen in hoher Frequenz zu erwarten.

Innerhalb des Sondermaschinenbaus können sich demnach unterschiedliche Konzepte für das Produktdatenmanagement ergeben, die sich durch die jeweiligen speziellen Randbedingungen der betrachteten Branchen und den daraus resultierenden Anforderungen an ein PDM-System gegeneinander abgrenzen lassen.

6 Umsetzung und Validierung

Das auf Grundlage der aufgezeigten Problemstellungen erarbeitete Konzept ist vorangegangenen Kapitel eingehend vorgestellt worden, so dass es nun umgesetzt und hinsichtlich der Nutzenpotenziale im Umfeld des Referenzunternehmens validiert werden muss. Die vollständige Umsetzung aller im Konzept beschriebenen Aspekte würde angesichts der Implementierungs- und Anpassungsaufwandes sicher über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, so dass im Folgenden eine mögliche Realisierung ausgewählter Aspekte des Konzepts demonstriert und der Nutzen anhand einer prototypischen Implementierung aufgezeigt wird. Umsetzung und Validierung werden deshalb zusammenhängend betrachtet. Der Fokus des Prototyps liegt auf folgenden Punkten:

- Realisierung einer Informationsplattform für die Produktentwicklung und zentrale Bereitstellung der Produktdaten
- Integration verschiedener CAD-Systeme
- Informationstechnische Unterstützung von Änderungs- und Freigabeprozessen

Da der Prototyp sich in eine vorhandene Softwarelandschaft integrieren muss, wird vorab die Systementscheidung begründet und die im Prototyp verwendete Technologie beschrieben.

6.1 Systemauswahl und Technologie

Im Zuge eines allgemein gültigen Ansatzes ist der erste Schritt zur Realisierung einer PDM-Lösung die Evaluierung mehrerer PDM-Systeme verschiedener Hersteller, um schließlich das System zu bestimmen, welches den im Konzept formulierten Anforderungen am besten gerecht wird.

Die Situation im Referenzunternehmen gestaltet sich so, dass die IT-Infrastruktur und die laufenden Prozesse in weiten Teilen bereits vorgegeben sind (siehe Abbildung 3-12). Dieser Umstand muss auch bei der PDM-Systemauswahl berücksichtigt werden. Wie in der Analyse in Abschnitt 3.5.1 beschrieben, setzt das Referenzunternehmen SAP R/3 als ERP-System ein und nutzt bereits die Dokumentenverwaltung von SAP PLM für 3D- und 2D-CAD-Daten aus SolidWorks. Damit steht man vor der Entscheidung, zur Umsetzung des vorgestellten Konzepts für das Produktdatenmanagement ein eigenständiges System unabhängig von SAP einzuführen und eine Schnittstelle zwischen PDM und ERP zu definieren oder die Nutzung von SAP PLM weiter auszubauen. Betrachtet man Vor- und Nachteile, so ist bei dedizierten PDM-Systemen eine höhere Integrationstiefe zwischen CAD und PDM zu erreichen, vor allem wenn CAD- und PDM-System von einem Hersteller kommen. Durch Fokussierung auf die Produktentwicklung lassen sich durch solche Systeme die Entwurfs- und Konstruktions-

tätigkeiten optimal unterstützen und die weitreichenden Möglichkeiten moderner CAD-Systeme nutzen. Im Referenzunternehmen gehören zu den Aufgaben des Konstrukteurs u.a. die Anlage und Pflege von Artikelstammsätzen (in SAP: „Materialstamm“) und Stücklisten, das Überprüfen von Beständen sowie das Auslösen von Bestellungen für freigegebene Baugruppen und Einzelteile. Er benötigt demnach für viele seiner Aufgaben Informationen aus SAP und ist es deshalb gewohnt, mit diesem System zu arbeiten. Für die Durchgängigkeit und die Integration aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereiche ist also eine Lösung auf Basis von SAP PLM anzustreben, vorausgesetzt natürlich, dass die gestellten Anforderungen an das Produktdatenmanagement durch diesen Lösungsansatz abgedeckt werden. Die Einführung eines weiteren, externen PDM-Systems ist bei dieser Arbeitsweise nicht notwendig.

Für die prototypische Umsetzung wurde SAP Records Management als Entwicklungsplattform verwendet, mit dem sich moderne serviceorientierte Architekturen implementieren lassen. Als *serviceorientierte Architekturen* (engl. *Service-Oriented Architecture, SOA*) werden flexible und modulare IT-Architekturen bezeichnet, die in der Lage sind, Daten aus verschiedenen und verteilten Quellen integriert bereitzustellen. Die Abbildung von Methoden und der Zugriff auf die am Prozess beteiligten Applikationen werden über Dienste (*Services*) realisiert, die über standardisierte Schnittstellen verfügen. Dem SAP Records Management liegt ein *Service Provider Framework* zu Grunde, mit dem vorhandene SAP-R/3-Systeme (auch standortübergreifend) integriert und darüber hinaus Integrationen für weitere Drittsysteme entwickelt werden können. Service Provider binden Informationsobjekte in SAP Records Management ein und regeln den Zugriff darauf. Beispiele für solche Informationsobjekte aus SAP sind Material- und Dokumentenstammsätze, Stücklisten, Arbeitspläne, Bestellungen oder Fertigungsaufträge. Die Integrationsmöglichkeiten des SAP Records Managements erlauben eine durchgängige und applikationsübergreifende Bereitstellung aller zum Produktentstehungsprozess gehörenden Informationsobjekte. Durch Anwendung von Sichten auf die definierte Datenstruktur können je nach Rolle des Anwenders in einem Projekt nur Daten angezeigt werden, die er für seine Aufgaben benötigt.

Der Zugriff auf das SAP Records Management und die dort entwickelten Applikationen kann entweder über einen Rich-Client erfolgen („SAP GUI“) oder auch Web-basiert über entsprechende Portallösungen, so dass auch externe Teilnehmer (z.B. Unterlieferanten und Zulieferer) integriert werden können.

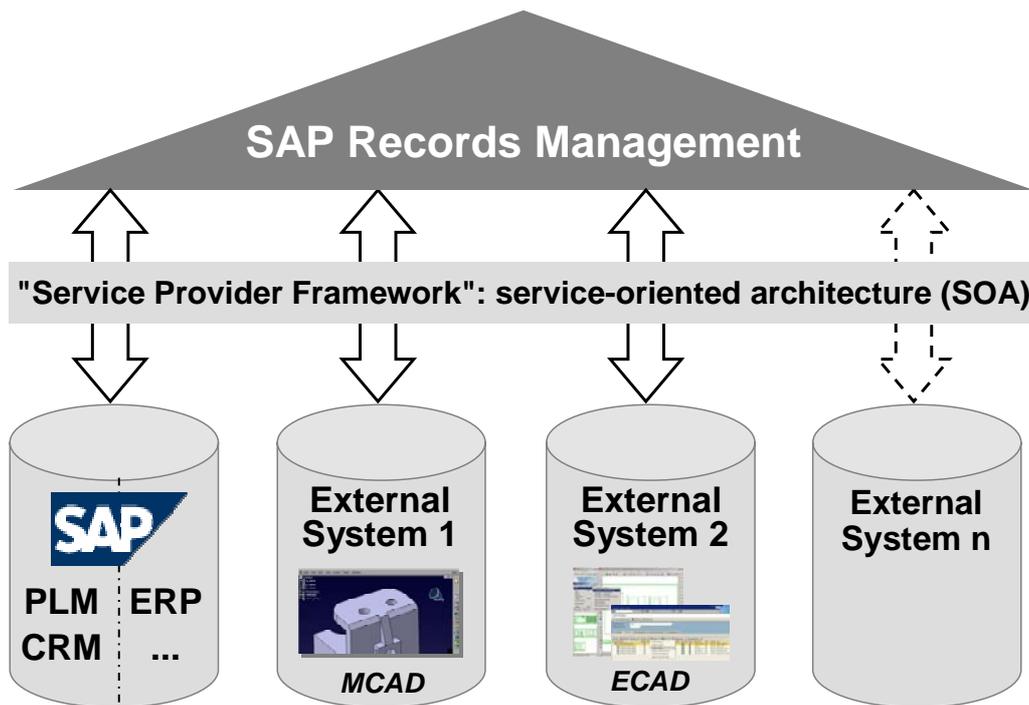


Abbildung 6-1: Service-orientierte Architekturen mit SAP Records Management
(vgl. [Schi08])

6.2 Informationsplattform für die Produktentwicklung

Der im Folgenden vorgestellte Prototyp bietet dem Anwender einen zentralen Einstiegspunkt für die Arbeit im Projekt und die einfache Erreichbarkeit aller für die Produktentwicklung relevanten Informationen.

Die Informationsplattform vereinigt Inhalte aus der in Abschnitt 3.5.1 vorgestellten Maschinenmappe mit dem Zugriff auf die Produktdaten. Die Benutzeroberfläche (Abbildung 6-2) gliedert sich in einen Attributbereich (oben) und eine Ordnerstruktur (unten). Die Attribute dienen der Identifikation eines Projektes und können zur Suche bestehender Projekte verwendet werden. Derzeit sind folgende Projektattribute definiert:

- Auftragsnummer
- Bezeichnung
- Status zur Abbildung der Projektphasen: z.B. Konstruktion, Fertigung, Montage, Inbetriebnahme etc.
- Kunde
- Projektstandort

- Anlagentyp: z.B. Aggregatmontage, Achsmontage, Achseinstellanlage, Fahrwerk-Einstellstand etc.
- Projektleiter
- Verantwortlicher Projektingenieur Mechanik
- Verantwortlicher Projektingenieur Elektrik
- Geplanter Endtermin

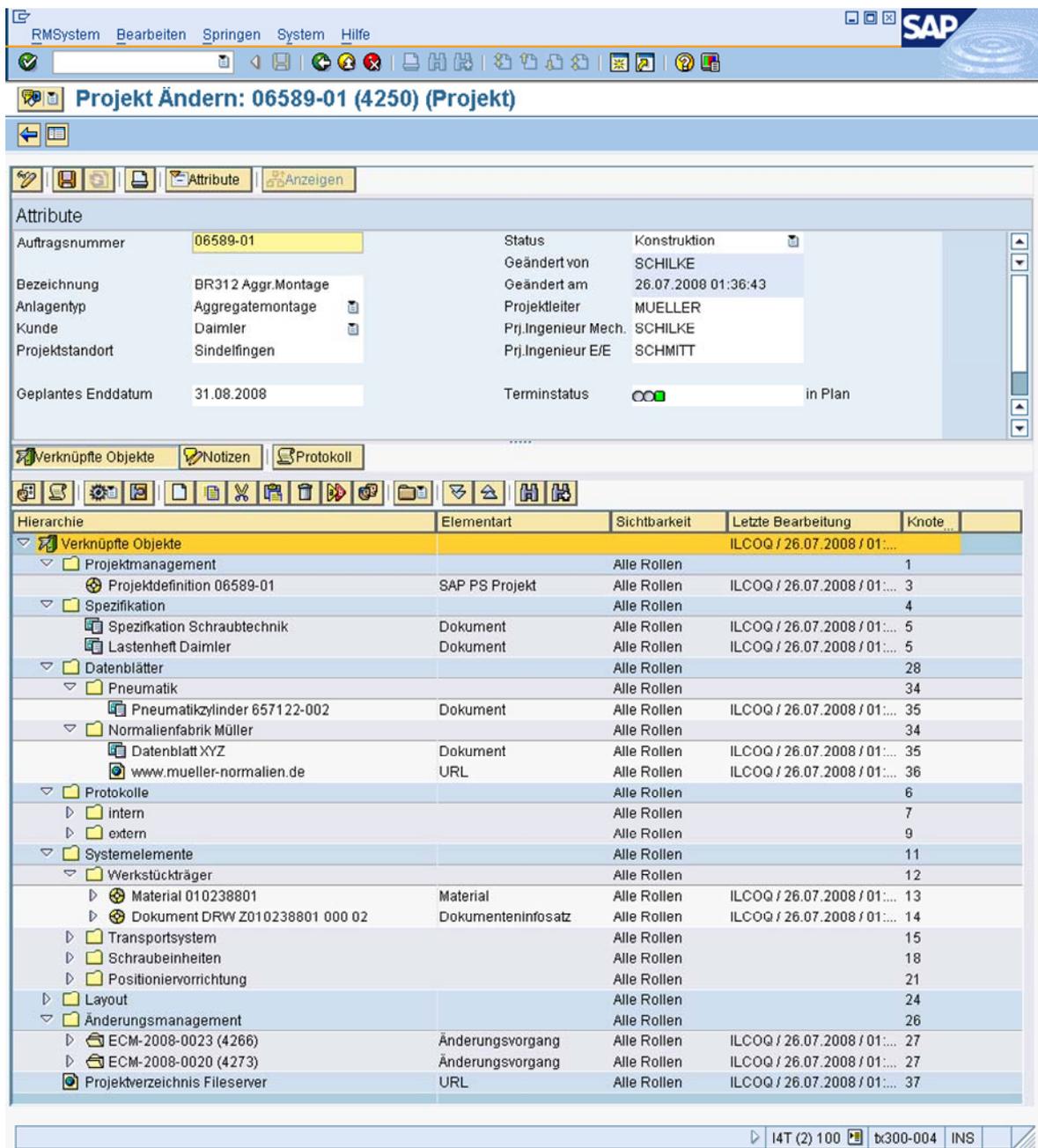


Abbildung 6-2: Benutzeroberfläche der Informationsplattform im SAP Records Management

Die dargestellte Ordnerstruktur enthält im Unterschied zu einer herkömmlichen Struktur auf dem Fileserver nicht nur Dokumente, sondern beliebige Informationsobjekte. Zu den einzelnen Objekten stehen Methoden bereit, die ein Anlegen/Anzeigen/Bearbeiten in der zugehörigen Applikation oder SAP-Transaktion ermöglichen. Die referenzierten Dokumente werden über SAP in einem „Content Server“ abgelegt. Durch die integrierte Dokumentenmanagement-Funktionalität können Dokumente mit Attributen versehen, die Status- und Versionsverwaltung genutzt und Zugriffsrechte vergeben werden. Außerdem lassen sich im System Vorlagen für standardisierte Dokumente wie Pflichtenhefte oder Protokolle hinterlegen. Werden trotzdem noch Dokumente benötigt, die auf dem Fileserver liegen, kann das dortige Projektverzeichnis per URL im SAP Records Management verfügbar gemacht werden.

Aktuell sind die Inhalte in mehrere Hauptordner gruppiert:

- **Projektmanagement:**
enthält eine Referenz auf das SAP Projektsystem, in dem die Projektplanung aus Kosten- und Terminalsicht durchgeführt wird
- **Spezifikation:**
enthält Dokumente wie Pflichten- und Lastenhefte
- **Datenblätter:**
enthält Informationen zu Kaufteilen (Dokumente, Internetadressen)
- **Protokolle:**
enthält Besprechungsprotokolle (interne, mit Kunden oder mit Lieferanten)
- **Systemelemente:**
bietet den Einstieg in die Produktstruktur
- **Layout:**
verweist auf Hallen- oder Anlagenlayoutzeichnungen (CAD-Dokumente z.B. aus AutoCAD)
- **Änderungsmanagement:**
verweist auf Änderungsvorgänge, die ebenfalls in SAP Records Management abgebildet sind (siehe Abschnitt 6.4)

Der Ordner „Systemelemente“ enthält im gezeigten Beispiel der Aggregatmontage Unterordner für Werkstückträger, Transportsystem, Schraubeinheiten und Positioniervorrichtung. In jedem Unterordner sind zum Einstieg in die Produktstruktur der Material- und Dokumentenstammsatz (in SAP: „Dokumenteninfosatz“) der jeweiligen Baugruppe referenziert. Über den Materialstamm kann die zugehörige Stückliste bearbeitet und der Produktstrukturbrowser geöffnet werden (Abbildung 6-3). Der Dokumenteninfosatz dient

der Verwaltung der nativen CAD-Dateien. Der Zugriff auf die CAD-Dokumentstrukturen erfolgt innerhalb von SAP PLM über eine einheitliche PDM-Benutzeroberfläche (sogenannter „CAD-Desktop“) deren Merkmale im nächsten Abschnitt besprochen werden.

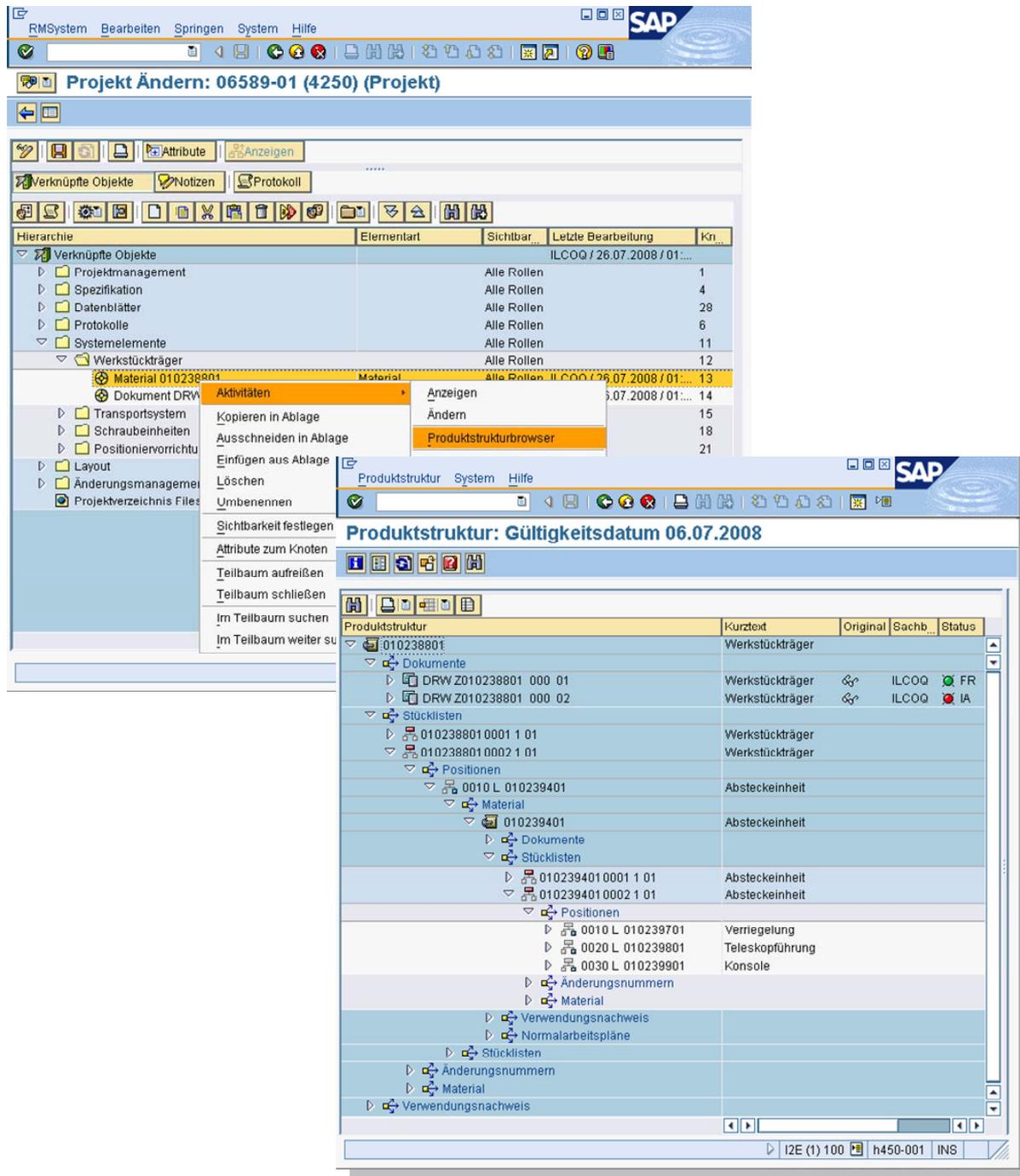


Abbildung 6-3: Beispiel für den Produktstrukturbrowser

6.3 Integration verschiedener CAD-Systeme

Der „CAD-Desktop“ stellt eine PDM-Benutzeroberfläche für die Bearbeitung von CAD-Dokumentstrukturen in SAP PLM dar (Abbildung 6-4). Die Oberfläche ist konfigurierbar und stellt Funktionen wie das Anlegen neuer Versionsstände oder das Austauschen von Komponenten in der Dokumentstruktur bereit. Die in der Abbildung dargestellte Versionsampel zeigt dem Anwender, ob die von ihm eingesetzte Version aktuell ist oder ob es bereits eine neue Version gibt. Somit kann sichergestellt werden, dass der Anwender immer mit aktuellen CAD-Daten arbeitet.

SAP PLM erfüllt die Forderung nach Erzeugersystemunabhängigkeit, denn über standardisierte Schnittstellen können CAD-Systeme unterschiedlicher Hersteller integriert werden. Für die im Referenzunternehmen verwendeten CAD-Systeme sind am Markt Integrationslösungen verfügbar, die den CAD-Desktop unterstützen an den konkreten Anwendungsfall variabel angepasst werden können. Die SolidWorks-Integration wird bereits produktiv genutzt, die Integration von CATIA V5 befindet sich im Planungsstadium. CATIA V4 läuft als CAD-System aus und daher ist eine Integration in das PDM-System auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr sinnvoll. AutoCAD ist ebenfalls nicht in das PDM-System integriert. Auch wenn in diesem System keine Bauteilkonstruktion mehr erfolgt, sollten die dort erstellten (und in der Orderstruktur der Informationsplattform referenzierten) Anlagenlayouts auf jeden Fall im PDM-System abgelegt sein, um z.B. die Versionsverwaltung nutzen zu können. Hier wäre anstelle einer vollen Integration eine Kopplung sicherlich ausreichend, da AutoCAD im Referenzunternehmen als reines 2D-CAD-System ohne Datei-übergreifende Beziehungen eingesetzt wird.

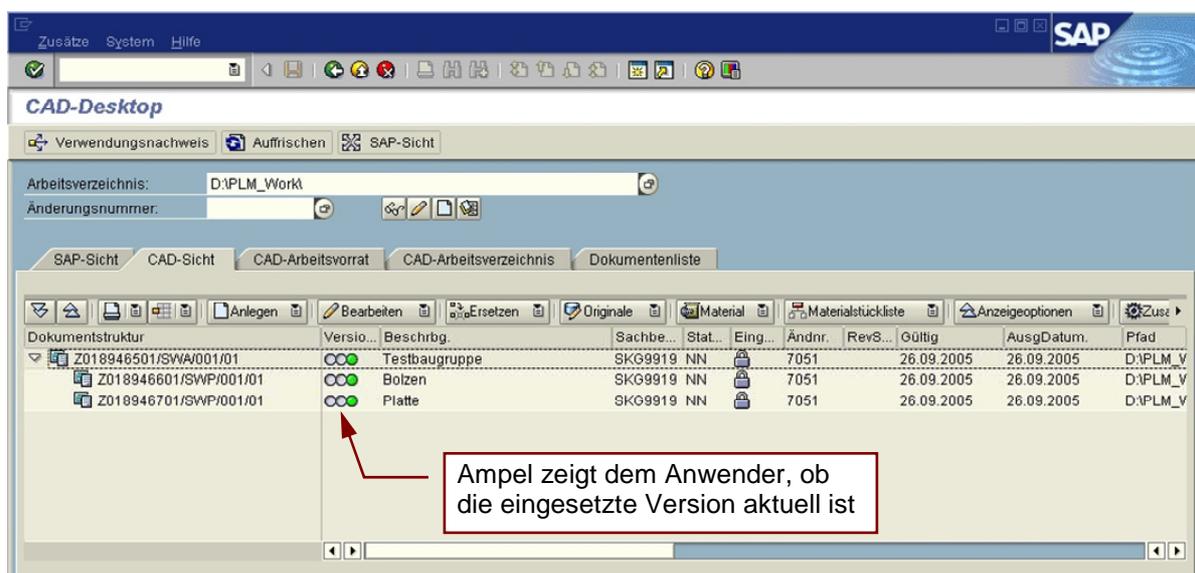


Abbildung 6-4: Beispiel einer Baugruppe im „CAD-Desktop“ in SAP PLM
(Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)

6.4 Informationstechnische Unterstützung von Änderungs- und Freigabeprozessen

Die Analyse der Arbeitsweise im Referenzunternehmen hat ergeben, dass es unbedingt erforderlich ist, Änderungs- und Freigabeprozesse innerhalb des Produktdatenmanagements abzubilden. Zusammengefasst wurden folgende Anforderungen ermittelt:

- Workflow-Unterstützung für „Ad-hoc-Änderungen“
- Flexible Abbildung von unterschiedlichen Änderungsprozessen
- Zusammenstellung der geänderten Produktdaten
- Protokollierte Verteilung der Änderungsergebnisse

Die Benutzeroberfläche für einen Änderungsvorgang im SAP Records Management ist analog zur der in Abschnitt 6.2 vorgestellten Projektakte. So sind im oberen Bereich Attribute für einen Änderungsvorgang definiert, die z.T. mit den Projektattributen übereinstimmen und entsprechend vererbt werden können:

- Änderungsnummer
- Bezeichnung
- Status zur Abbildung des Änderungsfortschritts: z.B. Änderungsantrag, Konstruktive Durchführung, Fertigungstechnische Durchführung etc.
- Auftrag (auf den sich die Änderung bezieht)
- Ursache der Änderung: z.B. Änderung der Fahrzeugdaten, Änderung von Kundenanforderungen, Kollision bei DMU-Untersuchung, Beschaffungsprobleme Rückmeldung aus der Fertigung und Montage etc.
- Kundenfreigabe erforderlich
- Kostenübernahme durch den Kunden
- Anlagentyp: z.B. Aggregatmontage, Achsmontage, Achseinstellanlage, Fahrwerk-Einstellstand etc.
- Geplanter Umsetzungstermin

Um den Änderungsumfang zu definieren, wird hier eine tabellarische Darstellung („ECM-Cockpit“) verwendet. Diese wurde nicht im Rahmen des Prototyps entwickelt, sondern ist Teil der Applikation ⁴ECM („Application for Engineering Change Management“, ILC PROSTEP GmbH), welche das SAP Records Management um die zur Abwicklung von Änderungsprozessen notwendige Funktionalität ergänzt:

- ECM-Cockpit zur Erfassung des Änderungsumfangs
- Where-Used-Cockpit zur Durchführung von Verwendungsnachweisen
- Teamdefinition zur Verwaltung der Funktionen im Prozess (Rollenzuordnung)
- Auswertungen („Reporting“) über laufende und abgeschlossene Änderungsvorgänge

Im ECM-Cockpit werden zunächst die zu ändernden Bauteile (und die damit verknüpften Dokumente) erfasst und anschließend über einen Verwendungsnachweis weitere betroffene Teile und Baugruppen hinzugefügt. Zugehörige Bestände, Fertigungsaufträge und Bestellungen können direkt angezeigt werden. Im Verlauf der Änderungsdurchführung lassen sich neue Stammdaten und Dokumente aus dem ECM-Cockpit heraus anlegen und in weiteren Spalten Zusatzinformationen wie aufgewendete Konstruktionsstunden, Fertigungskosten oder Liefertermine ergänzen. Über die Verbindung zum CAD-Desktop können die im ECM-Cockpit referenzierten Dokumente im jeweiligen CAD-System bearbeitet werden.

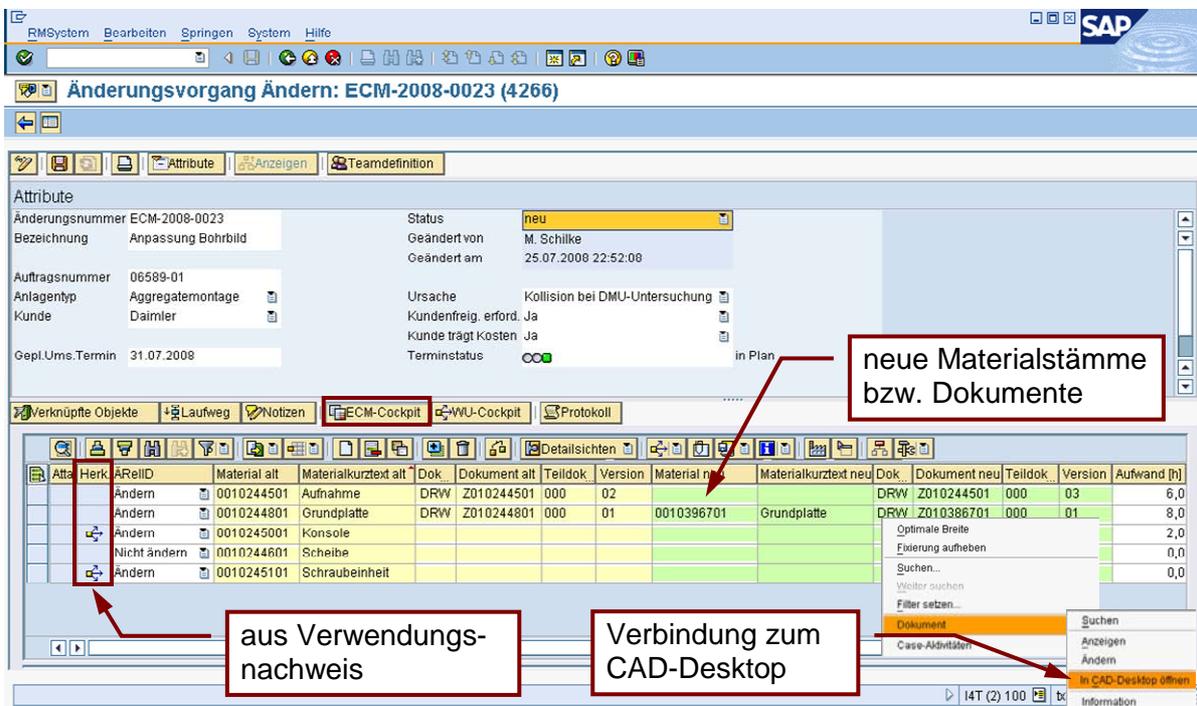


Abbildung 6-5: Attribute und ECM-Cockpit eines Änderungsvorgangs (Quelle: ILC PROSTEP GmbH)

Der SAP-Standard enthält bereits ein Änderungswesen, das über Workflows automatisiert werden kann. Allerdings fehlt hier die geforderte Flexibilität, die Workflows basieren auf einem starren Ablauf und können nur mit Unterstützung von IT-Mitarbeitern angepasst werden. Besser eignet sich auch hier das SAP Records Management, denn hier lassen sich Workflows (sog. „Laufwege“) durch den Anwender frei definieren und auch noch während des laufenden Prozesses Modifikationen vornehmen (Hinzufügen / Löschen von Prozessschritten). Zusätzlich ist die Verwendung von Laufwegsmustern als Vorlagen möglich. Ein Beispiel für einen Änderungsprozess im SAP Records Management zeigt Abbildung 6-6, wobei je nach Umfang und Art der Änderung ein anderer Ablauf erforderlich sein kann. Die konstruktive Durchführung der Änderung ist nicht im Laufweg dargestellt. Der Initiator (Projektingenieur oder Konstrukteur) ordnet die beteiligten Mitarbeiter über die Teamdefinition zu und baut den Laufweg entsprechend der benötigten Funktionen (z.B. Einkauf, Fertigung oder Montage) und Tätigkeiten flexibel auf.

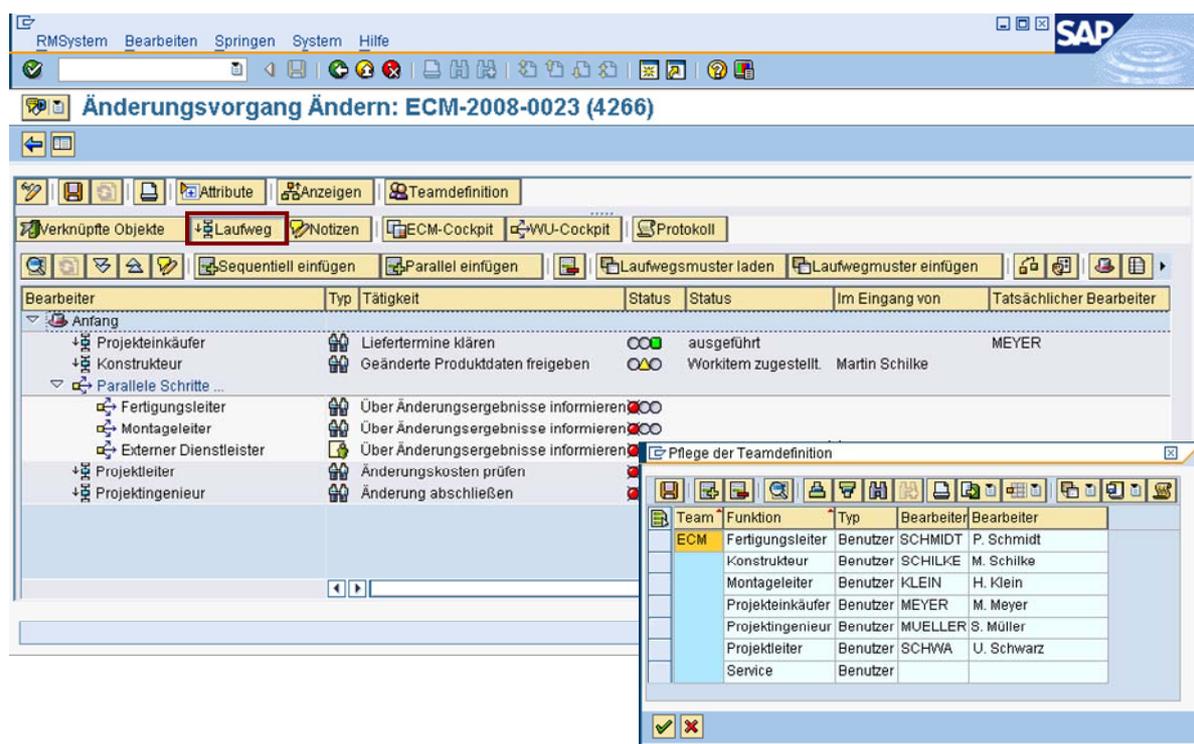


Abbildung 6-6: Laufweg und Teamdefinition für einen Änderungsprozess
(Quelle: ILC PROSTEP GmbH)

6.5 Fazit

Obwohl im Referenzunternehmen das Konzept bisher nicht in die Praxis umgesetzt werden konnte, lassen sich dennoch Aussagen über den Nutzen und die Akzeptanz der Lösung treffen. Der Autor kann durch seine aktuelle Tätigkeit als Berater für PLM und PDM auf zahlreiche Erfahrungen aus anderen Unternehmen der Automobilzulieferbranche zurückgreifen, so dass sich Rückschlüsse auf den in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfall ziehen lassen.

Durch den vorgestellten Prototypen der Informationsplattform steht dem Mitarbeiter der Produktentwicklung ein Werkzeug zur Verfügung, das ihm den schnellen und zentralen Zugriff auf die aktuellen und für ihn relevanten Daten ermöglicht. Man gelangt von hier aus direkt in den CAD-Desktop, der eine einheitliche Oberfläche für die an das PDM-System angebotenen CAD-Systeme bietet. Durch die Informationsplattform wird die tägliche Arbeit in der Produktentwicklung wesentlich erleichtert und die Zeit für das Auffinden benötigter Daten reduziert. Die Akzeptanz der Lösung ist aus diesen Gründen als hoch einzuschätzen.

Die Informationsplattform wird durch die Einbindung des Änderungsmanagements ergänzt. Die vollständige Dokumentation des Änderungsumfangs, der -ergebnisse und deren Verteilung führt zu transparenten Änderungen im Referenzunternehmen. Durch die eindeutige Nachweisbarkeit der vom Kunden verursachten Änderungskosten wird dem Projektleiter die Grundlage gegeben, beim Auftraggeber einen Change Request stellen zu können. Da alle Beteiligten stets mit aktuellen Informationen arbeiten, werden Fehlerkosten infolge falscher Stammdaten oder falscher Bestellungen minimiert. Die Mehraufwände für den Konstrukteur oder Projektingenieur sind gering und zahlen sich durch den erreichbaren Nutzen eindeutig aus.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept für den PDM-Einsatz im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie erarbeitet. Die Grundlage bildete zunächst die allgemeine Betrachtung des Produktdatenmanagements als wesentlicher Teil einer umfassenden PLM-Strategie. Dazu wurden die Systemarchitektur, die einzelnen Systemklassen und schließlich die Funktionen eines PDM-Systems erläutert. In diesem Zusammenhang sind auch die zu integrierenden Erzeugersysteme relevant, von denen stellvertretend die CAD-Systeme und die damit verbundenen Technologien und Methoden besprochen wurden.

Die durchgeführte Analyse beginnt mit der Darstellung der branchenspezifischen Randbedingungen und der Definition des Referenzobjektes „Aggregatmontage“ im Kontext des automobilen Produktionsprozesses. Ausgehend davon wurde der Ist-Stand des Produktentwicklungsprozesses im Referenzunternehmen aufgenommen und die folgenden aktuellen Defizite herausgearbeitet:

- Als ein Kernproblem für die Situation im Referenzunternehmen wurde die fehlende zentrale Bereitstellung von Produkt- und Projektdaten sowie die damit verbundene mangelnde Durchgängigkeit im Produktentstehungsprozess identifiziert. Informationen werden in der Regel vielfach redundant gehalten, es fehlt ein übergeordnetes Konzept für die Datenhaltung und -übergabe zwischen den einzelnen Arbeitsbereichen.
- Weiterhin besteht für den Änderungs- und Freigabeprozess derzeit im Referenzunternehmen keine informationstechnische Unterstützung. Ein eigenes Freigabe- oder Änderungswesen gibt es nicht, stattdessen ist der projektverantwortliche Konstrukteur für die Koordination und die Umsetzung der Änderung sowie für Verteilung der Änderungsergebnisse verantwortlich. Durch die manuellen Arbeitsschritte besteht ein erhöhtes Fehlerpotential, deshalb bedarf es einer Prozesssteuerung, die alle von einer Änderung betroffenen Stellen automatisch mit den notwendigen Informationen versorgt.
- Durch den parallelen Durchlauf mehrerer Kundenprojekte ist es erforderlich, dass Entwicklungsumfänge an externe Dienstleister ausgelagert werden. Auch die dort erstellten Produktdaten müssen in das Gesamtstruktur der Anlage (und damit in das PDM-System des Sondermaschinenbauers) integriert werden. Dabei sind die unterschiedlichen Arbeitsumgebungen der externen Dienstleister zu berücksichtigen, und nur wenige setzen derzeit ein PDM-System ein. Trotz der umfangreichen Baugruppenstrukturen und der komplexen Abhängigkeiten stellt die Datenintegration

eine manuelle Tätigkeit dar und bietet demzufolge Fehlerquellen im Bezug auf die Datenkonsistenz. Ähnlich verhält es sich mit der Datenübergabe zum Kunden, denn die Aufbereitung der Dokumentation nach dessen Richtlinien und Vorschriften wird unter hohem Zeit- und Kostenaufwand manuell durchgeführt.

Aus den Ergebnissen der Analyse wurden im anschließenden Kapitel Anforderungen für den Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie abgeleitet und für deren Umsetzung ein Konzept entwickelt, das folgende Aspekte beinhaltet:

- In PDM-System bedarf es einer zentralen Informationsplattform für die Produktentwicklung, welche die verschiedenen Datenquellen zusammenführt und dem Konstrukteur oder Projektingenieur einen direkten Zugriff auf alle für seine Aufgaben relevanten Produktdaten und Projektdokumente ermöglicht.
- Um den Datenaustausch mit Unterlieferanten und die Integration von Fahrzeugdaten zu verbessern, werden Import-/ und Exportfunktionen auf Basis von STEP AP214 beschrieben. Dabei wird das STEP-Format zum Austausch von Metadaten und Produktstrukturinformationen genutzt, die Nutzdaten werden im nativen 3D-CAD-Format übermittelt.
- Da der Konstrukteur oder Projektingenieur bei der Durchführung des Änderungsprozesses eine zentrale Rolle übernimmt, muss das PDM-System eine Arbeitsumgebung bereitstellen, die alle Informationen zu einer Änderung zusammenfasst und von der aus ein Workflow zur Abwicklung der Änderung gestartet werden kann. Dieser Workflow muss außerdem durch den Anwender schnell und flexibel an veränderte Randbedingungen angepasst werden können.
- Um die die Wiederverwendung von bestehenden Baugruppen und Bauteilen zu ermöglichen, ist innerhalb des PDM-Systems eine auf das Referenzunternehmen zugeschnittene Klassifizierung einzurichten, die den Konstrukteur gezielt bei der Suche nach Dokumenten unterstützt. Dabei wird zum einen ein hierarchisches Klassifizierungssystem in Form eines Thesaurus vorgestellt, das sich an einem Konstruktionskatalog orientiert, zum anderen ein System zur automatischen Klassifizierung, das auf Basis eines Regelwerks die Geometrie von 3D-CAD-Modellen automatisch analysiert und diese in eine Klassifizierungsstruktur einordnet.
- Die Anforderungen der Kunden an die Produktdokumentation in Form von 2D- und 3D-CAD-Daten können durch eine intelligente Exportfunktion im PDM-System realisiert werden. Als technologische Basis zum Export von Produktstrukturen bietet sich auch hier die Nutzung von STEP AP214 an. Alternativ wurde der Datenaustausch auf Basis des neutralen JT-Datenformats vorgestellt, der sich für verschiedene Anwendungen entlang des Produktentstehungsprozesses eignet.

An das Konzept schließt sich die Validierung in Form einer prototypischen Umsetzung an. Angesichts des dargelegten Umfangs wurden für den Prototyp wesentliche Bestandteile des Konzeptes ausgewählt und damit mögliche Nutzenpotentiale aufgezeigt. Vor allem die Bereitstellung aktueller Informationen führt zu einer Reduzierung von Fehlerkosten und erhöht die Transparenz in der Produktentwicklung. Durch eine optimierte IT-Unterstützung kann der Produktentwicklungsprozess beschleunigt und damit generell die Durchlaufzeit im Rahmen der Auftragsabwicklung reduziert werden.

7.2 Ausblick auf weitere Aktivitäten

Aufbauend auf dem hier vorgestellten Konzept lassen sich verschiedene weiterführende Aktivitäten formulieren. Zum einen sind die noch nicht in die unternehmerische Praxis umgesetzten Aspekte zu implementieren und im realen Kontext zu überprüfen. Von besonderem Interesse ist hierbei der Themenbereich Datenaustausch und die damit verbundene Import- bzw. Exportfunktionalität für native CAD-Daten auf Basis von STEP AP214. Zum anderen gilt es, die konzeptionell in der Produktentwicklung angesiedelte Informationsplattform auf den gesamten Produktlebenszyklus zu erweitern. Damit würde eine PLM-Informationsplattform entstehen, die auch die Produktherstellung sowie die nachgelagerten Phasen Inbetriebnahme und Service berücksichtigt und für alle beteiligten Mitarbeiter eine zentrale Informationsbasis darstellt. Durch die zu Beginn der Arbeit angesprochene immer stärkere Bedeutung von Elektronik und Software gehört dazu auch, einen mechatronischen Ansatz zu unterstützen und alle am Produkt beteiligten Fachdisziplinen (Mechanik/ Elektronik/ Software) über entsprechende Sichten in eine PLM-Informationsplattform zu integrieren.

Im Hinblick auf eine produktive Einsetzbarkeit im Referenzunternehmen geht es zunächst darum, eine geeignete IT-Infrastruktur zu schaffen. Hierzu gehört u.a. die Konsolidierung der Datenablagen und die Integration der verschiedenen Erzeugersysteme (insbesondere die im Einsatz befindlichen CAD-Systeme) in das PDM-System. Das in dieser Arbeit vorrangig an einem Beispiel des Geschäftsfeldes Montagetechnik detaillierte und validierte Konzept sollte zudem weiter generalisiert und auf andere Geschäftsfelder wie das der Prüftechnik ausgeweitet werden.

Insgesamt wurde im Rahmen dieser Arbeit ein PDM-Konzept vorgestellt, dessen Umsetzung für das Referenzunternehmen einen wichtigen Schritt in Richtung einer umfassenden PLM-Initiative bedeutet. Die notwendigen Investitionen hierfür sind nicht zu vernachlässigen, jedoch unabdingbar für eine effiziente und zukunftsweisende Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie

Quellenverzeichnis

Literatur

- [ABHe04] Abecker, A.; Bauer, M.; Hefke, M.: MODALE - Modellbasiertes Anlagen-Engineering, kundenorientierte Dienstleistungen für Anlagensteuerung und -kontrolle Forschungszentrum Informatik an der Universität Karlsruhe, 2004.
- [Abra05] Abramovici, M.: Rechnerintegrierte Produktentwicklung SS05 (Skript zur Vorlesung). Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM) an der Ruhr-Universität Bochum, 2005.
- [Abra06] Abramovici, M.: Evolution des Product Lifecycle Managements in einer veränderten Industrielandschaft. Proceeding zu Product Life live 2006. Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM) an der Ruhr-Universität Bochum, 2006.
- [AbSc05] Abramovici, M.; Schulte, S.: Expertenstudie „Benefits of PLM“ - Wege aus der Strategiekrise in der Automobilindustrie. eDM-Report 1/2005. Dressler, Heidelberg, S.16-23.
- [ADEK05] Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: Product Lifecycle Management beherrschen - Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [Ande05] Anderl, R.: Produktdatentechnologie B - Produktdatenmanagement (Skript zur Vorlesung). Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, 2005.
- [AnKr98] Anderl, R.; Krastel, M.: 3D-CAD - Neues Denken bei Produktentwicklung und Konstruktion. Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, 1998.
- [BäHa01] Bär, T.; Haasis, S.: Verkürzung der Entwicklungszeiten durch den Einsatz von Skelettmodellen und der Feature-Technologie. Tagungsbeitrag, VDI, 2001.
- [Bär77] Bär, W.: Produktionsplanung und Auftragsbearbeitung im Industriebetrieb. Verlag Th. Gabler, Berlin, Wiesbaden, 1977.

- [BDVH03] Burr, H.; Deubel, T.; Vielhaber, M.; Haasis, S.; Weber, C.: Challenges for CAx and EDM in an international automotive company. Konferenz-Einzelbericht ICED 03 - International Conference on Engineering Design. The Design Society, Stockholm, 2003, S.309-310 (Executive Summary).
- [BDWV04] Burr, H.; Deubel, T.; Weber, C.; Vielhaber, M.; Haasis, S.: PLM-Herausforderungen und -Strategien in der Automobilindustrie. CAD-CAM Report 5/2004. Dressler, Heidelberg, S.36-39.
- [BeMü99] Beisheim, N.; Müller, N.: Anwendung der Feature-Technologie im Konstruktions-Informationssystem. Institutsmitteilungen Nr. 24. Institut für Maschinenwesen (INW), Technische Universität Clausthal, 1999.
- [BoND07] Borilski, K.; Neubach, M.; Drouiller, T.: Produktinformationsmanagement-Dienste für den KMU-Bereich. CAD-CAM Report 2/2007, Dressler, Heidelberg, S.40-43.
- [Boss07] Bossmann, M.: Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung. Dissertation. Lehrstuhl für Fertigungstechnik an der Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 38, Saarbrücken, 2007.
- [DiOr96] Dietz, P.; Ort, A.: Verwendung der ISO 13584 „Parts Library“ unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen in der Konstruktion. IMW Institutsmitteilungen Nr. 21, 1996, S.59-66.
- [EiGe08] Eigner, M.; Gerhardt F.: Datenaustausch auf Basis neutraler Visualisierungsformate. Tagungsbeitrag zum 1. Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug, Graz, 2008.
- [Eign05] Eigner, M.: Virtuelle Produktentwicklung. Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE), Universität Kaiserslautern, 2005.
- [Eign06] Eigner, M.: Virtuelle Produktentwicklung I (Skript zur Vorlesung). Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE), Technische Universität Kaiserslautern, 2006.
- [Eign09] Eigner, M.: Virtuelle Produktentwicklung II (Skript zur Vorlesung). Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE), Technische Universität Kaiserslautern, 2009.
- [EiSc06] Eigner, M.; Schleidt, T.: Cross Enterprise Engineering in Automotive. Interne Studie am Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE), Technische Universität Kaiserslautern, 2006.

- [EiSt01] Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme - Ein Leitfadens für Product Development und Life Cycle Management. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [EiSt09] Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management - Ein Leitfadens für Product Development und Life Cycle Management. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [EiZa09] Eigner, M.; Zafirov, R.: Domänenübergreifende Anlagenplanung und Simulation. Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE), Technische Universität Kaiserslautern, 2009.
- [Ever96] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 1. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [GKS04] Gerkens, M.; Krämer, B.; Szillat, B.: Modellübergreifende Modellierung mit 3D-CAD-Systemen. CAD-CAM Report 8/2004, Dressler, Heidelberg, S.22-26.
- [Heid04] Heiduczek, G.: Palettenmodularisierung / Erarbeitung von Wiederholteilen. Diplomarbeit an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Püttlingen, 2004.
- [Knoc95] Knoche, Th.: Die neue Rolle des Konstrukteurs und wie er sie bewältigt. Konstruktion Nr. 47. Springer VDI, Düsseldorf, 1995.
- [Kras03] Krastel, M.: Zulieferintegration durch PLM. Hrsg.: engineering methods AG, 2003.
- [Merc06] N.N.: Mercer-Studie Autoelektronik - Elektronik setzt die Impulse im Auto (Pressemitteilung). Hrsg.: Mercer Management Consulting, München, 2006.
- [Müll92] Müller, S.: Entwicklung einer Methode zur prozeßorientierten Reorganisation der technischen Auftragsabwicklung komplexer Produkte. Dissertation. RWTH Aachen, 1992.
- [Ondr03] Ondracek, N.: Produktdatenaustausch und Merkmalexikon. 33. Konferenz Normenpraxis, Standardisierung, Kommunikation und e-Business, Wolfsburg, 25.-26.09.2003.
- [Ovtc05] Ovtcharova, J.: Product Lifecycle Management (Skript zur Vorlesung). Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI), TU Karlsruhe, 2005.

- [PaBe97] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [PROS03] N.N.: Abschlussbericht PDTnet: Produktdatentechnologie und Kommunikation in Netzwerk von Automobilhersteller und Zulieferer. Hrsg.: PROSTEP AG, 2003.
- [Pütz05] Pütz, O.: JT-Usage at DaimlerChrysler. Tagungsbeitrag zum EDM-Forum, Stuttgart, 2005
- [ReZi04] Rennet, A.; Ziegler, M.: Datenmanagement im Betriebsmittel- und Vorrichtungsbau. CAD-CAM Report 9/2004, Dressler, Heidelberg.
- [RuDi03] Rudolph, F.-N.; Dietrich, J.: Praktischer Einsatz von CAD- und EDM/PDM-Systemen, Teil 2. CAD-CAM Report 5/2003, Dressler, Heidelberg.
- [Schi02a] Schichtel, M.: Produktdatenmodellierung in der Praxis. Carl Hanser, München, Wien, 2002.
- [Schi02b] Schiessle, Edmund (Hrsg.): Mechatronik. Vogel, Würzburg, 2002.
- [Schi08] Schilke, M.: Flexibel und modular: Service-orientierte Architekturen für das Requirements Management. ProduktDaten Journal 01/2008, ProSTEP iViP e.V., Darmstadt.
- [Schl03] Schloter, W.: Strategien zur Effizienzsteigerung von Konstruktion und Fertigung für einen optimierten Produktentwicklungsprozess im Sondermaschinenbau. Dissertation. Fachbereich Maschinenwesen der Universität Essen, 2003.
- [Schö99] Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. Carl Hanser, München, Wien, 1999.
- [ScSi02] Hrsg.: Schulte, S.; Sieg, O.: Technology monitoring 1/02 - Product Lifecycle Management. Berliner Kreis e.V.; Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP), 2002.
- [SeWa05] Sendler, U.; Waver, V.: CAD und PDM: Prozessoptimierung durch Integration. Carl Hanser, München, Wien, 2005.
- [SmRe98] Smith, P.G.; Reinertsen, D.G.: Developing products in half the time. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1998.
- [SpKr97] Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt. Carl Hanser, München, Wien, 1997.

- [Star05] Stark, J.: Product Lifecycle Management - 21st Century Paradigm for Product Realisation. Springer, London, 2005.
- [Thei06] Theis, K.: Best Practice CATIA V5 STEP AP 214 Mapping. Hrsg.: ProSTEP iViP e.V., Darmstadt, 2006.
- [Trip02] Trippner, D.: Vorgehensmodell zum Management von Produktdaten in komplexen und dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Dissertation. Fakultät Maschinenbau der Universität Karlsruhe, Shaker, Aachen, 2002.
- [VaWe06] Vajna, S.; Weber, C.: Einführung und Einsatz von CAD-Systemen. CAD-CAM Report 7/2006, Dressler, Heidelberg, S.14-19.
- [VDA06] Hrsg.: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA): Auto Jahresbericht 2006. Frankfurt am Main.
- [Vraa03] Vraase, V.: Relational Design in CATIA V5. Diplomarbeit. Fachbereich Maschinenbau, Fachhochschule Dortmund, 2003.
- [VWBZ07] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: CAx für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung. Springer, Berlin-Heidelberg, 2007.
- [Webe07] Weber, C.: Looking at “DFX” and “Product Maturity” from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Processes. 17th CIRP Design Conference in co-operation with Berliner Kreis, Berlin, 26.-28.03.2007. In: Krause, F.-L. (Hrsg.), Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, The Future of Product Development, S. 85-104. Springer, Berlin-Heidelberg, 2007.
- [Wehl00] Wehlitz, P.: Nutzenorientierte Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems. Dissertation. Fachgebiet Raumfahrttechnik, Technische Universität München, 2000.
- [Weiß02] Weißkopf, J.: Automatische Produktdatenklassifikation in heterogenen Datenbeständen. Dissertation. Fakultät Maschinenbau der Universität Karlsruhe, Shaker, Aachen, 2002.
- [WFMC99] Hrsg.: Workflow Management Coalition: Terminology & Glossary. Winchester, United Kingdom, 1999.
- [WVSS94] Weber C.; Vajna, S.; Schlingensiepen, J.; Schlottmann, D.: CAD/CAM für Ingenieure. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1994.

Normen und Richtlinien

- [ANS US PRO/IPO 100] ANS US PRO/IPO 100-1996: Initial Graphics Exchange Specification IGES 5.3. American National Standards Institute, New York, 1996.
- [ANSI/EIA-649-A] ANSI/EIA-649-A 2004: National Consensus Standard for Configuration Management. American National Standards Institute, New York, 2004.
- [DIN 1463-2] DIN 1463, Teil 2: Erstellung und Weiterentwicklung von Thesauri; Mehrsprachige Thesauri. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1993.
- [DIN 199-1] DIN 199: Technische Produktdokumentation - CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten - Teil 1: Begriffe. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 2002.
- [DIN 4000-1] DIN 4000: Sachmerkmal-Leisten - Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1992.
- [DIN 6771-1] DIN 6771, Teil 1: Schriftfelder für Zeichnungen, Pläne und Listen. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1970.
- [DIN 6789] DIN 6789: Dokumentationssystematik, Blatt 1-3. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1990.
- [DIN EN 82045-1] DIN EN 82045: Dokumentenmanagement – Teil 1: Prinzipien und Methoden. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 2002.
- [DIN EN ISO 10007] DIN ES ISO 10007: Qualitätsmanagement – Leitfaden für Konfigurationsmanagement. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1996.
- [DIN EN ISO 7200] DIN ES ISO 7200: Technische Produktdokumentation - Datenfelder in Schriftfeldern und Dokumentenstammdaten. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 2004.
- [ISO 10303] ISO 10303: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange. Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 1994.
- [ISO 10303-214] ISO 10303-214: Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 214: Application protocol: Core data for automotive mechanical design processes. Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 2003.

- [ISO 13584-24] ISO 13584-24: Industrial Automation Systems and Integration – Parts Library – Part 24: Logical resource: Logical model of supplier library. ISO, Genf, 1995.
- [ISO 13584-42] ISO 13584-42: Industrial Automation Systems and Integration – Parts Library – Part 42: Description methodology: Methodology for structuring part families. ISO, Genf, 1998.
- [ISO/NP PAS 14306] ISO/NP PAS 14306: JT File Format Specification harvesting for 3D Visualization of industrial data. Publicly Available Specification. ISO, Genf, 2009.
- [VDA4953] Hrsg.: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA): VDA-Empfehlung 4953: Vereinfachte CAD-Zeichnung. Frankfurt am Main, 2003.
- [VDI2218] Hrsg.: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: VDI-Richtlinie 2218: Feature-Technologie. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999.
- [VDI2219] Hrsg.: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [VDI2221] Hrsg.: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993.

Internetadressen

- [BMWi05] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Branchenfokus Maschinen- und Anlagenbau 2005: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Branchenfokus>, online am 04.10.2006
- [ProS08] Homepage des ProSTEP iViP Vereins: <http://www.prostep.org/de/>, online am 10.06.2008.
- [W3C08] Homepage des World Wide Web Consortiums (W3C) zum Thema XML: <http://www.w3.org/XML/>, online am 14.06.2008.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Veränderte Rahmenbedingungen in der Produktentwicklung (vgl. [EiSt01])	2
Abbildung 1-2: Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Produkteinführung und dem erreichbaren Marktanteil (nach [SmRe98])	2
Abbildung 1-3: Kostenstruktur und Entwicklung und Konstruktion [EiSt01].....	3
Abbildung 1-4: Veränderung der Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten [EiSc06]....	4
Abbildung 1-5: Struktur und Inhalt der Arbeit	8
Abbildung 2-1: Generelles Vorgehen in der Produktentwicklung [VDI2221].....	11
Abbildung 2-2: Zusammenhang zwischen Merkmalen und Eigenschaften eines Produkts nach [Webe07]	13
Abbildung 2-3: Formale Darstellung von Analyse und Synthese nach [Webe07].....	14
Abbildung 2-4: Produktlebenszyklus (vgl. [Eign09])	17
Abbildung 2-5: Bausteine einer PLM-Lösung im Unternehmen [AbSc05].....	18
Abbildung 2-6: Heterogene Systemlandschaft im Produktentstehungsprozess (vgl. [BDVH03]).....	23
Abbildung 2-7: Entwicklung der PDM-Technologie (vgl. [Ande05])	28
Abbildung 2-8: PDM-Systemarchitektur (vgl. [VDI2219]).....	33
Abbildung 2-9: Produktstruktur und integriertes Produktmodell nach [ADEK05]	34
Abbildung 2-10: Gliederung von Informationen im Produktlebenszyklus [DIN 6789]	36
Abbildung 2-11: Klassifizierungsschlüssel nach Opitz [ADEK05].....	38
Abbildung 2-12: Beispiel für eine Sachmerkmalreihe nach [Ande05].....	40
Abbildung 2-13: Ausschnitt aus dem Datenmodell nach [ISO 13584-42].....	41
Abbildung 2-14: Beispiel eines Thesaurus nach DIN 1463, Teil 2 (vgl. [EiSt01]).....	42
Abbildung 2-15: Ablauf einer kompatiblen Änderung	44
Abbildung 2-16: Ablauf einer inkompatiblen Änderung	45

Abbildungsverzeichnis	155
<hr/>	
Abbildung 2-17: Gültigkeiten im Konfigurationsmanagement (vgl. [EiSt09])	48
Abbildung 2-18: Entwicklungsstufen der rechnerunterstützten Produktentwicklung (vgl. [Abra05])	52
Abbildung 2-19: Beispiel zum parametrischen Konstruieren	55
Abbildung 2-20: Beispiel für die Erzeugung von Varianten in einem parametrischen CAD-System	56
Abbildung 2-21: Beispiel für ein Bohrungsfeature (Quelle: Dassault Systèmes)	57
Abbildung 2-22: Vorgehensweisen bei der Baugruppenmodellierung (vgl. [AnKr98])	59
Abbildung 2-23: 3D-CAD-Modell einer Kurbelwelle als Beispiel für ein einfaches Skelettmodell	61
Abbildung 2-24: Anwendung der Skelettmodellierung zur Definition von Schnittstellen ...	61
Abbildung 2-25: Strukturierung von Skelettmodellen (vgl. [BäHa01])	62
Abbildung 2-26: Klassifizierung von Verknüpfungen in dem CAD-System CATIA V5 (vgl. [Vraa03])	63
Abbildung 2-27: Paradigmenwechsel bei Konstruktionssystemen (vgl. [BDWV04])	65
Abbildung 2-28: Möglichkeiten der Verbindung von Erzeugersystem und PDM-System (vgl. [EiSt01])	67
Abbildung 3-1: Klassifizierung materieller Industrieprodukte nach dem Individualitätsgrad und Zuordnung des Maschinen- und Anlagenbaus bzw. des Sondermaschinenbaus (vgl. [Abra05])	70
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung des Produktionsprozesses in der Automobilindustrie	71
Abbildung 3-3: Funktionsstruktur des Werkstückträgers (vgl. [Heid04])	73
Abbildung 3-4: Zusammenhang zwischen Funktionsstruktur und domänenspezifischen Modellen [EiZa09]	74
Abbildung 3-5: Beispiele für Werkstückträgerausführungen (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)	76
Abbildung 3-6: Montageprozess im Fließbetrieb [Heid04]	77
Abbildung 3-7: Montageprozess im Taktbetrieb [Heid04]	78
Abbildung 3-8: Einordnung der technischen Auftragsabwicklung nach [Ever96]	79

Abbildung 3-9: Lebensphasen technischer Produkte [VWBZ07] (in Anlehnung an [VDI2221])	84
Abbildung 3-10: Produktentwicklungsprozess im Referenzunternehmen	87
Abbildung 3-11: Zusammenhang der Produktentwicklungsprozesse von Fahrzeug und Betriebsmittel	89
Abbildung 3-12: IT-Infrastruktur der Konstruktionsabteilung im Referenzunternehmen (Quelle: Dürr Assembly Products GmbH, Stand 2008)	94
Abbildung 3-13: Verzeichnisstruktur der Maschinenmappe (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)	95
Abbildung 3-14: Situation der Sondermaschinenbauer im automobilen Umfeld	99
Abbildung 5-1: Schema für eine Informationsplattform in der Produktentwicklung	107
Abbildung 5-2: Eigenschaften / Attribute eines Einzelteildokuments in CATIA V5	111
Abbildung 5-3: Zusammensetzung von Dateinamen in CATIA V5	112
Abbildung 5-4: Beispiel für einen Skelettmodell mit Fahrzeuggeometrie und Schraubpunkten (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)	115
Abbildung 5-5: Beispiel für die CAD-Struktur eines Werkstückträgers in CATIA V5.....	116
Abbildung 5-6: Schematischer Ablauf des Änderungsprozesses	118
Abbildung 5-7: Hauptfunktionen des Teilsystems Werkstückträger (vgl. [Heid04])	120
Abbildung 5-8: Beispiel für die Bauteilsuche mit „classmate FINDER“ (Quelle: simus systems)	124
Abbildung 5-9: Beispiel für ein ausgefülltes Schriftfeld im Referenzunternehmen (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)	126
Abbildung 5-10: Erstellen von Kundenoriginalen im Referenzunternehmen manuell ohne PDM-System	127
Abbildung 5-11: Erstellen von Kundenoriginalen über das PDM-System	127
Abbildung 5-12: Inhalte des JT-Datenformats [Pütz05].....	128
Abbildung 5-13: Abdeckungsgrad von JT in Hinblick auf den Datenaustausch [EiGe08].	129
Abbildung 6-1: Service-orientierte Architekturen mit SAP Records Management (vgl. [Schi08])	134

Abbildung 6-2: Benutzeroberfläche der Informationsplattform im SAP Records Management.....	135
Abbildung 6-3: Beispiel für den Produktstrukturbrowser	137
Abbildung 6-4: Beispiel einer Baugruppe im „CAD-Desktop“ in SAP PLM (Quelle: DÜRR Assembly Products GmbH)	138
Abbildung 6-5: Attribute und ECM-Cockpit eines Änderungsvorgangs (Quelle: ILC PROSTEP GmbH).....	140
Abbildung 6-6: Laufweg und Teamdefinition für einen Änderungsprozess (Quelle: ILC PROSTEP GmbH).....	141

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Merkmalschema zur ablauforganisatorischen Kennzeichnung von Unternehmenstypen nach [Ever96].....	80
Tabelle 3-2:	Gegenüberstellung der typologischen Merkmale von Sondermaschinenbauern, Zulieferern und Automobilherstellern	82
Tabelle 5-1:	Übersicht der Merkmale für Fahrzeugdaten im PDM-System des Betriebsmittellieferanten.....	114
Tabelle 5-2:	Auszug aus der Klassifizierung für Standardbauteile- und baugruppen des Werkstückträgers.....	122

Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CASE	Computer Aided Software Engineering
CD	Concurrent Design
CEE	Cross Enterprise Engineering
CPM	Characteristics-Properties Modelling
CRM	Customer Relationship Management
DMU	Digital Mock-Up
DXF	Drawing Interchange Format
ERP	Enterprise Resource Planning
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDD	Property-Driven Development
PDF	Portable Document Format
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
SCM	Supply Chain Management
SE	Simultaneous Engineering
SOA	Service-Oriented Architecture
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TIFF	Tagged Image File Format
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Martin Schilke
Geburtsdatum: 18. April 1977
Geburtsort: Saarbrücken
Familienstand: verheiratet
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulische Ausbildung

08/1983 – 07/1987 Grundschule Holz
08/1987 – 07/1996 Illtal-Gymnasium Illingen
(Abschluss: Allgemeine Hochschulreife)

Studium

10/1997 – 04/2002 Studium der Konstruktions- und
Fertigungstechnik an der Universität des
Saarlandes mit Abschluss zum Diplom-
Ingenieur

Berufstätigkeit

05/2002 – 06/2006 Konstrukteur und CAD-/ PDM-Administrator
bei Schenck Final Assembly Products GmbH,
Püttlingen
(heute: Dürr Assembly Products GmbH)
seit 07/2006 Senior Berater in den Bereichen PDM/ PLM bei
ILC PROSTEP GmbH, Bexbach

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik
Herausgeber: D. Bähre und H. Bley
ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: Mai 2010)

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 (2007)

Band 42 Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie*.
ISBN 978-3-930429-71-4 (2007)

Band 43 Kiefer, Jens: *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau*.
ISBN 978-3-930429-72-1 (2007)

Band 44 Burr, Holger: *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau*.
ISBN 978-3-930429-73-8 (2008)

Band 45 Köhler, Christian: *Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes*.
ISBN 978-3-930429-74-5 (2009)

Band 46 Weyand, Lars: *Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie*.
ISBN 978-3-930429-75-2 (2010)