

Sonja Schedl

**Integration von Anforderungsmanagement
in den mechatronischen Entwicklungsprozess**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 229

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2009

ISBN 978-3-8316-0874-4

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	X
Verzeichnis der verwendeten Tabellen	XII
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Herausforderungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme	1
1.3 Bestehende Defizite bei der Nutzung von Anforderungen im mechatronischen Entwicklungsprozess von Produktionsmaschinen	2
1.4 Fokus der Arbeit.....	3
1.5 Anforderungsmanagement	4
1.5.1 Der Begriff „Anforderungen“ in der technischen Entwicklung	4
1.5.2 Anforderungsmanagement und Requirements Engineering	5
1.6 Mechatronische Produktionssysteme.....	9
1.6.1 Allgemeines	9
1.6.2 Bedeutung des Begriffs Mechatronik.....	10
1.6.3 Charakterisierung von Produktionssystemen	11
1.6.4 Produktionssysteme als mechatronische Systeme.....	12
1.7 Der Entwicklungsprozess.....	14
1.7.1 Definition des mechatronischen Entwicklungsprozesses.....	14
1.7.2 Abgrenzung des Entwicklungsprozesses.....	15
1.7.3 Potenzial der mechatronischen Entwicklung	16
1.8 Zielsetzung	18

1.9	Vorgehensweise	18
2	Stand von Forschung und Technik	21
2.1	Allgemeines	21
2.2	Methoden des Anforderungsmanagements.....	21
2.2.1	Methoden in der Anforderungsspezifikation	24
2.2.1.1	Das Anwenderinterview	24
2.2.1.2	Der Anforderungssworkshop	25
2.2.1.3	Die Dokumentenanalyse.....	26
2.2.1.4	Arbeiten im Benutzerumfeld	27
2.2.1.5	Der IEEE-Standard	27
2.2.1.6	Die Multimediaspezifikation	29
2.2.1.7	Strukturierte Analyse	29
2.2.1.8	Anwendungsfälle	30
2.2.2	Techniken zur Überprüfung der Anforderungsspezifikation	31
2.2.2.1	Review	31
2.2.2.2	Priorisierung	32
2.2.2.3	Prototypisierung.....	33
2.2.2.4	Inspektion	33
2.3	Methoden der mechanischen Konstruktion	34
2.4	Kommunikation im mechatronischen Entwicklungsprozess.....	38
2.5	Rechnerwerkzeuge in der mechatronischen Entwicklung.....	41
2.6	Kosten und Kostenschätzung im Entwicklungsprozess	42
2.7	Rechnerunterstützung bei der Kostenschätzung.....	45

2.7.1	Abschätzung von mechanischen Kosten	46
2.7.2	Abschätzung von Software-Kosten	47
2.8	Systemtheorie	52
2.9	Zusammenfassung.....	53
3	Vorgehen zur kontinuierlichen Anforderungshandhabung	55
3.1	Allgemeines.....	55
3.2	Phase 1: Planung der Anforderungserfassung	56
3.2.1	Vorbereitungen für die Integration der kontinuierlichen Anforderungshandhabung	56
3.2.2	Strukturierung des Gesamtsystems	59
3.2.2.1	Orientierung an Baugruppen.....	60
3.2.2.2	Orientierung an Funktionen	62
3.2.2.3	Mechatronische Struktur.....	64
3.2.2.4	Beurteilung der Strukturierungsvorgehen.....	65
3.2.3	Modularität der Anforderungsstrukturierung	66
3.2.3.1	Bestandteile des Anforderungsmoduls	66
3.2.3.2	Schnittstellen des Anforderungsmoduls	68
3.2.3.3	Zustände im Anforderungsmodul	69
3.2.4	Verknüpfungen zwischen Anforderungsinhalten.....	71
3.2.5	Modulare hierarchische Strukturvorlage zur Aufnahme von Anforderungen.....	72
3.3	Phase 2: Beschreibung der Anforderungen.....	73
3.3.1	Aufnahme und Darstellung der Anforderungen.....	73
3.3.2	Allgemeine Richtlinien für die Formulierung von Anforderungen .	73

3.3.3	Spezielle Vorschriften für ein nachhaltiges Formulieren von Anforderungen	75
3.3.4	Umsetzung im Anforderungsmanagement-Prozess	75
3.4	Phase 3: Nutzung der Anforderungen in der Entwicklung	77
3.4.1	Durchgängige Nutzung der Anforderungen im Entwicklungsprozess 77	
3.4.2	Gemeinsame Datenbasis	77
3.4.3	Automatische Verknüpfung	78
3.4.4	Änderung und Aktualisierung von Daten	79
3.4.5	Kostenabschätzung.....	81
3.5	Umsetzung in einem Rechnerwerkzeug	82
3.6	Zusammenfassung	85
4	Exemplarische Umsetzung in einem Anforderungsmanagement- Werkzeug.....	87
4.1	Allgemeines	87
4.2	Anforderungen an ein unterstützendes Rechnerwerkzeug	87
4.3	Vorhandene Funktionalitäten des Anforderungsmanagement-Werkzeugs 88	
4.3.1	Übersicht der vorhandenen Funktionalitäten von DOORS.....	88
4.3.2	DOORS Extension Language DXL	88
4.3.3	Anforderungsobjekte.....	88
4.3.4	Verknüpfungen zwischen Anforderungsobjekten.....	90
4.3.5	Projekte und Ordner	90
4.4	Umsetzung identifizierter Funktionalitäten	91

4.4.1	Erweiterungen und Ergänzungen von Funktionen	91
4.4.2	Modulare, hierarchische Systemstruktur	92
4.4.3	Modulvorlage	93
4.4.4	Automatische interne Verknüpfung	94
4.4.5	Abschätzung von Kosten im Anforderungsmanagement-Werkzeug	96
4.4.6	Ausgabe in XML	98
4.4.7	Verknüpfung mit einem Werkzeug der Installationsplanung	100
4.4.8	Zusammenfassung	102
5	Anwendungsbeispiel.....	103
5.1	Lastenheftmanagement bei einem Anlagenbetreiber	103
5.1.1	Ausgangssituation.....	103
5.1.2	Problemstellung	104
5.1.3	Zielsetzung	105
5.1.4	Analyse der Anlagenstruktur	106
5.1.5	Analyse der Anwendungsfälle.....	107
5.1.6	Anlagenstruktur und Strukturvorlage	108
5.1.6.1	Struktur für allgemeine Anforderungen.....	108
5.1.6.2	Struktur für fachbereichsspezifische Anforderungen	109
5.1.6.3	Umsetzung der Struktur	110
5.1.7	Prozesse im Lastenheftmanagement	112
5.1.7.1	Integration in den Prozess „Technisches Investitionsprojekt“	112
5.1.7.2	Prozess zur Lastenhefterstellung	113
5.1.7.3	Prozess zur Lastenheftpflege	115

5.1.8 Zusammenfassung	116
6 Bewertung der Vorgehensweise.....	117
6.1 Aufwand bei der Einführung und Umsetzung	117
6.2 Nutzen für die Projekte zur mechatronischen Entwicklung	119
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	121
7.1 Zusammenfassung	121
7.2 Ausblick	122
8 Literaturverzeichnis	123
Anhang.....	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur eines IT-Lastenheftes nach DIN 69905	7
Abbildung 2:	Allgemeine Darstellung eines mechatronischen Systems	10
Abbildung 3:	Allgemeine Darstellung eines Produktionssystems	12
Abbildung 4:	Entwicklung der Kostenanteile in Produktionssystemen	13
Abbildung 5:	Dokumente und Aufgaben im mechatronischen Entwicklungsprozess (Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])	14
Abbildung 6:	Der mechatronische Entwicklungsprozess im Umfeld der sonstigen unternehmerischen Abläufe (Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])	15
Abbildung 7:	Das Spannungsfeld im mechatronischen Entwicklungsprozess (Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])	17
Abbildung 8:	Modell des Requirements-Engineering-Prozesses nach [POHL 1996]	22
Abbildung 9:	IEEE-Standard zur Anforderungsspezifikation	28
Abbildung 10:	Anwendungsfalldiagramm nach [FOWLER & SCOTT 1999]	31
Abbildung 11:	Kriterienliste für die Inspektion von Anforderungen nach [SCHIENMANN 2002]	34
Abbildung 12:	Vergleich der Entwicklungsvorgehensweisen in der mechanischen Konstruktion [WALZ 1999]	36
Abbildung 13:	Unterschiedliche Konstruktionsarten nach [EHRENSPIEL 1995]	37
Abbildung 14:	Zuordnung der Konstruktionsarten zu den Konstruktionsphasen nach [ROMANOW 1994]	38
Abbildung 15:	Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach [VDI 2221]	40
Abbildung 16:	Kostenschätzung im Wasserfall-Modell eines Produkt- Entwicklungsprozesses (in Anlehnung an [ROYCE 1970])	43

Abbildung 17: Drei Phasen der ganzheitlichen Anforderungshandhabung	55
Abbildung 18: Untergliederung der ersten Phase der ganzheitlichen Anforderungshandhabung	56
Abbildung 19: Mengendarstellung der unstrukturierten und der strukturierten Aufnahme von Anforderungen.....	58
Abbildung 20: Kennzeichnung bereits befüllter und noch weiter zu detaillierender Subsysteme der Systemstruktur für die Aufnahme der Anforderungen.....	59
Abbildung 21: Strukturierung einer Werkzeugmaschine nach mechanischen Baugruppen.....	61
Abbildung 22: Komponenten mit elektronischen Eigenschaften bei der Strukturierung nach Bauteilen.....	62
Abbildung 23: Funktionale Strukturierung einer Werkzeugmaschine	64
Abbildung 24: Allgemeine Inhalte eines Anforderungsmoduls	67
Abbildung 25: Abbildung funktionaler Zusammenhänge über die Bauteil- orientierte Struktur hinaus	71
Abbildung 26: Gliederung der zweiten Phase der kontinuierlichen Anforderungshandhabung	73
Abbildung 27: Beispiel für eine Vorlage für das hinterlegte Anforderungsmodul „Schnittbewegung“	76
Abbildung 28: Gliederung der dritten Phase der kontinuierlichen Anforderungshandhabung	77
Abbildung 29: Rückverfolgbarkeit der Auswirkungen einer Änderung auf die Anforderungsdatenbasis	80
Abbildung 30: Unterschiedliche Änderungszyklen in Abhängigkeit von den Auswirkungen der Änderung auf die Anforderungen.....	81
Abbildung 31: Software unabhängiges Vorgehen zur rechnertechnischen Umsetzung der beschriebenen Methode.....	83

Abbildung 32: Übertragung der Inhalte eines MS Word-Dokumentes in Anforderungsobjekte in DOORS.....	89
Abbildung 33: Modul und ordnerunabhängige Verknüpfung eines Objektes in DOORS am Beispiel einer Anlage für die Herstellung von Bauelementen.....	90
Abbildung 34: Beispiel einer in DOORS definierten Systemstrukturierung.....	92
Abbildung 35: Erstellen eines neuen Moduls in DOORS unter Verwendung der ergänzten Modulvorlage	94
Abbildung 36: Automatische Verknüpfung von Anforderungsobjekten in DOORS durch bezeichnende Ausdrücke.....	95
Abbildung 37: Automatische Summation von Kosten für einzelne Komponenten	97
Abbildung 38: Ausgabe der in DOORS abgelegten Daten als XML	99
Abbildung 39: Markiertes Modul in DOORS.....	101
Abbildung 40: Aus DOORS in COMOS übertragene Struktur	101
Abbildung 41: Beispiel für ein entwickeltes Fischgrätendiagramm zur Strukturierung der Fruchtkochanlage	106
Abbildung 42: Strukturierungsvorgehen „Eindeutige Cluster“	109
Abbildung 43: Darstellung der Informationen im „Poolansatz“	110
Abbildung 44: Darstellung der variablen Einbindung von Inhalten aus der Ordnerstruktur in das erstellte Lastenheft.....	111
Abbildung 45: Der Lastenheftmanagement-Prozess mit Verknüpfung zum Prozess „Technisches Investitionsprojekt“	112
Abbildung 46: Darstellung der Teile eines Lastenheftes und der Verknüpfung mit einer mit dem Prozess korrespondierenden Checkliste	113
Abbildung 47: Prozess der Erstellung eines Lastenheftes	114
Abbildung 48: Prozess der Lastenheftpflege	115

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die vorliegende Arbeit ist der Integration von Anforderungen in den mechatronischen Entwicklungsprozess gewidmet. Der Fokus liegt hierbei auf einer methodischen Aufnahme und Beschreibung der Kundenanforderungen bereits durch die Vertriebsabteilung, so dass diese in dem anschließenden Entwicklungsprozess durchgängig genutzt werden können.

In diesem Kapitel sollen zunächst die für diese Arbeit wichtigen Begriffe definiert bzw. erläutert und die Grenzen des Betrachtungsgebietes dargestellt werden. Die wesentlichen Aspekte hierbei sind das Anforderungsmanagement, die Mechatronik, der Entwicklungsprozess sowie Produktionssysteme.

1.2 Herausforderungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme

Grund für den steigenden Konkurrenzdruck für deutsche Unternehmen ist die wachsende Anzahl an Anbietern durch die zunehmende Globalisierung der Märkte [CASPER 1999, DONGES 2004]. Dadurch werden Unternehmen immer mehr gezwungen, ihre internen Abläufe zu optimieren.

Während man sich im Bereich der Unternehmensorganisation oftmals der Techniken aus fernöstlichen Staaten bedient (vgl. „Lean Production“ aus Japan), kann für die verschiedenen Prozessbeschreibungen ebenfalls auf Erfahrungen aus unterschiedlichen Fachbereichen zurückgegriffen werden.

Die Mechatronik vereint die drei Ingenieursdisziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Informationstechnik, so dass durch fachbereichsübergreifende Synergien immer weitere Innovationen entstehen können.

Die Situation von Produktionsunternehmen wird vom schnellen technischen Fortschritt, der zunehmenden Internationalisierung und der damit verbundenen Wettbewerbsintensivierung geprägt. Da die Anforderungen an Produkte in den einzelnen globalen Absatzmärkten immer stärker differieren, lässt sich die zukünftige Marktsituation nur schwer abbilden [vgl. MILBERG 2000, S. 313; SCHULZ-WOLFGGRAMM 2000, S. 43].

Laut [SPATH 1998, S.12; MAYER 1999, S. 7; SPATH 2001, S. 235] werden Kunden in zunehmendem Maße individualisierte Güter in immer kürzerer Lieferzeit zu moderaten Preisen fordern. Verkürzte Produktlebenszyklen führen zu immer kürzeren Amortisierungszeiten, die das unternehmerische Risiko aufgrund des hohen Fixkostenanteils weiter steigern [SCHUH ET AL. 1998, S. 13FF.]. Die Unternehmen sehen als eine der wichtigsten Herausforderungen die ganzheitliche Ausrichtung an den konkreten Kundenwünschen [vgl. LINDEMANN 1999].

Der Erfolg von Unternehmen ist – neben Kundenorientierung und Innovationsfähigkeit – von der Fähigkeit abhängig, auf die Anforderungen aus dem turbulenten Unternehmensumfeld adäquat zu reagieren und die entstehende Komplexität zu beherrschen [vgl. MILBERG 1997, S.26; WESTKÄMPER 1998, S.23; REINHART ET AL. 1999; WILDEMANN 1999; LINDEMANN 1999; SPATH 2001; SPATH 2002].

1.3 Bestehende Defizite bei der Nutzung von Anforderungen im mechatronischen Entwicklungsprozess von Produktionsmaschinen

Der mechatronische Entwicklungsprozess sieht eine Verknüpfung der drei wesentlich beteiligten Fachdisziplinen, der Mechanik, der Elektrotechnik sowie der Software-Entwicklung, vor. Bei dieser Verknüpfung wird allerdings eine rein fachlich-inhaltliche Kooperation fokussiert. Der Ansatz des Simultaneous Engineering, der über die drei Fachbereiche verteilt Anwendung findet, beginnt erst nach der Festlegung der Anforderungen.

Bisherige Ansätze zur Integration von Anforderungen in der mechatronischen Entwicklung z. B. mittels PDM-Systemen beschäftigen sich lediglich mit der Aufbereitung von bereits in einzelnen Dokumenten festgehaltenen Anforderungen. Für die Aufnahme von Anforderungen bestehen verschiedene Ansätze. Diese variieren in der Zahl der Teilnehmer, die bei einer Anforderungsklä rung persönlich befragt werden, in der Art der Unterlagen, die für eine Anforderungsdefinition herangezogen werden, oder auch in der Art des Kontaktes zu den künftigen Kunden. Eine direkte Integration dieser Methoden in die weitere Entwicklung besteht bislang nicht.

Produktionsanlagen als Investitionsgüter und komplexe mechatronische Produkte werden in der überwiegenden Zahl der Fälle auf einen direkten Kundenauftrag hin im Detail konstruiert. Die Entwicklung bzw. Konstruktion lässt sich als Varianten- bzw. Änderungskonstruktion deuten, da die Entwickler und Hersteller von

Produktionsanlagen meist auf eine langjährige Erfahrung in der Entwicklung solcher Anlagen zurückgreifen können. Auch die in vorangegangenen Projekten gesammelten Informationen können für jedes neue Projekt genutzt werden – selbstverständlich müssen diese Informationen in geeigneter Form vorliegen und übersichtlich strukturiert sein, damit deren Nutzung zum Erfolg des neuen Projektes beiträgt. Aber auch hierbei bestehen derzeit Defizite in der ganzheitlichen Einbindung der vorhandenen Anforderungsinformationen in die Entwicklung.

Moderne Projekte werden stets mit rechnertechnischer Unterstützung durchgeführt. Deshalb ist die software-technische Abbildung der notwendigen Funktionen ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung einer ganzheitlichen Vorgehensweise zur Integration der Anforderungen in den mechatronischen Entwicklungsprozess.

1.4 Fokus der Arbeit

Heute kann annähernd jedes technische Produkt als mechatronisches System bezeichnet werden, da Elektronik und Software stets zur Erweiterung der Funktionalitäten eines ursprünglich mechanischen Grundsystems eingesetzt werden. Um diese Arbeit zu fokussieren, wird deshalb zunächst der Betrachtungsraum auf mechatronische Produktionssysteme eingeschränkt. Die Definition des Begriffes Produktionssystem, wie er für diese Arbeit relevant ist, wird im folgenden Abschnitt vorgenommen.

Der mechatronische Entwicklungsprozess beinhaltet verschiedene Phasen, wie in Kapitel 3 dargestellt. Diese erstrecken sich von der Aufnahme und Dokumentation von Anforderungen über die mechanische, elektro- und informationstechnische Auslegung und Konstruktion bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme. Am Ende des Entwicklungsprozesses stehen stets die Fertigung, Montage und reale Inbetriebnahme, die aber nur in einem erweiterten Verständnis zur Entwicklung zählen. Ebenso wird im klassischen Maschinenbau auch die Anforderungsbeschreibung noch nicht der eigentlichen Entwicklung zugerechnet, sondern als Voraussetzung für den Start eines Entwicklungsprojektes betrachtet. Dennoch hat die Anforderungsliste in dem mechanischen Entwicklungsprozess ihren festen Platz (vgl. [VDI 2221, EHRENSPIEL 1995]).

Kernbereich dieser Arbeit wird eben diese sehr frühe Phase der Entwicklung sein bzw. die sinnvolle Integration des Anforderungsmanagements in den mechatronischen Entwicklungsprozess. Das Thema Requirements Engineering ist im Gebiet

der Software-Entwicklung sehr breit gefächert und wird in vielen aktuellen Veröffentlichungen aus der Software-Entwicklung als die bedeutendste Disziplin zur Sicherstellung eines Projekterfolges identifiziert [vgl. HOOD 2005]. Da in mechatronischen Systemen der Software-Anteil stetig steigt, ist davon auszugehen, dass der Ansatz des Requirements Engineering auch für mechatronische Produkte weiter an Bedeutung gewinnen wird.

1.5 Anforderungsmanagement

1.5.1 Der Begriff „Anforderungen“ in der technischen Entwicklung

Laut [DUDEN 1989] wird das Verb „fordern“ im Deutschen seit dem 13. Jahrhundert als typisches Wort der Rechtssprache für das Beanspruchen von Leistungen und Gebühren verwandt. Die Anforderung leitet sich aus diesem Verb ab. In einschlägigen Wörterbüchern wird das Wort „Anforderung“ als zu erbringende Leistung erklärt.

In der (Software-)Technik ist eine Anforderung (häufig engl. requirement) eine Aussage über eine zu erfüllende Eigenschaft oder zu erbringende Leistung eines Produktes, eines Systems oder Prozesses oder der am Prozess beteiligten Personen [RUPP 2002]. Anforderungen werden üblicherweise in einem Lastenheft zusammengefasst.

Nach [GLINZ 2003] wird der Anforderungsbegriff wie folgt definiert:

1. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die eine Sache oder eine Person erfüllen oder besitzen muss, um (von Dritten) an sie gestellte Wünsche und Erwartungen zu befriedigen.
2. Eine Bedingung oder Fähigkeit, dem eine Software entsprechen oder die sie besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm oder ein anderes, formell bestimmtes Dokument zu erfüllen.

In diesem Sinne sind die Anforderungen als detaillierte Spezifikationen von Wünschen zu verstehen. Die Anforderungen können dabei in funktionale, nicht-funktionale und implizite Anforderungen unterteilt werden. Eine Anforderung stellt zunächst allgemein ein fachliches oder technisches Leistungsmerkmal dar, welches die zu entwickelnde Anwendung aufweisen soll.

Ähnlich zu dieser Definition ist eine Anforderung auch nach [IEEE 1990]:

- Eine Bedingung oder Fähigkeit, die von einer Person zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt wird.
- Eine Bedingung oder Fähigkeit, die eine Software erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm oder ein anderes, formell bestimmtes Dokument zu erfüllen.
- Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Fähigkeit wie in einem der ersten beiden Punkte genannt.

1.5.2 Anforderungsmanagement und Requirements Engineering

Bei der Entwicklung jedes technischen Produktes wird zunächst definiert, was das System am Ende können soll. Der Ansatz des Anforderungsmanagements verbindet dabei durchgängig über die Produktentwicklung hinweg die Aufnahme der Kundenanforderungen mit den definierten Abnahmetests.

Die Begriffe Anforderungsmanagement und Requirements Engineering werden in der Literatur häufig gemeinsam verwendet. Das Anforderungsmanagement wird unter anderem in [HOOD 2005, RUPP 2001] ausführlich beschrieben.

Das Ziel des Anforderungsmanagements ist es, in Projekten die Anforderungen an das Produkt und dessen Komponenten zu managen und Inkonsistenzen sowohl zwischen den Anforderungen untereinander als auch zwischen den Produktanforderungen, den Projektplänen und den Arbeitsprodukten zu identifizieren und aufzulösen.

Anforderungsmanagement gehört zu den elementaren Prozessen im CMMI-Modell [KNEUPER 2003] ebenso wie im ISO-15504-Modell [ISO 1998] sowie in dem ebenfalls für die Software-Entwicklung relevanten Standard ISO 12207 [ISO 1995]. AM ist auch wesentlicher Bestandteil von Qualitätsmanagement.

[POHL 2005] führt aus, dass Requirements Engineering als Prozess betrachtet wird, dessen Ziel es ist, eine Brücke zwischen Anwendern, Nutzern, Geldgebern und Entwicklern von Softwaresystemen aufzubauen und aufrechtzuerhalten. Requirements Engineering ist somit ein kontinuierlicher, kreativer Prozess, der immer wieder aus vagen und widersprüchlichen Ideen hinreichend vollständige und konsistente Systemspezifikationen unter Berücksichtigung vorhandener technischer und sozialer Kontexte gewinnen muss. Für ein erfolgreiches Anforderungs-

rungsmanagement sind die Nachvollziehbarkeit der relevanten Zusammenhänge sowie die kontinuierliche Prozessverbesserung unabdingbare Voraussetzungen [POHL 2005].

Die Software Requirement Specification ist ein von der IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) erstmals unter ANSI/IEEE Std 830-1984 veröffentlichter Standard zur Spezifikation von Software [IEEE 1984]. Die IEEE hat die Spezifikation mehrmals überarbeitet und die momentan neueste Version ist Std 830-1998.

Die IEEE hat mit dieser Definition festgelegt, wie das Dokument aufgebaut werden soll. Die Kapitel, die in diesem Dokument enthalten sein sollen, stehen somit fest. Dabei ist das Dokument grundsätzlich in zwei Bereiche aufgeteilt:

- C-Requirement (Customer-Requirement)
- D-Requirement (Development-Requirement)

Unter C-Requirement sind die Anforderungen aus Sicht des Kunden und/oder des End-Anwenders zu erfassen. Unter D-Requirement versteht man die Entwicklungs-Anforderungen. Dies ist die Sicht aus den Augen des Entwicklers, der im Gegensatz zum Kunden technische Aspekte in den Vordergrund stellt.

Mit "Anforderungen" ist sowohl die qualitative als auch die quantitative Definition eines benötigten Programmes aus der Sicht des Auftraggebers gemeint. Im Idealfall umfasst eine solche Spezifikation die ausführliche Beschreibung des Zweckes, des geplanten Einsatzes in der Praxis sowie des geforderten Funktionsumfanges einer Software.

Eine SRS (Software Requirement Specification) enthält nach IEEE Standard mindestens drei Hauptkapitel. Die vorgeschlagene Gliederung sollte zwar in den Kernpunkten eingehalten werden. In der Praxis wird diese jedoch häufig im Detail modifiziert. Nach [DIN 69 905, VDI/VDE 3694] enthält das Lastenheft die vom Auftraggeber festgelegten Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrages. Der darin enthaltene Vorschlag für das Inhaltsverzeichnis eines IT-Lastenheftes ist in Abbildung 1 dargestellt.

- 1 Projekt- Einführung**
 - 1.1 Veranlassung
 - 1.2 Zielsetzung
 - 1.3 Projektumfeld
 - 1.4 Ressourcen
- 2 Ausgangssituation, Ist-Zustand, Projektumfeld**
 - 2.1 Technisches Umfeld
 - 2.2 Anlage, Hardware, Schnittstellen
 - 2.3 Abläufe, Prozesse, Datenmengen, Reaktionszeiten
 - 2.4 Organisatorisches Umfeld
 - 2.5 Dokumentations- und Informationswege,
- 3 Berichtswesen**
- 4 Ablauforganisation**
- 5 Aufgabenstellung**
 - 5.1 Kurzbeschreibung, Gliederung
 - 5.2 Ablaufbeschreibung
 - 5.2.1 *Normalbetrieb*
 - 5.2.2 *Einrichtungsbetrieb*
 - 5.3 Daten-, Datenmengen- und Datensicherheitsbeschreibungen
 - 5.3.1 *Kommunikation*
 - 5.3.2 *Informations-Daten*
 - 5.3.3 *Bedienungsdaten*
 - 5.3.4 *Dienstdaten*
 - 5.3.5 *Protokollierungsdaten*
 - 5.4 Aufgabenbeschreibungen
 - 5.4.1 *Funktionalität*
 - 5.4.2 *Änderbarkeit*
 - 5.4.3 *Zuverlässigkeit*
 - 5.4.4 *Anlagenmanagement*
- 6 Schnittstellen**
 - 6.1 Schnittstellenübersicht
 - 6.2 Prozesse-IT-Einrichtungen
 - 6.3 Mensch-IT-Einrichtung
 - 6.4 IT-IT-Einrichtung
- 7 Anforderungen an die Systemtechnik**
 - 7.1 Datenverarbeitung
 - 7.2 Datenhaltung
 - 7.3 Software
 - 7.4 Hardware
 - 7.5 Hardwareumgebung
 - 7.6 Gesamtsystem
- 8 Anforderungen an das organisatorische Umfeld**
 - 8.1 Betriebsablauf
 - 8.2 Personal
 - 8.3 Wartung
- 9 Qualitätssicherung**
 - 9.1 Qualitätsstandards, Qualitätsnachweise
 - 9.2 Softwarequalität
 - 9.3 Hardwarequalität
- 10 Projektabschluss**

Abbildung 1: Struktur eines IT-Lastenheftes nach DIN 69905

Anforderungsmanagement wird von [LEFFINGWELL & WIDRIG 1999, S.16] folgendermaßen beschrieben:

»Requirements management is a systematic approach to eliciting, organizing, and documenting the requirements of the system, and a process that establishes and maintains agreement between the customer and the project team on the changing requirements of the system.«

Laut [SCHIENMANN 2002] zielt Anforderungsmanagement darauf ab, aus zunächst vagen und teilweise widersprüchlichen Anforderungen und Zielvorstellungen schrittweise eine vollständige und eindeutige Anforderungsdefinition zu entwickeln, welche von allen Beteiligten mitgetragen wird. Mehr als alle anderen Entwicklungsschritte ist dieser Prozess geprägt von der intensiven Kommunikation und Zusammenarbeit einer Vielzahl von Personen in ihren unterschiedlichen Rollen. Kunden, Anwender, Betreiber, Fachexperten, Produktmanager, Anforderungsanalytiker und Entwickler sind gefordert, Anforderungen gemeinsam zu erarbeiten, abzustimmen und einen gefundenen Konsens auch bei sich ändernden Anforderungen aufrechtzuerhalten.

In der Literatur variiert die Abgrenzung zwischen Begriffen wie *Anforderungsmanagement* und *Anforderungstechnik* oder *Requirements Engineering* und *Requirements Management* von Autor zu Autor. Teilweise wird der Begriff *Requirements Management* als Oberbegriff sowohl für alle Aufgaben zur Ermittlung und Definition von Anforderungen, als auch für die Steuerung, Kontrolle und Verwaltung dieser operativen Aufgaben benutzt. Andere Autoren verwenden stattdessen *Requirements Engineering* als Oberbegriff und fassen darunter operative Tätigkeiten (*Requirements Development*) und Managementaufgaben (*Requirements Management*) zusammen (vgl. etwa [WIEGERS 1999]).

Obwohl einiges für die zweite Begriffsbildung spricht, wird in diesem Buch Anforderungsmanagement gemäß der oben zitierten Definition als umfassender Begriff für alle Aufgaben im Umgang mit Anforderungen verwendet. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe: einen inhaltlichen und einen vertrieblichen.

Probleme im Umgang mit Anforderungen beruhen zumeist auf dem mangelnden Management von Anforderungen. Hier vor allem ist eine Sensibilisierung erforderlich. Isoliert betrachtet werden dagegen die rein operativen Aufgaben, wie etwa die Beschreibung von Anwendungsfällen, oft gut ausgeführt.

Die deutsche Bezeichnung *Anforderungstechnik* für Requirements Engineering ist wenig verbreitet und zumindest gewöhnungsbedürftig. Mit dem Begriff Anforderungsmanagement dürfte es sehr viel leichter fallen, das Thema zu fördern und in einer Organisation die notwendige Managementunterstützung zu erhalten.

Dieser zweite Punkt ist wichtig. Die Einführung und Verbesserung des Anforderungsmanagements in einer Organisation muss vom Management gefordert und unterstützt werden, um zu nachhaltigen Verbesserungen zu führen. Welcher der Begriffe *Requirements Engineering*, *Requirements Management* oder *Anforderungsmanagement* dazu allerdings am besten geeignet ist, bleibt dem Leser überlassen [vgl. SCHIENMANN 2002, S. 32 – 33]:

1.6 Mechatronische Produktionssysteme

1.6.1 Allgemeines

Technische Systeme des Maschinenbaus lassen sich in verschiedene Branchen unterteilen, wie beispielsweise:

- Automotive,
- Robotik,
- Medizintechnik,
- Produktionstechnik,
- Luft- und Raumfahrt,
- Verfahrenstechnik oder
- Energietechnik.

Alle diese Branchen haben typische Vertreter in der Industrie und bergen spezielle Problemstellungen für die Entwicklung der entsprechenden Systeme. Eine besondere Herausforderung der letzten Jahr(zehnt)er ist die zunehmende Integration von Software- und Elektrotechnik in vormals rein mechanischen Systemen. Mit dieser wichtigen Aufgabe beschäftigt sich die Querschnittsdisziplin Mechatronik (vgl. [REINHART ET AL. 2001A]).

Die folgenden Abschnitte sollen zum einen die für diese Arbeit relevanten Begriffe der Mechatronik und von Produktionssystemen erläutern und zum anderen die aktuelle Situation in der Industrie und der Anwendung darlegen.

1.6.2 Bedeutung des Begriffs Mechatronik

Mechatronik bedeutet die größtmögliche Integration der drei Disziplinen Mechanik, Elektrik und Software auf einer Komponente bzw. einem Funktionsträger [REINHART ET AL. 2001]. Ein mechatronisches System besteht nach [ISERMANN 2003], [GAUSEMEIER 2002] und [VDI/VDE 2422] stets aus einem meist mechanischen Grundsystem, Aktoren und Sensoren sowie Prozessoren zur Verarbeitung von Regelungsinformationen (vgl. Abbildung 2).

Die Mechatronik bedeutet aber nicht nur die Integration von immer mehr Software in technisch-mechanische Komponenten, sondern bietet durch den hochintegrierten Ansatz zur Fertigung und Funktionalität von Bauteilen ein ausgesprochen hohes Innovationspotenzial. So wurden Produkte wie Laserdrucker, Hand-helds oder DVD-Recorder erst durch den von Anfang an integrierten Ansatz der mechatronischen Entwicklung möglich.

Abbildung 2: Allgemeine Darstellung eines mechatronischen Systems

Aber auch Produkte, die ursprünglich rein auf mechanischen und elektronischen Bauteilen beruhten, erfahren durch den integrierenden Ansatz der Mechatronik eine deutliche Leistungssteigerung.

1.6.3 Charakterisierung von Produktionssystemen

Unter dem Begriff *Produktionssysteme* werden nach [REFA 1987] Arbeitssysteme zur Herstellung von Produkten verstanden. Diese Arbeitssysteme können sowohl aus automatisierten als auch aus manuellen Arbeitsplätzen bestehen, die über Material- und Informationsflüsse miteinander verbunden sind. Die zur Durchführung des Produktions- und Arbeitsprozesses notwendigen Teilfunktionen lassen sich nach [SPUR 1982, MERTENS 1984] den drei sich ergänzenden Teilsystemen eines Produktionssystems zuordnen (vgl. Abbildung 3):

- Das Bearbeitungssystem dient zur unmittelbaren Produktion gemäß einer vorgegebenen Produktionsarbeitsaufgabe. Es umfasst alle Betriebsmittel, die direkt am Produktionsfortschritt beteiligt sind, wie z. B. Maschinen, Werkzeuge, Mess- und Prüfmittel etc. [JÄGER 91, MERTENS 84]
- Innerhalb des Materialfluss-Systems werden nach der VDI-Richtlinie 2860 Werkstücke und Betriebsmittel gehandhabt, transportiert und gelagert.
- Das Informationssystem übernimmt dabei alle Funktionen der Steuerung und Überwachung des Produktionsablaufs [HERTER 1991]. Dazu gehören die Aufgaben speichern, verwalten, bearbeiten, senden und empfangen von Informationen. Zur Durchführung ihrer Aufgaben erhält es aus den vorgelagerten Bereichen der Produktion die notwendigen Informationen, um sie aufgereiht an das Materialfluss- und Bearbeitungssystem weiterzugeben [JÄGER 1991].

Unter *Produktionssystem* wird in diesem Zusammenhang jedes technische System verstanden, das zur Bearbeitung und Fertigstellung von Produkten eingesetzt wird. Im Speziellen werden hier auch Werkzeugmaschinen betrachtet.

Abbildung 3: Allgemeine Darstellung eines Produktionssystems

1.6.4 Produktionssysteme als mechatronische Systeme

Produktionssysteme und als einfaches, konkretes Beispiel die Werkzeugmaschinen, stoßen aufgrund der heutigen Anforderungen an rein durch mechanische Optimierung nicht mehr verschiebbare Leistungsgrenzen. Erst die Integration von Steuerungs- und Regelungsalgorithmen, z. B. zur Kompensation von dynamisch erregten Schwingungen des Systems [REINHART ET AL. 2001B], erlauben eine Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit und damit der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

Auch die immer höheren Anforderungen an die Flexibilität von Produktionssystemen lassen sich nur durch die Integration von Software in das ursprünglich mechanische Grundsystem realisieren. Während vor einigen Jahren auf einer Maschine lediglich eine bestimmte Fertigungsreihenfolge installiert werden konnte und ein Wechsel zu einer weiteren Bearbeitungsfolge mit äußerst langen Umrüstzeiten verbunden war, kann in heutigen Bearbeitungssystemen der Wechsel zwischen zwei verschiedenen Bauteilen binnen weniger Minuten realisiert werden.

Die Kostenentwicklung der vergangenen Jahre zeigt, dass in mechatronischen Produktionsanlagen ein stetig wachsender Anteil der Fertigungs- und Entwicklungskosten für die Software aufgewendet werden muss (vgl. Abbildung 4).

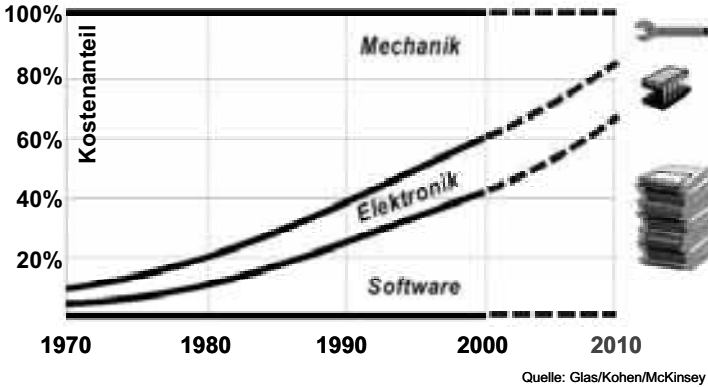


Abbildung 4: Entwicklung der Kostenanteile in Produktionssystemen

Dies bedeutet, dass Produktionsanlagen als mechatronische Systeme zu betrachten sind und deshalb auch die Methoden zur Entwicklung solcher Systeme an die Entwicklungsprozesse der einzelnen Teildisziplinen angepasst werden müssen.

1.7 Der Entwicklungsprozess

1.7.1 Definition des mechatronischen Entwicklungsprozesses

Für die Entwicklung technischer Systeme werden Rollen, Abläufe und Vorgehensweisen festgelegt. Diese Attribute sind abhängig von der Art des zu entwickelnden Systems, aber auch von Unternehmensstrukturen, eingesetzten Rechnerwerkzeugen oder vorhandenen Erfahrungen.

Der mechatronische Entwicklungsprozess umfasst sowohl die Ebene des Simultaneous Engineering, das sich zur Aufgabe gesetzt hat, über einzelne Projektphasen wie Konzeption, Entwicklung, Berechnung, Montage, Inbetriebnahme und Wartung hinweg den reibungslosen Datenfluss sicherzustellen, als auch die Ebene des Concurrent Engineering, das die Integration der drei Fachbereiche Mechanik, Elektrik und Software während der Entwicklung eines Systems zum Ziel hat (vgl. Abbildung 5). Diese beiden Begriffe wurden in den vergangenen Jahren allerdings häufig synonym verwendet (vgl. [KLEIN ET AL. 2003]).

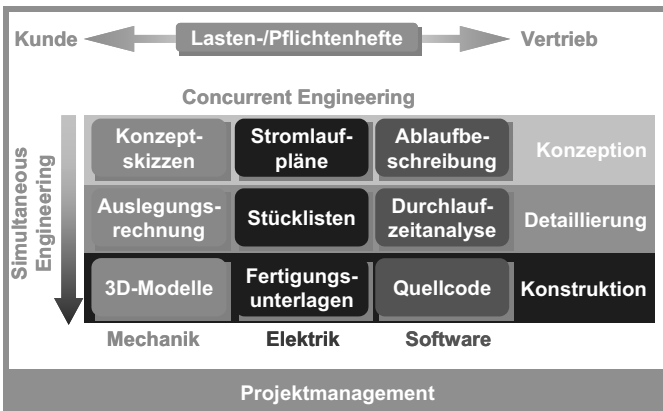


Abbildung 5: Dokumente und Aufgaben im mechatronischen Entwicklungsprozess (Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])

In den einzelnen Disziplinen werden verschiedene Dokumente bearbeitet und erstellt. Diese Dokumente müssen für einen reibungslosen Ablauf inhaltlich miteinander verknüpft werden.

Die Phasen des Entwicklungsprozesses „Konzept – Entwurf – Detaillierung – Konstruktion“ führen in der Mechanik zunächst zu Konzeptskizzen, die in der

Entwicklung durch Auslegungsrechnungen detailliert werden und dann in einem 3D-CAD-Programm in Konstruktions- bzw. Fertigungszeichnungen umgesetzt werden. In der Elektrik werden in der Konzeptphase Stromlaufpläne erstellt. Die Entwicklung in der Elektrik führt zu detaillierten Stücklisten über die notwendigen Zukaufteile für einzelne Funktionen, die in der Konstruktionsphase in die Fertigungsunterlagen integriert werden. Die in der Konzeptphase erstellte Ablaufbeschreibung in der Software-Entwicklung kann von der Elektrik sowie der Mechanik bereits in dieser Phase für eine Überprüfung der konzeptionierten Funktionalitäten führen. In der Software-Entwicklung wird darauf aufbauend eine Durchlaufzeitenanalyse durchgeführt und schließlich ein Quellcode erstellt, der die beschriebenen Abläufe auf den einzelnen Bauteilen umsetzt.

1.7.2 Abgrenzung des Entwicklungsprozesses

Die Anforderungen an das zu entwickelnde System werden vom Kunden in einem Lastenheft beschrieben. Der Vertrieb, manchmal schon in Zusammenarbeit mit dem künftigen Projektleiter, erstellt aus dem Lastenheft ein Pflichtenheft. Für die Erstellung eines Angebotes, das Grundlage für das Zustandekommen des Vertrags ist, ist bereits in dieser frühen Phase eine Kostenschätzung notwendig. Erst mit der Vertragsunterzeichnung beginnt im engeren Sinne der mechatronische Entwicklungsprozess.

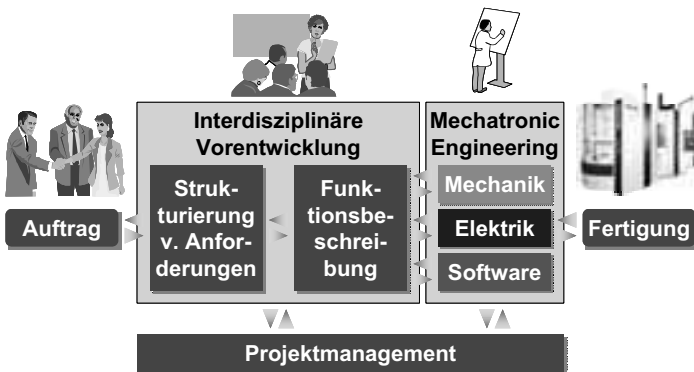


Abbildung 6: Der mechatronische Entwicklungsprozess im Umfeld der sonstigen unternehmerischen Abläufe (Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])

Der mechatronische Entwicklungsprozess beginnt also mit der Erteilung eines Entwicklungsauftrages für ein mechatronisches Produkt durch einen internen oder externen Auftraggeber. Während seines Verlaufes werden sämtliche Unterlagen erstellt, die für die Fertigung eines Produktes benötigt werden. Viele dieser Dokumente können auch in späteren Phasen des Lebenszyklus, wie etwa Betrieb, Instandhaltung oder Entsorgung, eingesetzt werden.

Vor dem Engineering von Mechanik, Elektrik und Software (vgl. Abbildung 6) findet eine fachbereichsübergreifende Vorentwicklung statt. Während dieser werden sämtliche Kundenvorgaben aufbereitet, um einen fortwährenden Abgleich des Entwicklungsstandes mit den Wünschen des Auftraggebers zu ermöglichen. Danach wird die Funktionalität des zu entwickelnden Systems beschrieben. Dabei sind die Grundzüge des zu entwickelnden Produkts soweit festzulegen, dass die am Mechatronic Engineering beteiligten Disziplinen möglichst zeitgleich mit der Konzeptionsphase beginnen können.

Entsprechend einem Top-Down-Entwurf wird zunächst ein abstrakter Auftrag während des Entwicklungsprozesses durch zusätzliche Informationen immer weiter konkretisiert. Wird zu einem bestimmten Zeitpunkt festgestellt, dass ein gewählter Ansatz aus einem abstrakteren Stadium nicht praktikabel ist, kann ein Rückschritt erfolgen, um an dieser Stelle einen anderen Lösungsweg einzuschlagen. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass alle nachfolgenden betroffenen Entwickler sowie das Projektmanagement über die vollzogenen Änderungen so früh wie möglich informiert werden. Jedoch gilt es zu vermeiden, Informationen an Personen weiterzuleiten, die von einer Änderung nicht betroffen sind, um eine hohe Effizienz des gesamten Prozesses zu gewährleisten.

Der Entwicklungsprozess wird vom Projektmanagement unterstützt. Dessen Aufgaben leiten sich aus dem magischen Dreieck aus Zeit, Kosten und Qualität ab. Sie bestehen insbesondere aus der Überwachung auf Einhaltung von Kundenvorgaben, Entwicklungsterminen und Produktkosten. Sobald eine Zielverletzung erkennbar wird, werden geeignete Gegenmaßnahmen in die Wege geleitet.

1.7.3 Potenzial der mechatronischen Entwicklung

Ausgangsbasis des mechatronischen Entwicklungsprozesses bilden die kaufmännischen Vorgaben und die Anforderungen des Projektmanagements. Diese werden zusammen mit den technischen Anforderungen aus der Auftragsakquisition in ein mechatronisches Gesamtkonzept überführt. Die Fachbereiche erarbeiten

dabei gemeinsam eine Beschreibung der Funktionen, die in diesem Gesamtkonzept zu erfüllen sind. Die Beschreibung der Funktionen stellt eine Schnittmenge der fachbereichsspezifischen Informationen dar, auf deren Basis die Ausdetaillierung erfolgt, nach deren Abschluss die Fertigung gestartet wird.

Die Ausdetaillierung erfolgt in spezifischen Engineering Tools wie M-CAD, E-CAD und Software-Entwicklungsumgebungen, in denen die aus dem mechatronischen Gesamtkonzept resultierenden Funktionen umgesetzt werden. Dazu ist das Gesamtkonzept in einem gemeinsamen Werkzeug abgebildet, das, ausgehend von den Anforderungen, die Ableitung von Skizzen zu mechanischem Aufbau, Sensoren, Aktoren, Stellgliedern sowie Ablaufbeschreibungen und deren Randbedingungen unterstützt.

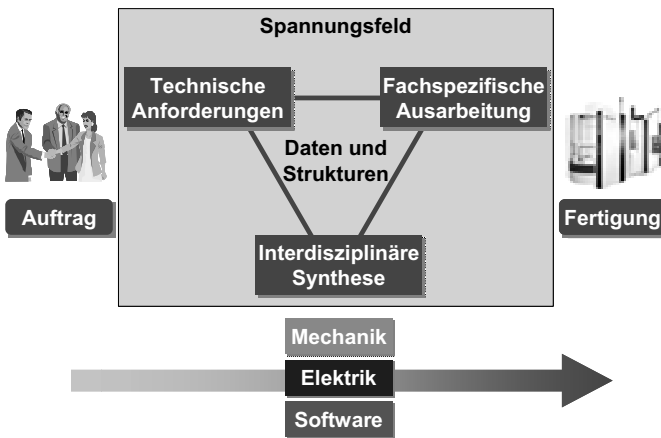


Abbildung 7: Das Spannungsfeld im mechatronischen Entwicklungsprozess
(Quelle: [ZÄH ET AL. 2005])

In dem in Abbildung 7 dargestellten Spannungsfeld zwischen den technischen Anforderungen des Kunden an das Produktionssystem, der fachspezifischen Detaillierung und einer anschließend notwendigen fachbereichsübergreifenden Synthese der Entwicklungsdaten bildet eine konsistente Datenhaltung sowie eine vorgegebene Struktur dieser Daten eine notwendige Stütze für das Abfließen des mechatronischen Entwicklungsprozesses.

Die Daten müssen unter funktionalen Gesichtspunkten strukturiert sein. Dies ermöglicht eine fachbereichsübergreifende Ansicht und somit eine gemeinsame

Diskussionsgrundlage. Hier werden im eigenen Fachbereich erzeugte, für andere Fachbereiche als Input erforderliche Informationen abgelegt und weitergeleitet.

1.8 Zielsetzung

Ziel eines ganzheitlichen, integrierten Ansatzes zur Anforderungsnutzung bei der Entwicklung von Produktionsanlagen ist die Optimierung des Spannungsdreiecks der Projektziele Zeit, Kosten und Qualität.

Daraus leitet sich als Ziel dieser Arbeit die Verbesserung der mechatronischen Entwicklung von Produktionssystemen, durch ein integriertes Vorgehen zur Erfassung und Strukturierung von Anforderungen im Entwicklungsprozess ab.

Dabei ist die konsequente Umsetzung aller Anforderungen während der Entwicklung eine wichtige Aufgabe, die es durch definierte Vorgehensweisen und kontinuierliche Datenhaltung zu erfüllen gilt. Ebenso wie in der Software-Entwicklung muss der Rückbezug auf Anforderungen bzw. die durchgängige Nutzung aller bekannten Informationen fester Bestandteil des mechatronischen Entwicklungsprozesses werden.

Das Vorgehen soll deshalb die Aufnahme und Strukturierung der relevanten Anforderungen unterstützen und eine intuitive Nutzung der vorhandenen Informationen ermöglichen. Durch die intensive Fokussierung auf die Realisierung der Kundenwünsche soll die Entwicklungszeit für ein konkretes Produkt reduziert und zugleich die Qualität verbessert werden.

Da die Unterstützung des Entwicklungsprozesses immer auch an Funktionalitäten, die in Rechnerwerkzeugen abgebildet sind, gekoppelt ist, ist eine weitere wichtige Aufgabe dieser Arbeit, eine Softwarelösung zu spezifizieren, durch die das dargestellte Vorgehen abgebildet werden kann.

1.9 Vorgehensweise

Ausgehend von der im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Zielsetzung dieser Arbeit wurden in Kapitel 1 zunächst die wesentlichen Begriffe definiert. Dabei wurde die Bedeutung des Anforderungsmanagements und der kontinuierlichen Datennutzung in den betrachteten Unternehmen diskutiert.

In Kapitel 2 wird auf bestehende Ansätze und Lösungen in der Forschung und Technik eingegangen. Dazu werden die für diese Arbeit bedeutendsten Ansätze

zur Anforderungserfassung, -handhabung und -evaluierung, zur mechatronischen Entwicklung, zur entwicklungsbegleitenden Kostenschätzung sowie zur kontinuierlichen Datennutzung dargestellt und Handlungsfelder aufgezeigt.

Aus den beschriebenen Handlungsfeldern heraus wird in Kapitel 3 ein Vorgehen zur kontinuierlichen Nutzung von Anforderungen im gesamten Entwicklungsprojekt vorgestellt. Die einzelnen Schritte der planend strukturierenden Vorbereitung, der Anforderungsdarstellung und der durchgängigen Verknüpfung und Nutzung des Vorgehens werden erläutert. Dabei wird die strukturierte Aufnahme sowie die nachhaltige Darstellung von Anforderungen fokussiert und eine werkzeugunabhängige Vorgehensweise zur rechnerischen Umsetzung des Vorgehens spezifiziert.

Die exemplarische Umsetzung der notwendigen Funktionalitäten für die entwickelte Methode zur ganzheitlichen Anforderungshandhabung in einem Software-Werkzeug wird in Kapitel 4 dargestellt.

In Kapitel 5 wird anhand eines Beispiels aus der industriellen Praxis die Vielseitigkeit und Anwendungsnähe der vorgestellten Vorgehensweise erläutert. Der Nutzen insbesondere für den Anlagenbetreiber wird anhand des Anwendungsfalls deutlich.

Kapitel 6 stellt Aufwand und Nutzen der vorgestellten Methodik gegenüber und beleuchtet kritisch die Vor- und Nachteile der in dieser Arbeit aufgezeigten Vorgehensweise.

Eine Zusammenfassung und der Ausblick auf Möglichkeiten zur Weiterführung der Forschungsgebiete bilden in Kapitel 7 den Abschluss der Arbeit.

2 Stand von Forschung und Technik

2.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die bereits vorhandenen Ansätze und Erkenntnisse aus den verschiedenen für diese Arbeit relevanten Bereichen dargestellt. Dabei werden insbesondere die Gebiete des Anforderungsmanagements, der mechanischen sowie mechatronischen Entwicklung, der Kostenabschätzung in frühen Projektphasen, der Produktionssysteme bzw. Werkzeugmaschinen, der Automatisierung, der Kundenanforderungen, des Vertragswesens sowie der datentechnischen Durchgängigkeit betrachtet.

2.2 Methoden des Anforderungsmanagements

Während im klassischen Maschinen- und Anlagenbau Lasten- und Pflichtenhefte zur Beschreibung der notwendigen Anforderungen genutzt werden [PAHL & BEITZ 1993], wurde im Bereich der Software-Entwicklung, speziell für die objektorientierten Systeme, das Anforderungsmanagement bzw. das Requirements Engineering entwickelt. Die hierbei beschriebenen und beinhalteten Methoden und Darstellungsformen wurden insbesondere für die Bedürfnisse der Entwicklung von Software angepasst.

Auch die Planung mechatronischer Systeme beginnt mit der Aufnahme des ersten Kundenwunsches. Um eine kontinuierliche Nutzung der Anforderungen schon von diesem Beginn eines Projektes an sicher zu stellen, müssen die Anforderungen an ein mechatronisches Produktionssystem so aufgenommen und festgehalten werden, dass sie konsistent in allen Produktlebensphasen zur Verfügung stehen. Eine frühzeitige Strukturierung und Hierarchisierung der bekannten Informationen und des Gesamtsystems führt dabei zu einer Verkürzung der Projektbearbeitungszeit.

Die Kundenanforderungen an ein neues mechatronisches Produkt wie z. B. eine Produktionsanlage nehmen stetig zu. Dadurch wächst neben der Produktkomplexität auch der Verwaltungsaufwand für die durchgängige Nutzung aller mit der Produktentwicklung zusammenhängenden Informationen. Das in der Software-Entwicklung entstandene Vorgehen des Anforderungsmanagements, bei dem von der Anforderungsaufnahme bis zum Abnahmetest die vorhandenen Informatio-

nen einheitlich genutzt werden, gewinnt damit auch für die mechatronische Entwicklung an Bedeutung [WEBER & WEISBROD 2003].

Wegen der sehr unterschiedlichen Spektren an Methoden und Ansätzen, die in jüngeren Veröffentlichungen wie [KOTONYA & SOMMERVILLE 2000, SOMMERVILLE & SAWYER 1997 oder WIEGERS 1999] zu finden sind, beschreibt [DEIFEL 2001] das Requirements Engineering als eine noch unreife Forschungsdisziplin. Dennoch hat das Thema der Anforderungsermittlung und -umsetzung eine umfangreiche Geschichte. Bereits 1952 beschreibt [FRYER 1952] eine Methode, um Anforderungen konsequent zu ermitteln. Er unterscheidet dabei die drei Phasen der Einarbeitung, der Datensammlung und der Datenanalyse. Die Aufteilung des Requirements Engineering-Prozesses in einzelne miteinander verknüpfte Phasen wird auch von [POHL 1996] dargestellt, der allerdings in der Software-Entwicklung die vier Phasen der Erhebung, der Verhandlung, der Beschreibung und Dokumentation sowie der Verifikation und Validierung unterscheidet.

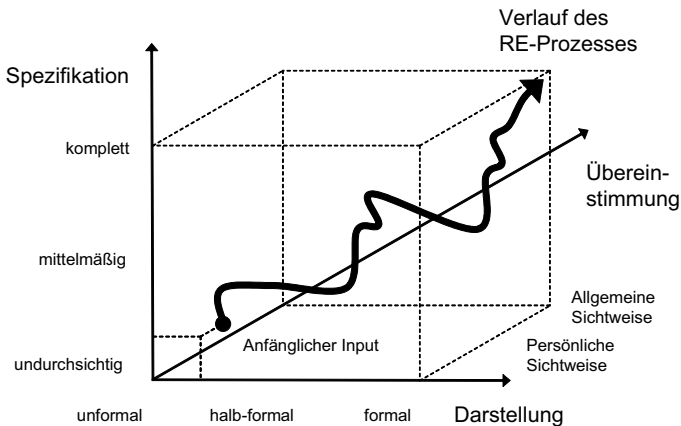


Abbildung 8: Modell des Requirements-Engineering-Prozesses nach [POHL 1996]

Diese Phasen sind eng miteinander verbunden, weshalb sie nicht scharf voneinander zu trennen sind. Für die Aufgaben der einzelnen Phasen wurden wiederum verschiedene Methoden und Vorgehensweisen entwickelt, so z. B. die objektorientierte Modellierung der Anforderungen [SHLAER & MELOR 1988, COAD &

YOURDON 1996, RUMBAUGH 1993, BOOCH 2000, JACOBSON 1992] oder die von [FINKELSTEIN ET AL. 1992] dargestellten View Points zur Verhandlung der Anforderungen. Darüber hinaus betrachtet [POHL 1996] drei Dimensionen, innerhalb derer sich der RE-Prozess entwickelt. (vgl. Abbildung 8)

Aufbauend auf diesen Überlegungen schlagen [NGUYEN & SWATMAN 2003] die Verwendung einer Entwurfs-Erklärungs-Basis sowie eine kontinuierliche Überprüfung und Verfolgung der Komplexität des Modells, in dem die Anforderungen beschrieben werden, vor. Dadurch soll der kreative Prozess des RE für Systementwickler und Projektmanager leichter verständlich werden.

Kernidee von [SCHIENMANN 2002] ist, das Anforderungsmanagement aus den drei Sichten Kunde, Produkt und Projekt zu betrachten und damit den Prozess von der Erhebung einer Anforderung bis zur Bereitstellung einer Lösung durchgängig zu gestalten. Dabei versteht er unter der Kundenorientierung, dass Kunden Anforderungen stellen, um Lösungen für ihre Probleme zu erhalten. Diese Kundenanforderungen müssen sich weder auf konkrete Produkte noch Projekte beziehen. Unter der Produktorientierung wird in diesem Zusammenhang die Tatsache beschrieben, dass Produkte mit Anwendungen Lösungen für die Probleme der Kunden darstellen. Produkthanforderungen werden auf Grund der Kundenanforderungen spezifiziert und in Projekten umgesetzt. Die Projektorientierung schließlich zeigt sich darin, dass in Entwicklungsprojekten mit einer definierten Zielsetzung Produkte realisiert werden und damit Problemlösungen für den Kunden erstellt werden.

Eine Zusammenfassung der heute üblichen Vorgehensweisen im Bereich des Anforderungsmanagementprozesses stellt [VERSTEGEN ET AL. 2004] zur Verfügung. Zum Anforderungsmanagement gehören demnach die Definition aller notwendigen Rollen (Anforderungsmanager, Moderator, Software-Entwickler, Projektleiter, Konfigurationsmanager, Kunde), die Formulierung von Anforderungen, die Integration in den Entwicklungsprozess, die Auswahl eines geeigneten Werkzeugs und gemeinsame Reviews.

Die bisherigen Ansätze für das Anforderungsmanagement beschränken sich hinsichtlich der angewandten Methoden auf die Bedürfnisse der Software-Entwicklung. Eine allgemein gültige Bewertung verschiedener Methoden und Abläufe wurde bisher nicht erreicht. Es existieren aber Bestrebungen, Maßstäbe für eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Ansätze festzulegen [GERVASI ET AL. 2004]. Um diese Ansätze und Methoden für die Nutzung im mechatronischen

Entwicklungsprozess anzupassen, ist eine weitestgehend automatisierte Anbindung vorhandener Rechnerwerkzeuge der Installationsplanung, des mechanischen Entwurfs und der bereits mit Software-Entwicklungswerkzeugen verknüpften Requirements Engineering Tools notwendig. Nur durch diese Verknüpfungen können die notwendigen Funktionalitäten für ein gezieltes Requirements Management auch für mechatronische Systeme umgesetzt werden.

2.2.1 Methoden in der Anforderungsspezifikation

2.2.1.1 Das Anwenderinterview

Das Anwenderinterview ist eine der wichtigsten Methoden zur Ermittlung von Anforderungen. Die Durchführung des Anwenderinterviews erfolgt in drei Schritten [vgl. SCHIENMANN 2002, S. 203 – 206]:

- Interviewvorbereitung,
- eigentliche Interviewdurchführung und
- Interviewnachbereitung.

Der erste wesentliche Schritt ist die Vorbereitung. In diesem Schritt sind wichtige Punkte wie z. B. die Auswahl der beteiligten Rollen bzw. Personen zu regeln. Weiterhin sind Zeit, Ort und Inhalt des Gesprächs vorab festzulegen und allen Teilnehmern mitzuteilen.

Alle Fragen werden vor dem Interviewbeginn schriftlich festgelegt und sind auf jede Person individuell ausgelegt. Dies setzt eine gründliche Beschäftigung mit der Thematik und den einzelnen Teilnehmern voraus.

Nach einer solchen gründlichen Vorbereitung kann mit dem Interview selbst begonnen werden. Es sollte in einer entspannten Atmosphäre stattfinden und nicht länger als zwei Stunden dauern. Typischerweise nehmen ein Interviewer, ein Protokollführer und der festgelegte Personenkreis der Interviewten teil. Zu Beginn der Befragung teilt man den Interviewten die wesentlichen Ziele des Projektes mit.

Die Regeln und der Ablauf werden für alle Teilnehmer klar verständlich bereits vor der eigentlichen Interviewdurchführung vorgestellt. Es ist darauf zu achten,

dass jeder Interviewte seine ihm zugeteilte Redezeit einhält und er seine Ansichten darstellen kann, ohne dass er von anderen Teilnehmern unterbrochen wird.

Beim Einstieg zum Gespräch ist eine Vorstellungsrunde aller Teilnehmer angebracht. Dazu gehören Beruf, Kernkompetenzen und Beweggründe für die Teilnahme an dieser Sitzung. Erst im eigentlichen Interview geht man technisch und fachlich ins Detail.

Daraus werden die funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen abgeleitet. Zum Abschluss der Interviewphase wird den Teilnehmern die Chance gegeben, Fragen zu stellen und eigene Anliegen vorzutragen.

Zuletzt bedarf es der Erstellung eines geeigneten Abschlussprotokolls. Dieses ist nach objektiven Regeln anzufertigen. Treten offene Fragen auf oder widersprechen sich Anforderungen, sind diese schriftlich zu fixieren und in Folgeinterviews bzw. im Gespräch mit Dritten zu klären.

2.2.1.2 Der Anforderungsworkshop

Der Anforderungsworkshop ist die gängigste Methode, Anforderungen für komplexe Systeme aufzunehmen.

Bei einer erfolgreichen Anwendung werden drei Phasen durchlaufen: die Vorbereitung, die Durchführung und die Nachbereitung [SCHIENMANN 2002, S. 206-212].

Die Auswahl der Teilnehmer stellt den wichtigsten Punkt der Vorbereitung dar. Als besonders Erfolg versprechend hat sich eine breite thematische Ausrichtung der Teilnehmer erwiesen. Neben dem Moderator, dem Protokollführer und dem Anforderungsanalytiker nehmen typischerweise der Auftraggeber, der Auftragnehmer, der Endbenutzer sowie Fachexperten und Entwickler teil.

Bei dieser vergleichsweise aufwändigen Methode, Anforderungen zu ermitteln, sind einige logistische Vorbereitungen zu bewerkstelligen. Dies umfasst die Bereitstellung der Räumlichkeiten, der Informationstechnik und der Unterlagen.

Danach kann zur eigentlichen Workshopdurchführung übergegangen werden. Diese teilt sich in folgende Hauptschritte auf:

Der erste Schritt dient der Ermittlung und Sammlung der Anforderungen. Zunächst werden nach der Bekanntgabe des Arbeitsablaufes die „Spielregeln“ fest-

3 Vorgehen zur kontinuierlichen Anforderungshandhabung

3.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird ein Vorgehen beschrieben, das es einem Unternehmen der Produktionsanlagen-Industrie ermöglicht, die Kundenanforderungen so aufzunehmen und aufzubereiten, dass deren kontinuierliche Verwendung im Entwicklungsprozess möglich ist. Dabei wird absichtlich von Anfang an nicht in verschiedenen Fachbereichen, sondern mechatronisch gearbeitet. Die einzelnen dafür notwendigen Schritte werden hier in chronologischer Reihenfolge dargestellt. Abbildung 17 veranschaulicht grafisch die inhaltliche Gliederung dieses Kapitels.

Die entwickelte Methode besteht aus den drei Phasen:

- **Planung** der Anforderungserfassung,
- **Beschreibung** der Anforderungen und
- **Nutzung** der Anforderungen in der Entwicklung.



Abbildung 17: Drei Phasen der ganzheitlichen Anforderungshandhabung

Die wichtigste und umfangreichste Phase ist die Planung bzw. Vorbereitung. In dieser Phase wird das mechatronische Gesamtsystem modular, hierarchisch gegliedert und die einzelnen Module miteinander verknüpft. Inhalt der zweiten Phase ist eine lösungsneutrale, eindeutige Beschreibung der Anforderungen an das zu entwickelnde System. In der dritten Phase werden die absichtlich nicht in Fachbereichen strukturierten Anforderungen durch die vom Projektmanagement definierte Rollen und Prozesse in der technischen Entwicklung genutzt.

3.2 Phase 1: Planung der Anforderungserfassung

3.2.1 Vorbereitungen für die Integration der kontinuierlichen Anforderungshandhabung

In diesem Abschnitt wird ein Vorgehen beschrieben, das die Aufnahme von Anforderungen für mechatronische Produktionssysteme und deren Integration in den Entwicklungsprozess erleichtert. Wie in Abbildung 18 dargestellt, wird dabei ausgehend von einer Analyse bereits gefertigter Anlagen eine Strukturierung erstellt, die sich an den wesentlichen Komponenten eines solchen Systems orientiert. Die einzelnen Bauteile und Funktionalitäten werden modular gegliedert und durch definierte Schnittstellen miteinander in der Struktur verknüpft. Schließlich wird die so entstandene Vorlage vom Vertrieb bei den ersten Kundenverhandlungen für eine strukturierte Aufnahme der Anforderungen genutzt und somit in den Entwicklungsprozess integriert. Durch diesen festgelegten Prozess werden die so aufgenommenen mechatronischen Anforderungen in den einzelnen Entwicklungsabteilungen durchgängig genutzt.

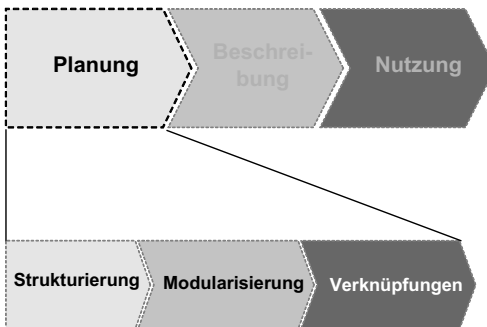


Abbildung 18: Untergliederung der ersten Phase der ganzheitlichen Anforderungshandhabung

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, bestehen bei Herstellern von Produktionsanlagen im Bereich der Mechanik bereits ausgefeilte Baukasten-Lösungen für die Konfiguration einer neuen Maschine. Bei der kundenspezifischen Entwicklung einer neuen Anlage werden häufig ähnliche Entwicklungsprojekte als Referenz herangezogen. Werden nun die Erkenntnisse aus vorangegangenen Projekten nicht erst während der Entwicklung genutzt, sondern bereits vor Projektbeginn

für die Erstellung einer Anlagenstruktur herangezogen, kann daraus eine Systemstruktur entstehen, die

- modular aufgebaut ist,
- alle wesentlichen Subsysteme enthält,
- einen einfachen Überblick schafft,
- interne Verknüpfungen enthält und
- für die Aufnahme der Anforderungen genutzt werden kann.

Um die so entstandene Struktur für den Zweck des mechatronischen Anforderungsmanagements einsetzen zu können, ist es wichtig, dass die einzelnen Informationen in dieser Struktur modular – also mit wohl definierten Schnittstellen – versehen sind.

Werden die Anforderungen an ein zu entwickelndes System mit Hilfe der bislang vorhandenen Methoden (vgl. Abschnitt 2.2.1) aufgenommen und in ein Anforderungsmanagement-System übertragen, besteht das Risiko des Datenverlustes bzw. der Fehlinterpretation.

Für die gezielte Aufnahme von Anforderungen, die in den Entwicklungsprozess integriert werden sollen, ist es notwendig, eine geeignete Planung voran zu setzen. Inhalt dieser Planung muss zum einen die Berücksichtigung der verschiedenen Fachbereiche in der Entwicklung und zum anderen aber auch die Sicherstellung einer weitestgehenden Vollständigkeit der aufgenommenen Anforderungen sein.

Die Vorteile einer strukturierten Abfrage bzw. Aufnahme von Anforderungen soll in Abbildung 19 durch eine einfache Mengendarstellung verdeutlicht werden. Die Menge aller für die Entwicklung eines Systems relevanten Anforderungen wird durch das große, dunkle Quadrat gekennzeichnet, die kleinen helleren Quadrate stellen einzelne Fragen bzw. Informationsbausteine dar. Werden nun die kleinen Quadrate ohne festgelegte Strukturierung in dem Bereich der Gesamtmenge verteilt, ergeben sich nicht nur Überschneidungen zwischen den einzelnen Fragmenten, sondern diese können auch über die Grenzen der vorgegebenen Gesamtmenge hinaus gehen. Zudem wird die Gesamtmenge nur zu einem gewissen Teil abgedeckt.

Abbildung 19: Mengendarstellung der unstrukturierten und der strukturierten Aufnahme von Anforderungen

Dies würde für die Aufnahme und Darstellung von Anforderungen bedeuten, dass zum einen die gleichen Anforderungen in verschiedenen Zusammenhängen abgefragt würden und zum anderen Anforderungen abgefragt würden, die für die Entwicklung des Systems nicht relevant sind. Eine vollständige Erfassung aller relevanten Anforderungen kann außerdem selbst durch eine deutliche Erhöhung der einzelnen Abfragen nicht sichergestellt werden.

Im Gegensatz dazu stellt sich die strukturierte Aufnahme der Anforderungen als wesentlich effizienter dar. Die Analogie in der Mengendarstellung zeigt, dass die gesamte Menge der relevanten Anforderungen ohne Überschneidungen innerhalb der Teilmengen und ohne Beschreibung nicht relevanter Anforderungen abgedeckt wird.

Diese Darstellung soll veranschaulichen, welch enormen Vorteil eine frühzeitige Strukturierung des Systems und damit der Anforderungsaufnahme bringt.

3.2.2 Strukturierung des Gesamtsystems

Da im Bereich der Produktionsanlagen stets auf Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten zurückgegriffen werden kann, werden diese Informationen für eine Strukturierung der neu aufzunehmenden Informationen genutzt. Die so entstehende Struktur dient als Vorlage für die Aufnahme der Anforderungen im Kundengespräch.

Durch die Abbildung der gesamten Anlage in einer ganzheitlichen Struktur kann diese Vorlage auch als Checkliste für die Vollständigkeit der aufgenommenen Anforderungen fungieren. Bereiche, die zwar in der Struktur vorgesehen sind, allerdings keine Spezifikation durch den Kunden enthalten, werden offensichtlich und können schnell und einfach im Kundengespräch ergänzt werden (vgl. Abbildung 20).

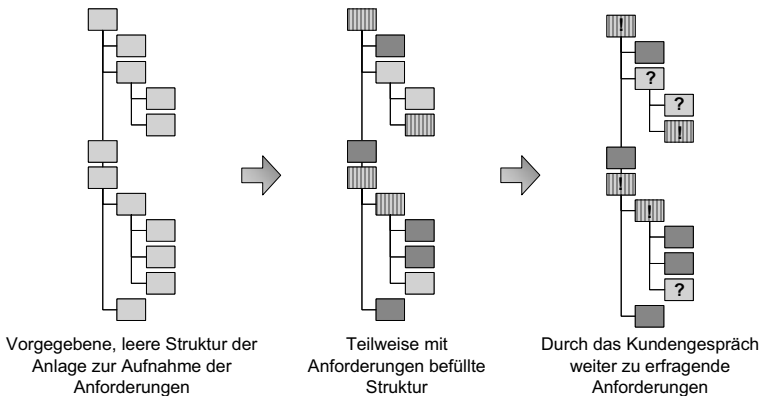


Abbildung 20: Kennzeichnung bereits befüllter und noch weiter zu detaillierender Subsysteme der Systemstruktur für die Aufnahme der Anforderungen

Zudem wird dem Kunden die Darlegung seiner Anforderungen erleichtert, da er sich bereits in dem Gespräch an einer vorhandenen Struktur orientieren kann.

Dabei kann das Gesamtsystem „mechatronische Produktionsanlage“ gemäß der in Abschnitt 2.8 dargestellten Systemtheorie (vgl. [DAENZER ET AL. 1976]) auf

4 Exemplarische Umsetzung in einem Anforderungsmanagement-Werkzeug

4.1 Allgemeines

Die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterte Vorgehensweise zur kontinuierlichen Berücksichtigung von mechatronischen Anforderungen vom ersten Kundenkontakt bis hinein in den Entwicklungsprozess wurde im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch umgesetzt. Als Beispiel für das entwickelte System dient hierbei eine Werkzeugmaschine als mechatronisches Produktionssystem. Die Basis für die Applikationen bildet das Requirements-Management-Werkzeug DOORS, da dieses durch die DXL (Doors eXtension Language) recht flexibel erweiterbar ist und eine kostenlose Hochschullizenz bietet. Zudem ist es laut einer aktuellen Studie derzeit das beste System auf dem Markt (vgl. Kapitel 2.5).

4.2 Anforderungen an ein unterstützendes Rechnerwerkzeug

Um die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Prozesse und Funktionen unterstützen bzw. abbilden zu können, bestehen einige Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug.

Zunächst muss das Tool die Möglichkeit einer hierarchischen Strukturierung bieten. Jede Systemebene muss beliebig viele Unterebenen enthalten können und die angelegten Strukturierungspunkte müssen von dem Bediener frei benennbar sein. Auch darf keine Einschränkung in der Hierarchisierungstiefe vorliegen, so dass Subsysteme bis zu dem notwendigen Grad weiter unterteilt werden können.

Das Software-System muss eine einfache Replikation der einmal allgemein angelegten Struktur erlauben, damit die Strukturvorlage für jedes neue Projekt einfach und schnell zur Verfügung steht.

Für den intuitiven Umgang eines Vertriebsmitarbeiters mit dem System ist eine an den Microsoft Explorer angelehnte Notation hilfreich, da damit ein gewisser Wiedererkennungscharakter der verwendeten Symbole gegeben ist. Die einfache und ohne weitere Erklärung verständliche Navigation durch die Strukturvorlage kann damit sichergestellt werden.

Neben der hierarchischen Strukturierung ist auch die modulare Beschreibung der einzelnen Subsysteme notwendig.

4.3 Vorhandene Funktionalitäten des Anforderungsmanagement-Werkzeugs

4.3.1 Übersicht der vorhandenen Funktionalitäten von DOORS

Zunächst wird das verwendete Anforderungsmanagement-Werkzeug DOORS vorgestellt. Grundlegende Eigenschaften des Systems sind bereits in Abschnitt 2.5 beschrieben, weshalb in diesem Abschnitt lediglich einige für die weitere Nutzung und Umsetzung relevanten Features genauer beschrieben werden sollen.

4.3.2 DOORS Extension Language DXL

Die DXL ist eine leicht zu erlernende Script-Sprache, um die Funktionalitäten des Grundsystems zu kontrollieren bzw. zu erweitern. Die verwendete Syntax ist ähnlich zu den Programmiersprachen C oder C++. Im Speziellen kann DXL eingesetzt werden, um:

- Routinen oder komplexe Aufgaben zu automatisieren,
- auf bestimmte Ereignisse durch maßgeschneiderte Programme zu reagieren oder
- neue Optionen in das DOORS-Menue aufzunehmen.

Um kleine DXL-Programme zu generieren, kann das DXL-Interaction Fenster genutzt werden. Für das Erstellen größerer Programme wird die Verwendung eines externen Editors empfohlen, aus dem der Code nach der Programmierung in das DXL-Fenster übertragen und anschließend ausgeführt wird und ggf. Fehler behoben werden können.

Zudem existiert eine DXL-Bibliothek, aus der vorhandene Programme hochgeladen und modifiziert werden können. In dieser Bibliothek können auch neu erstellte Programme abgelegt und verwaltet werden.

4.3.3 Anforderungsobjekte

Anders als in rein Dokument-basierten Systemen werden in DOORS einzelne Textbausteine als eigene Objekte definiert.

Da viele Anforderungslisten in den Microsoft-Tools MS-Word bzw. MS-Excel verfasst werden, ist eine Anbindung von DOORS an diese Standard-Programme bereits in dem System integriert. Eine automatische Übertragung von Inhalten beispielsweise aus einem Word-Dokument findet über eine in der Symbolleiste integrierte Schaltfläche statt.



Abbildung 32: Übertragung der Inhalte eines MS Word-Dokumentes in Anforderungsobjekte in DOORS

Bei der Übertragung der Inhalte werden die im Dokument enthaltenen Zeilenumbrüche jeweils als Auslöser für ein neues Anforderungsobjekt übersetzt. Dadurch wird ein Dokument in viele, einzeln identifizierbare Informationen übersetzt. Abbildung 32 zeigt ein durchgängiges Word-Dokument und das daraus in DOORS entstandene Modul mit einzelnen Objekten.

4.3.4 Verknüpfungen zwischen Anforderungsobjekten

Für die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen sind in DOORS so genannte Link-Module definiert. Diese Module beschreiben Verknüpfungen zwischen einzelnen Objekten eines inhaltlichen Moduls zu beliebigen anderen Anforderungsobjekten. Beliebig heißt in diesem Fall, dass die Verknüpfung sowohl innerhalb des eigenen Moduls stattfinden kann, aber auch Verknüpfungen zu Objekten anderer Module zulässig sind.

Die Links haben unterschiedliche „Richtungen“. Dabei wird zwischen ausgehenden und ankommenden Links unterschieden. Von einem Objekt können sowohl ein Link oder auch mehrere Links auf andere Objekte verweisen. Aber auch von verschiedenen anderen Objekten kann auf dieses Objekt verwiesen werden.

Die Eigenschaften der Links lassen sich ebenfalls darstellen. So kann mit wenig Aufwand schnell überprüft werden, von und zu welchen Informationen Verknüpfungen bestehen. Abbildung 33 zeigt ein Beispiel für ein Anforderungsobjekt, von dem verschiedene Verknüpfungen in andere Module, aber auch in andere Projekte und Ordner ausgehen.



Abbildung 33: Modul und ordnerunabhängige Verknüpfung eines Objektes in DOORS am Beispiel einer Anlage für die Herstellung von Bauelementen

4.3.5 Projekte und Ordner

Bei der Anlage einer Struktur in DOORS kann auf jeder Ebene zwischen zwei verschiedenen Typen der Strukturierungselemente unterschieden werden. Es handelt sich dabei um Projekte oder Ordner. Beide Elemente können auf jeder

hierarchischen Ebene, unabhängig davon, was in der darüber oder darunter liegenden Ebene verwendet wurde, eingesetzt werden. Die Entscheidung, ob als Strukturierungselement ein Projekt oder ein Ordner verwendet wird, ist lediglich von den einzelnen für die beiden Typen definierten Eigenschaften und weiteren Funktionsmöglichkeiten abhängig.

Projekte haben die Eigenschaft, dass ihre Namensgebung in der gesamten Datenbasis singular sein muss, damit das Auffinden einer Information in dem Projekt durch einen Pfad beschrieben wird, der nur genau in diesem Projekt startet. Auch können Projekte im Gegensatz zu Ordnern partitioniert und archiviert werden. Das in DOORS vorhandene Change-Proposal-System kann ebenfalls nur für ein Projekt, nicht aber für einen Ordner angelegt werden.

Soll ein Ordner in ein Projekt umgewandelt werden, müssen

- alle enthaltenen Module aus dem Status des „Reviews“ im Change-Proposal-System ausgeschieden sein und
- alle darunter liegenden Module bzw. Ordner geschlossen sein.

Zudem müssen die Regeln für die Namensgebung eines Projektes beachtet werden.

Soll hingegen ein Projekt in einen Ordner umgewandelt werden, dürfen

- keine Change-Proposal-Systeme in dem Projekt installiert sein,
- keine Partitionierungen vorhanden sein und
- keine darunter liegenden Systeme geöffnet sein.

4.4 Umsetzung identifizierter Funktionalitäten

4.4.1 Erweiterungen und Ergänzungen von Funktionen

In das beschriebene Basissystem in DOORS wurden im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der in Kapitel 3.5 beschriebenen, notwendigen Funktionalitäten für die kontinuierliche Anforderungshandhabung bei der Entwicklung mechatronischer Systeme zusätzliche Module implementiert. Diese einzelnen Module werden in den folgenden Unterabschnitten vorgestellt und erläutert.

5 Anwendungsbeispiel

In diesem Kapitel wird anhand eines Beispiels aus der industriellen Praxis die vorgestellte Anlagenstrukturierung dargelegt sowie die Definition und Zuordnung von Anforderungen an einem konkreten Beispiel beschrieben.

5.1 Lastenheftmanagement bei einem Anlagenbetreiber

Um die Vielseitigkeit der vorgestellten Methode zu zeigen wurde ein System aus der Produktion von Lebensmitteln verwendet. Mit einem großen deutschen Hersteller von Molkerei-Erzeugnissen wurde ein Projekt zur Lastenheftstrukturierung durchgeführt. Neben den Molkerei-Produkten sind auch die Herstellung der Verpackungen sowie die Transport-Logistik Teilbereiche der Unternehmensgruppe.

5.1.1 Ausgangssituation

Der Betreiber mechatronischer Anlagen aus dem Bereich der Lebensmittelverarbeitung konnte seine Umsatzzahlen in den vergangenen fünf Jahren um über 50 % steigern. Der Hauptsitz in Bayern ist nach dem Erwerb eines ostdeutschen Werkes nur mehr der zweitgrößte Produktionsstandort der Unternehmensgruppe. Es existieren zwei weitere Produktionsstandorte in Deutschland sowie ein Werk in England. Diese starke Expansion wird nach aktuellen Prognosen auch in den kommenden Jahren anhalten. So war für das folgende Jahr bereits eine Erweiterung des Standortes in Ostdeutschland um ein weiteres Verpackungs-Werk geplant. Für diese Erweiterung der Fertigungskapazitäten werden in so genannten technischen Investitionsprojekten Aufträge an Anlagenhersteller vergeben. Grundlage dieser Aufträge sind die von dem Anlagenbetreiber erstellten Lastenhefte.

Die Lastenhefte werden an den verschiedenen Standorten basierend auf den jeweils dort vorhandenen Erfahrungen in vorangegangenen Projekten erstellt. Den Auftragnehmern werden neben den projektspezifischen Informationen auch der umfangreiche Werkvertrag (in dem u. a. die allgemeinen Geschäftsbedingungen festgehalten sind) und die für einzelne Standorte existierenden Richtlinien übergeben. Um das Vorgehen zur Erstellung von Lastenheften unternehmensweit zu vereinheitlichen, wurde in der Zentralabteilung Technik die Funktion des zentralen Lastenheftmanagements eingerichtet. Aufgabe dieser neu installierten Funk-

tion ist das Zusammenfassen, Modularisieren und Vereinheitlichen der Anforderungs-Informationen in der gesamten Unternehmensgruppe.

5.1.2 Problemstellung

Bei der Erstellung und Vergabe von Lastenheften kommt es immer wieder zu Inkonsistenzen zwischen den einzelnen Anforderungen. Für die Ersteller der Lastenhefte sind solche Widersprüche auf Grund des großen Umfangs der Dokumente und des hohen terminlichen Drucks für die Erstellung nicht oder nur schwer zu entdecken. Für den Auftragnehmer, also den Hersteller des mechatronischen Systems Produktionsanlage auf der anderen Seite ist nicht ersichtlich, welche der Anforderungen Priorität haben und welche irrtümlich in das Lastenheft aufgenommen wurden.

Hinzu kommt eine in der Unternehmensgruppe nicht einheitliche Dokumentation vorangegangener Ausschreibungen und Lastenhefte, weshalb ein neuer Projektbearbeiter große Schwierigkeiten bei der Suche nach den relevanten Informationen hat. Auch Erfolgsbeispiele werden nicht einheitlich und konsequent dokumentiert. Die Gefahr, in einem neuen Projekt den gleichen oder ähnliche Fehler zu begehen, wie in einem anderen vorangegangenen Projekt, wird durch eine fehlende Dokumentation unnötig erhöht.

Durch das nicht einheitlich definierte Vorgehen zur Erstellung der Lastenhefte haben diese auch je nach Erfahrung des Bearbeiters eine jeweils unterschiedliche Qualität und Detaillierung, wodurch auch die Qualität der vom Anlagenhersteller verfassten Pflichtenhefte direkt beeinflusst wird.

Für die Unternehmensgruppe können sich dann bei der Ab- und Inbetriebnahme der Anlage, also erst gegen Ende des technischen Investitionsprojektes, Probleme aus der unabgestimmten Anforderungsstellung ergeben. Durch eine Aufnahme aller verfügbaren Informationen in das Lastenheft kann zwar rechtlich die Nachbesserung aller gewünschten Funktionalitäten ohne zusätzliche Kosten eingefordert werden, die tatsächliche Inbetriebnahme und der Produktionsbeginn werden allerdings dennoch verzögert. Diese Verzögerung kann im schlimmsten Fall einen späteren Markteintritt mit einem neuen Produkt und damit verbunden ausgesprochen hohe Einbußen bei der Marktdurchdringung bis hin zum Verlust der Marktführerschaft verursachen.

5.1.3 Zielsetzung

Auf Grund der geschilderten Problemstellung sollte die Lastenhefterstellung für mechatronische Anlagen

- vereinfacht und
- vereinheitlicht

werden.

Grundlage für eine weitestgehend redundanzfreie Formulierung der Lastenhefte ist eine modulare Ablage der vorhandenen relevanten Informationen. Um die Qualität der Lastenhefte unternehmensweit sicher zu stellen, war die Einführung eines Standards für die Lastenhefterstellung notwendig.

Ziel dieses Projektes war deshalb die Erarbeitung und Einführung eines Standards für die Erstellung von Lastenheften bei dem Unternehmen. Die dabei verwendete Strukturierung der Informationen sollte einen allgemein gültigen Teil, der für alle Lastenhefte identisch ist, und einen modular hierarchisierten Teil, welcher nach einer an die Ansprüche der gesamten Unternehmensgruppe angepassten Struktur ausgelegt ist, enthalten.

Um den Aufwand und dadurch auch die notwendige Zeit für die Erstellung eines Lastenheftes zu verringern, ist die Einführung einer modularen, unternehmensweit gültigen Vorlage für ein Lastenheft eine effektive Maßnahme.

Die Teile des Lastenheftes werden anhand der bei der Unternehmensgruppe vorliegenden Anlagenstruktur gegliedert. Dabei werden alle möglichen Bestandteile einer Anlage vollständig erfasst und nach den verschiedenen Fachbereichen strukturiert. Die daraus entstehenden Module werden hierarchisch angeordnet und als Referenzvorlage abgelegt. Mit Hilfe einer solchen Standardisierung können Lastenhefte zukünftig effizienter erstellt und systematisch auf Vollständigkeit überprüft werden.

Es sollte zudem eine Methodik erarbeitet werden, die eine Lastenhefterstellung für mechatronische Standard- und Neuprodukte ermöglicht. Diese wurde auf Basis einer Analyse der derzeitigen Prozesse der Lastenhefterstellung bei der Unternehmensgruppe und des Standes der Forschung und Technik in diesem Bereich entwickelt. Die Ergebnisse sollten unter anderem in kommerzielle DV-Systeme integriert werden können.

Mit Hilfe dieser Methoden können Lastenhefte systematisch erstellt und damit klar und vollständig dokumentiert werden. Weiterhin erlaubt die Methode eine einfache Anpassung von Lastenheften an sich ändernde Eingangsinformationen und trägt damit zur Effizienzsteigerung bei der Projektabwicklung bei.

5.1.4 Analyse der Anlagenstrukturen

Neben den zu Projektbeginn zur Verfügung gestellten Informationen zum Prozess sowie den Inhalten der Lastenhefterstellung wurden zur Analyse der Anlagenstruktur Interviews mit Vertretern der einzelnen produktbezogenen Fachbereiche geführt. Ziel dieser Interviews war eine detaillierte Strukturierung der jeweiligen fachbereichsspezifischen Anlagen sowie eine allgemeine Strukturierung und Einordnung des einzelnen Fachbereichs in die Produktionsstruktur in einem Werk.

Das Ergebnis eines dieser Interviews war z. B. die in Abbildung 41 dargestellte Strukturierung des Bereichs „Frucht“, der sich wiederum in den Fachbereich „Verfahrenstechnik“ einordnen lässt.

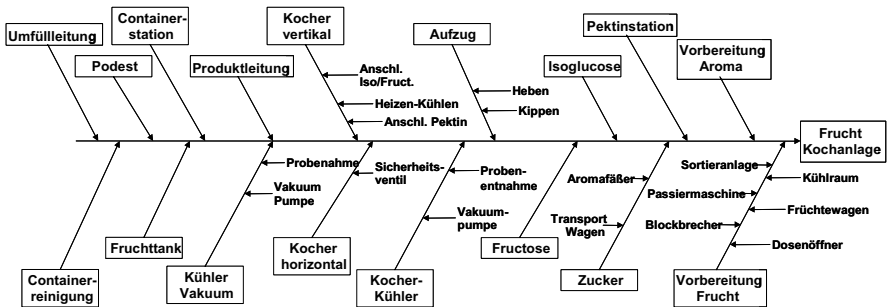


Abbildung 41: Beispiel für ein entwickeltes Fischgrätendiagramm zur Strukturierung der Fruchtkochanlage

5.1.5 Analyse der Anwendungsfälle

Ein weiterer wesentlicher Inhalt der Analysephase war die Analyse der für die Nutzung der Lastenheft-Struktur möglichen Anwendungsfälle. Hierbei wurden zunächst als mögliche Nutzer der Lastenheft-Vorlage folgende Personengruppen identifiziert:

- Projektverantwortliche,
- Bereichsverantwortliche,
- Betreiber (Feedback zu Ausführung und Funktion) und
- das zentrale Lastenheftmanagement.

Dabei sollten die Projektverantwortlichen in erster Linie die Vorlage entsprechend der jeweiligen Projekterfordernisse befüllen können. Für die Bereichsverantwortlichen sollte die Lastenheft-Vorlage eine Checkliste darstellen, anhand derer schnell und einfach die wesentlichen Merkmale des Projektes bzw. des mechanischen Produktionssystems überprüft werden können. Die Betreiber der projektierten Anlage sollten durch ihren Zugriff auf die Lastenheft-Vorlage qualitative oder funktionale Änderungen für weitere Lastenhefte rückmelden können. Als übergeordnete Verwaltungseinheit sollte das zentrale Lastenheftmanagement schließlich die Vorlage stetig weiter verbessern können.

Für diese Personengruppen bestehen die folgenden möglichen Anwendungsfälle:

- Überarbeitung und Pflege
- Erstellen eines Lastenhefts für ein technisches Investitionsprojekt
- Extrahieren von Informationen aus der Lastenheftvorlage

Für die *Überarbeitung und Pflege* der Lastenheft-Vorlagen ist in erster Linie das zentrale Lastenheftmanagement verantwortlich. Die Lastenheft-Struktur sollte nur von dieser zentralen Stelle veränderbar sein, da diese Veränderung im vollen Umfang nur hier abgeschätzt werden kann. Für die Überarbeitung und Pflege der Lastenheft-Inhalte hingegen sollten die Rückmeldungen aus den einzelnen Projekten genutzt werden und für einzelne Bereiche Verantwortliche festgelegt werden, die schnell, flexibel und mit einem ausreichenden thematischen Bezug auf Änderungswünsche aus den Projekten reagieren können. Die Änderung der Standards im Unternehmen sollte wiederum nur vom zentralen Lastenheftmanagement in der Lastenheft-Vorlage eingepflegt werden.

6 Bewertung der Vorgehensweise

In diesem Kapitel sollen dem Aufwand für die Einführung und Umsetzung des vorgestellten Vorgehens die gewonnenen Vorteile bei der Projektdurchführung und ganzheitlichen Entwicklung gegenüber gestellt werden.

6.1 Aufwand bei der Einführung und Umsetzung

Zunächst werden die wesentlichen Aktivitäten und Prozessänderungen beschrieben, die für die Umsetzung der vorgestellten Methode notwendig sind. Dabei wird sowohl auf die Erweiterung und Anpassung der Software-Komponenten als auch auf die Integration und Definition des Anforderungsmanagements für den Entwicklungsprozess eingegangen.

Die drei wesentlichen Aktivitäten, die in einem Unternehmen realisiert werden müssen, um die vorgestellte Methodik einzuführen, sind:

- Analyse und Anpassung der Software-Werkzeug-Infrastruktur
- Erstellen der Strukturierungsvorlage und
- Darstellung der Prozesse im Unternehmen.

Die Analyse der Software-Infrastruktur beinhaltet sowohl die Aufstellung aller verwendeten Software-Systeme als auch die Darstellung der notwendigen Verknüpfungen zwischen diesen Systemen untereinander und auch zu dem Anforderungsmanagement-Werkzeug. Je nach Größe und Gliederung des Unternehmens kann diese Analyse innerhalb weniger Tage abgeschlossen sein oder aber mehrere Wochen in Anspruch nehmen. Die Ergebnisse dieser Analyse lassen sich dann aber nicht nur für die Einführung der beschriebenen Methode nutzen, sondern stellen auch eine Basis für andere Software-Integrationen dar.

Inhalt der Anpassung der Software-Infrastruktur ist zunächst die Anschaffung oder Ausweitung eines geeigneten Anforderungsmanagement-Werkzeuges. Wie in dem Anwendungsbeispiel eines Anlagenbetreibers (vgl. Kapitel 5) gezeigt, kann für bestimmte Funktionalitäten auch auf bereits vorhandene Software zurückgegriffen werden, so dass keine zusätzlichen Anschaffungskosten für die Integration eines Anforderungsmanagement-Werkzeuges anfallen. In jedem Fall aber müssen die Schnittstellen zwischen diesem Werkzeug und den anderen Software-Systemen zusätzlich installiert werden. Der hierfür anfallende Aufwand

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Ausgehend von den bisherigen Ansätzen zur methodischen Herangehensweise an die interdisziplinäre Entwicklung von Produktionssystemen sowie den Grundlagen und Erkenntnissen der Software-Entwicklung zu einem gezielten, konstruktiven Anforderungsmanagement wurde in dieser Arbeit ein Ansatz für die durchgängige Nutzung von Kundenanforderungs-Informationen entwickelt.

Bei dem Lösungsansatz wurde der zunehmenden Modularisierung der mechatronischen Systeme und Anlagen dadurch Rechnung getragen, dass eine hierarchische, modulare und strukturierte Aufnahme der Kundenanforderungen erfolgt. Die notwendige Vollständigkeit der Anforderungen und die Abstimmung bzw. Priorisierung untereinander wird durch eine vorab angefertigte, funktional verknüpfte Produktstruktur als Checkliste angestrebt.

Die Zielsetzung dieser Arbeit, nämlich die Verbesserung der mechatronischen Entwicklung von Produktionssystemen durch ein integriertes Vorgehen zur Erfassung und Strukturierung von Anforderungen im Entwicklungsprozess, wurde durch die Darlegung der Bedeutung des Anforderungsmanagements und der kontinuierlichen Datennutzung in Unternehmen motiviert (vgl. Kapitel 1).

Aufbauend auf bestehende Ansätze und Lösungen zur Anforderungserfassung und -handhabung, zur mechatronischen Entwicklung, zur entwicklungsbegleitenden Kostenschätzung sowie zur kontinuierlichen Datennutzung in Forschung und Technik (vgl. Kapitel 2) wurde im Hauptteil der Arbeit ein Vorgehen zur kontinuierlichen Nutzung von Anforderungen vorgestellt. Dabei wurden die drei Phasen der planend strukturierenden Vorbereitung, der Anforderungsdarstellung und

8 Literaturverzeichnis

BAUMANN 1994

Baumann, M.: Anwendungsspezifische Erweiterung von Konstruktions-systemen für geometrisch-gestalterische Tätigkeiten unter Berücksichtigung einer systemneutralen Datenhaltung. Aachen: Shaker 1994. Zugleich Dissertation RWTH Aachen.

BENZ 1990

Benz, T.: Funktionsmodelle in CAD-Systemen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.

BITZER 2003

Bitzer, F.: XML im Unternehmen. Bonn: Galileo Computing 2003.

BOEHM 1981

Boehm, B.: Software Engineering Economics. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall 1981.

BOEHM ET AL. 1995

Boehm, B.; Clark, B.; Horowitz, E.; Westland, C.; Madachy, R.; Selby, R.: Cost Models for Future Software Life-cycle Processes: COCOMO 2.0. In: Boehm, B.; Clark, B.; Horowitz, E.; Westland, C.; Madachy, R.; Selby, R.: Annals of Software Engineering Special Volume on Software Process and Product Measurement. Vol 1. Amsterdam: Science Publishers 1995, S. 45 - 60.

BOOCH 2000

Booch, G.: Objektorientierte Analyse und Design. München: Addison-Wesley 2000.

CASPERS 1999

Caspers, R.: Globalisierung der Wirtschaft und Anpassungsdruck in Deutschland. In Apolte, T.; Caspers, R.; Welfens, J.J. (Hrsg.): Standortwettbewerb, wirtschaftliche Rationalität und internationale Ordnungspolitik. Neue Folge Band 20.

CHULANI 1998

Chulani, S.: Software Development Cost Estimation Approaches – A Survey. Los Angeles (California): University of Southern California 1998.

ZÄH ET AL. 2003

Zäh, M. F.; Grätz, F.; Rashidy, H.: An Approach To Simultaneous Development in Machine Tools Industry; International Workshop on Modelling and Applied Simulation 2003, Bergoggi, Italien, S. 128-133, 3. Oktober 2003.

ZÄH ET AL. 2005

Zäh, M. F.; Eichhorn, T.; Grätz, F.; Thieke, S.: Entwicklung mechatronischer Produktionssysteme. In: VDI-Z, 03/2005, S. 59-61.

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streffinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelschäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55200-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeforschungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garrich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaes, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bamm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3.540-56890-5
- 62 *Statter, R.*
Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Raith, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zah, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionzellen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Graha, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen · Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen · Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geyer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Fischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung · ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgelieferte Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablausimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik · Vorsprung durch Simulation
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fährer
Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
 2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
 2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
 2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
 2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
 2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebisch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
 2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
 2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
 2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickenrieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
 2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
 2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wunsch
Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
 2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli
Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
 2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold
Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage
 2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis
Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl
Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig
Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 Tobias Hornfeck
Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
 2008 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 Hans Egermeier
Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 Matthäus Sigl
Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6

- 224 Mark Harfensteller
Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner
Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann
Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy
Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 Wolfgang Vogl
Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 Sonja Schedl
Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
2009 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 Andreas Trautmann
Bifocal Hybrid Laser Welding – A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
2009 · 268 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 Patrick Neise
Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0878-2