

Florian Manfred Grätz

**Teilautomatische Generierung
von Stromlauf- und Fluidplänen
für mechatronische Systeme**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 200

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2006

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2006

ISBN-10 3-8316-0643-9

ISBN-13 978-3-8316-0643-6

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utz.de

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen, Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse.....I

Inhaltsverzeichnis..... I

Abbildungsverzeichnis V

Symbolverzeichnis XI

Abkürzungsverzeichnis XIV

1 Einleitung 1

1.1 Bedeutung der Elektro- und Fluidinstallation 1

 1.1.1 Entwicklung der Elektro- und Fluidinstallation 1

 1.1.2 Industrielle Anwendungen von Elektro- und Fluidinstallationen..... 6

1.2 Stand der Technik 9

 1.2.1 Allgemeine Methoden zur Infrastrukturplanung 9

 1.2.2 Methoden der Produktentwicklung des Maschinenbaus 13

 1.2.3 Entwicklungsmethoden für die Maschinenbeschaltung 16

 1.2.4 Entwicklungsmethoden für Steuerungssoftware 20

 1.2.5 Entwicklungsmethoden für mechatronische Systeme 24

 1.2.6 Besonderheiten bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen 31

1.3 Notwendigkeit einer Methode für mechatronische Systeme..... 35

1.4 Zielsetzung und Vorgehensweise 39

2 Methode zur Planung der Maschineninfrastruktur 43

2.1 Vorgehen zur Entwicklung der Methode..... 43

2.2 Modell der Maschinenperipherie.....	45
2.2.1 Vergleich von Elektro- und Fluidinstallation	45
2.2.2 Kreisläufe in Elektro- und Fluidtechnik	47
2.2.3 Staffelung und Abstraktion von Kreisläufen	52
2.2.4 Aufbau von Kreisläufen.....	55
2.2.5 Zusammenwirken von Kreisläufen.....	58
2.3 Informationen für die Planung der Maschinenperipherie.....	60
2.3.1 Bestandteile der Maschinenperipherie und ihre Funktionen	60
2.3.2 Grundlegende Betrachtungen zur Planung von Kreisläufen	65
2.3.3 Beschreibung der Maschinenfunktion und -installation.....	68
2.3.4 Ablauf zur Planung von Kreisläufen	69
2.3.5 Verteilungen in Signalkreisläufen	74
2.4 Ableitung von Entwicklungsdokumenten aus dem Maschinenmodell	76
2.4.1 Stromlauf- und Fluidpläne	76
2.4.2 Maschinenzeichnungen.....	79
2.4.3 Weg-Zeit-Diagramme	81
2.5 Zusammenfassung	83
3 Unterstützung der Methode durch ein Computerwerkzeug.....	85
3.1 Datenfluss im Rahmen der entwickelten Methode.....	85
3.2 Aufbau des Werkzeugprototyps	86
3.2.1 Kommerzielle Werkzeuge zur Fluid- und Stromlaufplanung	86
3.2.2 Strukturelle Anpassungen des Werkzeugprototyps.....	89
3.2.3 Planung von Abläufen.....	91

3.2.4	Planung von Haupt- und Hilfskreisläufen	93
3.2.5	Planung sonstiger Kreisläufe	96
3.2.6	Einbindung der Elektro- und der Fluidkonstruktion.....	98
3.2.7	Einbindung der mechanischen Konstruktion.....	99
3.2.8	Einbindung der Softwareentwicklung	103
3.3	Zusammenfassung	105
4	Möglichkeiten der industriellen Anwendung	107
4.1	Beschreibung der Vorgehensweise.....	107
4.2	Pilotprojekt.....	107
4.2.1	Ausgangssituation	107
4.2.2	Zielsetzung.....	109
4.2.3	Vorgehensweise	111
4.2.4	Ergebnisse	112
4.3	Kommerzialisierung des Werkzeugprototyps	119
4.4	Zusammenfassung	121
5	Bewertung	123
5.1	Ergebnisse der Arbeit	123
5.2	Vergleich mit anderen Methoden	125
5.3	Betrachtung von Nutzen und Aufwand	130
6	Zusammenfassung und Ausblick	135
6.1	Zusammenfassung	135
6.2	Ausblick.....	138
Literatur	141

Anhang	157
A Genannte Firmen.....	157
B Objektorientierte Programme und ihre Dokumentation in UML.....	158
C Zinsrechnung und Effektivwerte für die Kostenkalkulation	162
D Genannte Softwareprodukte	164

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Elektro- und Fluidinstallation

1.1.1 Entwicklung der Elektro- und Fluidinstallation

Die Installationstechnik spielt bereits seit Jahrtausenden eine zentrale Rolle für die Zivilisationen. Ihre Aufgabe besteht darin, Menschen das Leben zu erleichtern. Die älteste nachgewiesene Anwendung von Installationstechnik dient dem Transport von *Fluiden*. Bereits im fünften Jahrtausend v.Chr. wurden in Vorderasien Bewässerungssysteme eingesetzt, um Frischwasser auf landwirtschaftliche Nutzflächen zu bringen und verbrauchtes Wasser wieder abzuführen. Mit dieser Technologie wird bis heute der Ertrag von agrarwirtschaftlich genutzten Böden gesteigert (vgl. [BROCKHAUS 2005]).

Zum Transport von Wasser über lange Strecken wurden Aquädukte gebaut. Der Bau der ersten Wasserstraßen wird Ramses II. (1298 – 1213 v.Chr.) zugeschrieben (vgl. [GREWE 1988]). In der syrischen Stadt Palmyra wurden die Überreste der ältesten bislang bekannten unterirdischen Kanäle gefunden, die ins siebte Jahrhundert v.Chr. datiert werden (vgl. [GREWE 1988]). Die hygienischen Standards stiegen mit der Versorgung von Privathaushalten und öffentlichen Gebäuden, wie beispielsweise Badehäusern, mit fließendem Wasser. Dadurch wurde es möglich, dass Städte wuchsen, ohne dass Krankheiten und Seuchen die Bevölkerung bedrohten. So konnten kulturelle und wissenschaftliche Zentren, wie Athen, Rom und Alexandrien entstehen (vgl. [GREWE 1988]).

Archimedes von Syrakus (287 – 212 v.Chr., vgl. [BROCKHAUS 2005A]) erfand eine Schnecke zum Pumpen von Wasser durch Eigenrotation (vgl. Bild 1). Mit dieser Entdeckung wurde es möglich, Flüssigkeiten ohne menschliches Zutun auf ein höheres Niveau zu heben. Ähnliche Systeme werden noch heute zum Fördern von Schüttgut und in infrastrukturschwachen Gegenden zur Bewässerung eingesetzt. In ihrer ursprünglichen Form wird die archimedische Schraube durch Wasserkraft angetrieben. Somit ist das *Fluid* Wasser gleichzeitig *Energie*-träger.

In Windmühlen, wie sie in Persien bereits seit dem 7. Jahrhundert n.Chr. gebaut wurden (vgl. [BETZ 1926]), wird ebenfalls einem *Fluid Energie* entzogen. Sie dienten ursprünglich dem Antrieb von Mahlwerken. Später wurden sie auch eingesetzt, um Öl zu pressen, Sägewerke in Gang zu setzen und seit 1394 um mittels einer archimedischen Schraube Wasser zu fördern (vgl. [BETZ 1926]).

Mittels Wassermühlen konnten auch Maschinen für die industrielle Fertigung betrieben werden. Bild 1 zeigt in der Mitte die älteste in Deutschland erhaltene Drehmaschine, deren Bau ungefähr auf das Jahr 1810 datiert wird. Der Antrieb erfolgt mittels eines Transmissionsriemens. Dieser ist an einer zentralen Welle angeschlossen, die *Energie* für alle Maschinen in der gleichen Halle bereitstellt.

Mit der Erfindung des Dynamos im Jahr 1866 ermöglichte Werner von Siemens die Erzeugung elektrischer Leistung in einem Maß, das in technischen Anwendungen benötigt wird (vgl. [SIEMENS 1892]). Dadurch wurde der Grundstein für

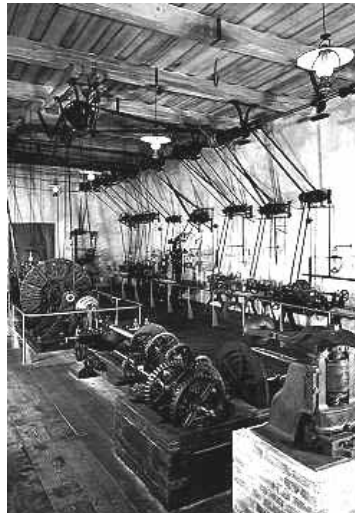
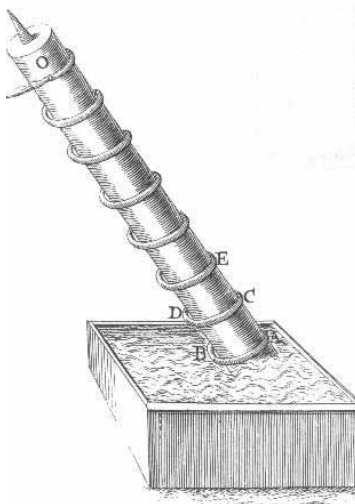


Bild 1: Archimedische Schraube (links, aus [OZANAM 1691]) und Nachbau einer industriellen Fertigungshalle Anfang des 19. Jahrhunderts mit Maschinen, die über eine gemeinsame Welle angetrieben werden (rechts, aus [DEUTSCHES MUSEUM 2005])

2 Methode zur Planung der Maschineninfrastruktur

2.1 Vorgehen zur Entwicklung der Methode

Gemäß [SYNEK 2005] fand im Maschinenbau ein schleichender Übergang von klar getrennten Disziplinen zu einer unscharfen Vermischung statt. Zur Beherrschung der zunehmenden fachlichen Integration sind demnach entsprechende Anpassungen unter anderem in den vorherrschenden Prozessen und Arbeitsabläufen notwendig.

[LINDEMANN U.A. 2005] sehen die Notwendigkeit für eine methodische Vorgehensweise zur Entwicklung mechatronischer Systeme in der hohen Komplexität, die durch die Zusammenarbeit von Konstrukteuren verschiedener Fachbereiche entsteht. Entsprechend [MIT 2002] hat die Komplexität dabei eine statische und eine dynamische Dimension. Unter *statischer Komplexität* wird dabei die Anzahl und Verschiedenartigkeit der zu projektierenden Elemente verstanden. Der Begriff *dynamische Komplexität* beschreibt die Menge und Unterschiedlichkeit der im Entwicklungsgegenstand auftretenden Zustände.

Für eine detaillierte Planung der Installation von Werkzeugmaschinen ist entsprechend eine Methode erforderlich (vgl. 1.3). Im Folgenden wird ein Ansatz aufgezeigt, der die Planung der benötigten Betriebsmittel sowie die Erstellung der für Fertigung und Montage nötigen Dokumentation ermöglicht. Wesentliche Elemente werden aus den in 1.1.2 beschriebenen Ansätzen entliehen.

Zunächst werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Elektro- und der Fluidinstallation bzw. den zugehörigen Stromlauf- und Fluidplänen aufgezeigt (vgl. 2.2.1).

Definition 1: Strom- und Fluidkreisläufe werden im Folgenden zusammenfassend als *Kreisläufe* bezeichnet.

Die Struktur der Kreisläufe wird zunächst untersucht (vgl. 2.2.2). Danach wird erörtert, wie diese Kreisläufe abstrahiert oder detailliert werden können und welche Granularität für die Planung der Maschineninfrastruktur sinnvoll ist (vgl. 2.2.3). Schließlich wird aufgezeigt, wie ein einzelner Kreislauf aufgebaut

ist (vgl. 2.2.4) und welche Abhängigkeiten zwischen Kreisläufen bestehen (vgl. 2.2.5).

Aus den Aufgaben, die von den einzelnen Elementen eines jeden Kreislaufs wahrgenommen werden (vgl. 2.3.1), lassen sich die benötigten Informationen zur Beschreibung eines Kreislaufs sowie ein geeignetes Vorgehen zur Modellierung folgern (vgl. 2.3.2). Ausgehend von den Funktionen, die durch Elemente der Maschineninstallation umgesetzt werden (vgl. 2.3.3), wird eine geeignete Reihenfolge und Notation zur Dokumentation erstellt (vgl. 2.3.4). Schließlich wird diskutiert, welche Besonderheiten für die Planung von Signalkreisläufen zu berücksichtigen sind (vgl. 2.3.5).

Ferner wird gezeigt, wie aus dem erstellten Kreislaufmodell erste Entwürfe für Stromlauf- und Fluidpläne abgeleitet werden (vgl. 2.4.1), welche Informationen sich in die mechanische Konstruktion übernehmen lassen (vgl. 2.4.2) und wie aus den Planungsunterlagen Weg-Zeit-Diagramme abgeleitet werden (vgl. 2.4.3).

Da sich in anderen Ingenieurdisziplinen der Einsatz der Systemtheorie nach [DAENZER 1978] sowie die Erstellung gesonderter Dokumente zur Planung von Elektro- und Fluidinstallation bewährt haben (vgl. 1.2.1), sollen diese Ansätze im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls aufgegriffen werden. Des Weiteren haben sich sowohl in der Konstruktionslehre des Maschinenbaus (vgl. 1.2.2) als auch in der Verfahrenstechnik (vgl. 1.2.1) Vorgehensweisen etabliert, bei denen ausgehend von einer funktionalen Beschreibung des Entwicklungsgegenstandes sukzessive Informationen angereichert werden, bis das Objekt der Konstruktion vollständig definiert ist. Daher baut die in Kapitel 2 beschriebene Methode ebenfalls auf dieser Praxis auf.

2.2 Modell der Maschinenperipherie

2.2.1 Vergleich von Elektro- und Fluidinstallation

Allen in 1.1.2 diskutierten Ansätzen ist gemeinsam, dass sie sich an einer funktionalen Gliederung des Konstruktionsgegenstands orientieren. Ferner lehnen sie sich alle an die Systemtheorie nach [DAENZER 1978] an. Diese beiden Konzepte werden auch im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt.

Stromlauf- und Fluidpläne beschreiben durch eine formale symbolische Sprache Geräte, die mit Elektrizität bzw. Fluiden betrieben werden. Verbindungen zwischen Komponenten werden durch Linien symbolisiert und häufig als Leitungen oder Leiter bezeichnet. In der Regel werden für den Strom- bzw. Fluidfluss Kreisläufe aufgebaut, die von einer Quelle mittels einer Zuleitung ggf. über mehrere Elemente zu einer Senke, im Regelfall einem Endverbraucher, reichen. Von dort ist das eingesetzte Medium über eine Ableitung u.U. wieder über verschiedene Komponenten zurück zur Quelle zu führen. In der Pneumatik wird als Sonderfall meist die Umgebung der zu konstruierenden Maschine zur Rückführung der Luft verwendet.

Nach [PLEBOW & WROBEL 2000] besteht die Aufgabe des Stromlaufplans in einer eindeutigen Beschreibung der Funktion einer Schaltung. Er dient als Grundlage zur Erstellung weiterer Schaltungsunterlagen, wie Klemmen-Belegungsplänen, Verbindungslisten, Kabellisten und Gerätestücklisten. Analoges gilt für Fluidpläne.

Eine Vielzahl von Komponenten ist sowohl in Fluid- als auch in Stromlaufplänen zu dokumentieren. Dies ist für fluidtechnische Sensoren wie etwa Füllstandsmesssysteme der Fall, die ein elektrisches Signal in Abhängigkeit von einer fluidtechnischen Größe liefern. Ferner gilt dies auch für jede Form von fluidtechnischen Aktoren, die für einen ordnungsgemäßen Betrieb elektrische Energie (z.B. Hydraulikaggregate) oder Signale (z.B. Ventile) benötigen.

Für viele Automatisierungslösungen an Werkzeugmaschinen sind sowohl elektrische als auch fluidtechnische Umsetzungen vorstellbar. Die meisten Funktionen lassen sich auf eine geringe Anzahl von Grundfunktionen, wie etwa eine Rotation mit Vorwärts- und Rückwärtslauf, zurückführen. Wird für jede

Grundfunktion ein fluidtechnisches und ein elektrisches Realisierungsprinzip festgelegt, so können erste Entwürfe für Stromlauf- und Fluidpläne erstellt werden, sobald eine Funktion geeignet beschrieben wird (vgl. [ZÄH U.A. 2003]).

Bild 22 zeigt die zugehörigen Ausschnitte aus der Elektro- und der Fluiddokumentation für eine rotatorische Bewegung mit einer möglichen Beschaltung sowohl in eine als auch in zwei Richtungen, wie sie in [ZÄH U.A. 2003] aufgeführt wurde. Diese wird jeweils mit einem Drehstrom- und einem Hydromotor umgesetzt.

Werden die skizzierten Dokumente als Vorlagen in einer Bibliothek hinterlegt, so steht im Idealfall mit der Auswahl der Funktion und der umzusetzenden Technologie bereits ein Großteil der Maschinenkonstruktion fest. So erfordert


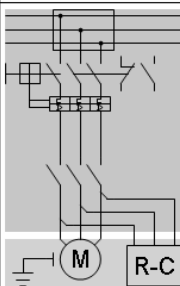
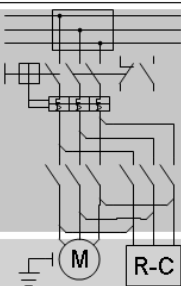

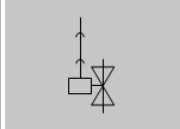
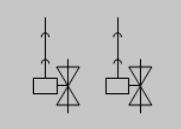
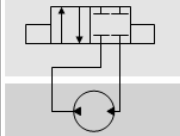
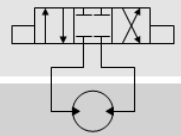
Technologie	Eine Richtung	Zwei Richtungen	Beschaltung	Dokument
Drehstrommotor 			Elektrische Beschaltung	Stromlaufplan
			Antrieb und Ausgleich	Stromlaufplan
Hydromotor 			Elektrische Beschaltung	Stromlaufplan
			Fluidtechnische Beschaltung	Fluidplan
			Antrieb	Fluidplan

Bild 22: Beispiel für Stromlauf- und Fluidpläne einer Funktion mit zwei Ausprägungen und zwei unterschiedlichen Antriebsmedien (aus [ZÄH U.A. 2003])

die Realisierung eines translatorischen Freiheitsgrades mit zwei Endlagen mittels eines Hydraulikzylinders eine Beschaltung durch ein Ventil sowie die Versorgung mit Hydraulikdruck, beispielsweise über einen Kompressor, der wiederum mit Strom versorgt werden muss. Somit können bereits erste Entwürfe für Stromlauf- und Fluidpläne erstellt werden. Es muss noch genügend Spielraum für Veränderungen offen bleiben, wie für den Einbau von zusätzlichen Relais und Sicherheitsschaltern, die zum Schutz des Bedieners einer Maschine Antriebe abschalten.

2.2.2 Kreisläufe in Elektro- und Fluidtechnik

Definition 2: Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff *Medium* verwendet, um den Gegenstand zu bezeichnen, der in einem System übertragen wird.

Gemäß der Systemtheorie werden Elektro- und Fluidsysteme in Elemente unterteilt. Diese besitzen stets Ein- und Ausgänge, durch die ein Medium fließt.

Entsprechend den Ausführungen in 2.2.1 sind die betrachteten Medien „elektrische Energie“ und „Fluid“. Als weitere Medienklasse wird ferner „Signal“ angesehen. Hierbei handelt es sich um elektrische Impulse, die jedoch im Gegensatz zur „elektrischen Energie“ nicht primär der Energiezufuhr eines Verbrauchers, sondern der Übermittlung von Informationen innerhalb der Maschine dienen.

These 1: Medien bleiben erhalten.

Dies bedeutet, dass Medien, die in ein Element eintreten, dieses auch wieder verlassen. Hierbei handelt es sich um eine idealisierte Betrachtungsweise, die Leckagen und Erdungsströme vernachlässigt. Diese Fälle sind als Fehler zu betrachten und gemäß der Aufgabenstellung aus 1.4 daher im Rahmen dieser Arbeit nicht zu behandeln.

Da Medien in einem Element zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgegeben werden können, muss jedoch die Menge der eingehenden Medien nicht zwangsläufig gleich der Menge der ausgehenden Medien sein.

Damit ein System so aufgebaut ist, dass alle Elemente stets die gleichen Medien abgeben wie sie aufnehmen, sind sie in einem Kreislauf anzuordnen. Andernfalls würde stets jeweils ein Element ohne Ein- und eines ohne Ausgang auftreten. Als Folge besitzen Kreisläufe weder einen Anfang noch ein Ende. Um jedoch eine weitere Strukturierung vornehmen zu können, werden im Folgenden die Begriffe „Quelle“ und „Senke“ verwendet.

Definition 3: *Quellen* dienen der Aufbereitung von Medien.

Die gebräuchlichsten Quellen sind die Maschinensteuerung für Signale, Hydraulikaggregate, eine externe Luftversorgung für Fluide und Trenntransformatoren für elektrischen Strom.

Definition 4: Der Begriff *Senke* bezeichnet im Folgenden diejenige Einheit eines Medienkreislaufs, die direkt auf die Prozessschnittstelle (vgl. 1.2.4) zugreift. Erfolgt eine Beeinflussung nur mittelbar über einen weiteren Medienkreislauf, so wird als *Senke* des Sekundärkreislaufs dasjenige Bauteil bezeichnet, das an der Schnittstelle zwischen den Kreisläufen steht.

Somit sind Sensoren Senken in einem Signalkreislauf. Im Gegensatz dazu werden bei der Programmierung von Steuerungen Sensoren häufig als Signalquellen betrachtet, da sie einen Messwert liefern.

Damit ein Medium zwischen Quelle und Senke laufen kann, wird ein treibendes Potenzial benötigt. Dieses besteht in der Elektrotechnik aus dem Spannungsgelände zwischen Zu- und Ableitung der Energiequelle und verursacht über die Senke und ggf. zwischengeschaltete Glieder einen Stromfluss. Aus dem Produkt von Spannung und Strom ergibt sich die erbrachte Leistung. Analog hierzu verursacht in der Fluidtechnik eine Druckdifferenz einen Volumenfluss über eine Engstellen. Diese setzt das Produkt aus Druckdifferenz und Volumenfluss an Leistung um.

Definition 5: Mit dem *Potenzial* eines Mediums wird bezeichnet, in welchem Format dieses bereitgestellt wird.

Das Potenzial ist wesentliches Kriterium dafür, welche Leitungen zur Medienübertragung verwendet werden und welche Ausprägungen von Elementen in Kreisläufen eingesetzt werden.

Definition 6: Der *Fluss* entspricht der mittels einer Installation übertragenen Medienmenge pro Zeiteinheit.

Gebräuchliche Maßeinheiten für den Fluss sind Ampère für den elektrischen Strom, Liter pro Sekunde für Fluide sowie Bit pro Sekunde für Signale.

Bild 23 zeigt einfache Beispiele für das oben erläuterte Grundschemata aus Elektrotechnik und Pneumatik. Als Quelle dient eine Stromversorgung, wie beispielsweise ein Drehstromanschluss bzw. ein Kompressor. Sie stellt eine Leistung über die zugehörige elektrische Spannung und den Strom bzw. über den Fluiddruck und den Fluidstrom pro Zeiteinheit bereit. Im elektrotechnischen Beispiel wird über einen Trenntransformator, eine Sicherung sowie ein Relais zum Ein- bzw. Ausschalten ein Elektromotor angetrieben. Im pneumatischen Fall wird die Zuluft durch eine Drossel und ein Ventil verwendet, um einen Zylinder zu betätigen. Die Abluft wird direkt in die Umwelt abgegeben, wo sie vom Kompressor wieder aufbereitet werden kann.

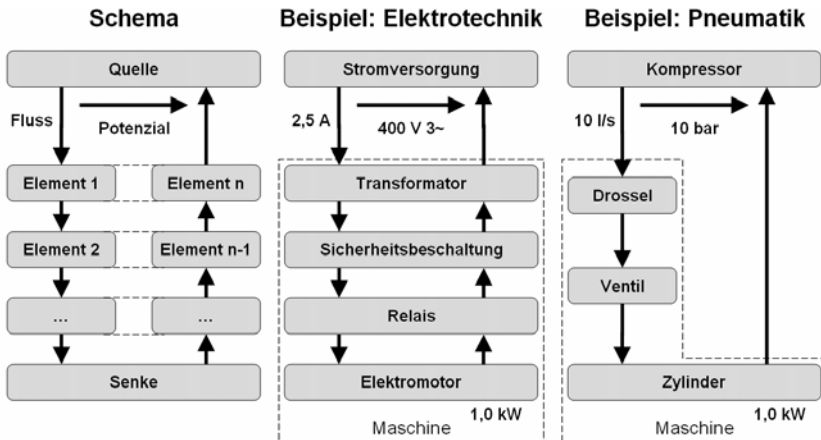


Bild 23: Beispiele für einfache Kreisläufe aus Elektro- und Fluidtechnik mit typischen Potenzialen und Flüssen

In der praktischen Anwendung versorgt eine Energiequelle mehrere Verbraucher, so dass noch zusätzliche Elemente zur Verteilung des Flusses vorzusehen sind.

These 2: Die Flüsse von Fluiden und elektrischer Energie werden von einer Steuerung mittels Signalen beeinflusst.

Hierzu ist es notwendig, dass die Signale der Steuerung mit geeigneten Elementen den entsprechenden Medienkreisläufen aufgeprägt werden.

Definition 7: Elemente, die die Energiezufuhr aus einer Energiequelle zu einem Verbraucher in Abhängigkeit eines Signals, Flusses oder Potentials verändern, werden im folgenden *Stellelemente* genannt.

Stellelemente sind somit gleichzeitig Bestandteil eines Signalkreislaufs und eines Kreislaufs entweder mit dem Medium „elektrische Energie“ oder „Fluid“. Gemäß Definition 4 sind sie dabei im Signalkreislauf als Senke zu bezeichnen. Als Signalquelle dient nach These 2 eine Steuerung, die ggf. über verschiedene Elemente wie Ausgabekarten ein Stellelement betätigt. Dieses prägt das Signal einem Energiefluss auf. Die Kombination aus Energie und Signal wirkt über einen Verbraucher auf den Maschinenprozess ein. Aus diesem werden über Sensoren wiederum Informationen an die Steuerung zurückgeliefert. Sensoren und Verbraucher ergeben somit die Prozessschnittstelle gemäß dem Grundschema der Automatisierungstechnik aus [VDI VDE 2422] (vgl. 1.2.4, Bild 11). Bild 24 zeigt typische Beispiele für die in diesem Unterabschnitt definierten Begriffe.

Da zur Signalübermittlung in der Regel elektrische Spannungspegel eingesetzt werden, sind die Mittel zur Informationsübertragung Bestandteil der Elektroinstallation. Außerdem wird mit den Signalen ebenfalls eine Energie übertragen, deren Betrag jedoch in der Regel um Zehnerpotenzen kleiner ist als die Arbeit, die zur Beeinflussung des automatisierten Prozesses benötigt wird (vgl. [JANOCHA 1992]). Daher wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit die mit einem Signal übermittelte Energie vernachlässigt.

Während das Potenzial der Energiequelle während der Maschinenlaufzeit weitgehend konstant bleibt, unterliegt der Fluss von Fluiden und Strömen wegen These 2 zeitlichen Schwankungen. Der Betrag des Flusses hängt wesentlich da-

2.2 Modell der Maschinenperipherie

Medium	Elektrische Energie	Fluid	Signal
Beispiele für gebräuchliche Potenziale	400 V Drehstrom 230 V Wechselstrom 24 V Gleichstrom	150 bar Hydrauliköl mit $175 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 8 bar Luft Kühlschmiermittel	analog, 0...5 Volt analog, 4...10mA ASI-Bus Profi-Bus
Beispiele für Quellen	Unterbrechungsfreie Stromversorgung Netzanschluss	Hydraulikaggregat Schmiermittelaggregat Hallenluftversorgung	CNC SPS
Beispiele für Senken	Elektromotoren Beleuchtung	Zylinder Zu kühlende Prozess- stelle	Stellelemente Sensoren
Typische Maßeinheiten für den Fluss	Ampère	Liter pro Sekunde	Bit pro Sekunde
Beispiele für Stellenelemente	Relais, Frequenz- wandler	Ventil	-

Bild 24: Typische Beispiele zu den Definitionen der Begriffe „Potenzial“, „Quelle“ und „Senke“ für die Medien „elektrische Energie“, „Fluid“ und „Signal“

von ab, welche Verbraucher zu- und abgeschaltet werden. In automatisierten Anlagen erfolgt eine entsprechende Beschaltung über Aktoren, die mit einer Maschinensteuerung in Verbindung stehen. Abhängig von den anliegenden Steuersignalen wird die Verbindung zwischen Energiequelle und Verbraucher verändert. Im einfachsten Fall wird diese vom Potenzial abgetrennt oder durch geeignete Beschaltung die Wirkrichtung des Energiepotenzials umgekehrt. Beispiele hierfür sind Kombinationen aus Schützrelais oder Wegeventile. Es können auch kontinuierliche Steuergrößen verwendet werden, die das Potenzial für den Verbraucher in einem Bereich – von Digitalisierungseffekten abgesehen – stufenlos zu verstellen erlauben. In der Fluidtechnik können hierzu etwa Proportionalventile und in der Elektrotechnik Spannungs- bzw. Frequenzwandler eingesetzt werden.

2.2.3 Staffellung und Abstraktion von Kreisläufen

Zwischen verschiedenen Kreisläufen können Abhängigkeiten bestehen. Beispielsweise werden häufig Maschinen mit Hydraulikaggregaten ausgestattet, die als Quelle für einen Ölkreislauf dienen. Im Stromlaufplan erscheint ihr Antrieb jedoch als Senke, da er mit einer elektrischen Spannung betrieben wird und Strom aufnimmt.

Verbraucher, die hohe Leistungen aufnehmen, werden gelegentlich nicht direkt durch Stellelemente einer Steuerung geschaltet, sondern bedienen sich eines Hilfskreislaufs.

Definition 8: Als *Hilfskreislauf* werden Kreisläufe bezeichnet, die Stellelemente anderer Kreisläufe betätigen und als Medium kein Signal führen.

Hilfskreisläufe werden unter anderem in hydraulischen Pressen eingesetzt. Ein Ventil schaltet auf der Basis eines Signals einen Niederdruckkreislauf. Mit diesem wird wiederum ein Hochdruckkreislauf betätigt, der den Pressenhub umsetzt.

Somit lassen sich für das obige Beispiel vier Kreisläufe unterscheiden (vgl. Bild 25). Im Stromkreis dient eine Stromversorgung als Quelle, die über eine Verteilvorrichtung die Steuerung und die Hydraulikaggregate für den Hoch- und den Niederdruckölkreislauf versorgt. Die Steuerung wiederum versorgt im Signalkreislauf ein Vorsteuerventil mit Informationen und überwacht das Erreichen der Endlage der Hubvorrichtung über eine geeignete Sensorik. Im Niederdruckkreis betätigt das Vorsteuerventil das Steuerventil im Hochdruckkreis. Dieses wiederum beeinflusst über die Hubvorrichtung den Fertigungsprozess. Die vier Kreise stehen in einem gegenseitigen Beziehungsgeflecht. Über Stellelemente erfolgt eine gesteuerte Beeinflussung eines abhängigen Medienkreislaufs. Ferner beziehen die Quellen des Signal-, des Niederdruck- und des Hochdruckkreises ihre Energie aus dem Stromkreis.

Die Definition der Hilfskreisläufe orientiert sich an der Unterscheidung einer Hilfsenergie und einer Primärenergie zur Regelung eines mechatronischen Systems, wie sie in [ISERMANN 1997] aufgeführt wird. Im Vordergrund stehen hier-

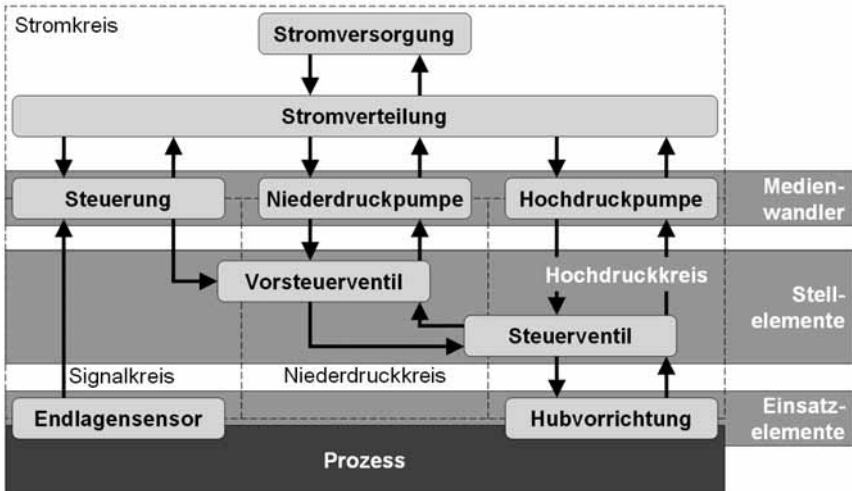


Bild 25: Gestaffelte Kreisläufe am Beispiel der Hubvorrichtung einer hydraulischen Presse

bei jedoch nicht die Übertragungsfunktionen der einzelnen Elemente und ihr Zusammenwirken in einem Regelkreis, sondern die Planung der Verbindungen zwischen Aktoren, Sensoren, Energiequellen und Steuerung.

Definition 9: Elemente, die in den Prozess eingreifen, werden im Folgenden *Einsatz-elemente* genannt.

Entsprechend Definition 4 sind Einsatz-elemente Senken.

Definition 10: Elemente, die aus dem Prozess Signale ermitteln, werden in der vorliegenden Arbeit als *Messelemente* bezeichnet, Elemente, die den Prozess beeinflussen, werden *Wirkelemente* genannt.

Mess- und Wirkelement sind folglich Einsatz-elemente.

Definition 11: Elemente, die in zwei Kreisläufen mit verschiedenen Medien einmal als Quelle und das andere Mal als Senke auftreten, werden im Folgenden *Medienwandler* genannt.

Wesentliches Merkmal der Systemtheorie nach [DAENZER 1978] ist die Hierarchisierbarkeit und Abstraktionsfähigkeit von Modellen. Einen Auszug aus einer feineren Detaillierungsstufe des Pressenbeispiels zeigt Bild 26 mit einer Aufschlüsselung des Bausteins „Steuerung“ aus Bild 25. Diese besteht in diesem vereinfachten Beispiel aus einer Steuereinheit „CPU“, die über interne Signale E/A-Module ansteuert. Ein Netzteil versorgt diese Elemente mit einer stabilisierten Gleichspannung, die aus der Stromversorgung entnommen wird.

Definition 12: Ein Element, das in zwei Kreisläufen mit identischen Medien einmal als Quelle und das andere Mal als Senke dient, wird im Folgenden als *Potenzialwandler* bezeichnet.

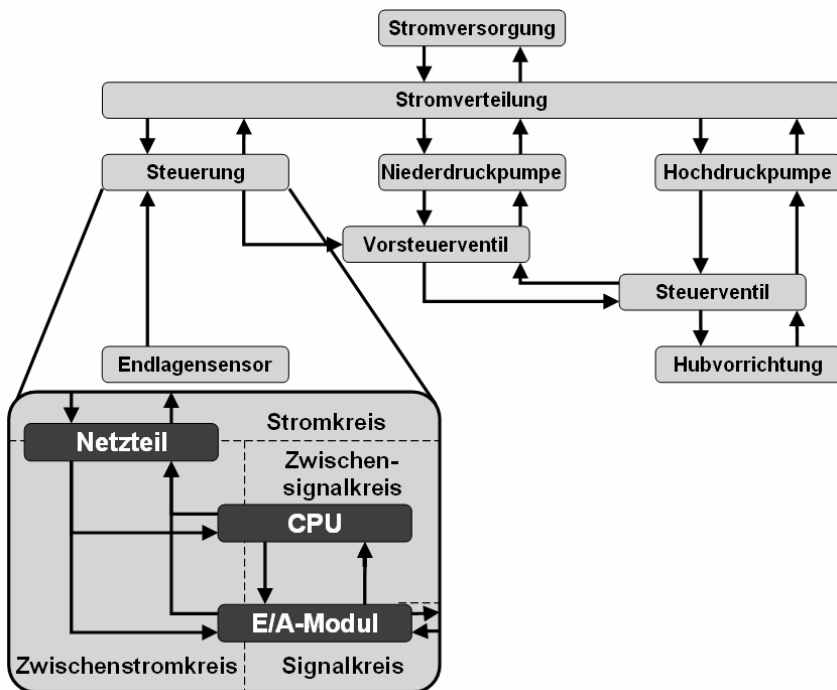


Bild 26: Abstraktion von Kreislaufelementen am Beispiel der Steuerung einer hydraulischen Presse

3 Unterstützung der Methode durch ein Computerwerkzeug

3.1 Datenfluss im Rahmen der entwickelten Methode

Bild 41 zeigt die Informationen, die im Verlauf der Entwicklung des Kreislaufmodells nach 2.2 zwischen den beteiligten Disziplinen gemäß 2.3 ausgetauscht werden müssen. Ferner sind die Ergebnisse für die Enddokumentation eingetragen, wie sie in 2.4 erläutert wurden.

Um die Methode aus Kapitel 2 effizient anwenden zu können, muss sie in einer geeigneten Software umgesetzt werden. Die Beschreibung einer solchen beispielhaften Umsetzung ist Gegenstand des vorliegenden Kapitels. Da bereits

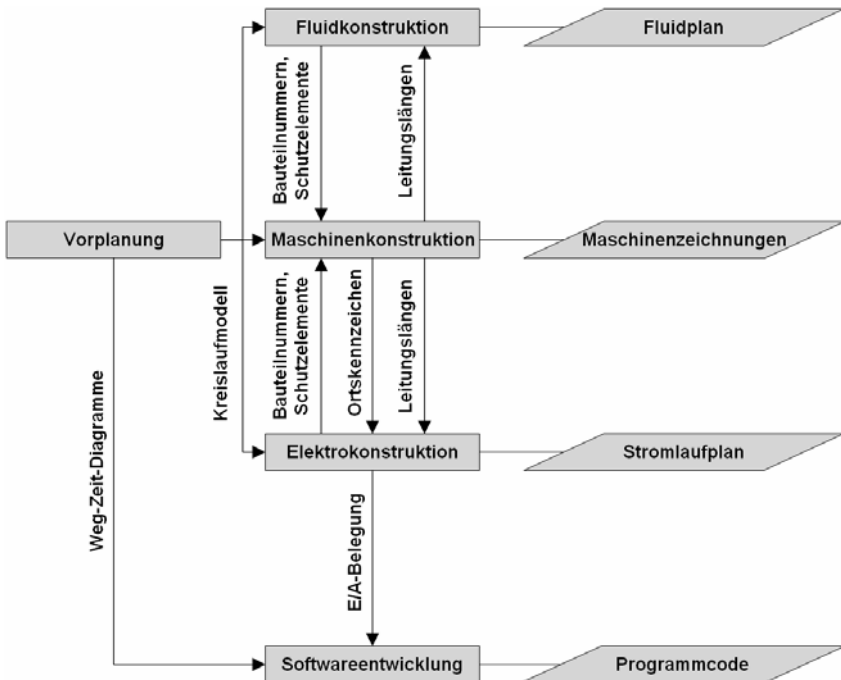


Bild 41: Arbeitsergebnisse, die von den an der Entwicklung einer Maschine beteiligten Fachbereichen erstellt werden, und Informationen, die zwischen ihnen ausgetauscht werden

kommerzielle Systeme zur Planung von Stromlauf- und Fluidplänen am Markt erhältlich sind, wird zunächst ein grober Überblick über verschiedene Lösungen gegeben und ein Produkt ausgewählt, das als Grundlage zur Umsetzung der beschriebenen Methode dient (vgl. 3.2.1). Das Werkzeug wird um eine geeignete Objektstruktur ergänzt, die für die Planung von Kreisläufen benötigt wird (vgl. 3.2.2). Für die detaillierte Beschreibung wird zwischen Daten unterschieden, die zur Planung von

- Abläufen (vgl. 3.2.3),
- Haupt- und Hilfskreisläufen (vgl. 3.2.4) und
- sonstigen Kreisläufen (vgl. 3.2.5)

benötigt werden. Ferner wird beschrieben, wie die angelegten Informationen in Stromlauf- und Fluidplänen verwendet werden können, wie sie bereits vom ausgewählten System bereitgestellt werden (vgl. 3.2.6 und 2.4.1) und in ein 3D-CAD-System übertragen werden können (vgl. 3.2.7 und 2.4.2). Außerdem wird eine Möglichkeit zum Export von Weg-Zeit-Diagramme in eine SPS-Programmierungsumgebung geschildert (vgl. 3.2.8 und 2.4.3). 3.3 enthält eine kurze Zusammenfassung dieses Kapitels.

3.2 Aufbau des Werkzeugprototyps

3.2.1 Kommerzielle Werkzeuge zur Fluid- und Stromlaufplanung

Werden die Vorgehensweise und die Automatismen, die in Kapitel 2 beschrieben sind, in eine Software umgesetzt, so lassen sie sich mit wenig Aufwand anwenden. Damit wird ein wichtiger Grundstein für die Erprobung an einem Beispiel aus der Praxis gelegt.

Um eine effiziente Umsetzung der Methode zu ermöglichen, liegt es nahe, auf ein bereits vorhandenes System zur Erstellung von Stromlauf- und Fluidplänen aufzusetzen. Am Markt sind hierfür verschiedene kommerzielle Lösungen, so genannte Computer Aided Engineering Systems (abgekürzt CAE), erhältlich.

Bild 42 zeigt eine Klassifizierung dieser Systeme in Anlehnung an [TCS 2004] bzw. [SCHÄFER & ROLLER 2003] sowie beispielhaft typische Vertreter jeder Ka-

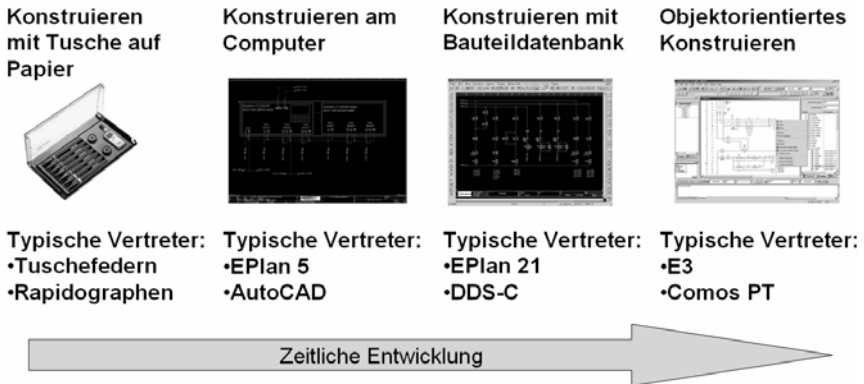


Bild 42: Historische Entwicklung von Werkzeugen zur Elektro- und Fluidkonstruktion

torie. Ein Verzeichnis der in dieser Arbeit genannten Softwareprodukte und ihrer Hersteller findet sich in Anhang D.

Ausgehend von der früher üblichen Methode der Tuschezeichnungen wurden Systeme entwickelt, mit denen am Computer konstruiert werden kann. Bauteile, die früher mit Schablonen gezeichnet wurden, können aus einer Symboldatei aufgerufen und am Bildschirm platziert werden. Mittels entsprechender Algorithmen lassen sich logische Überprüfungen von Plänen durchführen. Der Vorteil gegenüber manuell erstellten Zeichnungen liegt in der Möglichkeit, bereits erstellte Systeme wieder zu verwenden und mit niedrigem Aufwand abändern zu können.

Ab der nächsten Entwicklungsstufe besaßen CAE-Systeme Bauteildatenbanken. In diesen können zu Komponenten neben dem repräsentierenden Symbol weitere Informationen, z.B. Hersteller oder Bestellnummern, hinzugefügt werden. Somit können automatisch Daten in einen Plan übernommen werden, die bei Systemen ohne Datenbank manuell eingefügt werden müssen. Dadurch wird ein hohes Maß an Konsistenz in den Unterlagen gewährleistet, insbesondere wenn Sekundärdokumente wie Stück- oder E/A-Listen abgeleitet werden.

Die neuesten CAE-Programme verwenden eine objektorientierte, bidirektionale Datenbankbindung. Symbole werden als Objektklassen einem zentralen Datenspeicher entnommen. Die zugehörigen Instanzen auf Plänen werden mit den während der Konstruktion erzeugten Daten wieder in die Datenbank zurück geschrieben. Mit derartigen Systemen kann ein Objekt in unterschiedlichen Sichten auf verschiedenen Dokumenten platziert werden. Dadurch kann eine hohe Informationskonsistenz nicht nur in abgeleiteten Unterlagen, sondern auch zwischen Stromlauf- und Fluidplänen erzielt werden. Wird z.B. ein Ventil als Objekt in einer der beiden Planarten verändert, so wird die jeweils andere automatisch mit aktualisiert.

Nach [KRAUSE 1992] ist ferner der Einsatz eines datenbankgestützten Entwicklungswerkzeugs notwendig, um eine effiziente Konstruktionsarbeit zu ermöglichen. Da im Rahmen dieser Arbeit ein großes Augenmerk auf Datenkonsistenz insbesondere zwischen Stromlauf- und Fluidplänen gelegt werden soll, wird ein objektorientiertes Programm als Basis für eine Umsetzung verwendet. Nach [SPUR & KRAUSE 1997] lassen objektorientierte Datenbanken unter anderem den Einsatz der Konzepte der *Vererbung* und der *Datenkapselung* zu (vgl. Anhang B). Damit eignen sie sich für den Einsatz moderner Programmierkonzepte.

Ferner ist es zur Entwicklung eines Pilotsystems sinnvoll, einen möglichst einfach zu realisierenden, aber dennoch umfangreichen Zugriff auf den Kern der Software zu erhalten. Da Comos im Gegensatz zu E3 den Standard *Visual Basic for Applications* unterstützt, wurde für diese Arbeit diesem Produkt der Vorzug gegeben.

3.2.2 Strukturelle Anpassungen des Werkzeugprototyps

Bei der Umsetzung des Werkzeugs wird das Modell nach Kapitel 2 als Leitgedanke verwendet. Die zugehörigen Kreisläufe werden nicht explizit durch den Bediener aufgebaut, sondern dienen als Richtschnur für den Aufbau der Benutzerschnittstelle.

In den folgenden Unterabschnitten wird die Klassenstruktur der Objekte erörtert, die im Werkzeugprototyp aufgebaut wurde. Beschrieben wird diese in der Unified Modelling Language (UML) nach [ISO IEC 19501]. Es werden diejenigen Klassen, die vom Basissystem bereits zur Verfügung gestellt werden, nur erörtert, wenn sie einen Bezug zu dieser Arbeit haben. Anhang B gibt eine Kurzübersicht über die verwendete Programmiertechnik und die zugehörige Notation.

Jede Maschine besitzt entsprechend der Gliederung nach [VDW 2001] mindestens eine Funktionsgruppe. Jede Funktionsgruppe wiederum besteht aus mindestens einer Funktionsuntergruppe. In dieser können gemäß 2.3.3 und 2.3.4 neben einem Netzplan in einer Wirkskizze beliebig viele Endfunktionen mit jeweils einem Zustandsgraphen enthalten sein. Ferner wird zur Berücksichtigung von Medienübergängen zwischen verschiedenen Maschinen, Anlagen und Baugruppen noch eine Schnittstelle als Pseudoendfunktion vorgesehen.

Um die Verteilungen von Signalkreisläufen nach 2.3.5 planen zu können, werden der Klasse *Maschine* geeignete Dokumente zugeordnet. Im *zentralen Installationsplan* erfolgt eine Zuordnung der Verteilung zentral beschalteter Mess- und Stellelemente zu Steuerungen. Jede dezentrale E/A-Station wird in einem *dezentralen Installationsplan* mit entsprechenden Komponenten verknüpft. Im *Bustopologieplan* wird die Verbindung der dezentralen E/A-Stationen mit den zugehörigen Steuerungseinheiten abgebildet.

Alle Dokumente werden von einer gemeinsamen Basisklasse des CAE-Systems *Basisdokument* abgeleitet. Diese Basisklasse besitzt die Fähigkeiten, mit dem Benutzer des Programms über eine grafische Oberfläche zu interagieren und Eingaben zu interpretieren. Alle Gliederungsobjekte stammen von der Klasse *Gliederungsobjekt* ab. Sie erbt wie *Basisdokument* von *Basisobjekt* die Eigenschaften *Name* und *Beschreibung*. Diesen können vom Benutzer der Software Texte zugeordnet werden. Bild 43 verdeutlicht die grundlegenden Zusammenhänge der Objektarchitektur, die die Maschinengliederung betrifft.

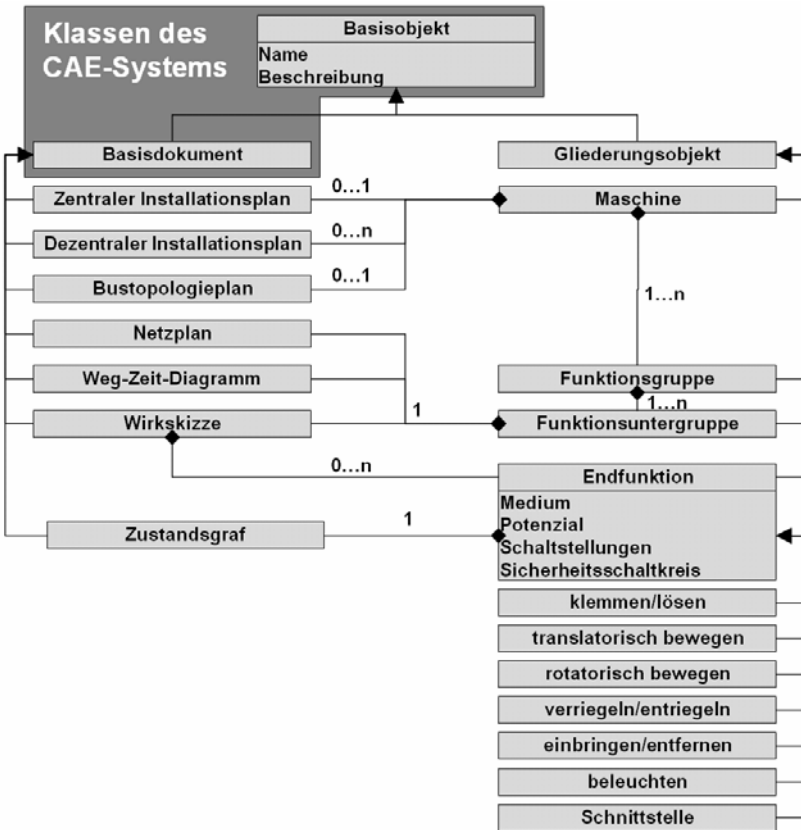


Bild 43: Klassendiagramm zur funktionalen Beschreibung einer Maschine gemäß den Vorgaben aus Kapitel 2

3.2.3 Planung von Abläufen

Teil der funktionalen Beschreibung einer Werkzeugmaschine gemäß 2.3.3 ist die Planung der Gutabläufe. Hierfür werden Netzpläne und Zustandsgrafiken verwendet. Der Benutzer der Software trägt in diesen Dokumenten Objektinstanzen und zugehörige Werte ein.

Jeder Netzplan kann eine beliebige Anzahl von Feldern enthalten, die durch die vier Zeitpunkte für den am frühesten bzw. spätesten möglichen Start- und Endzeitpunkt einer Aktion gekennzeichnet sind. Ferner müssen Arbeitsvorgänge aufeinander abgestimmt werden. Zur Planung von zeitlichen Abfolgen können Synchronisationsobjekte zwischen Arbeitsvorgängen platziert werden. Wie Felder können ihnen Zeitpunkte zugeordnet werden. Da sie jedoch selbst keine Zeitspanne zur Durchführung benötigen, besitzen sie lediglich einen am frühesten und einen am spätesten möglichen Zeitpunkt, an dem sie erreicht werden.

Zustandsgrafiken bestehen aus einer beliebigen Anzahl von stationären Zuständen, die durch einen zugehörigen Zielwert charakterisiert werden, und temporären Zuständen, die durch eine Durchführungszeit gekennzeichnet sind. Zustandsübergänge werden durch Transitionen erreicht, die durch eine Kombination von Schaltfolgen ausgelöst werden. Hierzu sind logische Verknüpfungen und Mess-elemente nötig.

Für jedes Feld eines Netzplans wird die Durchführungszeit dem zugeordneten temporären Zustand und der zu erreichende Zielwert dem assoziierten stationären Zustand entnommen. Mit diesen Informationen kann ein zugehöriges Weg-Zeit-Diagramm nach [DIN EN 60848] entsprechend dem Vorgehen aus 2.4.3 abgeleitet werden.

Um die Eindeutigkeit des Datenbestandes zu gewährleisten, werden in Feldern ausschließlich Ziel-, jedoch keine Startzustände definiert. Letztere ergeben sich aus dem Zielzustand desjenigen Feldes, das sich zuletzt auf den Zustandsgrafiken der gleichen Endfunktion bezieht (vgl. Bild 44).

Ohne die explizite Definition von Startzuständen sind jedoch die anfänglichen Werte aller Endfunktionen undefiniert. Abhilfe hierfür wird mit Initialisierungsobjekten geschaffen. Diese beziehen sich auf denjenigen Zustand, der zum Start eines Ablaufs angenommen wird. Das zugehörige Klassenmodell zeigt Bild 45.

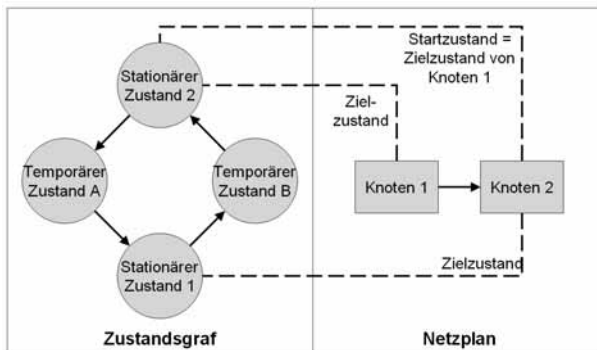


Bild 44: Automatische Zuordnung von Startzuständen des Netzplans über die Zielzustände des Vorgängerknotens

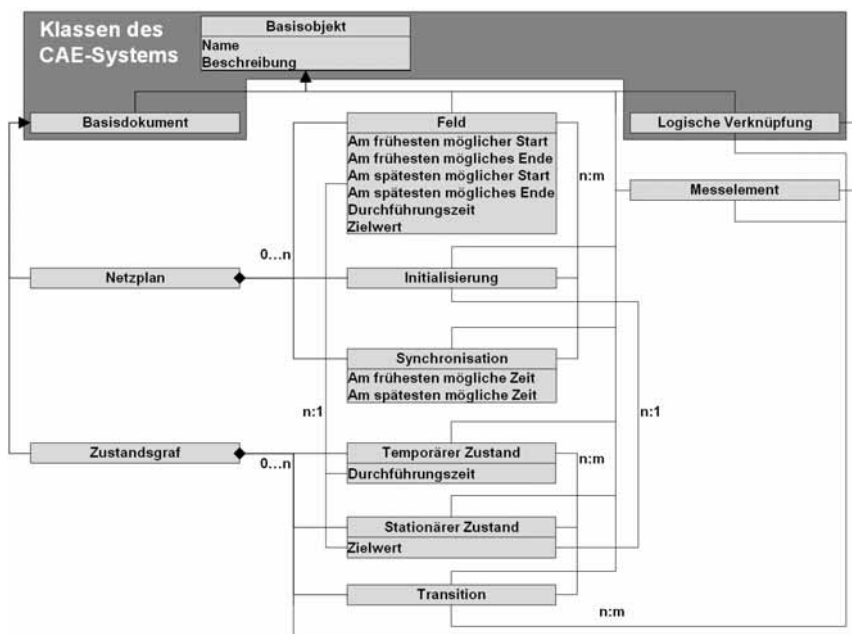


Bild 45: Klassendiagramm zur Beschreibung von Abläufen in Netzplänen und Zustandsgrafiken

4 Möglichkeiten der industriellen Anwendung

4.1 Beschreibung der Vorgehensweise

Kapitel 3 beschreibt die Struktur eines Computerwerkzeugs, mit dem Entwickler aus den Fachbereichen Maschinenbau, Elektro- und Fluidtechnik sowie Steuerungsprogrammierung gemeinsam die wesentlichen Merkmale eines mechatronischen Produktionssystems erarbeiten.

Um einer Anwendung in der industriellen Praxis den Weg zu ebnen, wurde im Rahmen eines Pilotprojekts ein Fräsbearbeitungszentrum im Werkzeugprototyp abgebildet (siehe auch [ZÄH U.A. 2004]). 4.2.1 beschreibt die Rahmenbedingungen, unter denen die Studie durchgeführt wurde, 4.2.2 ihre Zielsetzung. In 4.2.3 wird skizziert, wie das Pilotprojekt bearbeitet wurde. 4.2.4 gibt die wesentlichen Ergebnisse wieder.

4.3 beschreibt, aus welchen Gründen der Hersteller des CAE-Systems, auf dem der Werkzeugprototyp aufgesetzt wurde, diesen zu einem kommerziellen Produkt weiterentwickelt. Ferner wird kurz skizziert, wie diese Arbeiten durchgeführt werden.

4.2 Pilotprojekt

4.2.1 Ausgangssituation

Die Firma Gebrüder Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen stellt Fräsbearbeitungszentren sowie Transferstraßen her. Auf Grund der hohen Anzahl der in Anlagen notwendigen elektrischen Funktionen wird ein Großteil der Peripherie dezentral beschaltet. Hierzu werden Hybridleitungen eingesetzt, die einen Lichtwellenleiter mit Profibus sowie zwei Aderpaare mit 24 Volt Versorgungsspannung führen. Damit werden zwei Stromkreise gebildet, von denen einer ständig mit Spannung versorgt wird und der zweite durch sicherheitstechnische Beschaltungen unterbrochen wird.

Ferner werden zur Versorgung elektrischer Antriebe Drehstromkabel sowie Leitungen für den Anschluss analoger Sensoren und die Versorgung von Netzspannungskreisen zentral mit dem Schaltschrank verdrahtet.

Zur Kommunikation zwischen den an der Maschinenentwicklung beteiligten Fachbereichen werden Handzeichnungen, vereinzelt in AutoCAD gezeichnete Weg-Zeit-Diagramme sowie Microsoft Excel-Listen mit einer Aufzählung sämtlicher elektrischer Funktionen einer Maschine mit deren Bezeichnung, Betriebsmittelkennzeichnung, E/A-Adresse sowie weiteren Daten eingesetzt.

Der Verlauf von Kabeln muss aufgrund ihrer hohen Anzahl und des engen zur Verfügung stehenden Bauraums sorgfältig in der mechanischen Konstruktion geplant werden. Hierzu kommen Kabelwegepläne auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen zum Einsatz. Ihre Notation ist an [WAGNER 1995] angelehnt. Außerdem werden Topologiepläne, die Verbindungen der Hybridfeldbuskabel und die Belegung der angeschlossenen E/A-Module abbilden, sowie Zentralinstallationspläne eingesetzt, in denen sämtliche Kabel zwischen dem Schaltschrank und den Peripheriegeräten eingezeichnet werden. Erstellt und gepflegt werden diese Unterlagen in Microsoft Powerpoint.

Je nach Kundenvorgaben werden zur Konstruktion von Stromlaufplänen EPlan und DDS-C, von Fluidplänen EPlan und AutoCAD und von technischen Zeichnungen AutoCAD und Pro/Engineer eingesetzt.

Neben dem Funktionsumfang entsteht zusätzliche Komplexität bei der Maschinenprojektierung durch die große Anzahl möglicher Produktvarianten. Jede Anlage kann mit einer Vielzahl verschiedener Optionsbaugruppen ausgestattet werden. Als Folge unterscheidet sich die Anzahl der eingesetzten Installationskomponenten von Maschine zu Maschine. Somit kann eine fehlerhafte Planung von Installationswegen so lange unentdeckt bleiben, bis von einem Kunden eine Maschinenkonfiguration bestellt wird, die zu einem Konflikt führt.

Auf Grund der heterogenen Systemlandschaft (Microsoft Excel, AutoCAD, Powerpoint, EPlan, DDS-C, Pro/Engineer) wird ein Großteil der benötigten Entwicklungsdaten mehrfach gepflegt. Da zwischen den verschiedenen Plattformen keine funktional zufrieden stellenden Schnittstellen bestehen, muss die Wartung der Datenbestände manuell erfolgen.

Mit AutoCAD, Microsoft Excel und Powerpoint bildet ein wesentlicher Anteil der eingesetzten Software lediglich Konstruktionsdaten ab, nicht jedoch deren logische Zusammenhänge. Die Folge ist, dass die Zusammenhänge zwischen den Informationen vom Anwender erkannt und interpretiert werden müssen.

Aus den oben genannten Gründen ist ein hoher Bedarf für manuelle Arbeit an den verwendeten Programmen notwendig. Neben dem hohen personellen Aufwand besteht ein Nachteil in der grundsätzlichen Fehlbarkeit der Konstrukteure. Die Folge sind Inkonsistenzen in den Datenbeständen der verschiedenen Programme.

4.2.2 Zielsetzung

Zielsetzung der Pilotstudie war die vollständige Abbildung des Fräsmaschinentyps MCH-250 der Firma Gebrüder Heller Maschinenfabrik GmbH mittels der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Notationen im entwickelten Werkzeugprototyp. Darüber hinaus wurde die Neuentwicklung einer Baugruppe, die zum hauptzeitparallelen Rüsten der Maschine dient, begleitet.

Bei dem betrachteten Bearbeitungszentrum handelt es sich um eine Serienmaschine, die kundenindividuell mit verschiedenen Ausstattungsmerkmalen gekauft werden kann. Je nach gewählter Ausbaustufe ändert sich damit die anzufertigende Kundendokumentation. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde jedem Element des Kreislaufmodells ein Attribut mit der Bezeichnung „Optionsgruppe“ hinzugefügt. Dieses trägt entweder den Wert „Standardmaschine“ oder den Namen einer Ausbaustufe der Maschine. Kabel und E/A-Geräte, die nicht in allen Varianten zum Einsatz kommen, werden in den in Kapitel 2 beschriebenen Dokumenten gestrichelt eingezeichnet.

Ferner war die in 4.2.1 beschriebene Problematik der Systembrüche zwischen den verschiedenen Entwicklungsabteilungen zu adressieren. Hierzu war die grundsätzliche Möglichkeit nachzuweisen, dass mit geeigneten Schnittstellen zu anderen Systemen Konstruktionsdaten durchgehend in verschiedenen Fachbereichen verwendet werden können. Da die Dokumente „Weg-Zeit-Diagramm“ und „Installationspläne“ bereits im Werkzeugprototypen in befriedigendem Um-

fang erstellt und verwaltet werden, wurden diese dabei außen vor gelassen. Stromlauf- und Fluidpläne können zwar ebenfalls automatisch abgeleitet werden, unterliegen jedoch in der Geschäftspraxis meist strengen Kundenvorgaben. Vorgeschrieben werden unter anderem der Aufbau und die Struktur der einzelnen Planblätter, die abzubildende Anzahl von Adern je nach Kabelklasse sowie das CAD-System, in dessen Dateiformat die Enddokumentation zu erstellen ist. Um in einem begrenzten Zeitraum die grundsätzliche Durchführbarkeit nachzuweisen, wurde festgelegt, dass ein Export aller im Stromlaufplan verwendeten Bauteile nach DDS-C erfolgt. Die Platzierung der Komponenten im Stromlaufplan sowie die Vergabe von Betriebsmittelkennzeichen sind manuell vorzunehmen.

Außerdem sollte weiteres Potenzial zur Automatisierung verschiedener Tätigkeiten aufgezeigt werden. Hierzu wurde die Erstellung von Gravurzeichnungen für Schilder ausgewählt, mit denen Komponenten im Maschinenfeld beschriftet werden. Diese tragen neben der Betriebsmittelkennzeichnung den zugehörigen Funktionstext in bis zu drei frei wählbaren Sprachen. In der beschriebenen Anwendung wurden hierzu Vorlagen in AutoCAD erstellt. Je nach zu fertigenden Optionsgruppen der Maschine wurden diese geladen und die Funktionstexte anhand einer vorhandenen Übersetzungsdatenbank in die jeweils zu verwendenden Fremdsprachen übertragen.

Darüber hinaus war nachzuweisen, dass nicht nur bestehende Informationen in das Werkzeug übernommen werden können, sondern dass eine Neuentwicklung auch durch die Vorgehensweise und das Programm unterstützt werden kann. Hierzu wurde die Konzeption einer neuen Funktionseinheit mit der Bezeichnung „Hauptzeitparalleles Rüsten“ begleitet. Diese soll es ermöglichen, Werkzeuge auszuwechseln, während die Fräsmaschine betrieben wird. Vorteile ergeben sich insbesondere bei der Fertigung von Großserien, da beispielsweise abgenutzte Fräser ausgetauscht werden können, ohne die Maschine still zu setzen. Zu Beginn der Pilotstudie existierten bereits verschiedene Konzeptzeichnungen auf Papier, einfache 3D-Animationen und für jedes Konzept grundlegende Berechnungen dafür, wie lange die Kette des Werkzeugmagazins belegt wird.

4.2.3 Vorgehensweise

Die Fa. Gebrüder Heller Maschinenfabrik GmbH stellte zu Projektbeginn sämtliche Konstruktionsunterlagen bezüglich des zu betrachtenden Maschinentyps zur Verfügung. Nach einer ersten Sichtung wurden anhand von Konstruktionszeichnungen Wirkskizzen erstellt. Von den in der Funktionsliste aufgeführten Aktoren wurde auf die einzutragenden Funktionen geschlossen. Anhand der vorhandenen Weg-Zeit-Diagramme wurden für Abläufe Netzpläne sowie für die einzelnen Funktionen Zustandsgrafiken erstellt. In diese wurden die Sensoren eingetragen, wie sie in der Funktionsliste aufgeführt waren.

Aus den in Microsoft Powerpoint dokumentierten Verläufen der Wege für Hybridkabel sowie für zentral installierte Leitungen wurden die Dokumente „Topologieplan“ und „Installationsplan“ abgeleitet. Hierzu wurden die Aktoren, die den einzelnen eingepflegten Funktionen zugeordnet waren, in die jeweiligen Pläne eingetragen und mit Kabeln verbunden.

Zu jeder Funktion wurde ein Attribut hinzugefügt, das angibt, in welchem Lastspannungskreis (vgl. 4.2.1) diese eingeordnet wird. In den Grafiken werden die Lastspannungskreise durch firmenspezifische Farbcodes repräsentiert. Ferner wurde noch ein Datenfeld vorgesehen, in das eine Maschinenausbaustufe eingetragen werden kann, der eine Funktion zugeordnet ist. Darin wird entweder „Grundmaschine“ eingetragen, wenn ein Aktor bzw. die zugehörigen Sensoren in jeder Konfiguration einer Maschine verwendet werden, oder es wird ein Wert aus einer Liste von Optionsgruppen ausgewählt.

Zur Auswertung der Datenbasis wurden Routinen angefertigt, die zusätzlich zu den bereits vorhandenen Algorithmen (vgl. Kapitel 3) noch Funktionslisten, Schilderzeichnungen und Makros für DDS-C erstellen. Zur Erstellung der Funktionslisten wird ein Microsoft Excel-Worksheet erzeugt, in das sämtliche Funktionen aus Wirkskizzen und Sensoren aus Zustandsgrafiken eingetragen werden. Ergänzt werden noch weitere Daten, wie beispielsweise die Betriebsmittelkennzeichnung und daraus gemäß einer Firmenrichtlinie abgeleitet eine E/A-Adresse, die Optionsgruppe, der eine Funktion zugeordnet wird u.a.m.

Für Schilderzeichnungen können Maschinenausbaustufen ausgewählt werden, die festlegen, für welche Endfunktionen Beschreibungen erstellt werden. Für

jede Funktion einer Konfiguration werden Rechtecke mit den E/A-Adressen und den Funktionstexten ausgegeben. Die Übersetzungen in die gewünschten Fremdsprachen können für jedes Element in der zentralen Systemdatenbank hinterlegt werden.

Da die Fa. Gebrüder Heller Maschinenfabrik GmbH Stromlaufpläne unter anderem mit DDS-C anfertigt, musste der Ansatz nach 3.2.6, für die Elektrokonstruktion die Systemmodule des Werkzeugprototyps zu verwenden, verlassen werden. Stattdessen wurde eine Schnittstelle geschaffen, mittels derer die Elemente aus dem Kreislaufmodell (vgl. 2.2) ausgeschrieben werden. Es werden für jedes Element die Betriebsmittelkennzeichnung, wie sie im Werkzeugprototyp hinterlegt werden kann, der Funktionstext und eine Sachnummer ausgegeben, unter der die zugehörige Komponente im firmeneigenen Verwaltungssystem ERP-System eingetragen ist. Mit dieser wird das zugehörige Symbol für den Stromlaufplan identifiziert. Es wird auf diese Weise eine Makrodatei erzeugt, die bei ihrer Ausführung im Zielsystem DDS-C die entsprechenden Komponenten einfügt.

4.2.4 Ergebnisse

Mit den oben geschilderten Maßnahmen wurde am realen Beispiel nachgewiesen, dass eine in sich geschlossene Abbildung einer Werkzeugmaschine mittels der in Kapitel 3 beschriebenen Software möglich ist. Durch den Einsatz entsprechender Exportfunktionen für die Systeme Microsoft Excel, AutoCAD, Pro/Engineer und DDS-C wurde demonstriert, dass aus der angelegten Datenbasis Informationen in Stromlauf- bzw. Fluidpläne, 3D-CAD-Modelle, Weg-Zeit-Diagramme sowie diverse Listen und Skizzen übernommen werden können. Damit wird ein Grundstock gebildet, an dem sich die Detailkonstruktion in den einzelnen Disziplinen der Mechatronik orientieren kann. Auf den folgenden Seiten werden Bildschirmfotos des getesteten Werkzeugprototyps gezeigt, die im Laufe der Pilotstudie angefertigt wurden.

Bild 52 zeigt die Wirkskizze für die Funktionsgruppe „Hauptzeitparalleles Rüstten“. Neben dem Kettenmagazin mit einigen angedeuteten Werkzeugen ist auf der rechten Seite eine Indexiervorrichtung zu sehen, die Werkzeuge zwischen

5 Bewertung

5.1 Ergebnisse der Arbeit

Nach [JAYARAM & CHEN 2003] benötigt eine Spezifikation eines mechatronischen Systems eine *Abbildung*, eine *Syntax* und eine *Semantik*. Als *Abbildung* wird dabei die systematische Repräsentation von Eigenschaften in einem Diagramm oder Schema definiert. Unter *Syntax* wird dabei ein Regelwerk für grafische Symbole innerhalb einer Abbildung verstanden. Die *Semantik* definiert, wie syntaktische Inhalte miteinander in Beziehung stehen.

Aus einem Vergleich zwischen Elektro- und Fluidplanung (vgl. 2.2.1) wurde mit dem Kreislaufmodell eine *Abbildung* für die Infrastruktur einer Werkzeugmaschine geschaffen (vgl. 2.2.2). Differenziert wird zwischen den in den Kreisläufen befindlichen Medien „Signal“, „elektrische Energie“ und „Fluid“.

Die *Semantik* des Kreislaufmodells baut auf den Grundsätzen der Systemtheorie nach [DAENZER 1978] auf. Daher ist es auch abstrahierbar (vgl. 2.2.3). Es werden für die Planung von Elektro- und Fluidinfrastruktur zwei wesentliche Hierarchieebenen unterschieden. Die abstraktere davon beschreibt das Zusammenwirken verschiedener Kreisläufe. 2.2.5 erläutert das zugehörige *semantische* Regelwerk. In 2.2.4 werden die Grundsätze auf der Detailebene innerhalb eines Kreislaufs erörtert. Hier wird ebenfalls die gültige *Syntax* dargelegt. Für die Signalkreisläufe sind zur Gewährleistung geltender Sicherheitsstandards Ausnahmen von den Regeln in 2.2.4 nötig. Diese werden in 2.3.5 beschrieben.

Grundlage zur Planung der Fluid- und Elektrotechnik einer Werkzeugmaschine ist die Betrachtung der von ihr umgesetzten Funktionen. 2.3.1 erläutert, wie diese Elemente des Kreislaufmodells zugeordnet werden. Als Vorgehensweise wird ein Ansatz verfolgt, der beim umzusetzenden Prozess und den dafür benötigten Endelementen beginnt und auf der Grundlage entsprechender Entscheidungshilfen den Kreisläufen weitere Elemente hinzufügt (vgl. 2.3.2).

Zur Planung der Endelemente wird in 2.3.3 eine semiformale Notation vorgeschlagen, die über eine *Abbildung* und eine *Syntax*, jedoch nicht über eine *Semantik* verfügt. Neben dieser Form der Funktionsdefinition werden Abläufe in

zwei verschiedenen Detaillierungsstufen geplant. Folgen von Arbeitsschritten einer Funktionsgruppe werden in Netzplänen hinterlegt (vgl. 2.3.3). Außerdem werden in Zustandsgrafiken Befehlssequenzen für einzelne Endelemente notiert.

In 2.4.1 wird geschildert, wie die Kreislaufmodelle als Grundlage für Stromlauf- und Fluidpläne dienen. Darüber hinaus können die im Maschinenmodell hinterlegten Informationen in der mechanischen Konstruktion (vgl. 2.4.2) sowie zur Erstellung von Weg-Zeit-Diagrammen (vgl. 2.4.3) verwendet werden.

Ausgehend von der Reihenfolge, in der Daten gemäß der Methode nach Kapitel 2 erstellt werden (vgl. 3.1), wird erörtert, wie ein Softwarewerkzeug zur Unterstützung der Planung der Infrastruktur einer Maschine beschaffen sein kann (vgl. 3.2.2). In 3.2.3 bis 3.2.5 wird beschrieben, wie ein bereits am Markt erhältliches System (vgl. 3.2.1) ergänzt werden kann, um die Konstruktion zu unterstützen. Die Daten können nahtlos in Stromlauf- und Fluidpläne übernommen werden, da der Werkzeugprototyp auf ein entsprechendes System aufbaut (vgl. 3.2.6). Ferner werden Wege aufgezeigt, wie Informationen in ein 3D-CAD-System (3.2.7) und eine Umgebung zur Entwicklung von SPS-Programmen (3.2.8) übernommen werden können. Damit werden die drei Teildisziplinen der Mechatronik *Mechanik*, *Elektrik* und *Softwaretechnik* abgedeckt.

Im Rahmen eines Pilotprojektes wurden die Methode und die Software im Auftrag eines Herstellers für Fräsmaschinen verifiziert (vgl. 4.2). Weiteres Potenzial wurde mit der Ableitung von Schilderzeichnungen aus dem zentralen Datenbestand aufgezeigt. Der Prototyp wird derzeit von einem Softwarehersteller für CAD- und PDM-Lösungen zu einem kommerziellen Produkt weiter entwickelt (vgl. 4.3).

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 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 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 Dichtungs montage 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 **Ablaufsimulation - 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 - Produktivitätssteigerung 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 · Strukturodynamik 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

Forschungsberichte iwb

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

Forschungsberichte iwb 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 Mößmer, 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 Fahrer
Ganzeitliche 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