

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])

die Entwicklung von Maschinen gelegt, die einen eigenen elektrischen Antrieb besitzen. Ein Beispiel hierfür ist die elektrische Handbohrmaschine, die ab 1895 von der Firma Fein vermarktet wurde (vgl. [DEUTSCHES MUSEUM 2005]).

Für die maschinelle Fertigung in großen Stückzahlen wurden Kurvenscheiben konstruiert, die eine zeitliche Abfolge verschiedener Achsbewegungen ermöglichten. Somit konnten Anlagen automatisch fertigen. Es entstand mit der Einführung von Maschinen mit eigenen Antrieben der Bedarf für eine Elektroinstallation in den Fertigungshallen.

Später wurden einzelne Antriebe für jede Achse verwendet. Hierzu wurde der Einsatz von Steuerungen notwendig, die dann die Kurvenscheiben ersetzten (vgl. [DEUTSCHES MUSEUM 2005]). Da es dadurch möglich wurde, die Fertigung von Bauteilen durch ein Programm zu steuern, entfiel das zeit- und kostenintensive Umrüsten von Kurvenscheiben. Die Folge war eine höhere Flexibilität in der Produktion. Außerdem wurde es möglich, mit dem Einsatz von Sensoren die Funktionalität der Maschine sowie das Arbeitsergebnis zu überprüfen. Gleichzeitig wurde es jedoch notwendig, innerhalb von Anlagen Infrastruktur zur Übertragung von elektrischer *Energie* und von *Informationen* zu schaffen.

In modernen Produktionssystemen wird Infrastruktur benötigt für:

- *Fluide*: Im Maschinenbau sind Luft und Öl zum Betätigen von pneumatischen bzw. hydraulischen Aktoren Beispiele für häufig eingesetzte Medien. Ferner werden oftmals auch Kühl- und Schmiermittel über eine zentrale Versorgung bereitgestellt.
- *Elektrische Energie*: Insbesondere Motoren müssen mit Strom versorgt werden. Weitere elektrische Verbraucher, die in Maschinen vielfach eingesetzt werden, sind Steuerungen und Leuchtmittel. In den meisten Fällen erfolgt die Beschaltung über eine zentrale Einspeisung, die in einem Schaltschrank untergebracht wird. In großen Maschinen und Anlagen werden auch an verschiedenen Stellen Unterschaltschränke eingebaut.

- *Information:* Zum Regeln automatisierter Abläufe ist es notwendig, zwischen der Steuerung, den Aktoren und den Sensoren Nachrichten auszutauschen. Üblicherweise werden in modernen Maschinen Signale in Form elektrischer Spannungen oder Ströme übertragen.

Je komplexer ein Geflecht von Infrastrukturen wird, desto zielgerichteter muss es geplant werden, wenn es in der Lage sein soll, effizient zu arbeiten. Moderne Maschinen verfügen über eine Vielzahl von Aktoren, die mit Fluiden, elektrischer Energie oder Information versorgt werden. Entsprechend viel Aufwand muss in die Erstellung von Stromlauf- und Fluidplänen gesteckt werden. Etliche Komponenten, wie beispielsweise Füllstandssensoren und Ventile, werden dabei in beiden Dokumenten eingetragen. Somit entstehen umfangreiche Konstruktionszeichnungen mit gegenseitigen Abhängigkeiten.

Bild 2 zeigt als Beispiel den Fluidplan der Hydraulikversorgung derjenigen Fräsmaschine, die in 4.2 als Anwendungsbeispiel des Pilotprojekts dient. Auf einer Seite sind u.a. ein Hydraulikaggregat, ein Füllstandssensor und ein Durchflusssensor eingezeichnet. Diese drei Komponenten werden im Stromlaufplan ebenfalls abgebildet, sind dort jedoch auf verschiedenen Seiten zu finden.

Bei Anpassungs- und Änderungskonstruktionen besteht wegen der geschilderten Wechselwirkungen die Gefahr, dass Änderungen nicht vollständig übernommen werden. Durch entsprechende Automatismen bestünde die Möglichkeit, den Aufwand für die Konstruktion zu reduzieren und gleichzeitig Fehler zu vermeiden. Die vorliegende Arbeit soll hierzu die notwendigen theoretischen Grundlagen erörtern und erste Erfahrungen mit ihrer praktischen Anwendung schildern.

Ausgehend von der Bedeutung von Infrastrukturen (vgl. 1.1.2) werden allgemeine Ansätze zu deren Planung in verschiedenen Ingenieursdisziplinen in 1.2.1 betrachtet. Danach werden kurz gängige Methoden skizziert, die in den Disziplinen Maschinenbau (vgl. 1.2.2), Elektrotechnik (vgl. 1.2.3) und Softwaretechnik (vgl. 1.2.4) Verwendung finden.

Die größtmögliche Integration mechanischer, elektrischer und softwaretechnischer Komponenten wird gemeinhin als Mechatronik bezeichnet (vgl. [REINHART U.A. 2001]). Entwicklungsmethoden für mechatronische Systeme werden in 1.2.5 aufgezeigt. Nach [GAUSEMEIER & LÜCKEL 2000] werden