

Lehrstuhl für
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
der Technischen Universität München

**Steigerung der organisatorischen
Verfügbarkeit von Fertigungszellen**

Rolf Diesch

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Bender

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann,
Friedrich Alexander Universität Erlangen - Nürnberg

Die Dissertation wurde am 23.04.1999 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 13.07.1999 angenommen.

Forschungsberichte



Band 128

Rolf Diesch

***Steigerung der organisatorischen
Verfügbarkeit von Fertigungszellen***

*herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart*

Herbert Utz Verlag



Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek · CIP-Einheitsaufnahme

Diesch, Rolf:
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen /
Rolf Diesch. -
München : Utz, Wiss., 1999
(Forschungsberichte iwb ; 128)
Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999
ISBN 3-89675-6184

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 1999

ISBN 3-89675-618-4

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

Geleitwort des Herausgebers

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 und 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 Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu 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.

Gunther Reinhart

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, dem Leiter dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit sowie für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich Alexander Universität Erlangen - Nürnberg, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken, bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender für die Übernahme des Vorsitzes.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben, recht herzlich.

München, im September 1999

Rolf Diesch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Vorgehen	3
2	Definition des Betrachtungsbereichs	6
2.1	Überblick	6
2.2	Flexible Fertigungszellen	6
2.3	Technische und organisatorische Verfügbarkeit	8
2.4	Zentrale Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit	10
2.4.1	Wesentliche Grundlagen zentraler Ansätze	10
2.4.2	Bewertung zentraler Ansätze	13
2.5	Dezentrale Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit	14
2.5.1	Wesentliche Grundlagen dezentraler Ansätze	14
2.5.2	Anforderungen beim Einsatz dezentraler Ansätze	19
2.5.2.1	Anforderungen an zentrale Bereiche	19
2.5.2.2	Anforderungen an den Facharbeiter	20
2.5.3	Zusammenfassende Betrachtung dezentraler Ansätze	22
2.6	Resümee	22
3	Untersuchung der Aufgaben des Facharbeiters	24
3.1	Überblick	24
3.2	Grundlegende Überlegungen	24
3.3	Vorgehen des Facharbeiters	28

Inhaltsverzeichnis

3.4	Zusammenfassung	31
4	Stand der Forschung und Technik	33
4.1	Überblick	33
4.2	Funktionsumfang heutiger Steuerungen	33
4.3	Funktionsumfang herstellerübergreifend offener Steuerung	35
4.3.1	Zellenauftragsmanagement	37
4.3.2	Werkzeugmanagement	38
4.3.3	Zusammenfassung und Bewertung	40
4.4	Informationssysteme zur Unterstützung des Facharbeiters	41
4.4.1	Grundfunktionen von Informationssystemen	41
4.4.2	Systeme zur Information und Qualifizierung des Benutzers	44
4.4.3	Erweiterte Informationssysteme	47
4.4.4	Weitere Ansätze	53
4.4.5	Technischer Aufbau heutiger Informationssysteme	54
4.5	Zusammenfassung	55
5	Analyse der Anforderungen	57
5.1	Überblick	57
5.2	Funktionale Anforderungen	57
5.2.1	Ganzheitlichkeit	57
5.2.2	Berücksichtigung der Abhängigkeiten	60
5.2.3	Nutzung von Erfahrungswissen	62
5.2.4	Auffinden ähnlicher oder gleicher Aufträge	64
5.3	Strukturelle Anforderungen	64
5.3.1	Modularität	65
5.3.2	Integration in die Steuerung einer Fertigungszelle	67

5.3.3	Nutzung herstellerübergreifend offener Steuerungen	69
5.3.4	Handlungsorientierte Gestaltung der Benutzeroberfläche	70
5.4	Zusammenfassung	71
6	Konzept des Unterstützungssystems	73
6.1	Überblick	73
6.2	Bestimmung der Planungsbereiche	74
6.3	Entwicklung der Planungsfunktionen	80
6.3.1	Eingesetzte Modellierungstechnik	80
6.3.2	Planungsfunktionen des Bereichs Zeitermittlung	82
6.3.3	Planungsfunktionen des Bereichs Terminierung	85
6.3.4	Planungsfunktionen des Bereichs Arbeitsvorgänge Bearbeitung	88
6.3.5	Planungsfunktionen des Bereichs Material	89
6.3.6	Planungsfunktionen des Bereichs Werkzeuge	91
6.3.7	Planungsfunktionen des Bereichs Vorrichtungen	93
6.3.8	Planungsfunktionen des Bereichs Abläufe Bearbeitung	95
6.3.9	Planungsfunktionen des Bereichs Abläufe Rüsten	97
6.3.10	Planungsfunktionen des Bereichs Arbeitsvorgänge Rüsten	98
6.3.11	Zusammenfassung der Planungsfunktionen	100
6.4	Externe Schnittstellen	101
6.4.1	Schnittstelle zu übergeordneten Bereichen	101
6.4.2	Schnittstelle zur Steuerungsebene	103
6.5	Nutzungskonzept	105
6.6	Nutzung des Erfahrungswissens	108
6.7	Zusammenfassung	109
7	Realisierung des Unterstützungssystems	112

Inhaltsverzeichnis

7.1	Übersicht	112
7.2	Prototypische Realisierung	112
7.2.1	Grundlagen	112
7.2.2	Interner Aufbau	113
7.2.3	Integration in herstellerübergreifend offene Steuerungen	116
7.2.4	Integration in herstellerspezifische Steuerungen	119
7.2.5	Benutzungsoberfläche	121
7.3	Beispielhafte Umsetzung	123
7.4	Bewertung	125
8	Zusammenfassung und Ausblick	128
8.1	Zusammenfassung	128
8.2	Ausblick	129
9	Literaturverzeichnis	132

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Der wirtschaftliche Erfolg von Produktionsunternehmen in Deutschland wird mit einer Reihe von Erfolgsfaktoren in Zusammenhang gebracht. Unterschiedliche Studien haben gezeigt, daß eine hohe Liefertermintreue, das Vermeiden langer Durchlaufzeiten und das erreichen eines hohen Qualitätsniveaus wesentliche Kennzeichen erfolgreicher Unternehmen sind (*Henzler & Späth 1998, Kinkel & Lay 1998*). Allerdings zwingen die zunehmende Variantenvielfalt und die steigende Komplexität der Bearbeitung die Produktionsunternehmen dazu, ständig neue Lösungen zur Sicherung dieses Produktivitätsvorsprungs zu suchen. Aufgrund kürzerer Produktzyklen und wachsender Kundenorientierung erfordert dies eine hohe Flexibilität der Produktionsunternehmen und stellt neue Ansprüche an die Produktionstechnik (*Maßberg & Weigt 1997*).

Eine hohe Verfügbarkeit der Produktionsanlagen stellt die wesentliche Grundbedingung für die erfolgreiche Bewältigung dieser Anforderungen dar (*Brüggemann u. a. 1997*). Zur Sicherung ihres Produktivitätsvorsprungs ist es deshalb für Produktionsunternehmen von entscheidender Bedeutung, im Betrieb ihrer Anlagen eine hohe Verfügbarkeit sicherzustellen (*Wiendahl & Köhrmann 1997, Milberg & Koch 1993*).

Zur Steigerung der technischen Verfügbarkeit auf der Anlagenebene sind umfangreiche Forschungsarbeiten bekannt (z. B. *Schönecker 1992, Ebner 1996, Koch 1996*). Systeme zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit sind dagegen noch wenig untersucht worden. Dabei ergibt sich nur durch die Steigerung sowohl der technischen als auch der organisatorischen Verfügbarkeit eine anhaltende Erhöhung der Produktivität und damit die Sicherung des Produktivitätsvorsprungs von Unternehmen in Deutschland.

Einige Studien zeigen, daß insbesondere bei der Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit noch wesentliches Verbesserungspotential besteht. So haben *Milberg & Ebner (1994)* die mittleren Ausfall- und Nebennutzungszeitanteile für Bearbeitungszentren untersucht. Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, daß organisatorische Störungen mit 13% einen wesentlichen Anteil an den Stillstandszeiten haben. Die

Ursachen sind im Bereich der Werkzeugversorgung, der Materialversorgung, in der fehlerhaften Erstellung von NC-Programmen, in der Auftragsverwaltung oder in fehlendem Personal zu suchen (Abbildung 1-1). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch Untersuchungen von *Spath u. a. (1995)*, *Westkämper & Jeschke (1995)* oder *Wiendahl & Köhrmann (1997)*.

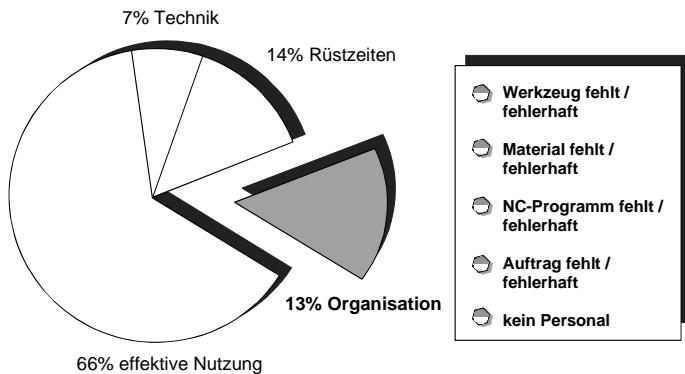


Abbildung 1-1: Mittlere Ausfall- und Nebennutzungszeitanteile für Bearbeitungszentren (nach Milberg & Ebner 1994)

Zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit werden mit steigender Tendenz dezentrale Organisationsformen im Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung eingeführt (*Reinhart 1997b*). Dabei werden kleine, autonome Funktionseinheiten gebildet und dem Facharbeiter an der Fertigungszelle Aufgaben aus dem Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung übertragen (*Warnecke 1996*). So übernimmt er im Rahmen der ihm zugestandenen Freiheitsgrade zum Beispiel die Feinterminierung von Aufträgen, die Auswahl von Werkzeugen und Vorrichtungen oder die Erstellung von NC-Programmen. Die wesentliche Motivation zur Einführung derartiger dezentraler Organisationsformen besteht darin, daß kleine, autonome Funktionseinheiten gegenüber großen, zentral organisierten Betrieben schneller und flexibler in der Lage sind, organisatorische Störungen und Engpässe auszugleichen (*Wiendahl 1995*).

Es fehlen allerdings geeignete Methoden und Werkzeuge, die den Facharbeiter bei der Erfüllung der ihm zusätzlich übertragenen Aufgaben unterstützen (*Gehlhaar*

1995). Dadurch ist die zielorientierte und effiziente Nutzung der dem Facharbeiter eingeräumten Freiheitsgrade im Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung nicht mehr sichergestellt, und es besteht die Gefahr, daß sich die erhofften Vorteile dezentraler Organisationsstrukturen ins Gegenteil verkehren (*Reinhart 1997b*). Die angestrebte Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit tritt nicht ein.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, ein Unterstützungssystem zu entwickeln, das dem Facharbeiter Hilfestellung bei der Nutzung der ihm zugestandenen Freiheitsgrade im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung bietet. Dadurch werden die bewußt geschaffenen Gestaltungsspielräume effektiver genutzt und Fehler im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung vermieden. So trägt das zu erarbeitende System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit einer einzelnen Fertigungszelle bei.

Um die bestehenden Defizite heutiger Unterstützungssysteme zu beseitigen, wird im Rahmen dieser Arbeit ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt. Ganzheitlich meint, daß durch den Facharbeiter alle Aufgaben der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung in einem Unterstützungssystem erledigt werden können. Um dies zu ermöglichen, müssen die engen Verflechtungen zwischen der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung betrachtet werden. Das zu entwickelnde System muß zudem modular aufgebaut sein und einfach in herstellerübergreifend offene Steuerungen integriert werden können. So wird sichergestellt, daß der Entwicklungs- und Anpassungsaufwand für das Unterstützungssystem gering gehalten und das System selbst einfach erweitert werden kann.

Um den Betrachtungsraum zu fokussieren, konzentriert sich diese Arbeit auf die Unterstützung des Facharbeiters an Flexiblen Fertigungszellen in dezentralen Organisationsformen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung.

1.3 Vorgehen

Im Rahmen der Arbeit wird wie folgt vorgegangen (Abbildung 1-2): Im Kapitel 2 wird die Definition des Betrachtungsbereichs vorgenommen. Dazu wird zunächst auf Flexible Fertigungszellen eingegangen und bevor dann die Begriffe zur techni-

ischen und organisatorischen Verfügbarkeit definiert werden. Dem schließt sich eine Diskussion der grundlegenden Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit an.

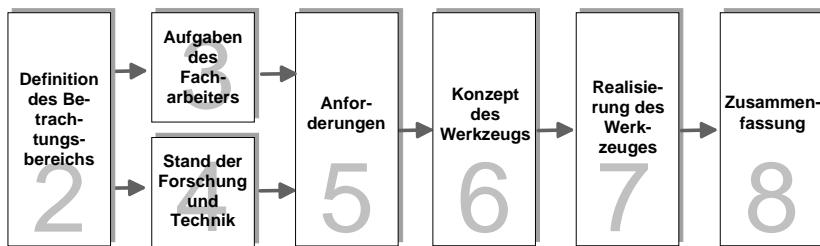


Abbildung 1-2: Vorgehen im Rahmen der Arbeit

Im Kapitel 3 werden die Aufgaben des Facharbeiters in dezentralen Strukturen für die Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung detailliert untersucht. Auf dieser Grundlage stellt das Kapitel 4 dann den Stand der Forschung und Technik im Bereich der Unterstützungssysteme für den Facharbeiter bei dezentralen Ansätzen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung vor. Dabei wird auf den Funktionsumfang heutiger Steuerungen, die Funktionalität herstellerübergreifend offener Steuerungen und auf heute bekannte Systeme zur Unterstützung des Facharbeiters eingegangen. Die wesentlichen Defizite werden beleuchtet und daraus in Kapitel 5 Anforderungen an zukünftige Systeme zur Unterstützung des Facharbeiters abgeleitet.

Auf der Basis der erarbeiteten Aufgaben des Facharbeiters und der ermittelten Anforderungen wird in Kapitel 6 das Konzept des zu entwickelnden Unterstützungssystems beschrieben. Dazu werden die erforderlichen Planungsbereiche und die dazu gehörigen Planungsfunktionen entwickelt. Eine Untersuchung der Schnittstellen des Systems und die Vorstellung eines Konzeptes zur Nutzung runden das Kapitel 6 ab.

Inhalt von Kapitel 7 ist die Darstellung einer prototypischen Realisierung des Unterstützungswerkzeuges. Besonderes Gewicht liegt dabei auf der Untersuchung der Möglichkeiten zur Integration des Werkzeuges sowohl in herstellerübergreifend offene als auch in herstellerspezifische Steuerungen. Eine Bewertung des Aufwands und des Nutzens des erarbeiteten Systems runden das Kapitel 7 ab.

Abgeschlossen wird die vorliegende Arbeit in Kapitel 8 mit einer Zusammenfassung und mit einem Ausblick auf mögliche, zukünftige Forschungsinhalte im Bereich der Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung.

2 Definition des Betrachtungsbereichs

2.1 Überblick

Das vorliegende Kapitel dient der Definition des Betrachtungsbereichs dieser Arbeit. Dazu wird zunächst auf Flexible Fertigungszellen eingegangen (Abschnitt 2.2). Sie stellen den wesentlichen Einsatzbereich des im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Unterstützungssystems dar. Im Abschnitt 2.3 folgt dann eine Klärung der wichtigsten Begriffe zur Verfügbarkeit. Dazu werden die entsprechenden VDI-Richtlinien herangezogen.

Zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit können zwei wesentliche Ansätze unterschieden werden. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit als zentraler Ansatz bzw. als dezentraler Ansatz bezeichnet. Die Abschnitte 2.4 und 2.5 verdeutlichen die grundlegenden Thesen beider Ansätze. Ein abschließendes Resümee (Abschnitt 2.6) steht am Ende des vorliegenden Kapitels.

2.2 Flexible Fertigungszellen

Nach *Kief* (1997, S. 410) versteht man unter einer Flexiblen Fertigungszelle „eine numerisch gesteuerte Einzelmaschine, meist ein Bearbeitungszentrum oder eine Drehzelle, ergänzt mit Einrichtungen für einen zeitlich begrenzten, bedienerlosen Betrieb zur Komplettbearbeitung von Werkstücken.“ Auch *Reinhart* (1997b, S. 248) oder *Weck* (1989, S. 526) geben eine ähnliche Definition. So faßt *Reinhart* (1997b, S. 248) eine Fertigungszelle auf als „eine Verantwortungseinheit in der Produktion, die in der Lage ist, Fertigungsaufträge als ganzes oder als Teilaufträge abzuarbeiten“.

Zur Auftragsabarbeitung stehen dem Benutzer der Zelle demnach eine numerisch gesteuerte Bearbeitungseinheit und zusätzliche Zellenperipherie zur Verfügung. An Zellenperipherie sind hier Werkstück- und Werkzeugspeicher, Meß- und Überwachungssysteme oder Handhabungsgeräte zu nennen (Abbildung 2-1). Die Zellenperipherie kann der Zelle auch nur für einen bestimmten Zeitraum zugeordnet sein und dann wieder einer anderen Zelle zur Verfügung stehen (*Glas* 1993). Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz mobiler Roboter, die aufgrund ihrer Flexibilität in ver-

schiedenen Fertigungszellen zu Handhabungsaufgaben eingesetzt werden (Naber 1991, Pischetsrieder 1996).

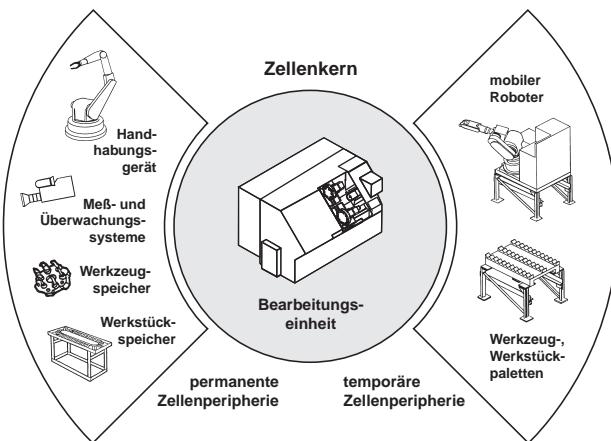


Abbildung 2-1: Bestandteile einer flexiblen Fertigungszelle (Glas 1993, S. 12)

Flexible Fertigungszellen sind nicht auf Mindest-Losgrößen angewiesen. Vielmehr werden mit ihnen auch Einzelstücke in beliebiger Reihenfolge bearbeitet. Der wesentliche Einsatzbereich liegt damit in der Fertigung von kleinen und mittleren Serien. Im Normalfall ist das Produktspektrum zum großen Teil bekannt und die technische Konzeption und die Organisation der Fertigungszelle auf die spezielle Fertigungsaufgabe angepaßt (Kief 1997, S. 412). Aber auch komplett neue Produkte sind nicht ausgeschlossen.

Um derart komplexe und auch teure Systeme wirtschaftlich betreiben zu können, ist die Sicherung einer hohen technischen und organisatorischen Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Deshalb soll im folgenden auf die Definition der Begriffe zur Verfügbarkeit näher eingegangen werden, bevor dann heutige Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit erläutert werden.

2.3 Technische und organisatorische Verfügbarkeit

Nach der VDI-Richtlinie 4004 Blatt 4 (*VDI 1986*) ist die Verfügbarkeit „die Wahrscheinlichkeit, daß an einer Betrachtungseinheit zur Betrachtungszeit keine als maßgeblich geltenden Störungen vorliegen, die unter den vorauszusetzenden Bedingungen die Erfüllung einer Funktion verhindern.“ Aus dem Blickwinkel der Produktionstechnik ist nach *Ebner* (1996, S. 9) unter der Verfügbarkeit „der zu erwartende Anteil an einem vereinbarten Zeitraum zu verstehen, in dem eine Maschine tatsächlich für die Produktion eingesetzt werden kann“.

Die VDI-Richtlinie 4004 Blatt 4 unterscheidet auf Basis dieser grundlegenden Definition verschiedene Verfügbarkeitskenngrößen. Diese sind hierarchisch aufgebaut. Dabei schließt die jeweils nächste Verfügbarkeitskenngröße die vorangegangene ein (Abbildung 2-2).

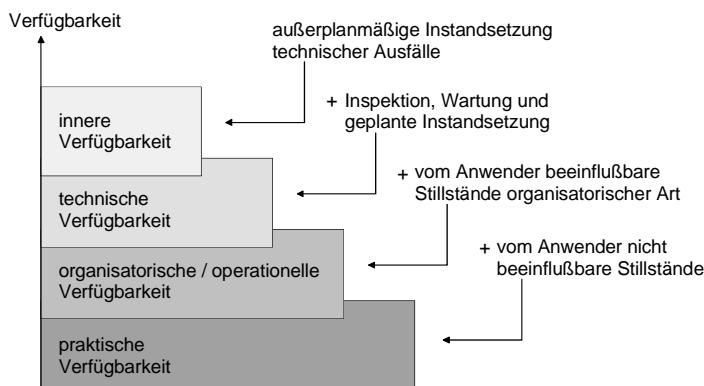


Abbildung 2-2: Verfügbarkeitskenngrößen nach VDI 4004, Blatt 4 (VDI 1986)

Für den Zusammenhang dieser Arbeit sind insbesondere die technische Verfügbarkeit und die organisatorische Verfügbarkeit von Bedeutung. Die *technische Verfügbarkeit* betrachtet neben technischen Ausfall- und Instandsetzungsvorgängen (*innere Verfügbarkeit*) zusätzlich noch Verschleißvorgänge und zugeordnete, vorsorgliche Instandhaltungsmaßnahmen, wie zum Beispiel Wartung und Inspektion. In Abgrenzung dazu umfaßt die *organisatorische oder operationelle Verfügbarkeit* zudem systeminterne, eigenbedingte Störungen, administrative, organisatorische und logi-

stische Verzögerungen und Wartezeiten, die dem Betreiber einer Produktionseinrichtung anzulasten sind. Fehlendes Personal oder fehlendes Material werden als Beispiele für Verzögerungen genannt, die Einfluß auf die organisatorische Verfügbarkeit haben (*Milberg & Ebner 1994, Mauderer 1998*).

Die Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit, wie sie als Ziel dieser Arbeit formuliert wurde, meint damit die Reduzierung der systeminternen, administrativen, organisatorischen und logistischen Verzögerungen und Wartezeiten, die durch den Betreiber der Produktionseinrichtung zu verantworten sind. Alle anderen Ansätze, die ebenfalls zur Steigerung der Gesamtverfügbarkeit einer Produktionseinrichtung führen, sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Aus den hier nur grob skizzierten Möglichkeiten zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit läßt sich ableiten, daß der Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung einen wesentlichen Einfluß auf die Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit hat. Denn laut *Hackstein (1989, S. 1)* kommt „der organisatorischen Rationalisierung immer mehr eine zumindest gleichrangige Bedeutung wie der technischen Rationalisierung zu“. Er fährt fort: „Im Rahmen dieser organisatorischen Rationalisierung geht es in der Produktion um eine effizientere Gestaltung ihres Ablaufs durch entsprechende Planung und Steuerung.“ (*Hackstein 1989, S. 1*). Dies meint nichts anderes als die Vermeidung organisatorischer und logistischer Wartezeiten und Störungen und damit die Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit.

Damit dienen die Ansätze zur Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung in der Produktion wesentlich dem Ziel, die organisatorisch bedingten Störungen im Produktionsablauf möglichst gering zu halten (*Martin 1998*). In diesem Zusammenhang können zwei verschiedene Organisationsformen im Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung unterschieden werden. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit als zentraler Ansatz und als dezentraler Ansatz zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung bezeichnet.

Zusätzlich gibt es noch weitere Maßnahmen, die nicht eindeutig zentralen oder dezentralen Ansätzen zuzuordnen sind. Dazu zählen sogenannte „Terminjäger“ oder „line runner“, deren alleinige Aufgabe es ist, verspätete Aufträge schneller durch die Produktion zu schleusen. Außerdem werden in manchen Betrieben Puffer an einzelnen Maschinen zum Beispiel im Bereich der Werkzeuge oder des Rohmaterials aufgebaut, um so Störungen in der Werkzeugversorgung oder im Materialfluß besser ausgleichen zu können. Alle diese Ansätze sind wenig methodisch und die-

nen kaum der systematischen Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit, sondern versuchen viel mehr, die auftretenden Symptome ungenügender Planung und Steuerung zu bekämpfen. Zusätzlich sind sie sehr von der Strategie des jeweiligen Unternehmens im Bereich der Produktionssteuerung abhängig. Aufgrund dieser methodischen Defizite sollen derartige Ansätze aus der Betrachtung dieser Arbeit ausgeklammert werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Grundzüge zentraler und dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung näher vorgestellt. Ziel dieser Darstellung ist es nicht, Handlungsanleitungen zu geben, welche Strategie unter welchen Randbedingungen vorzuziehen ist. Vielmehr sollen die wesentlichen Charakteristiken der beiden Ansätze herausgearbeitet werden.

2.4 Zentrale Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit

2.4.1 Wesentliche Grundlagen zentraler Ansätze

Auf dem Gebiet der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung haben schon seit Jahrzehnten umfangreiche Untersuchungen stattgefunden, von denen insbesondere die frühen Untersuchungen den zentralen Ansätzen zuzuordnen sind. So lieferten in den 60er Jahren *Hoss (1965)* und *Conway u. a. (1967)* erste Ergebnisse für den Bereich der Planung und Steuerung von Produktionsabläufen. Seitdem sind eine große Anzahl von Methoden und Systemen erarbeitet worden, über die hier nur ein kurzer Abriß gegeben werden soll.

Einen guten Überblick über die grundlegenden Ansätze im Bereich der Arbeitsplanung gibt zum Beispiel *Eversheim (1996a)*. Als Aufgabe der Arbeitsplanung wird hier festhalten, daß dort „ausgehend von den in der Konstruktion erstellten Zeichnungen und Stücklisten die zur Durchführung der Fertigungs- und Montageprozesse notwendigen Anweisungen in Form von Arbeits- und Montageplänen, NC-Programmen usw. erstellt werden“ (*Eversheim 1996a, S. 7-73*). Dazu wird die Arbeitsplanung in kurzfristige, kurz-/langfristige und langfristige Planungsaufgaben strukturiert. Kurzfristige Planungsaufgaben sind zum Beispiel die Erstellung von NC-Programmen oder die Erstellung eines Arbeitsplans, während die Investitions-

planung oder die Materialplanung den langfristigen Planungsaufgaben zuzurechnen sind.

Zur rechnerunterstützten Arbeitsplanerstellung existieren in verschiedenen Ausprägungen unterschiedliche Lösungen. *Koepfer (1991)*, *Schneewind (1994)* oder *Pfob (1998)* haben hier umfangreiche Analysen durchgeführt. Diese sogenannten CAP¹ - Systeme dienen dazu, einzelne Tätigkeiten aus der Arbeitsplanung zu automatisieren. So stellen sie Informationen aus vorangegangen Planungsschritten zur Verfügung, speichern Daten bereits abgeschlossener Planungsvorgänge und ermöglichen über Methoden der Ähnlichkeitssuche das Auffinden von Arbeitsplänen ähnlicher oder gleicher Werkstücke (*Krönert 1998*).

Im Unterschied zur Arbeitsplanung besteht die Aufgabe der Arbeitssteuerung darin, die Termine und die Reihenfolge der Auftragsabwicklung in Fertigung und Montage festzulegen und die Einhaltung dieser Vorgaben zu überwachen (*Wiendahl 1996*). Diese Aufgaben werden oft mit Hilfe spezialisierter Rechnersysteme, sogenannter PPS² - Systeme, erledigt. Einen guten Überblick hierüber findet man zum Beispiel bei *Eversheim (1996b)*. Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung sind oft modular aufgebaut. Typische Elemente in dieser modularen Strukturierung sind zum Beispiel Module zur Losgrößenwahl, zur Maschinenbelegung, zur Optimierung von Auftragsreihenfolge oder Durchlaufzeit (*Martin 1998*).

Für die Auftragssteuerung sind in Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen leistungsfähige Algorithmen hinterlegt. Zu nennen sind hier etwa das MRP-II-Konzept, das Kanban-Prinzip, die belastungsorientierte Auftragsfreigabe oder die Optimized Production Technology. Um einen genaueren Überblick über die in diesem Zusammenhang entwickelten Algorithmen zu bekommen, sei der Leser auf *Eversheim (1996b)* oder *Maßberg u. a. (1998)* verwiesen.

Für Anwendungen in den Bereichen Fertigungs- und Werkstattsteuerung oder Steuerung von Flexiblen Fertigungssystemen sind ebenfalls zahlreiche Arbeiten erschienen. *Kupec (1991)*, *Huthmann (1995)*, *Sonnenschein (1998)* oder *Martin (1998)* können hier genannt werden.

¹ Computer Aided Planning

² Produktionsplanung- und -steuerung

Die meisten Systeme zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung werden zentral eingesetzt. Dies bedeutet, daß sie aus einer übergeordneten Sicht heraus Planungs- und Steuerungsaufgaben für mehrere untergeordnete Unternehmensbereiche wie zum Beispiel Fertigungszellen übernehmen. Das Ergebnis der Planungsvorgänge wird dann an die einzelnen Fertigungszellen weitergegeben. Dabei findet im wesentlichen eine gerichtete Kommunikation von „oben“ nach „unten“ statt. Außerdem haben die Facharbeiter an den einzelnen Fertigungszellen keine Freiheitsgrade, um die von „oben“ getroffenen Entscheidungen zu ändern oder an ihre spezielle Situation anzupassen. Schematisch ist dieser Zusammenhang in der Abbildung 2-3 dargestellt.

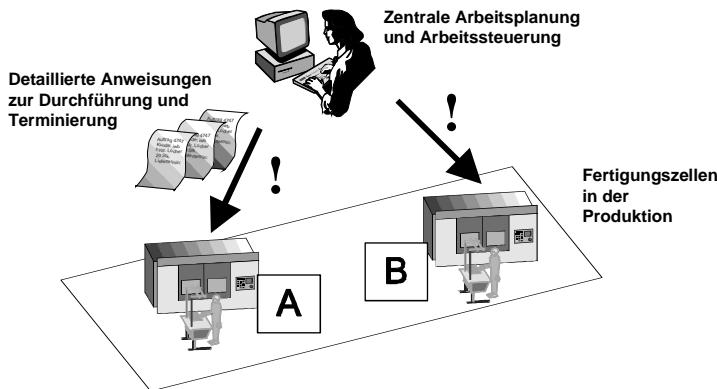


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung zentraler Ansätze

Bei zentralen Ansätzen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung wird also an einer übergeordneten Stelle in der Produktion das gesamte Wissen über die komplexen Zusammenhänge im Unternehmen konzentriert. Zudem sind dort die notwendigen mächtigen Algorithmen und das erforderliche Know-how zur Produktionsplanung und -steuerung abgelegt. Aufbauend auf dieses Wissen werden dort die erforderlichen Entscheidungen zur Planung und Steuerung der Produktion getroffen. Dies gilt sowohl für das Aufgabenfeld der Arbeitsplanung, zu dessen Bearbeitung oft eigene, spezialisierte Abteilungen gebildet werden, als auch für die Arbeitssteuerung.

2.4.2 Bewertung zentraler Ansätze

An den beschriebenen Grundthesen wird allerdings auch die wesentliche Kritik zentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung festgemacht (Abbildung 2-4). Gerade durch die Konzentration der gesamten Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung an einer zentralen Stelle entsteht dort ein hoher Aufwand (Koch 1996). Um in der zentralen Instanz laufend ein aktuelles Abbild der Produktion zur Verfügung stellen zu können und um die getroffenen Entscheidungen an die Produktion weitergeben zu können, ist zusätzlich ein hoher, vertikaler Kommunikationsaufwand zwischen der zentralen, planenden Instanz und den ausführenden Fertigungszellen erforderlich. Um hier einen Engpaß zu vermeiden, müssen sowohl auf Seiten der zentralen Instanz als auch auf Seiten der Kommunikation sehr leistungsfähige Systeme eingesetzt werden.

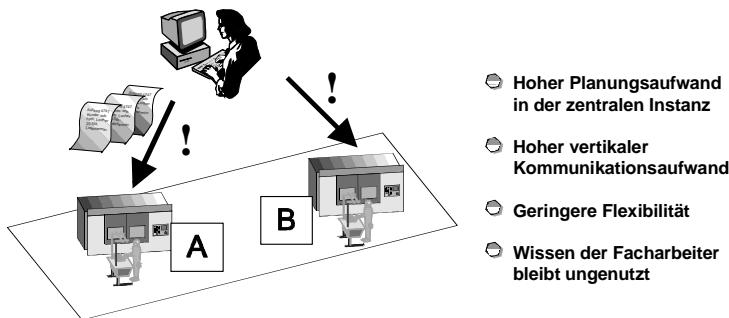


Abbildung 2-4: Defizite zentraler Ansätze

Zudem wurde in Untersuchungen festgestellt, daß die Flexibilität der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung durch zentrale Ansätze spürbar eingeschränkt wird (Reinhart 1997b). So können Anpassungen an veränderte Organisationsstrukturen oder eine schnelle Reaktion auf Störungen im Produktionsablauf nur mit Mühe erreicht werden.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, daß durch die zentrale Feinplanung lokale Optimierungsmöglichkeiten behindert werden. Wiendahl (1987, S. 23) beschreibt dies so: „Die immer aufwendigeren Systeme lassen dem „Mann vor Ort“ immer weniger Spielraum für eigenständige Entscheidungen.“ Damit wird das Fachwissen der Ma-

schinenbenutzer nicht genutzt. Eine Folge hiervon ist, daß die zentralen Systeme in der Praxis unterlaufen und durch informelle Systeme, die im wesentlichen durch die Meister in der Produktion getragen werden, ersetzt werden (*Reinhart 1997b*).

Die Beseitigung der beschriebenen Defizite war in der Vergangenheit und ist auch heute eine wesentliche Motivation für die Einführung dezentraler Ansätze, wie sie im folgenden Kapitel 2.5 vorgestellt werden.

2.5 Dezentrale Ansätze zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit

2.5.1 Wesentliche Grundlagen dezentraler Ansätze

Dezentrale Organisationsstrukturen als Maßnahme zur Produktivitätssteigerung stammen ursprünglich aus Japan. In Europa und in den USA wurden die wesentlichen Grundlagen dieser Ansätze durch eine vergleichende Studie von *Womack u. a. (1990)* einem breiteren Kreis von Forschern und Praktikern bekannt. In dieser Studie untersuchen die Autoren die Produktivität von japanischen, europäischen und amerikanischen Automobilunternehmen. Gleichzeitig werden Gründe für den Produktivitätsvorsprung der japanischen Konkurrenten genannt.

Die Beschreibung der erfolgreichen Strategie der fernöstlichen Wettbewerber fassen die Autoren in dem von ihnen geschaffenen Kunstwort „lean production“ zusammen. Wesentliche Grundlage der „lean production“ ist die Organisation großer, komplexer Betriebe in kleine, autonome Funktionseinheiten (*Warnecke 1992, Zahn & Dillup 1994, Kluth & Storr 1997*). Nach dem Prinzip geschlossener Verantwortungsbereiche werden in diesen Funktionseinheiten Bauteile oder Baugruppen eines Produktes vollständig und eigenständig produziert (*Wiendahl 1997*). Diese Funktionseinheiten können zum Beispiel Produktionsteams, Fertigungsinseln oder Fertigungszellen sein (*Wiendahl u. a. 1995, Specht u. a. 1998*).

Diese Einführung eigenständiger Funktionseinheiten geht einher mit einer Verringerung der vertikalen Arbeitsteilung zwischen planenden und ausführenden Bereichen. Das von *Taylor (1919)* wesentlich geprägte, arbeitsteilige Vorgehen wird aufgebrochen. Dies bedeutet, daß Kompetenzen aus den zentralen Bereichen der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung in die ausführenden Bereiche der Produktion und damit auch auf den Facharbeiter verlagert werden (*Reinhart 1997b*).

Dabei werden den einzelnen, autonomen Funktionseinheiten Handlungsspielräume für eigenständige Entscheidungen im Bereich der Planung und Steuerung eingeräumt (Ihara 1993, Fleig & Schneider 1996). Damit geht aber auch die Verantwortung für Mengen, Termine, Qualität, Kosten und Bestände von zentralen, planenden Bereichen auf die neu geschaffenen, dezentralen Funktionseinheiten und deren Facharbeiter über (Braun u. a. 1995). Die zentralen Bereiche sind nur mehr für die Festlegung der Randbedingungen und die Koordination und Abstimmung der Planungsergebnisse der dezentralen Bereiche zuständig. Die Wirtschaftlichkeit der Produktion wird damit wesentlich durch die Ergebnisse der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung innerhalb dieser Funktionseinheiten bestimmt.

Insgesamt ergibt sich somit eine Erweiterung der Aufgaben des einzelnen Facharbeiters, der als Benutzer einer Fertigungszelle Teil einer derartigen autonomen Funktionseinheit ist. Neben der reinen Benutzung der ihm zugeteilten Fertigungszelle muß er zusätzliche Aufgaben übernehmen, die früher von zentralen Bereichen bearbeitet wurden (Spur 1995).

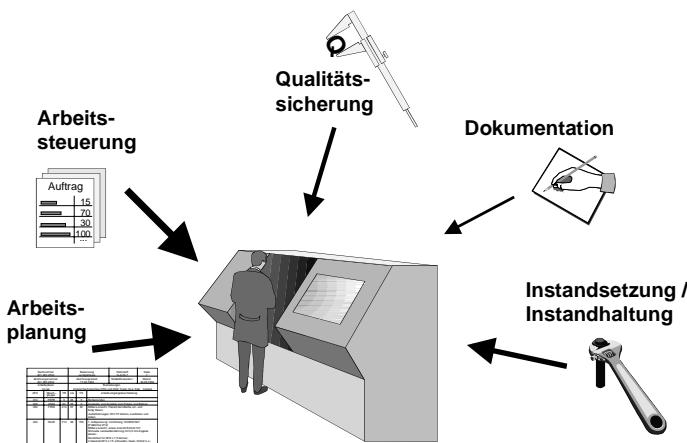


Abbildung 2-5: Zusätzliche Aufgabenbereiche des Facharbeiters in dezentralen Organisationsstrukturen

Wie in der Abbildung 2-5 dargestellt, können diese zusätzlichen Aufgaben des Facharbeiters in fünf wesentliche Aufgabenbereiche strukturiert werden. Dies sind

Arbeitsplanung, Arbeitssteuerung, Qualitätssicherung, Dokumentation und Instandsetzung / Instandhaltung (*Kluth & Storr 1997*).

- Die zusätzlichen Aufgaben im Feld der **Arbeitsplanung** liegen für den Facharbeiter in der Auswahl von Rohmaterial, Werkzeugen und Vorrichtungen, in der Erstellung und Optimierung von NC-Programmen und in der Programmierung und Optimierung von zelleninternen Abläufen (*Pfob 1998*). Die Planung eines effizienten Rüstvorgangs für die Fertigungszelle wird im Rahmen seiner Aufgaben zur Arbeitsplanung ebenfalls vom Facharbeiter an der Fertigungszelle übernommen. In der Verkürzung der Rüstzeit liegt noch erhebliches Potential zur Steigerung der Verfügbarkeit und damit der Produktivität brach (*Spath u. a. 1995*).
- Im Bereich der **Arbeitssteuerung** wird dem Facharbeiter die Feinplanung von Aufträgen und die Optimierung der Auftragsreihenfolge übertragen (*Ansorge 1998, Bierschenk 1997*). Weiterhin werden ihm Aufgaben im Bereich der Betriebsmittelsteuerung (*Banaszak & Biewald 1995, Storr u. a. 1995*) und der Steuerung des Materialflusses zugeordnet (*Blessing 1998*).
- Die erweiterten Aufgaben in der **Qualitätssicherung** ergeben sich daraus, daß der Facharbeiter zusätzlich für das Erstellen und Überarbeiten von Prüfplänen und für das eigenständige Durchführen der Qualitätsprüfung zuständig ist (*Pfeiffer u. a. 1998, Redeker u. a. 1998*).
- Nicht zuletzt werden dem Facharbeiter erweiterte Aufgaben im Bereich der **Dokumentation** zugeordnet. Er muß Maschinen- und Betriebsdaten erfassen und ablegen oder Prüfergebnisse aufnehmen und für spätere Auswertungen festhalten (*Mengedoht u. a. 1997*).
- Bei der **Instandsetzung** und **Instandhaltung** werden dem Facharbeiter erweiterte Aufgaben in der Fehlererkennung, Fehlerlokalisierung und Fehlerbehandlung sowie in der Wartung übertragen (*Kljajin 1998, Diesch & Koch 1995*).

Nicht immer wird der Facharbeiter in der Produktion alle dieser Aufgaben in ihrer vollen Ausprägung übernehmen. Vielmehr ist die konkrete Festlegung der Umfänge der Aufgaben abhängig von der Strategie des jeweiligen Unternehmens.

Durch diese zusätzlichen Aufgaben muß sich der Facharbeiter aktiv mit dem Produktionsprozeß befassen und eigenständig Verbesserungspotentiale erkennen und erschließen (*Niefer 1993*). Nur so kann er seiner gestiegenen Verantwortung für die

Planung und Durchführung einer wirtschaftlichen Produktion in seinem Zuständigkeitsbereich gerecht werden.

Zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit – dem wesentlichen Ziel dieser Arbeit – sind insbesondere die zusätzlichen Aufgaben aus den Feldern der Arbeitssteuerung und der Arbeitsplanung von großem Interesse. Die Arbeitsfelder der Qualitätssicherung und der Dokumentation sind nicht direkt mit der organisatorischen Verfügbarkeit verknüpft und müssen deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht in den Vordergrund gerückt werden. Die Instandsetzung und die Instandhaltung sind der technischen Verfügbarkeit zuzuordnen und damit Gegenstand anderer Arbeiten (z. B. Schönecker 1991, Koch 1996a). Deshalb konzentriert sich diese Arbeit im folgenden auf die Aufgabenfelder der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung.

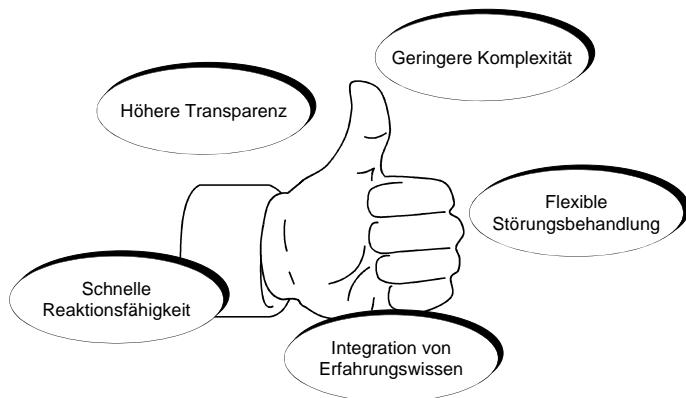


Abbildung 2-6: Vorteile dezentraler Organisationsformen bei der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung

Die Einführung dezentraler Organisationsformen ist für Produktionsunternehmen mit einigen Vorteilen verbunden (Abbildung 2-6). Als wesentliche Motivation zur Einführung dezentraler Strukturen wird genannt, daß kleine, autonome Funktions-einheiten gegenüber großen, zentral organisierten Betrieben schneller und flexibler in der Lage sind, auf sich ändernde Randbedingungen zu reagieren (Wiendahl 1995). Durch ihre geringere Größe steigt die Transparenz innerhalb der Funktions-bereiche und sinkt die zu beherrschende Komplexität (Becker u. a. 1995, Wilde-mann 1997). Die höhere Transparenz und die geringere, zu beherrschende Komple-

xität ermöglichen die heute geforderte, flexible Reaktion auf die schnellen Bewegungen des Marktes (Warnecke 1992, Westkämper 1997).

Diese kurzfristige Reaktionsfähigkeit wird besonders dann deutlich, wenn aufgrund von Störungen in der Produktion rasche Umplanungen von Aufträgen erforderlich werden (Westkämper & Unger 1995). Aufgrund der Zusammenführung von Aufgaben der Planung, der Steuerung und der Durchführung beim Facharbeiter an einer Fertigungszelle können Umplanungen schnell, zielgerichtet und wirtschaftlich durchgeführt werden (Baum u. a. 1997).

Ein weiterer Faktor, der für die Einführung dezentraler Organisationsformen in der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung spricht, ist die Möglichkeit, das Erfahrungswissen des Facharbeiters unmittelbar in den Produktionsprozeß einbringen zu können (Imai 1992, Guerra 1997). Aufgrund seiner Nähe zum Fertigungsprozeß besitzt der Facharbeiter die besten Kenntnisse über die Abläufe und Probleme in der Produktion (Warnecke & Augustin 1996). Seine Kreativität und seine Leistungsbereitschaft – gerade auch bei der Auswahl geeigneter Strategien zur Fehlervermeidung oder Fehlerbeseitigung – können durch eine Erweiterung der Arbeitsinhalte des Facharbeiters geweckt und gefördert werden. Da dieses Erfahrungswissen und die Eigenverantwortlichkeit des Facharbeiters zunehmend als Produktionsfaktor an Bedeutung gewinnen, wird diese Möglichkeit zur Integration und Nutzung des Wissens des Facharbeiters zunehmend wichtiger (Diesch & Koch 1996).

Dieser Zunahme an Arbeitsinhalten und an Verantwortung auf der Seite des Facharbeiters muß Rechnung getragen werden. So müssen dem Facharbeiter Werkzeuge an die Hand gegeben werden, die ihn bei der Ausfüllung der ihm zugestandenen Freiheitsgrade unterstützen (Fleig & Schneider 1996). Ein derartiges System zur Unterstützung des Facharbeiters muß durch das dezentrale Bereitstellen von Informationen die geforderten Entscheidungen des Facharbeiters ermöglichen und unterstützen. Es muß helfen, Fehler in der lokalen Planung und Steuerung zu vermeiden, die sonst die gewünschten Effekte der Dezentralisierung ins Gegenteil verkehren würden (Kakino u. a. 1998). Stehen mehrere Entscheidungsmöglichkeiten zur Auswahl, muß ein Unterstützungsstystem ergänzende Informationen zur Verfügung stellen, um so ein aus der Sicht des Unternehmens sinnvolles Ausfüllen der dezentralen Freiheitsgrade zu sichern (Mårtensson u. a. 1993).

Die Unterstützung des Facharbeiters durch geeignete, informationstechnische Systeme ist ein wesentlicher Baustein dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Martinetz & Mertens 1998). Erst durch eine entsprechende Unter-

stützung wird es für den Facharbeiter möglich, die ihm zugestandenen dezentralen Freiheitsgrade im Sinne des gesamten Unternehmens zu nutzen (*Lorenz & Hartmann 1998*).

Derartige Unterstützungssysteme können in Form von Steuerungsfunktionen abgebildet sein, die dem Facharbeiter direkt an seiner Fertigungszelle zusätzliche Informationen zur Verfügung stellen. Sie können aber auch als sogenannte Informationsysteme ausgeführt sein und damit Unterstützungsfunktionen bereitstellen, die über den Bereich der Steuerungsfunktionen weit hinausgehen (siehe Kapitel 3).

2.5.2 Anforderungen beim Einsatz dezentraler Ansätze

Der erfolgreiche Einsatz dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ist an Anforderungen geknüpft, die innerhalb des Unternehmens berücksichtigt werden müssen. Ohne die Beachtung dieser Anforderungen ist die sinnvolle und wirtschaftliche Nutzung der geschaffenen, dezentralen Freiheitsgrade nicht möglich. Zunächst soll hier auf Anforderungen an die zentralen Bereiche genauer eingegangen werden, bevor dann im nächsten Abschnitt die Anforderungen an den Facharbeiter näher erläutert werden.

2.5.2.1 Anforderungen an zentrale Bereiche

Die Anforderungen an die zentralen Bereiche ergeben sich im wesentlichen aus den grundlegenden Thesen dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung, wie sie in Kapitel 2.5.1 beschrieben worden sind.

Wichtigste Randbedingung für den erfolgreichen Einsatz dezentraler Ansätze ist die bewußte Verlagerung von Entscheidungskompetenz von zentralen, planenden Bereichen auf die dezentralen Funktionseinheiten in der Produktion (*Eversheim 1995*). Dadurch werden die Arbeitsplanung und die Arbeitssteuerung aufgeteilt (*Ferstl & Mannmeusel 1995*). Sie zerfallen in einen grobplanenden Teil, der weiterhin den zentralen Bereichen vorbehalten bleibt, und in einen feinplanenden Teil, der jetzt den autonomen Funktionseinheiten übertragen ist (*Bongaerts u. a. 1998*). Dies ist zunächst mit einem Verlust an Kompetenz in zentralen Bereichen verbunden (*Blöchl 1997*).

Wenn auch damit vielleicht der Arbeitsumfang in den zentralen, planenden Bereichen abnimmt, so verringert sich die Bedeutung der zentralen Bereiche auf keinen

Fall. Denn den zentralen Bereichen kommt die wichtige Aufgabe zu, die Randbedingungen für die dezentralen Planungsfreiraüme festzulegen. Dieses Abstecken der dezentralen Freiheitsgrade ist von großer Bedeutung (Storr u. a. 1997). Werden die Freiheitsgrade zu groß gewählt, so können die Planungsaufgaben nicht mehr wirtschaftlich in den dezentralen Funktionseinheiten bewältigt werden. Sind die Freiheitsgrade zu klein, so gehen die beschriebenen Vorteile der Dezentralisierung ganz oder teilweise verloren (Reinhart 1997a, Decker & Gallasch 1996).

Neben dieser Festlegung der Freiheitsgrade muß in den zentralen Bereichen weiterhin eine Koordination und Abstimmung der Planungsergebnisse der dezentralen Bereiche stattfinden (Reinhart 1997b). Diese koordinierende Funktion der zentralen Bereiche stellt sicher, daß auch aus der Sicht des gesamten Unternehmens wirtschaftlich produziert wird und nicht ausschließlich aus der lokalen Sicht der jeweiligen Funktionseinheit optimale Ergebnisse bei der dezentralen Planung und Steuerung entstehen (Tseng u. a. 1998).



Abbildung 2-7: Anforderungen an zentrale Bereiche

Zusammenfassend sind diese Anforderungen in der Abbildung 2-7 dargestellt.

2.5.2.2 Anforderungen an den Facharbeiter

Durch die ihm zusätzlich übertragenen Kompetenzen ändert sich das Profil des Facharbeiters, der bisher vielleicht nur daran gewöhnt war, die Anweisungen seines

Meisters auszuführen. In Anlehnung an *Kees* (1995) können dabei die folgenden Anforderungen festgehalten werden (Abbildung 2-8).

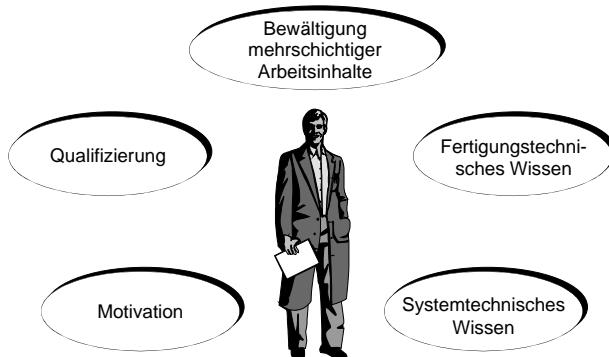


Abbildung 2-8: Anforderungen an den Facharbeiter

Zunächst muß die Bereitschaft aller Mitarbeiter eines Betriebes vorhanden sein, die neue und größere Verantwortung auch zu übernehmen und auszufüllen (*Fleig & Schneider* 1995). Diese Motivation des einzelnen Facharbeiters, die ihm zugestandenen Freiheitsgrade verantwortungsvoll nach bestem Wissen und Gewissen auszufüllen, ist eine wichtige Grundvoraussetzung für den Erfolg dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Dies genügt aber alleine nicht. Vielmehr ist die Qualifizierung des Facharbeiters für diese neuen Aufgaben von entscheidender Bedeutung (*Hurtz* 1996).

Neben der Motivation und der Qualifizierung des Facharbeiters ist seine Fähigkeit, mehrschichtige Arbeitsinhalte zu bewältigen, eine weitere Voraussetzung für den Erfolg dezentraler Ansätze (*Gehlhaar* 1995). Denn neben der reinen Maschinenbedienung muß der Facharbeiter jetzt Aufgaben aus der Logistik, Arbeitsplanung, Instandhaltung, Qualitätssicherung und Dokumentation übernehmen. Um diese Aufgaben erfüllen zu können, muß der Facharbeiter über ein hohes, fertigungstechnisches Wissen verfügen. Zusätzlich benötigt er ein grundlegendes, systemtechnisches Wissen, um die Zusammenhänge innerhalb der Produktion erfassen und beurteilen zu können.

2.5.3 Zusammenfassende Betrachtung dezentraler Ansätze

Die Analyse dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung hat gezeigt, daß mit der Einführung autonomer Funktionseinheiten grundlegende Veränderungen in der Organisationsstruktur eines Unternehmens verbunden sind. Diese Veränderungen betreffen nicht nur die zentralen Bereiche der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung, sondern wirken sich auch auf der Ebene der Facharbeiter an einer Fertigungszelle aus. Dem Facharbeiter werden zusätzliche Aufgaben übertragen, die für eine wirtschaftliche Produktion von entscheidender Bedeutung sind. Sein Fachwissen und seine Kreativität sollen zur Bewältigung dieser Aufgaben eingesetzt werden. Ein System zur Unterstützung des Facharbeiters bei seinen erweiterten Aufgaben ist für die erfolgreiche Umsetzung dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung von entscheidender Bedeutung.

2.6 Resümee

Zur Definition des Betrachtungsbereichs wurden im Kapitel 2 die für diese Arbeit grundlegenden Begriffe definiert. Hier wurde unter anderem auf zentrale und dezentrale Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung eingegangen. Dabei war es nicht das Ziel, grundlegende Handlungsanleitungen zu geben, welche Organisationsform unter welchen Randbedingungen für die Arbeitsplanung und Arbeitsteuerung eingesetzt werden soll. Ein derartiger Leitfaden soll anderen Untersuchungen überlassen bleiben.

Aus heutiger Sicht kann jedoch beobachtet werden, daß zunehmend dezentrale Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung zum Einsatz kommen (*Henzler & Späth 1998, Maßberg & Sossna 1999*). Die zentrale Feinplanung aller Aktivitäten in der Produktion, die einen hohen Planungsaufwand und großes Detailwissen erfordert, wird zunehmend abgelöst durch dezentrale Ansätze. Dabei findet eine zentrale Grobplanung statt und das zur Feinplanung notwendige Detailwissen wird durch die einzelnen, dezentralen Funktionseinheiten eingebracht. Die Abbildung 2-9 faßt dieses sich wandelnde Paradigma plakativ zusammen.

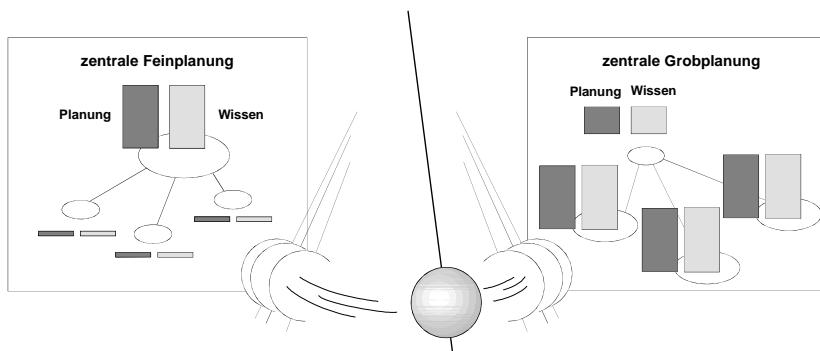


Abbildung 2-9: Trend zu dezentralen Ansätzen bei der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Reinhart 1997b, S. 247)

In Abschnitt 2.5 konnte gezeigt werden, daß bei derartigen dezentralen Ansätzen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung Systeme zur Unterstützung des Facharbeiters von großer Bedeutung sind. Nur durch eine geeignete Hilfestellung für den Mitarbeiter in der Produktion ist sichergestellt, daß sich durch den Einsatz dezentraler Organisationsformen auch die angestrebte Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit einstellt.

Deshalb ist es das Ziel dieser Arbeit, ein Unterstützungssystem zu entwickeln, das den Facharbeiter bei der Nutzung der ihm zugestandenen Freiheitsgrade im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung unterstützt.

3 Untersuchung der Aufgaben des Facharbeiters

3.1 Überblick

Im vorigen Kapitel wurde für das im Rahmen dieser Arbeit zu erarbeitende System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit eine Definition des Betrachtungsbereichs vorgenommen. Demnach soll am Ende dieser Arbeit ein Werkzeug stehen, das den Facharbeiter bei der Nutzung der ihm zugestandenen Freiheitsgrade im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung unterstützt. Dabei wird auf das Feld der Flexiblen Fertigungszellen fokussiert.

Aufbauend auf diese Definition des Betrachtungsbereichs werden im folgenden Kapitel aus methodischer Sicht die Aufgaben des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung detailliert analysiert. Diese Untersuchung stellt einen wesentlichen Ausgangspunkt im Rahmen der vorliegenden Arbeit dar. Sie liefert die notwendigen Grundlagen für die Auswertung des Standes der Forschung und Technik und für die in Kapitel 5 folgende Ermittlung der Anforderungen an das zu entwickelnde System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit.

3.2 Grundlegende Überlegungen

Den Ausgangspunkt der folgenden Analyse der Aufgaben des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung stellt eine systemtechnische Betrachtung der relevanten Eingangsgrößen in das System aus Fertigungszelle und Benutzer dar. Die Abbildung 3-1 zeigt diese Eingangsgrößen in einer schematischen Darstellung.

Zentrale Aufgabe einer Fertigungszelle und des an ihr arbeitenden Facharbeiters ist es, ein vorgegebenes Werkstück zu bearbeiten, um es für nachfolgende Produktionsprozesse verfügbar zu machen. Damit stellen Rohlinge oder Halbzeug die wichtigsten Eingangsgrößen in das System aus Fertigungszelle und Benutzer dar. Diese Rohlinge bzw. das Halbzeug werden in der Fertigungszelle bearbeitet, so daß sie als Halbzeug bzw. Fertigteil den nächsten Produktionsschritten zur Verfügung stehen.

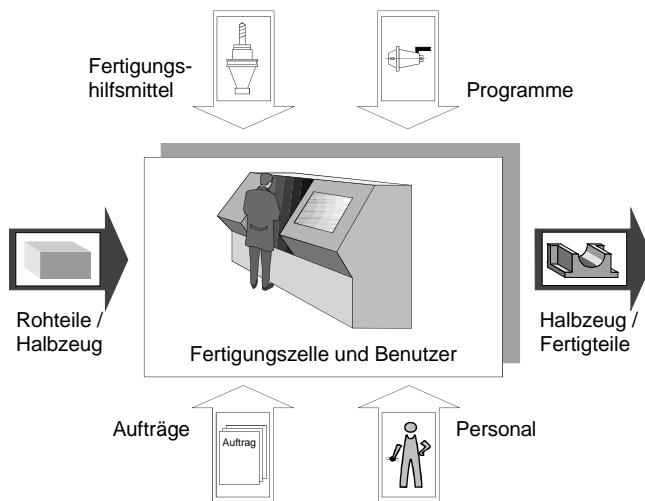


Abbildung 3-1: Wesentliche Eingangsgrößen für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (nach Spath 1996)

Um diese Aufgabe durchführen zu können, stehen dem Benutzer und der Fertigungszelle Fertigungshilfsmittel zur Verfügung. Dies sind zum Beispiel Betriebsmittel wie Werkzeuge oder Vorrichtungen. Diese Betriebsmittel werden zur Durchführung der Bearbeitung benötigt, oder sie sind als spezielle Betriebsmittel zum Beispiel zum Rüsten in Vorbereitung eines neuen Auftrages erforderlich. Ist die Bearbeitung abgeschlossen oder sind die Betriebsmittel verschlissen, verlassen sie die Fertigungszelle wieder.

Programme spielen bei der Bearbeitung des Auftrages in der Fertigungszelle eine wesentliche Rolle: Sie steuern die einzelnen Komponenten der Zelle. So kontrollieren sie etwa als NC-Programme die Bearbeitung eines Werkstücks oder beinhalten als Prüfprogramme Vorschriften zur Qualitätssicherung innerhalb der Fertigungszelle. Ablaufprogramme koordinieren das Zusammenspiel der Teilkomponenten einer Zelle.

Als wesentliche, logistische Größe innerhalb der Fertigungszelle ist der Auftrag zu nennen. Er enthält die Beschreibung der durchzuführenden Bearbeitungsaufgabe, definiert die zu fertigende Losgröße und gibt terminliche Eckdaten vor. Diese we-

sentlichen Auftragsdaten werden meist von einer übergeordneten Instanz festgelegt und stellen die wesentliche Steuergröße für die Auftragsbearbeitung dar.

Zur Bearbeitung eines Auftrages stehen der Fertigungszelle neben ihrem Benutzer auf Anfrage weitere Personen zur Verfügung. So können zur Störungsbehebung Instandhalter hinzugezogen werden, für komplizierte Rüstvorgänge eigens dafür spezialisierte Einrichter angefordert werden, oder ein Meister kann als zeitweiliges Mitglied der Fertigungszelle den Bearbeitungsprozeß komplizierter Teile unterstützen.

Der eigentlichen Bearbeitung eines Auftrages geht ein Planungsvorgang voraus. Im Rahmen dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung findet ein großer Teil dieses Planungsvorgangs an der Fertigungszelle statt und wird durch den Facharbeiter ausgeführt. Während dieses Planungsvorgangs werden die genannten Eingangsgrößen verknüpft und daraus eine vollständige Vorschrift zur Auftragsbearbeitung erstellt. Um sicherzustellen, daß diese Vorschrift alle notwendigen Angaben enthält, müssen im Rahmen dieses Planungsvorgangs mehrere Ziele verfolgt werden (Abbildung 3-2):

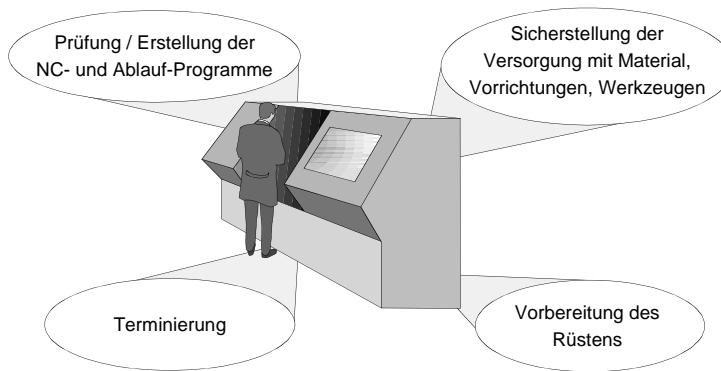


Abbildung 3-2: Ziele eines Planungsvorganges

- Während des Planungsvorgangs muß die terminliche Einordnung eines neuen Auftrages in den bereits bestehenden, für die Zelle vorgesehenen Auftragspool stattfinden. Neben einer Abschätzung des Kapazitätsbedarfs des neuen Auftra-

ges sind dabei weitere Randbedingungen wie zum Beispiel die Rüstsituation der Zelle zu berücksichtigen.

- Ein weiteres Ziel des Planungsvorgangs ist es, alle für den Auftragsdurchlauf notwendigen Programme zu überprüfen bzw. zu erstellen, falls sie noch nicht vorhanden sind. Dabei müssen vom Facharbeiter Ablaufprogramme, Bearbeitungsprogramme und gegebenenfalls Prüfprogramme überprüft bzw. erzeugt werden.
- Weiterhin muß im Rahmen der Planung eine geeignete Verknüpfung mit externen logistischen Systemen sichergestellt werden, so daß zum Zeitpunkt der Bearbeitung eine fristgerechte Versorgung mit Material, Vorrichtungen und Werkzeugen gewährleistet ist. Eine gut geplante Versorgung reduziert die Wartezeiten aufgrund fehlenden Materials oder fehlender Werkzeuge und Vorrichtungen während der Bearbeitung.
- Nicht zuletzt ist es ein Ziel des Planungsvorgangs, das Rüsten der Fertigungs zelle für diesen neuen Auftrag zu betrachten. Hier gilt es, nicht nur die Abläufe des Rüstens zu planen. Es müssen auch die erforderlichen Hilfsmittel wie Meßuhren oder Schablonen durch den Facharbeiter ermittelt werden. Diese können dann bereits im Vorfeld des Rüstens an die Fertigungs zelle verbracht werden. Zum Zeitpunkt des Rüstens sind damit die zu erledigenden Arbeitsinhalte klar, und es stehen die erforderlichen Hilfsmittel bereit. Dies verringert den Zeitbedarf für das Rüsten und verkürzt somit die Stillstandszeit der Fertigungs zelle.

Alle diese Ziele dienen der Sicherstellung einer schnellen und effizienten Bearbeitung des Auftrags. Verzögerungen während der Bearbeitung und Stillstände – zum Beispiel während des Rüstens – sollen so gering wie möglich ausfallen. Damit sichert die sorgfältige und vollständige Durchführung eines Planungsvorgangs eine hohe organisatorische Verfügbarkeit während der Auftragsbearbeitung.

Nachdem jetzt die Ziele der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung beschrieben worden sind, muß das Vorgehen des Facharbeiters im Rahmen eines solchen Planungsvorgangs genauer untersucht werden. So wird der zeitliche Ablauf eines Planungsvorgangs und der zur Unterstützung des Facharbeiters notwendige Funktionsumfang deutlich.

3.3 Vorgehen des Facharbeiters

Um den zeitlichen Ablauf eines Planungsvorgangs im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung und den zur Unterstützung des Facharbeiters notwendigen Funktionsumfang genauer festhalten zu können, wurde in Zusammenarbeit mit Herstellern von Werkzeugmaschinen das Vorgehen von Facharbeitern empirisch untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß die Facharbeiter ihr Vorgehen während der Planung in mehrere Phasen zerlegen. Innerhalb jeder Planungsphase wird in einzelnen Planungsschritten vorgegangen. Ein Kennzeichen der Planungsphasen ist, daß der Facharbeiter zunächst eine grobe Planung vornimmt, während der er alle Bereiche der Planung im Überblick betrachtet. In der anschließenden Feinplanung detailliert er die bei der Grobplanung erzielten Ergebnisse weiter und schließt den Planungsvorgang ab.

Nach der vorgenommenen Untersuchung können acht Planungsphasen mit den ihnen zugeordneten Planungsschritten unterschieden werden. Diese acht Planungsphasen werden im folgenden vorgestellt. Ihr zeitlicher Ablauf ist in der Abbildung 3-3 festgehalten.

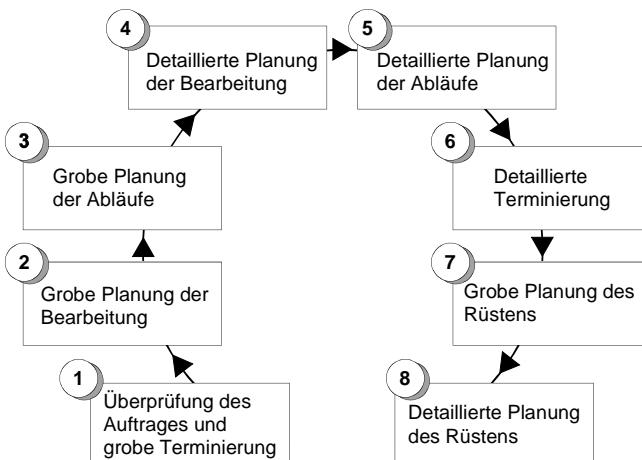


Abbildung 3-3: Zeitlicher Ablauf der Planungsphasen

1. Nach der Übernahme der Fertigungsunterlagen stellt der Facharbeiter in einer ersten Planungsphase fest, ob diese vollständig sind. Auf Basis des von einer übergeordneten Planungsebene vorgesehenen Zeitintervalls überprüft er dann die terminliche Machbarkeit des Auftrages. Dazu schätzt der Mitarbeiter in der Produktion die Zeitdauer ab, die zur Bearbeitung des Auftrages notwendig ist. Darauf aufbauend untersucht der Facharbeiter, ob innerhalb des vorgesehenen Terminfensters genügend freie Kapazität auf der ihm zugeordneten Fertigungszelle zur Verfügung steht. Gleichzeitig nimmt er eine erste, vorläufige Terminierung des Auftrags vor.
2. Nach der durchgeföhrten Analyse ermittelt der Facharbeiter an der Fertigungszelle in der nächsten Planungsphase, ob und wie der ihm zugewiesene Auftrag aus technologischer Sicht auf seiner Fertigungszelle durchgeführt werden kann. Dazu erarbeitet er eine mögliche Strategie für die Bearbeitung. Er ermittelt Aufspannungen und einzelne Bearbeitungsschritte und trifft erste Festlegungen über die einzusetzenden Werkzeuge und Vorrichtungen. Gleichzeitig wählt er einen geeigneten Rohling aus, sollte er nicht bereits durch die Fertigungsunterlagen eindeutig bestimmt sein.
3. Nachdem jetzt die dispositivo Seite und die technologische Seite des Auftrages untersucht worden sind, müssen die zur Bearbeitung innerhalb der Zelle erforderlichen Abläufe erstellt werden. Der Facharbeiter nimmt während dieser Planungsphase eine grobe Planung des Zellendurchlaufs vor und legt eine Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine fest.
4. Neben der Disposition hat der Facharbeiter jetzt die Planung der Bearbeitung und die Planung der Abläufe einmal betrachtet. Die durchgeföhrte Analyse hat ergeben, daß die dabei erzielten Ergebnisse in den nächsten Planungsphasen nochmals überprüft und weiter detailliert werden. Dazu wird in einer vierten Planungsphase die Planung der Bearbeitung durch den Facharbeiter wieder aufgegriffen, detailliert und abschließend überprüft. Er erstellt die notwendigen NC-Programme und legt dabei die Verfahrbewegungen der Werkzeuge fest. Zusätzlich stimmt er den Aufbau der Vorrichtung auf die Auswahl des Rohlings und die gewählte Bearbeitungsstrategie ab.
5. Im nächsten Schritt untersucht der Facharbeiter den Zellendurchlauf und schließt dessen Planung ab. Er erstellt die automatisierten Abläufe und legt dabei auch den Materialfluß innerhalb der Zelle fest.

6. Aus dieser abschließenden Planung der Bearbeitung und der Abläufe können in der nächsten Planungsphase detaillierte Zeitdauern für die Bearbeitung der einzelnen Teilschritte des Auftrages berechnet werden. Davon ausgehend nimmt der Facharbeiter jetzt eine detaillierte Terminierung des Auftrages vor und legt den genauen Zeitpunkt der Bearbeitung der einzelnen Teilschritte des Auftrages fest.
7. In den letzten beiden Planungsphasen wird gemäß der durchgeföhrten Analyse das Rüsten durch den Mitarbeiter in der Produktion genauer untersucht. Dabei nimmt der Facharbeiter zunächst eine grobe Planung des Rüstens vor. Hierbei ermittelt er den Bedarf an Werkzeugen und Vorrichtungen und schätzt den Zeitbedarf für das Rüsten ab.
8. Dann werden durch den Facharbeiter in einer weiteren Planungsphase die einzelnen Abläufe und Vorgänge des Rüstens genauer festgelegt. Dabei bestimmt der Mitarbeiter in der Produktion die erforderlichen Rüstschritte und nimmt eine detailliertere Betrachtung einzelner, kritischer Bereiche des Rüstens wie etwa der Montage der Vorrichtung zur Verfügung vor. Zuletzt terminiert er die Beschaffung von Hilfsmitteln und Werkzeugen, die für das Rüsten benötigt werden.

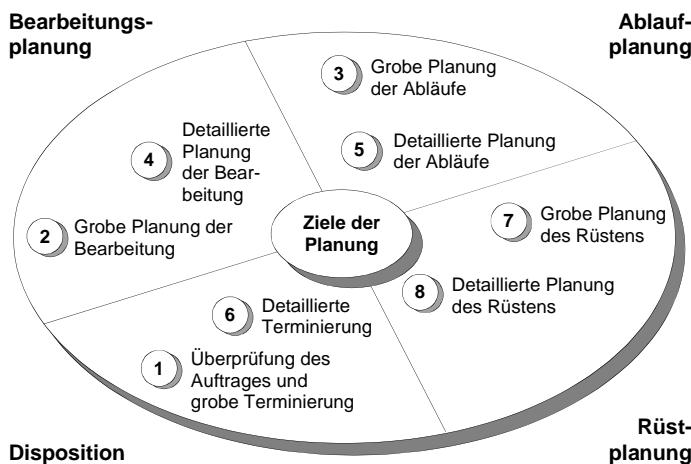


Abbildung 3-4: Iteratives Vorgehen des Facharbeiters

Diese acht Planungsphasen können einzelnen Aufgabenfeldern zugeordnet werden. Diese Aufgabenfelder sind die Disposition, die Bearbeitungsplanung, die Ablaufplanung und die Rüstplanung. Diese Zuordnung kann der Abbildung 3-4 entnommen werden.

Die durch die Planung zu betrachtenden Aufgabenfelder werden in dieser Abbildung als Teilelemente einer Scheibe aufgefaßt. Dabei ist den Bereichen Disposition, Bearbeitungsplanung, Ablaufplanung und Rüstplanung jeweils ein Teilelement dieser Scheibe zugeordnet. Folgt man den numerierten Teilschritten des gesamten Planungsvorgangs, so wird deutlich, daß die einzelnen Bereiche vom Facharbeiter mit höherem Detaillierungsgrad wiederholt bearbeitet werden. Werden die in Abschnitt 3.2 ausgeführten Ziele der Planung in der Mitte der Scheibe dargestellt, so gleicht das Vorgehen bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung damit einer Bewegung entlang einer Spirallinie auf dieses Ziel zu.

Auf einer abstrakten Ebene läßt sich dieses iterative Vorgehen im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung mit dem aus der Softwareentwicklung als Spiralmodell bekannten Vorgehen vergleichen. Beim Spiralmodell werden die unterschiedlichen Bereiche der Softwareentwicklung ebenfalls mit steigendem Detaillierungsgrad mehrfach durchlaufen. Durch dieses schrittweise, detaillierende Vorgehen wird die Qualität im Bereich der Softwareentwicklung gesteigert (*Booch 1994*).

3.4 Zusammenfassung

Mit dem Abschluß der Kapitel 2 und 3 sind die wesentlichen Voraussetzungen für die weitere Entwicklung des angestrebten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit geschaffen. So wurde in Kapitel 2 eine Definition des Beobachtungsbereichs vorgenommen. Dabei wurde insbesondere die Bedeutung von Systemen zur Unterstützung des Facharbeiters in dezentralen Organisationsformen für die Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung deutlich.

Daran anschließend wurden in Kapitel 3 aus methodischer Sicht die wesentlichen Aufgaben beschrieben, die dem Facharbeiter im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung zusätzlich übertragen werden. Diese Aufgaben stellen die Grundlage für die in Kapitel 4 folgende Untersuchung des Standes der Forschung und Technik im Bereich der Werkzeuge zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung dar.

Kapitel 3

Im Verlauf der Arbeit werden die hier in Kapitel 3 ermittelten Aufgaben des Facharbeiters wieder aufgegriffen. Sie dienen als Grundlage, auf der in Kapitel 6 die so genannten Planungsbereiche und Planungsfunktionen des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit entwickelt werden.

4 Stand der Forschung und Technik

4.1 Überblick

Die Analyse dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Kapitel 2) und die Untersuchung der dabei dem Facharbeiter übertragenen Aufgaben (Kapitel 3) haben gezeigt, daß entsprechende Unterstützungssysteme für die Mitarbeiter in der Produktion erforderlich sind. Zunächst stehen hier Funktionen zur Verfügung, die durch Steuerungen von Fertigungszellen angeboten werden. Zusätzlich sind informationstechnische Systeme ein wesentliches Element zur Unterstützung des Facharbeiters. Deshalb wird im vorliegenden Kapitel der Stand der Forschung und Technik im Bereich der Steuerungsfunktionen und im Bereich der Informationssysteme untersucht.

In den folgenden Abschnitten werden die Vorteile und die Defizite heute bekannter Ansätze analysiert. So wird die Grundlage geschaffen für die in Kapitel 5 folgende Analyse der Anforderungen an das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit.

Gegenstand der Untersuchung ist im folgenden zunächst der Funktionsumfang heutiger Steuerungen (Abschnitt 4.2), bevor dann auf die Steuerungsfunktionen herstellerübergreifend offener Steuerungen eingegangen wird (Abschnitt 4.3). Die Analyse heute in der Forschung bekannter Informationssysteme (Abschnitt 4.4) stellt den Kern des vorliegenden Kapitels dar. Abgeschlossen wird das Kapitel 4 mit einer Zusammenfassung (Abschnitt 4.5).

4.2 Funktionsumfang heutiger Steuerungen

Bei heutigen Steuerungen von Werkzeugmaschinen ist ein Trend in Richtung auf zusätzliche Steuerungsfunktionen zu beobachten. Diese neuen Funktionen gehen über die reine Steuerung der Bearbeitung hinaus und sollen den Benutzer bei der Erfüllung der ihm übertragenen, erweiterten Aufgaben unterstützen (*Siemens 1996, Heller 1993*).

Eine Analyse dieser zusätzlichen Steuerungsfunktionen ergibt, daß dabei drei wesentliche Funktionsbereiche unterschieden werden können. Dies sind der Bereich

der Werkzeugverwaltung, der Bereich der Programmverwaltung und die Werkstattorientierte Programmierung (Abbildung 4-1).

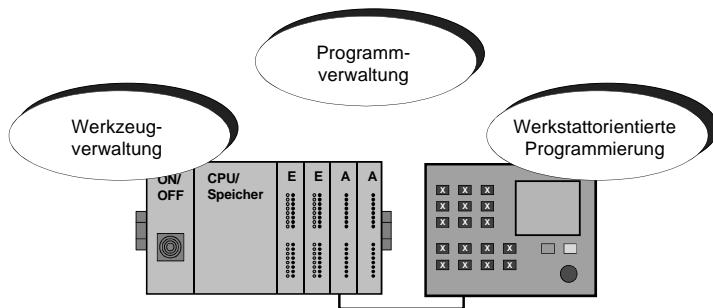


Abbildung 4-1: *Funktionsumfang heutiger Steuerungen*

Im Bereich der Werkzeugverwaltung bieten heutige Steuerungen Funktionen an, mit denen geometrische Korrekturwerte für alle Werkzeuge, die sich im Magazin der Maschine befinden, verwaltet werden können. Weiterhin können Daten zu Werkzeugen gespeichert werden, die sich nicht im Magazin befinden. Wenn die zugehörigen Werkzeuge dann auf die Maschine gebracht werden, müssen die Daten nicht neu in die Werkzeugverwaltung eingegeben werden, sondern es können einfach die vorhandenen Datensätze übernommen werden.

Außerdem erleichtern einige zusätzliche Hilfsfunktionen dem Facharbeiter die Arbeit im Bereich der Werkzeugverwaltung. So können zum Beispiel Suchfilter definiert werden, welche die Magazinpositionen aller Werkzeuge eines bestimmten Typs ermitteln, oder es können die Werkzeuge festgestellt werden, deren Standzeit abgelaufen ist (Blöchl 1997).

Der Bereich der Programmverwaltung umfasst in den meisten Fällen Steuerungsfunktionen, mit denen Daten und Programme in einer Art Filestruktur nach unterschiedlichen Kriterien organisiert, gespeichert und angezeigt werden können. Dafür stehen meist unterschiedliche Dateitypen und verschiedene Strukturierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Programmverwaltung dient damit einer flexibleren und einfacheren Handhabung von Daten und Programmen, die zur Bearbeitung von Werkstücken benötigt werden.

In vielen Fällen läßt sich der Funktionsumfang heutiger Steuerungen im Bereich der Arbeitsplanung durch zusätzliche Softwarepakete erweitern. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Software – Werkzeugen, die den Facharbeiter bei der Werkstattorientierten Programmierung (WOP) unterstützen (Wöhrmann & Keller 1998). Dabei tritt an Stelle der Beschreibung der NC-Programme nach DIN 66025 (1981) und davon abgeleiteter steuerungsspezifischer Dialekte eine Programmierung der Bearbeitung über technologiebezogene Symbole. Diese Software – Werkzeuge erleichtern dem Facharbeiter an der Fertigungszelle die Arbeit bei der NC-Programmerstellung.

Spiegelt man die von heutigen Steuerungen angebotenen Funktionen zur Unterstützung des Facharbeiters an seinen in Kapitel 3 beschriebenen erweiterten Aufgaben, so läßt sich feststellen, daß durch heutige Steuerungen eine Unterstützung des Benutzers ausschließlich im Bereich der Arbeitsplanung angeboten wird.

Die heute angebotenen Steuerungsfunktionen konzentrieren sich dabei auf die Erstellung des Bearbeitungsprogramms und die Verwaltung von Werkzeugen. Die Abläufe innerhalb der Fertigungszelle oder die Auswahl von Vorrichtungen werden durch diese Funktionen nicht betrachtet. Damit wird der Aufgabenbereich der Arbeitsplanung nur in Teilbereichen abgedeckt. Im Feld der Arbeitssteuerung wird der Facharbeiter durch keine zusätzlichen Steuerungsfunktionen unterstützt.

Ein weiteres Defizit heutiger Steuerungen ergibt sich dadurch, daß die vorgestellten Funktionen eine herstellerspezifische Lösung zur Unterstützung des Benutzers darstellen. Arbeitet der Facharbeiter an verschiedenen Werkzeugmaschinen mit Steuerungen unterschiedlicher Hersteller, so muß er sich immer neu mit den jeweils spezifischen Steuerungsfunktionen und ihrer Bedienung auseinandersetzen. Unter anderem um dieses Defizit zu beseitigen, wurden in einem Verbundprojekt herstellerübergreifend offene Steuerungen für Werkzeugmaschinen entwickelt. Deren Funktionsumfang wird im folgenden Kapitel analysiert.

4.3 Funktionsumfang herstellerübergreifend offener Steuerung

Nach Pritschow u. a. (1993) sind herstellerübergreifend offene Steuerungen durch klar abgegrenzte Steuerungsfunktionen, die vollständige Definition ihrer Schnittstellen und eine genaue Beschreibung der mit der Schnittstelle verknüpften Semantik gekennzeichnet. Ein weiteres Merkmal ist die klare Trennung zwischen den Steuerungsmodulen und der Kommunikationsschicht, die den Austausch von Nachrichten zwischen den Steuerungsmodulen erlaubt.

Aus dieser Strukturierung der Steuerungssoftware ergeben sich sowohl für den Steuerungshersteller als auch für den Anwender und den Käufer derartiger Steuerungen Vorteile. Steuerungshersteller müssen durch die klare Festlegung des Funktionsumfangs der Steuerungsmodulen nicht mehr alle Softwarekomponenten selbst entwickeln (Pritschow u. a. 1998). Es wird möglich, Softwarekomponenten auszutauschen und von anderen Herstellern zu übernehmen (Lutz & Wälde 1998). Weiterhin wird durch die eindeutige Zuordnung von Steuerungsfunktionen zu klar abgegrenzten Modulen die Anpassung der Steuerungsmodulen an Kundenwünsche erleichtert (Sperling & Lutz 1996).

Für den Anwender ergibt sich aus der herstellerübergreifenden Festlegung der Schnittstellen die Möglichkeit, die bei der Integration unterschiedlicher Fertigungszellen notwendigen, informationstechnischen Anpassungen nur einmalig zu erstellen. Dadurch kann die Integration von Steuerungen in ein informationstechnisches Umfeld wirtschaftlicher gestaltet werden (Hohwieler 1998, Weck 1995).

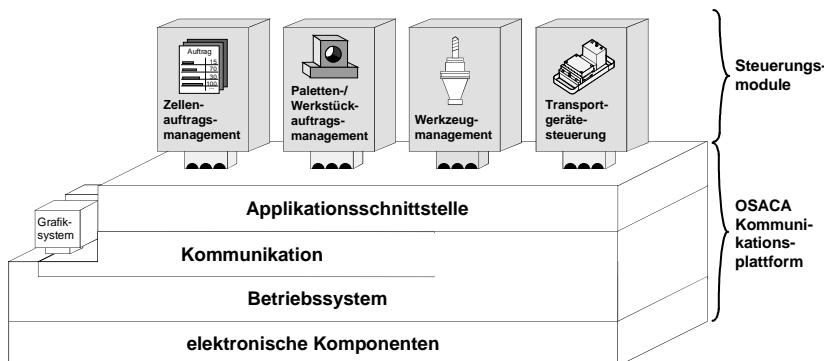


Abbildung 4-2: *Organisationsmodule in herstellerübergreifend offenen Steuerungen* (Diesch u. a. 1997)

Im Rahmen des deutschen Verbundprojektes HÜMNOS¹ wurden Softwaremodule für derartige herstellerübergreifend offene Steuerungen definiert und prototypisch

¹ Entwicklung herstellerübergreifender Module zum nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur

realisiert. Aufbauend auf die Ergebnisse des EU-Projektes OSACA² wurden - neben weiteren Steuerungsfunktionen - sogenannte Organisationsmodule für Zellensteuerungen erarbeitet (Diesch u. a. 1997). In diesen Organisationsmodulen werden Steuerungsfunktionen wie das Zellenauftragsmanagement, das Paletten- / Werkstückauftragsmanagement, das Werkzeugmanagement und die Transportgerätesteuerung zusammengefaßt (Abbildung 4-2).

Bei der Definition der Schnittstellen und des Funktionsumfangs dieser Organisationsmodule wurde der Tatsache Rechnung getragen, daß dezentrale Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung in heutigen Produktionsunternehmen bereits eingesetzt werden und ihre Bedeutung in der Zukunft noch wachsen wird (Hirsch-Kreinsen u. a. 1993, Hohenadel 1998). Deshalb wurden bei der Definition der Organisationsmodule auch Steuerungsfunktionen für diesen Aufgabenbereich des Benutzers in die Arbeiten einbezogen.

Im Zusammenhang mit der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung sind die Organisationsmodule zum Zellenauftragsmanagement und zum Werkzeugmanagement von besonderem Interesse. Deshalb werden im folgenden diese Steuerungsmodule genauer betrachtet. Auf die Diskussion der Definitionen der weiteren Organisationsmodule, wie der Module zur Transportgerätesteuerung und zum Paletten- / Werkstückauftragsmanagement, kann verzichtet werden. Sie sind im Rahmen einer Analyse der Steuerungsfunktionen zur dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung von geringerer Bedeutung.

4.3.1 Zellenauftragsmanagement

Die Aufgabe des Zellenauftragsmanagements besteht - nach der im Projekt HÜMNOs getroffenen, herstellerübergreifend gültigen Vereinbarung - in der Verwaltung, Disposition und Durchsetzung von Zellenaufträgen (Dohmen u. a. 1998). Ein Zellenauftrag besteht dieser Definition folgend aus der Beschreibung des zu fertigenden Arbeitsinhalts, aus der Stückzahl und aus den von übergeordneten Bereichen vorgegebenen Terminen. Außerdem wird im Zellenauftrag sein aktueller Zustand wie zum Beispiel "aktiv", "fertig", "freigegeben" oder "gesperrt" gespeichert. Zu seiner Durchsetzung wird der Zellenauftrag in sogenannte Paletten- bzw. Werkstückaufträge zerlegt. Durch das Zellenauftragsmanagement wird deren Abar-

² Open System Architecture for Controls within Automation Systems

beitung im Paletten- / Werkstückauftragsmanagement überwacht. Entsprechend dieser Aufgaben wurde im Projekt HÜMNOS auch die Schnittstelle des Zellenauftragsmanagements definiert. Symbolisch dargestellt ist diese Schnittstelle durch die kreisförmigen Elemente in der Abbildung 4-3.

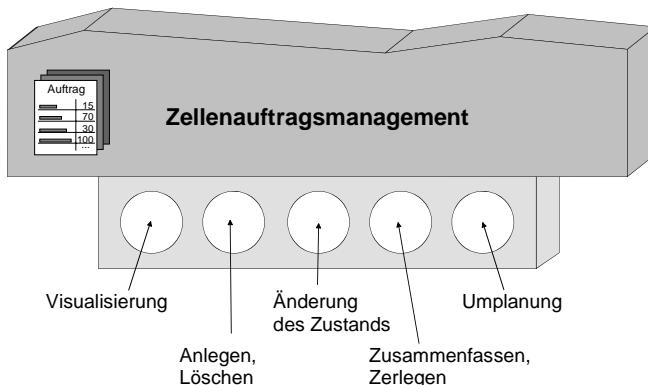


Abbildung 4-3: Schnittstelle des Zellenauftragsmanagements

Zunächst bietet diese Schnittstelle die Möglichkeit zur Visualisierung aller im Zellenauftragspool vorhandenen Aufträge. Zusätzlich stellt sie Funktionen zur Manipulation des Zellenauftragspools zur Verfügung. Der Benutzer kann Zellenaufträge neu anlegen oder löschen, ihren Zustand ändern, Zellenaufträge zusammenfassen oder zerlegen und Umplanungen vornehmen. Diese Eingriffsmöglichkeiten stehen ihm auch zur Störungsbehandlung zur Verfügung, wenn er etwa durch Umplanen von Aufträgen einen Stillstand seiner Fertigungszelle verhindern will.

4.3.2 Werkzeugmanagement

Für den Bereich der Organisationsmodule wurden im Rahmen des Projektes HÜMNOS auch die Aufgaben und die Schnittstelle des Werkzeugmanagements festgelegt. Die Aufgaben des Werkzeugmanagements umfassen die Bereiche der Planung, Vorbereitung, Steuerung und Überwachung des Einsatzes von Werkzeugen. Das Werkzeugmanagement hat dabei Zugriff auf alle Werkzeuge, die sich innerhalb der Grenzen der Fertigungszelle befinden.

Um die beschriebenen Aufgaben zu erfüllen, wurde das Werkzeugmanagement in drei unterschiedliche Bereiche strukturiert. Diese drei Bereiche sind die Werkzeugdatenverwaltung, die Magazinverwaltung und der Werkzeugmanagement – Master (*Reinhart u. a. 1997*). Im Werkzeugmanagement – Master sind – neben anderen Funktionen – die Steuerungsfunktionen zum Planen und Vorbereiten des Werkzeugeinsatzes zusammengefaßt. Unter dem Blickwinkel einer dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ist die Schnittstelle dieses Teilbereichs des Werkzeugmanagements von besonderem Interesse. Deshalb wird sie im folgenden näher analysiert.

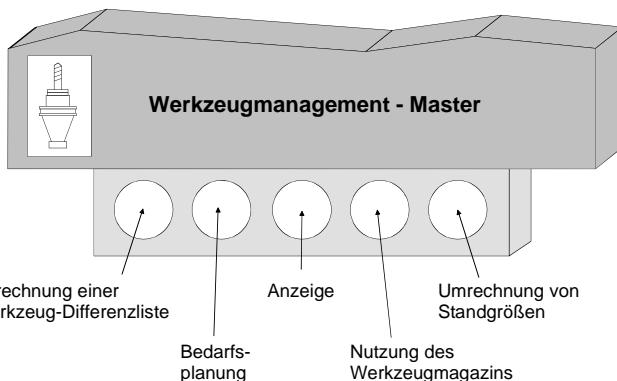


Abbildung 4-4: Schnittstelle des Werkzeugmanagement – Masters

Die dem Werkzeugmanagement – Master zugeordnete Schnittstelle (Abbildung 4-4) stellt Steuerungsfunktionen zur Berechnung von Werkzeug-Differenzlisten und zur Werkzeug-Bedarfsplanung zur Verfügung. Bei der Einplanung eines Auftrags kann sich der Benutzer von der Steuerung berechnen lassen, welche Werkzeuge er aus der Fertigungszelle entnehmen kann und welche Werkzeuge er zusätzlich in das Magazin einsetzen muß. Das Ergebnis dieser Berechnung wird dem Facharbeiter in Form einer sogenannten Werkzeug – Differenzliste angezeigt. Außerdem erhält er mit Hilfe der Bedarfsplanung Informationen darüber, wann er während der Auftragsbearbeitung der Fertigungszelle weitere Werkzeuge zur Verfügung stellen muß. Nicht zuletzt können über diese Schnittstelle verschlissene oder nicht benötigte Werkzeuge angezeigt werden.

Zusätzlich bietet der Werkzeugmanagement – Master verschiedene Steuerungsfunktionen zur Nutzung des Werkzeugmagazins an. So kann etwa die Belegung des Werkzeugmagazins optimiert werden. Mögliche Optimierungskriterien sind das Erreichen einer maximalen Packungsdichte der Werkzeuge im Magazin oder eine minimale Zugriffszeit auf die Werkzeuge, die zur Bearbeitung eines Auftrages benötigt werden (Dohmen u. a. 1998).

Außerdem kann mit Hilfe der Steuerungsfunktionen des Werkzeugmanagement – Masters auf sich ändernde Vorgaben zur Erfassung der Standgröße reagiert werden. So steht zum Beispiel eine Funktion zur Verfügung, mit deren Hilfe der Benutzer die Standwerte der Werkzeuge bei einem Auftragswechsel von der Größe Standzahl in die Größe Standzeit umrechnen kann. Dies erleichtert die Nutzung von Werkzeugen bei der Bearbeitung verschiedener Aufträge.

4.3.3 Zusammenfassung und Bewertung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in die herstellerübergreifende Definition der Organisationsmodule zum Zellenauftragsmanagement und zum Werkzeugmanagement einige Funktionen zur dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerungen eingeflossen sind. Hier ist beispielhaft das Einplanen und das Umplanen von Aufträgen oder die Bedarfsplanung für Werkzeuge zu nennen.

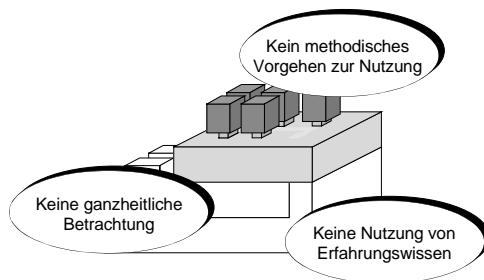


Abbildung 4-5: Defizite der Funktionen zum Zellenauftragsmanagement und zum Werkzeugmanagement

Spiegelt man die im Projekt HÜMNOS erreichten Ergebnisse an den zusätzlichen Aufgaben, die dem Facharbeiter im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und

Arbeitssteuerung übertragen werden, so müssen einige Defizite dieser Steuerungsfunktionen festgehalten werden. Diese sind in der Abbildung 4-5 dargestellt.

- Im Rahmen der Steuerungsfunktionen aus HÜMNOS findet **keine ganzheitliche Betrachtung** der Planungs- und Steuerungsaufgaben statt. Die einzelnen Funktionen sind für sich alleinstehend und nicht miteinander verknüpft. So bleibt es zum Beispiel allein dem Wissen des Benutzers überlassen, nach einer Umplanung der Auftragsreihenfolge auch eine Aktualisierung der Werkzeug-Differenzlisten vorzunehmen.
- Nicht nur die Verknüpfungen der einzelnen Aufgabenfelder sind nicht ausreichend betrachtet. Insgesamt wird dem Benutzer **kein methodisches Vorgehen zur Nutzung** der Steuerungsfunktionen vorgegeben. Der Benutzer muß sich das Vorgehen selbst entwickeln. Damit bleibt die effektive Nutzung der Steuerungsfunktionen dem Geschick und der Erfahrung des einzelnen Benutzers vorbehalten.
- Eine **Nutzung von Erfahrungswissen ist nicht möglich**. Der Benutzer kann nicht Planungen von vorangegangenen Werkstücken oder Aufträgen abspeichern, um so in späteren Fällen, wenn ähnliche Werkstücke oder Aufträge bearbeitet werden müssen, dieses Wissen wieder zu nutzen.

Aufgrund der beschriebenen Kennzeichen und aufgrund der Vorteile für Hersteller und Anwender bilden die Steuerungsfunktionen aus HÜMNOS eine gute Grundlage für eine herstellerneutrale und damit wirtschaftliche Umsetzung der Steuerungsfunktionen zur dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Herstellerübergreifend offene Steuerungen stellen erweiterte Steuerungsfunktionen zur Verfügung. Diese können als Grundlage für den Aufbau eines Werkzeuges zur Unterstützung des Facharbeiters genutzt werden.

4.4 Informationssysteme zur Unterstützung des Facharbeiters

4.4.1 Grundfunktionen von Informationssystemen

Bevor auf den Funktionsumfang heute bekannter Informationssysteme eingegangen wird, sollen in einer theoretischen Untersuchung die Grundfunktionen von Infor-

mationssystemen ermittelt werden. Zunächst muß im diesem Zusammenhang der Begriff der „Information“ näher untersucht werden.

Für den Begriff der „Information“ gibt es, abhängig von der Blickrichtung des jeweiligen Autors, mehrere Definitionen. Im Zusammenhang dieser Arbeit ist der Begriff der „betrieblichen Information“ von besonderer Bedeutung. Folgende zwei Definitionen beleuchten den Begriff der „betrieblichen Information“ aus verschiedenen Standpunkten. *Wittmann (1959)* argumentiert mehr aus einer zweckorientierten Sicht, während *Augustin (1990)* eine Definition von einem mehr auf die Nutzung der Information ausgerichteten Standpunkt aus gibt.

- *Wittmann (1959, S. 14)* definiert den Begriff der Information als „zweckorientiertes Wissen, wobei der Zweck in der Vorbereitung und Verwirklichung von Handlungen besteht“.
- Bei *Augustin (1990, S. 15)* findet man den Begriff der Information definiert als „Beschreibung von vergangenen, gegenwärtigen oder zukünftigen Sachverhalten, wenn sie für bestimmte Adressaten verständlich und nutzbar sind und wenigstens von einem Adressaten genutzt werden“.

Aus diesen Definitionen zum Begriff der Information lassen sich die Grundfunktionen heutiger Informationssysteme ableiten. Folgt man den genannten Definitionen, so kann sich der Benutzer mit Hilfe des Informationssystems über „vergangene, gegenwärtige oder zukünftige Sachverhalte“ (*Augustin 1990, S. 15*) in der Produktion informieren. Das Informieren ist damit die erste Grundfunktion eines Informationssystems.

Aber nicht nur in dieser Weitergabe von Information besteht die Aufgabe des Informationssystems. Vielmehr soll auch ein Verständnis über die Zusammenhänge innerhalb der Produktion erreicht werden. Der Benutzer des Systems soll die Information verstehen, sie „in der Vorbereitung und Verwirklichung von Handlungen“ (*Wittmann 1959, S. 14*) nutzen und später in gleichen oder ähnlichen Situationen anwenden können. Das heißt, er wird durch das Informationssystem dazu qualifiziert, in Zukunft Handlungen überhaupt durchführen zu können oder sie besser erledigen zu können. Damit kann Qualifizieren als zweite Grundfunktion festgehalten werden.

Die durch das Informationssystem zur Verfügung gestellten Informationen müssen laufend auf den neuesten Stand gebracht, ergänzt und angepaßt werden. Nur so kann es den Benutzer zuverlässig bei seinen erweiterten Aufgaben unterstützen. Damit stellt sich die Frage nach der Gewinnung und der Aktualisierung der Daten,

die durch das System zur Verfügung gestellt werden. Das Ergänzen und Anpassen der Informationen kann zu einem gewissen Teil der Benutzer übernehmen, indem er seine Handlungen mit Hilfe des Informationssystems dokumentiert und damit sein Erfahrungswissen dem Informationssystem zur Verfügung stellt. Die Aktualisierung der Informationen kann aber auch durch entsprechende informationstechnische Verknüpfungen automatisiert werden. So können zum Beispiel laufend aktuelle Daten aus der Steuerung einer Fertigungszelle dem Benutzer über das Informationssystem angezeigt werden und damit der Zustand der Fertigungszelle dokumentiert werden. Daraus ergibt sich als dritte Grundfunktion heutiger Informationssysteme das Dokumentieren.

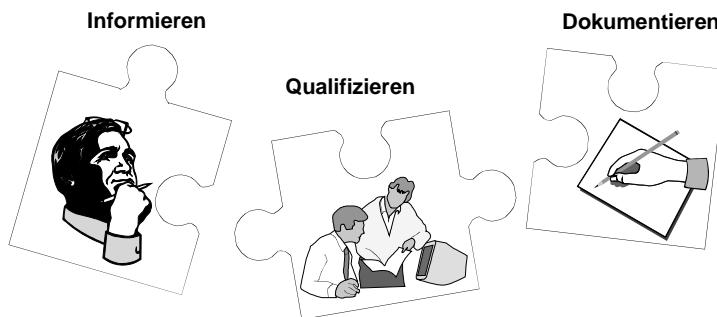


Abbildung 4-6: Grundfunktionen von Informationssystemen

Die wesentlichen Grundfunktionen heutiger Informationssysteme lassen sich also durch die Begriffe

- Informieren
- Qualifizieren
- Dokumentieren

zusammenfassen (Abbildung 4-6). Im folgenden Abschnitt 4.4.2 werden zunächst Systeme zur Information und Qualifizierung des Benutzers vorgestellt, bevor dann im Abschnitt 4.4.3 auf sogenannte erweiterte Informationssysteme eingegangen wird, die zusätzlich auch den Bereich des Dokumentierens umfassen.

4.4.2 Systeme zur Information und Qualifizierung des Benutzers

Durch die Konzeption und die Einrichtung von Informationssystemen sollen mehr Informationen in transparenter Form direkt dem Facharbeiter an der Produktionsmaschine zur Verfügung gestellt werden (*Mertins & Carbon 1996*). Der Facharbeiter als Zielgruppe derartiger Systeme wird bereits bei ihrer Entwicklung in die Diskussion der Konzepte mit einbezogen (*Sell & Fuchs-Frohnhofer 1993*). Dies geht zum Teil soweit, daß die Facharbeiter als Kern des Entwicklungsteams betrachtet werden (*Leyhausen 1995*). Schon in frühen Entwurfsphasen sollen sie ihre Anforderungen in die Entwicklungsprojekte einbringen und somit die spätere Akzeptanz des Systems sicherstellen (*Hartmann u. a. 1995, Redeker u. a. 1998*).

Derzeit werden dem Mitarbeiter am häufigsten Informationen angeboten, die sich auf den Bearbeitungsprozeß beziehen (*Kluth & Storr 1997*). Die für den Facharbeiter abrufbaren Informationen sind zum Beispiel eine detaillierte Beschreibung des Werkstücks mit Hilfe von Zeichnungen, Schaltplänen oder Montageanleitungen (*Fleig & Schneider 1995*). Ergänzt werden diese Informationen durch zusätzliche Hinweise auf geeignete Schnittgeschwindigkeiten, Bearbeitungsreihenfolgen oder Arbeitsabläufe (*Brandl u. a. 1997*). Die Darstellung der Informationen erfolgt oftmals in Form digitalisierter Standardarbeitsblätter, so daß der Facharbeiter die ihm bekannte Struktur der Informationsdarstellung auch bei der Nutzung des Informationssystems wiederfindet (*Redeker u. a. 1998*). Informationen zum Rüsten einer Fertigungszelle sind dagegen kaum in Informationssystemen zu finden.

Neben dieser am Werkstück orientierten Information werden dem Benutzer in einigen Informationssystemen zusätzliche Informationen über die Betriebsmittel zur Verfügung gestellt. Dabei kann es sich etwa um Kataloge von Werkzeugherstellern oder um Werk- bzw. DIN-Normen handeln (*Kluth & Storr 1997*).

In einem weiteren Schritt werden dem Benutzer des Informationssystems zusätzlich zu diesen technologischen Informationen Daten zur Qualitätssicherung angeboten. Jetzt stehen nicht mehr allein Informationen zur technologischen Machbarkeit eines Werkstücks im Vordergrund. Vielmehr werden nun dem Produktionsmitarbeiter zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt, die ihn bei der dezentralen Qualitätssicherung unterstützen sollen. Diese Informationen umfassen zum Beispiel Handbuchkapitel, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen oder Prüfpläne (*Pfeifer u. a. 1998, Masing 1998*).

In einigen dieser Informationssysteme steht neben der Übermittlung von Informationen die didaktische Vermittlung der Informationsinhalte und damit das Qualifizieren des Benutzers im Vordergrund. Dazu werden dem Benutzer Informationsinhalte mittels Texten, Bildern, Video- oder Tondokumenten präsentiert. Der Benutzer kann einfache Funktionen zum Suchen, Blättern, Filtern oder Vergrößern einzelner Dokumente nutzen (*Klabunde u. a. 1998, Kuba 1997*).

Zum Beispiel steht in dem von *Weißborn & Hedemann (1995)* entwickelten Informationssystem diese Qualifizierung des Benutzers im Vordergrund. In diesem Konzept sind unterschiedliche Informationsebenen für verschiedene Benutzergruppen vorgesehen. Die Multimedia-Dokumente können individuell auf betriebliche Datenbestände aufgesetzt werden. Eine Anwendung des Systems nicht nur in der Qualifizierung des Personals sondern auch in der Produktion ist angedacht. Als Beispiel wird hier ein Reparaturleitfaden genannt.

Von *Spath u. a. (1994)* wird für den Bereich der Demontage ein Informationssystem vorgeschlagen, das sowohl bei der Planung von Demontagevorgängen als auch bei der Durchführung der eigentlichen Demontageprozesse unterstützt. Bemerkenswert bei diesem System ist, daß die Informationsdichte und der Detaillierungsgrad der Informationen an die Bedürfnisse der Benutzer des Systems angepaßt werden können. Zur Aufbereitung der Informationen und zur Qualifizierung des Benutzers werden ebenfalls Multimedia-Techniken eingesetzt.

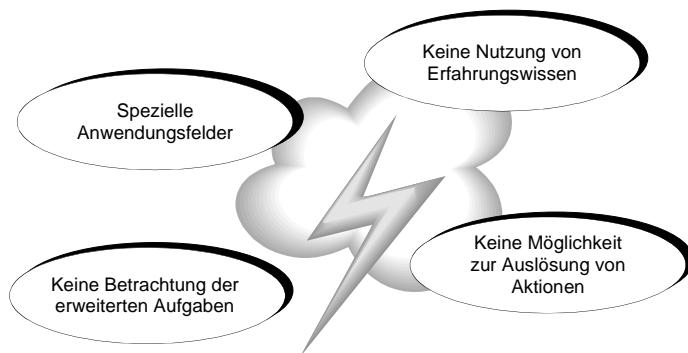


Abbildung 4-7: Defizite von Systemen zur Information und Qualifizierung des Benutzers

Untersucht man die vorgestellten Informationssysteme kritisch, so ergeben sich einige Defizite (Abbildung 4-7):

- Es fällt auf, daß bei allen Systemen die Weitergabe und die Aufbereitung von Information im Vordergrund steht. Dies wird auch durch die intensive Nutzung von Multimedia-Techniken deutlich. Informationen werden von überlagerten Systemen auf der Ebene der Mitarbeiter in der Produktion zur Verfügung gestellt. Das Ziel dieser Systeme ist es ausschließlich, die Transparenz innerhalb der Produktion zu erhöhen. Es findet dabei **keine Betrachtung der zusätzlichen Aufgaben des Benutzers** in dezentralen Strukturen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung statt, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wurden. Funktionen zur Unterstützung des Facharbeiters bei der Arbeitssteuerung sind kaum in den beschriebenen Informationssystemen zu finden.
- Eng damit verknüpft ist die Feststellung, daß der von den Informationssystemen abgedeckte Bereich in den meisten Fällen eingegrenzt ist auf ein **spezielles Anwendungsfeld** wie etwa die Prozeßführung oder die Qualitätssicherung. Die Möglichkeiten, den Benutzer in dem breiten Feld seiner zusätzlichen Aufgaben zu unterstützen, sind damit stark eingeschränkt.
- In den meisten Konzepten zu Informationssystemen ist es für den Benutzer nicht möglich, eigene Ergänzungen an den ihm angebotenen Informationen vorzunehmen. Damit kann er nicht in eigener Regie sein Handeln dokumentieren, und er kann deshalb später sein gewonnenes **Erfahrungswissen nicht nutzen**. Die Konzepte bleiben damit auf eine einseitige Kommunikation vom Informationssystem zum Benutzer eingeschränkt.
- Will der Benutzer aus den ihm zur Verfügung gestellten Informationen selbst eigene Aktionen ableiten, so stehen ihm an den hier vorgestellten Informationssystemen **keine Aktionsmöglichkeiten** zur Verfügung. Das heißt, der Benutzer muß zur Durchführung von Aktionen die Information in irgendeiner Form speichern, um dann mit Hilfe anderer informationstechnischen Systeme zum Beispiel an der Produktionsmaschine entsprechende Aktionen auszulösen. Abgesehen davon, daß dieses Vorgehen zeitraubend und unpraktisch ist, können auch Informationsverluste auftreten.

4.4.3 Erweiterte Informationssysteme

Die sogenannten erweiterten Informationssysteme sind in ihrem Funktionsumfang nicht mehr auf einzelne Bereiche der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung eingeschränkt. Außerdem wird darin auch die dritte Grundfunktion von Informationssystemen – das Dokumentieren – untersucht. *Spath u. a. (1995), Gehlhaar (1995), Blöchl (1996), Fleig & Schneider (1996), Daude u. a. (1997), und Kuba (1997)* haben in diese Richtung erweiterte Informationssysteme für den Facharbeiter erarbeitet.

Spath u. a. (1995) schlagen ein Informationssystem zur Arbeitsplanung vor. Innerhalb dieses Informationssystems werden Funktionen zum Anpassen und Optimieren von NC-Programmen durch den Facharbeiter angeboten. Der Schwerpunkt des erarbeiteten Informationssystems liegt auf der Rückführung dieser Erfahrungsdaten aus der Produktion in vorgelagerte Bereiche der Arbeitsplanung. So soll die Qualität der zentral erzeugten NC-Programme verbessert und die Einfahrzeiten reduziert werden. Eine dezentrale Durchführung der Arbeitsplanung durch die Facharbeiter in der Produktion, die über das Anpassen und Optimieren von NC-Programmen hinausgeht, ist nicht vorgesehen. Damit bleiben die Unterstützungsmöglichkeiten dieses Systems im Hinblick auf eine dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung eingeschränkt.

Gehlhaar (1995) hat ein sehr weitgehendes Informationssystem entwickelt. Seine Arbeit stellt ein Konzept für ein verteiltes Kommunikations-, Informations-, Steuerungs- und Planungssystem vor. Durch dieses Arbeitsplatz-Informationssystem wird der Facharbeiter bei der Arbeitssteuerung, bei der maschinennahen Arbeitsvorbereitung, bei Qualitätssicherungsaufgaben, bei der Instandhaltung und bei der Dokumentation unterstützt. Das Arbeitsfeld des Rüstens wird im Rahmen seiner Arbeit am Rande betrachtet. Weiterhin wurde auch eine Mehrmaschinenbedienung durch Fernüberwachung umgesetzt. Zusätzlich wird in diesem System der schichtinterne und der schichtübergreifende Informationsfluß auf der Fertigungsebene unterstützt. Ein Nachrichtenaustausch mit Kollegen ist über Mail-Funktionen realisiert.

Der Schwerpunkt der Arbeit von *Gehlhaar (1995)* liegt auf der Bereitstellung einer Vielzahl von Funktionen zur Unterstützung des Facharbeiters an einer Fertigungszelle. Der Einsatzbereich des Systems befindet sich damit an einer Fertigungszelle. Die Schnittstelle zur Leitebene ist in seiner Arbeit gut untersucht. Ein Austausch von Informationen zwischen dem Informationssystem und der Steuerung einer Fer-

tigungszelle oder eine Integration des Informationssystems in die Zellensteuerung sind zwar vorgesehen, wurden aber nicht erstellt. Aktuelle Daten aus der Fertigungszelle stehen damit für die Planung nicht zur Verfügung (Abbildung 4-8).

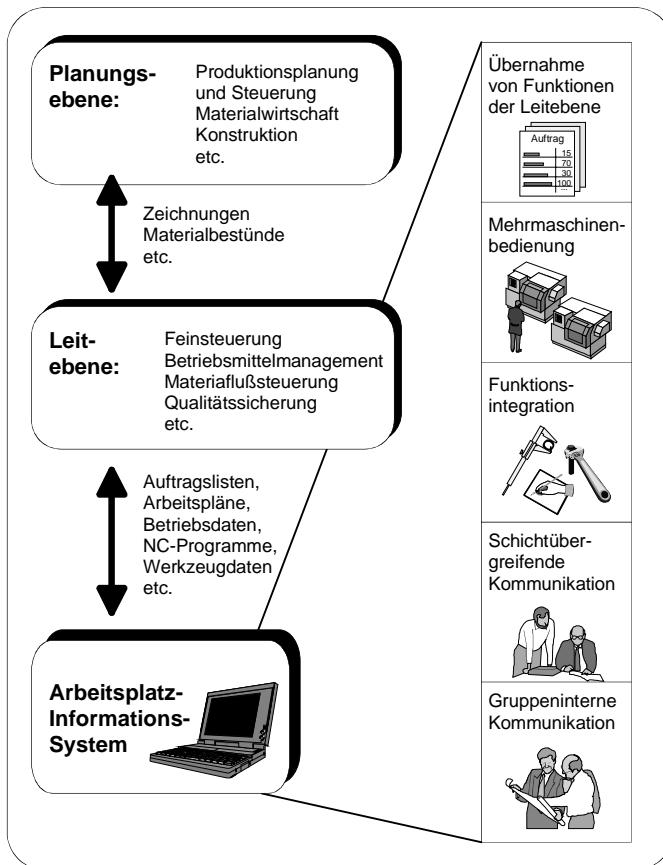


Abbildung 4-8: Arbeitsplatz-Informationssystem nach Gehlhaar (1995, S. 6)

Der Schwerpunkt der Arbeiten von *Blöchl* (1996) liegt auf einer Unterstützung des Benutzers bei der „Reihenfolgeplanung der für seinen Arbeitsplatz vorgesehenen Arbeitsgänge“ (*Blöchl* 1996, S. 78). Dabei kann der Facharbeiter prüfen, ob die be-

nötigten Werkzeuge, die Werkstücke und die Arbeitsanweisungen am Arbeitsplatz vorhanden sind. Abhängig von den vorhandenen Ressourcen kann dann der Benutzer die Feindsposition der Aufträge vornehmen. Auch Reaktionsmöglichkeiten auf Störungen sind in diesem System vorgesehen. Zur Realisierung nutzt Blöchl (1996) die Möglichkeiten einer herstellerspezifischen, offenen Steuerung. Möglichkeiten zur dezentralen Arbeitsplanung sind in seinem Konzept nicht vorgesehen.

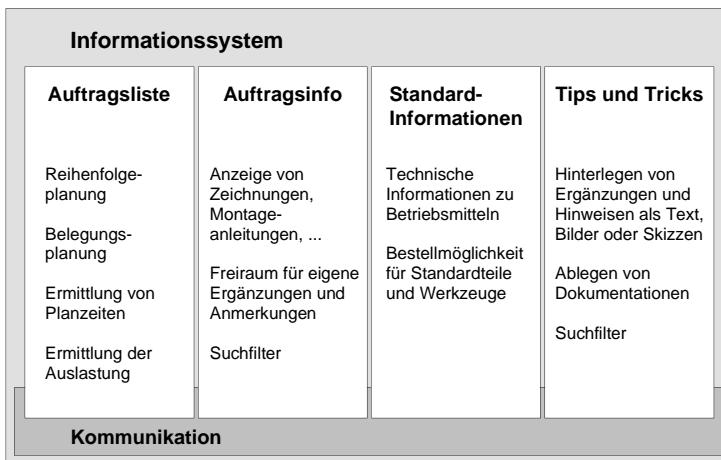


Abbildung 4-9: Module des Informationssystems nach Fleig & Schneider (1996)

Fleig & Schneider (1996) haben ein Informationssystem erarbeitet, das die Autoren in fünf sogenannte Module strukturieren (Abbildung 4-9). Das Modul „Auftragsliste“ unterstützt den Facharbeiter bei der termingerechten und auslastungsgerechten Reihenfolge- und Belegungsplanung für die einbezogenen Fertigungszellen. Im Modul „Auftragsinfo“ lassen sich Zeichnungen eines Werkstücks oder Montageanleitungen anzeigen. Über das Modul „Standard-Informationen“ können Informationen über Betriebsmittel abgefragt werden. Das Erfahrungswissen der Facharbeiter kann im Modul „Tips und Tricks“ abgelegt werden. Die Kommunikation zwischen den Modulen und nach außen zu überlagerten Systemen wird durch das Modul „Kommunikation“ übernommen.

Der Einsatzbereich dieses Informationssystems liegt in der Unterstützung einer gesamten Arbeitsgruppe einer Werkstatt bei ihren Planungsaufgaben. Es ist nicht vorgesehen, das Informationssystem an einer einzelnen Fertigungszelle einzusetzen. Auf eine Kopplung des Informationssystems mit der Steuerung von Fertigungszellen wird verzichtet. So kann ebenfalls nicht auf aktuelle Daten aus einzelnen Fertigungszellen zugegriffen werden.

Im Rahmen des Verbundprojektes InnovatiF³ haben *Daude u. a. (1997)* ein umfassendes Informationssystem entwickelt, das eine Arbeitsgruppe bei der gemeinsamen Arbeitsplanung unterstützt. Der Einsatzbereich des Systems liegt damit nicht an einer einzelnen Fertigungszelle, sondern an einem zentralen Ort in der Werkstatt.

Das System bietet der Arbeitsgruppe die Möglichkeit, Arbeitsreihenfolgen und Beliegszeiten gemeinsam zu planen. Integriert ist eine Auftragsverwaltung und ein Verwaltungssystem für NC-Programme. Das System ist modular aufgebaut, damit es sich leicht an unterschiedliche Vorgehensweisen der Benutzer und an sich ändernde Fertigungsstrukturen anpassen läßt. Ein Ablegen von Erfahrungswissen ist in diesem Informationssystem nicht möglich. Eine informationstechnische Verbindung zwischen dem Planungssystem und einer einzelnen Fertigungszelle ist vorgesehen. Sie beschränkt sich allerdings auf die Übermittlung einfacher Informationen wie Zustandsdaten (*Weck u. a. 1997*).

Ausgehend von einem Einsatz an Montagesystemen schlägt *Kuba (1997)* ein Informations- und Kommunikationssystem zur Integration von Menschen in die Produktion vor. Im Schwerpunkt untersucht er die Integration von Produktionsmitarbeitern an manuellen Arbeitsplätzen, die bis jetzt noch nicht durch Informationssysteme erreicht werden.

Kern der Arbeit ist die Entwicklung eines Kommunikationsmodells, basierend auf der Voraussetzung, daß alle Teilnehmer in dem angestrebten Datennetz die gleiche Sprache sprechen, um Informationen auszutauschen. Die Verbindung der Mitarbeiter auf der Produktionsebene mit dem Datenverbund erfolgt dadurch, daß der Mensch als neuer Kommunikationspartner, ebenso wie andere Teilnehmer des Datennetzes, mittels industriell eingesetzter Methoden und Standards als Modell abgebildet wird. Auf diese Weise sind verschiedene automatisierte Betriebsmittel, In-

³ **Innovative** Wege zur Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen

stanzen zur Auftragsdisposition und der Mensch selbst Teilnehmer in einem homogenen datentechnischen Netz (Abbildung 4-10).

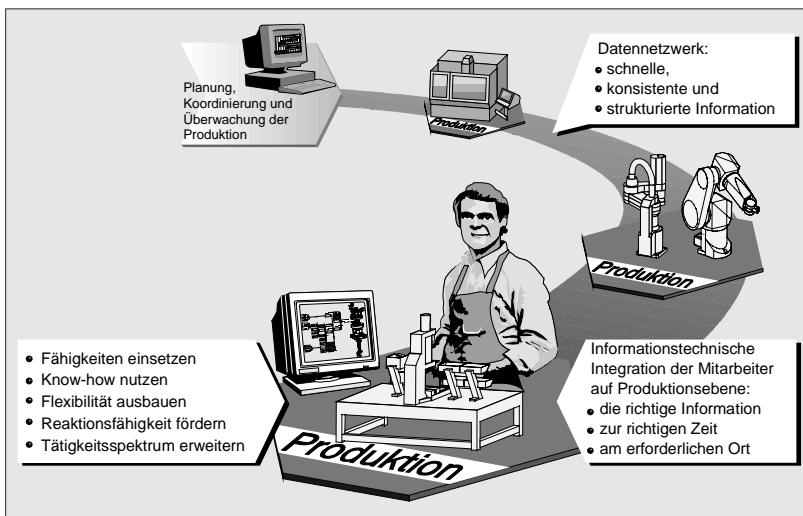


Abbildung 4-10: *Informationstechnische Integration der Mitarbeiter*
(Kuba 1997, S. 134)

Die Möglichkeiten zur Arbeitsplanung sind in diesem Informationssystem aufgrund des gewählten Einsatzbereichs stark eingeschränkt. Für die Anwendung im Bereich der manuellen Arbeitsplätze in der Montage kommt der Untersuchung einer informationstechnischen Kopplung mit der Steuerung einer Fertigungszelle keine Bedeutung zu. Deshalb wurde sie im Rahmen der Arbeit von *Kuba (1997)* nicht untersucht.

Auch bei den hier vorgestellten, erweiterten Informationssystemen müssen Defizite festgestellt werden. Sie sind in der Abbildung 4-11 zusammenfassend dargestellt.

- Nur in wenigen Systemen ist der Funktionsumfang für die dezentrale Arbeitsplanung bzw. Arbeitssteuerung ausreichend. So wird das Aufgabenfeld des Rüstens nur selten betrachtet. Die Verflechtungen und **Abhängigkeiten** zwischen den einzelnen Aufgabenfeldern der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung werden dagegen **in keinem Fall** ausreichend **berücksichtigt**. So bleibt allein dem Be-

nutzer die Zusammenführung und der Abgleich der Informationen aus den einzelnen Aufgabenbereichen vorbehalten.

Ansätze	Abhängigkeiten nicht berücksichtigt	Kein Speichern von Erfahrungswissen	Keine Kopplung an Fertigungszellen	Keine Nutzung herstellerübergreifend offener Steuerungen	Keine modulare Struktur
Spath u.a.	●		●	●	●
Gehlhaar		●	●	●	
Blöchl	●	●		●	●
Fleig & Schneider			●	●	
Daude		●	●	●	
Kuba	●		●	●	●

Abbildung 4-11: Defizite erweiterter Informationssysteme

- Es bestehen für den Facharbeiter nur **eingeschränkte Möglichkeiten, Erfahrungswissen** in den Informationssystemen **abzulegen**. Die Planung gleicher oder ähnlicher Aufträge wird damit nicht optimal unterstützt.
- Weiterhin ist eine **Kopplung** des Informationssystems an die Produktionsmaschine derzeit noch **nicht ausreichend** untersucht worden. Damit können über das Informationssystem nicht automatisch aktuelle Daten aus der Fertigungszelle für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung zur Verfügung gestellt werden. Es kann somit nicht gewährleistet werden, daß Planungen ausgehend von der aktuellen Situation der Fertigungszelle durchgeführt werden. Ein großer Vorteil dezentraler Ansätze zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung wird dadurch nicht konsequent genutzt.
- Die in **herstellerübergreifend offenen Steuerungen** vorhandenen Funktionen und die sich aus der Nutzung herstellerneutraler Ansätze ergebenden Möglich-

keiten zur kostengünstigen Umsetzung eines Unterstützungswerkzeuges werden **nicht genutzt**.

- Die **Struktur** und der Funktionsumfang der Systeme ist in den meisten Fällen **wenig modular** und deshalb fest vorgegeben. Durch die fehlende Modularität bestehen kaum Möglichkeiten, das Informationssystem mit wenig Aufwand an sich ändernde organisatorische Randbedingungen anzupassen.

4.4.4 Weitere Ansätze

Weitere Ansätze zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung betreffen den Einsatz der Simulationstechnik. So werden derzeit in der Forschung Überlegungen diskutiert, dem Benutzer Simulationswerkzeuge an der Werkzeugmaschine zur Verfügung zu stellen. Er soll damit seine dezentralen Entscheidungen vor allem im Bereich der Arbeitssteuerung in der Simulation verifizieren können, bevor er sie in die Praxis umsetzt.

So schlägt *Carbon (1996)* den Einsatz der Simulationstechnik vor, um die verschiedensten Strategien der Belegungsplanung und unterschiedliche Optimierungskriterien in ihrer Auswirkung auf die dezentrale Arbeitssteuerung zu untersuchen. Nach *Carbon* wird dadurch dem Facharbeiter die Möglichkeit gegeben, schnell und effizient Erfahrungen über das Zusammenspiel der verschiedenen Planungsparameter zu gewinnen. Zusätzlich kann explorativ nach einer optimierten Lösung im Bereich der Belegungsplanung und bei der Auswahl geeigneter Optimierungskriterien gesucht werden.

Auch *Lulay (1998)* hat ein ähnliches System erarbeitet. Es soll ebenfalls die Mitarbeiter in der Produktion bei der Entscheidungsfindung im Bereich der Arbeitssteuerung unterstützen. Das von ihm entwickelte Werkzeug gibt den Mitarbeitern vor der Umsetzung von Entscheidungen eine Vorausschau auf deren Auswirkungen und deren Güte. Dazu können Fragen zum Beispiel zur Auftragsreihenfolge oder zur Umplanung von Aufträgen an das Assistenzsystem gerichtet werden. Anschließend werden Simulationsläufe durchgeführt. Die Simulationsergebnisse und die sich daraus ergebenden Antworten auf ihre Fragen werden den Mitarbeitern in Form logistischer Zielgrößen wie Durchlaufzeit, Termintreue, Bestand und Auslastung angeboten. Anhand dieser Zielgrößen können die Mitarbeiter die Güte und die Auswirkung von Entscheidungen beurteilen, sie iterativ verbessern oder sofort in die Tat umsetzen.

zen. Der besondere Schwerpunkt von Lulays Arbeit liegt dabei auf der Darstellung lokaler Zielkriterien und deren Zusammenhänge mit globalen Unternehmenszielen.

Beiden hier diskutierten Ansätzen ist gemeinsam, daß sie ausschließlich den Aufgabenbereich der Arbeitssteuerung betrachten. Eine Unterstützung des Facharbeiters bei der Arbeitsplanung leisten sie nicht. Hierzu ist die Simulationstechnik kein geeignetes Werkzeug. Damit sind diese Ansätze auch nur eingeschränkt dazu geeignet, den Facharbeiter bei seinen erweiterten Aufgaben umfassend zu unterstützen.

4.4.5 Technischer Aufbau heutiger Informationssysteme

Nach der Diskussion der unterschiedlichen Konzepte zur Unterstützung des Facharbeiters bei seinen erweiterten Aufgaben soll zum Abschluß des Kapitels 4 noch auf den technischen Aufbau heutiger Informationssysteme eingegangen werden. Diese Analyse liefert weitere Bausteine zur folgenden Diskussion der Anforderungen an das zu erarbeitende System zur Unterstützung des Facharbeiters.

Wie in den vorigen Kapiteln gezeigt, sind nur einige wenige Informationssysteme direkt am Arbeitsplatz des Facharbeiters an einer Fertigungszelle verfügbar. Meist sind sie dann als Rechnersysteme ausgeführt, die zusätzlich zur vorhandenen Zellensteuerung in der Umgebung der Fertigungszelle aufgestellt werden. Damit verbunden ist ein weiterer Kostenaufwand für die Anschaffung und die Wartung der entsprechenden Hardware.

Die meisten Informationssysteme sind derzeit als sogenannte Informationssäulen aufgebaut. Das Informationssystem steht dabei an einem zentralen Ort allen Mitarbeitern innerhalb eines Teilbereichs der Produktion zur Verfügung (*Henning & Weck 1997*). Meist besteht diese Informationssäule aus einem PC, über den die Informationen abgerufen werden können. Bei manchen Konzepten wird dieser PC erweitert um zusätzliche Geräte zur Eingabe und zur Wiedergabe von Informationen (Abbildung 4-12). So werden Touch-Screens, Drucker, Scanner, Telefon, Telefax oder eine Kamera eingesetzt (*Fleig & Schneider 1996*).

Durch die Realisierung als Informationssäule wird dem Informationssystem eine zusätzliche Funktion als Informations- und Kommunikationszentrale für die Mitarbeiter in der Produktion zugeordnet. So soll der Informationsfluß unter den Mitarbeitern in der Produktion vereinfacht und der Informationsaustausch verstärkt werden. Außerdem sollen durch die Einrichtung nur einer einzigen Informationssäule

die Kosten für die Hardwareausstattung geringer gehalten werden (*Fleig & Schneider 1996*).

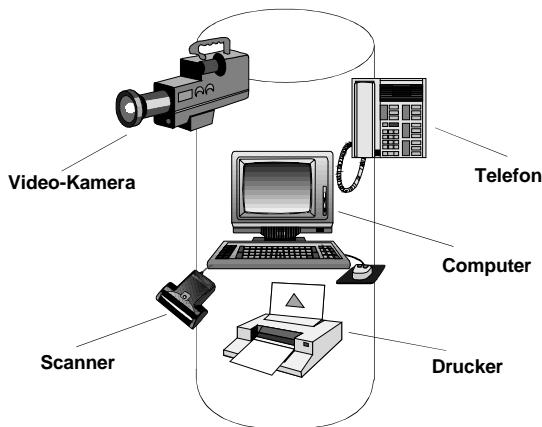


Abbildung 4-12: Mögliche Komponenten einer Informationssäule

Bei diesem Konzept wird allerdings auf die räumliche Nähe des Informationssystems zum Arbeitsplatz des einzelnen Facharbeiters verzichtet. Die Mitarbeiter in der Produktion müssen also zur Nutzung des Informationssystems ihren direkten Arbeitsplatz an der Produktionsmaschine verlassen. Zusätzlich muß ein geeignetes Medium gefunden werden, um die am Informationssystem gewonnenen Informationen zum Arbeitsplatz des Facharbeiters zu transportieren. Dieses Vorgehen ist umständlich und aufwendig. Außerdem können Informationen verloren gehen. Somit ist ein Informationssystem vorzuziehen, das direkt am Arbeitsplatz des Facharbeiters zur Verfügung steht. Um zusätzliche Hardwarekosten zu vermeiden, ist eine Integration in die Steuerung der Fertigungszelle zu prüfen.

4.5 Zusammenfassung

In Kapitel 4 wurden die heute bekannten Systeme zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung analysiert. Ausgehend vom Funktionsumfang heutiger Steuerungen wurden neben den Steuerungs-

funktionen von herstellerübergreifend offenen Steuerungen Systeme zur Informati- on und Qualifizierung und sogenannte erweiterte Informationssysteme untersucht. Daraus ergaben sich wesentliche Defizite der einzelnen Unterstützungswerkzeuge, die hier noch einmal zusammengefaßt werden sollen.

- Wie gezeigt wurde, haben heutige Unterstützungssysteme Schwächen in der umfassenden Berücksichtigung der zusätzlichen Aufgaben des Benutzers in dezentralen Strukturen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung.
- Die Verknüpfungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bereichen der Systeme sind nicht ausreichend untersucht.
- Der von den Systemen abgedeckte Einsatzbereich ist in den meisten Fällen eingeschränkt auf ein spezielles Anwendungsfeld.
- Es stehen dem Benutzer zu wenige Möglichkeiten für Steuerungs- und Planungsaktionen direkt am Unterstützungswerkzeug zur Verfügung.
- Der Funktionsumfang und die Struktur der Systeme ist in den meisten Fällen nicht modular, fest vorgegeben und nicht skalierbar.
- Die Möglichkeiten zur Nutzung des Erfahrungswissen des Facharbeiters werden noch nicht ausreichend betrachtet.
- Die informationstechnische Kopplung der Systeme an die Steuerung einer Fertigungszelle und eine Integration der Systeme in vorhandene Steuerungen sind noch nicht ausreichend ausgearbeitet worden.
- Die Möglichkeiten herstellerübergreifend offener Steuerungen zur kostengünstigen Umsetzung von Unterstützungswerkzeugen werden noch nicht in vollem Umfang genutzt.

Ausgehend von diesen Defiziten müssen im folgenden Kapitel die wesentlichen Anforderungen an ein System zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ermittelt werden. Nur so kann dann im Kapitel 6 ein neues Konzept vorgeschlagen werden, das die aufgezeigten Defizite nicht aufweist.

5 Analyse der Anforderungen

5.1 Überblick

Im vorigen Kapitel wurde der Stand der Forschung und Technik im Bereich der Systeme zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung untersucht. Dabei wurden wesentliche Defizite dieser Systeme festgestellt. Auf Basis dieser Defizite und unter Einbeziehung der Analyse der Aufgaben des Facharbeiters in dezentralen Ansätzen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Kapitel 3) werden im vorliegenden Kapitel 5 die Anforderungen an das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Unterstützungssystem analysiert. Auf Basis dieser Anforderungen kann dann in Kapitel 6 das Konzept des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit vorgestellt werden.

Die dabei zu berücksichtigenden Anforderungen werden im Rahmen dieses Kapitels in zwei Teilbereiche strukturiert. Zuerst werden aus methodischer Sicht die funktionalen Anforderungen betrachtet. Dann werden die strukturellen Anforderungen an den Aufbau des Werkzeugs analysiert. Eine Zusammenfassung schließt das vorliegende Kapitel ab.

5.2 Funktionale Anforderungen

Wesentliche Grundlage zur Ermittlung der funktionalen Anforderungen an ein Unterstützungssystem stellen die im Kapitel 3 analysierten erweiterten Aufgaben des Facharbeiters in den Bereichen der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung dar. Zusätzlich ergeben sich aus den in Kapitel 4 analysierten Defiziten funktionale Anforderungen an das zu erarbeitende Unterstützungssystem.

5.2.1 Ganzheitlichkeit

Untersuchungen haben ergeben, daß von den Facharbeitern in der Produktion nur ein Unterstützungssystem akzeptiert wird, das sie bei allen Arbeitsschritten ihres Aufgabenbereichs umfassend unterstützt. Ein System, das nur Teilbereiche abdeckt, wird abgelehnt (*Augustin 1990, Picot & Reichwald 1991*).

Dies hat Konsequenzen für das zu erarbeitende System. Eine sinnvolle Unterstützung des Benutzers bei seinen erweiterten Aufgaben in der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung kann demnach nur dann stattfinden, wenn dabei alle voneinander abhängigen und aufeinander bezogenen Aufgaben des Facharbeiters in einem System berücksichtigt werden (*Kluth & Storr 1997*). Und nur eine umfassende Unterstützung des Facharbeiters stellt sicher, daß das angestrebte Ziel einer Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit auch erreicht werden kann.

Daraus ergibt sich die Forderung, daß in dem zu erarbeitenden System alle Einflußfaktoren auf die Aufgaben des Benutzers im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ganzheitlich betrachtet werden müssen. Die Aufgabenfelder der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung dürfen nicht zerschlagen und in unterschiedlichen Informationssystemen bearbeitet werden (*Fleig & Schneider 1995*).

Um genauer angeben zu können, was diese Forderung nach Ganzheitlichkeit bedeutet, wird im folgenden eine erste Abschätzung des sich daraus ergebenden Funktionsumfangs durchgeführt. Dazu werden – ausgehend von Kapitel 3 – die Aufgaben des Facharbeiters im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung untersucht.

Wie in Kapitel 3 gezeigt, übernimmt der Facharbeiter bei dezentralen Ansätzen im Aufgabenfeld der Arbeitssteuerung die Feinplanung von Aufträgen und die Optimierung der Auftragsreihenfolge. Außerdem hat er Aufgaben im Bereich der Betriebsmittelsteuerung zu übernehmen.

Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, benötigt der Facharbeiter Unterstützungs-funktionen, die ihn bei der Terminierung der Aufträge unterstützen. Dazu muß es möglich sein, die terminliche Machbarkeit eines Auftrages abzuschätzen. Dabei muß der Kapazitätsbedarf des neuen Auftrages mit der noch auf der Fertigungszelle zur Verfügung stehenden Kapazität verglichen werden. Außerdem muß der Facharbeiter bei der Einplanung und bei der Umplanung von Aufträgen unterstützt werden. Als Grundlage für die Terminierung von Aufträgen ist es ferner nötig, den Zeitbedarf einzelner Bearbeitungsschritte und ganzer Aufträge zu ermitteln. Auch hier sind entsprechende Funktionen notwendig.

Weitere Funktionen benötigt der Facharbeiter zu seiner Unterstützung bei der Verwaltung von Material und Betriebsmitteln innerhalb seiner Fertigungszelle. Zur Verwaltung von Betriebsmitteln wie Werkzeugen oder Vorrichtungen müssen unter anderem Funktionen zur Bedarfsplanung und zur Erstellung von Differenzlisten

geschaffen werden. Zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Versorgung mit Rohlingen bzw. Halbzeug müssen entsprechende Verknüpfungen zur externen Materialflußsteuerung im Unterstützungssystem vorgesehen werden.

Diese Bereiche stellen zugleich eine Verknüpfung zur Arbeitsplanung dar. Im Rahmen dieses Aufgabenfeldes übernimmt der Facharbeiter Aufgaben in der Erstellung und Optimierung von NC-Programmen und in der Programmierung und Optimierung von zelleninternen Abläufen (vgl. Kapitel 3). Neben Auswahlmöglichkeiten für Werkzeuge und Vorrichtungen benötigt er zu seiner Unterstützung Funktionen zur Planung des Zellendurchlaufs und zur Planung einzelner Arbeitsschritte.

In diesem Zusammenhang sind nicht nur die Arbeitsschritte und die Abläufe im Bereich der Bearbeitung von hohem Interesse. Aufgrund der aufwendigen Abläufe beim Rüsten und der daraus resultierenden hohen Rüstzeiten steigt zunehmend die Bedeutung einer effektiven Planung der Abläufe beim Rüsten. Dies umfaßt auch die Ermittlung der zum Rüsten notwendigen Hilfsmittel und Werkzeuge. Deshalb muß der Unterstützung des Benutzers bei der Planung des Rüstens eine besondere Bedeutung beigemessen werden.

Hilfsmittel + Material

- Auswahl von Werkzeugen und Vorrichtungen
- Steuerung des Betriebsmittelkreislaufs
- Verknüpfung zum Materialfluß

Bearbeitung

- Planung des Zellendurchlaufs
- Planung einzelner Bearbeitungsschritte

Rüsten

- Planung des Rüstens
- Ermittlung der notwendigen Hilfsmittel

Terminierung

- Einplanung und Umplanung
- Terminliche Machbarkeit
- Feststellung des Zeitbedarfs



Abbildung 5-1: Funktionsumfang eines ganzheitlichen Unterstützungssystems

Um der Forderung nach Ganzheitlichkeit zu genügen, muß das zu erarbeitende System Unterstützungsfunctionen für die folgenden Planungsaufgaben anbieten (Abbildung 5-1).

- **Terminierung**

Neben Funktionen zur Abschätzung der terminlichen Machbarkeit und zur Ein- und Umplanung von Aufträgen müssen Unterstützungsmöglichkeiten zur Ermittlung des Zeitbedarfs einzelner Bearbeitungsschritte und ganzer Aufträge geschaffen werden.

- **Hilfsmittel und Material**

Funktionen zur Steuerung des Betriebsmittelkreislaufs innerhalb der Fertigungszelle und zur Auswahl von Werkzeugen und Vorrichtungen stehen hier im Vordergrund. Zusätzlich muß auch die Verknüpfung mit dem Materialfluß hergestellt werden.

- **Bearbeitung**

Funktionen aus diesem Bereich umfassen die Planung der Bearbeitung. Es muß gleichermaßen die Planung von Abläufen und die Planung einzelner Bearbeitungsvorgänge betrachtet werden.

- **Rüsten**

Im Bereich des Rüstens müssen dem Facharbeiter Funktionen zur Unterstützung bei der Planung des Rüstens und Funktionen zur Ermittlung der zum Rüsten notwendigen Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden.

Der Aufbau eines ganzheitlichen Unterstützungssystems, das die genannten Bereiche in seiner Funktionalität umfaßt, ist als erste funktionale Anforderung festzuhalten.

5.2.2 Berücksichtigung der Abhängigkeiten

Das Planungsvorgehen in den einzelnen Bereichen der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung ist aufeinander bezogen und aufgrund der engen Abhängigkeiten nicht voneinander zu trennen (*Kees 1998*). Bei der Auswertung des Standes der Forschung im Bereich der Informationssysteme wurde allerdings festgestellt, daß diese Abhängigkeiten derzeit noch nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Deshalb tritt neben die vorher als zentrale Anforderung formulierte Ganzheitlichkeit des Unterstützungssystems die Forderung nach einer umfassenden Berücksichtigung der Abhängigkeiten der einzelnen Bereiche. Ein Beispiel kann die Bedeutung dieser Anforderung näher erläutern (Abbildung 5-2).

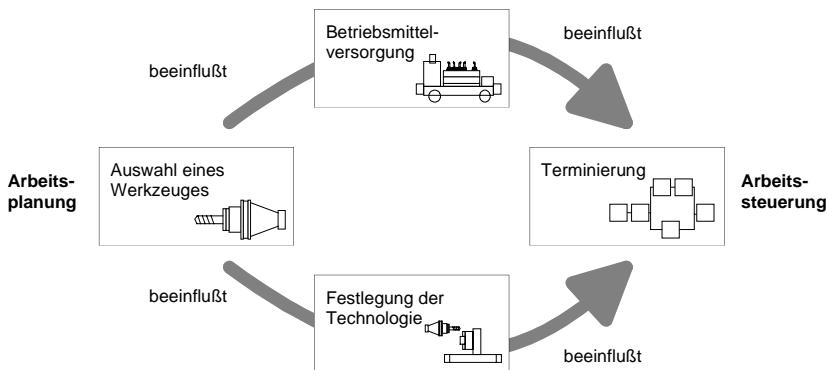


Abbildung 5-2: Beispiel für die Abhängigkeiten zwischen den Funktionsbereichen

Zunächst bestimmt die Auswahl eines Werkzeuges für einen bestimmten Arbeitsschritt die technologischen Randbedingungen eines Auftrages mit. So hängt die Bestimmung von Vorschub und Drehzahl vom ausgewählten Werkzeug ab. Zusätzlich muß aber aus organisatorischer Sicht sichergestellt werden, daß das ausgewählte Werkzeug während der Bearbeitung des Auftrages verfügbar ist. Sonderwerkzeuge müssen eventuell bei einer zentralen Betriebsmittelverwaltung bestellt und zur Fertigungszelle geliefert werden. Die hierfür erforderliche Zeit muß bei der Auftragsterminierung berücksichtigt werden. Somit kann die Auswahl eines Werkzeuges über die organisatorischen Randbedingungen der Betriebsmittelversorgung die Terminierung des Auftrages einschränken. Zusätzlich kann die Terminierung des Auftrages aber nicht nur von organisatorischen, sondern auch von technologischen Gegebenheiten abhängen. So kann es etwa bei technologisch anspruchsvollen Aufträgen erforderlich sein, sie nicht in der dritten Schicht, sondern während des Tages unter der Aufsicht eines Meisters zu bearbeiten.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Festlegung technologischer Eckdaten im Rahmen der Arbeitsplanung durchaus auch Auswirkungen auf die Arbeitssteuerung für einen

Auftrag haben kann. Beide Aspekte können nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Die Wechselwirkungen zwischen den Ergebnissen der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung sind zu vielschichtig. Deshalb müssen diese Verflechtungen bei der Entwicklung eines Konzeptes für ein Unterstützungssystem berücksichtigt werden. Nur unter Einbeziehung derartiger Abhängigkeiten kann der Benutzer effizient und sicher bei der Bewältigung seiner erweiterten Aufgaben unterstützt werden und damit das Ziel einer Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit erreicht werden.

Die Berücksichtigung der engen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Funktionsbereichen des Systems ist daher als zweite Anforderung an das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Unterstützungssystem festzuhalten.

5.2.3 Nutzung von Erfahrungswissen

Bei der Untersuchung heutiger Systeme wurde festgestellt, daß bei der Nutzung des Erfahrungswissens des Facharbeiters noch Defizite bestehen. Durch die Einführung dezentraler Strukturen zur Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung soll gerade dieses Erfahrungswissen des Facharbeiters als Produktionsfaktor erschlossen werden.

Zwei Wege stehen offen, um dieses Erfahrungswissen mit Hilfe eines Unterstützungssystems zu nutzen. Erstens kann das Wissen des Facharbeiters im Werkzeug gespeichert werden. Dazu können die Planungsdaten zu früheren, erfolgreich bearbeiteten Aufträgen im Werkzeug abgelegt werden und später zur Planung neuer Aufträge herangezogen werden.

Zweitens kann es dem Facharbeiter durch eine entsprechende Gestaltung der Funktionen des Informationssystems erleichtert werden, sein Wissen in die Planung einzubringen. Er muß genügend Freiräume haben, die Planung selbst seinem Erfahrungswissen folgend durchzuführen. Dazu darf die durch das Unterstützungssystem vorgegebene Automatisierung der Planung nicht zu hoch gewählt werden. Die einzelnen Funktionen sollten deshalb den Benutzer bei aufwendigen Routineoperationen durch Automatismen unterstützen, ihm aber dort freie Hand lassen, wo seine Kreativität gefordert ist.

Einige Vorteile sprechen für eine derartige Nutzung des Erfahrungswissens des Facharbeiters mit Hilfe eines Unterstützungssystems. Durch das Abspeichern der Planungsergebnisse im Unterstützungssystem wird das Erfahrungswissen eines Mitarbeiters in der Produktion dokumentiert und festgehalten. Die früheren Planungs-

ergebnisse stehen so gleichsam als „Vorlagen“ für die Planung neuer Aufträge zur Verfügung. Damit wird dem Facharbeiter das Bearbeiten gleicher und ähnlicher Aufträge erleichtert und so die Dauer des einzelnen Planungsvorgangs für diesen Mitarbeiter verkürzt. Durch das Aufsetzen auf bereits bekannten und erprobten Planungsergebnissen können zusätzlich Fehler bei zukünftigen Planungen vermieden werden.

Neben der Dokumentation früherer Planungsergebnisse und ihrer Nutzung als Vorlagen zur Planung aktueller Aufträge sprechen noch weitere Vorteile für die Nutzung des Erfahrungswissens. Arbeiten mehrere Facharbeiter mit dem Unterstützungssystem, so können alle von ihnen erarbeiteten Planungsergebnisse in dem Werkzeug abgespeichert werden. Dem einzelnen Facharbeiter stehen somit alle Planungsergebnisse seiner Kollegen als zusätzlicher Schatz an Erfahrungswissen zur Verfügung. Zur Planung eines aktuellen Auftrages kann damit nicht nur die Erfahrung eines Facharbeiters genutzt werden. Vielmehr kann auf dem Erfahrungsschatz vieler Mitarbeiter aus der Produktion aufgesetzt werden. So ist es möglich, Erfahrungen über mehrere Schichten und zwischen verschiedenen Facharbeitern auszutauschen und damit die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung weiter zu vereinfachen, zu beschleunigen und Fehler zu vermeiden.

Durch das Zusammenführen von Aufgaben der Planung, der Steuerung und der Durchführung beim Facharbeiter in der Produktion können kurzfristige Änderungen in der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung einfacher vorgenommen werden (*Baum u. a. 1997*). Das Einbeziehen der Kreativität des Facharbeiters ermöglicht es, innerhalb kurzer Regelkreise schnell und flexibel auf Störungen zu reagieren. Durch die bewußte Nutzung der Kreativität des Facharbeiters mit Hilfe einer entsprechenden Gestaltung des Unterstützungssystems werden somit schnelle und flexible Reaktionsmöglichkeiten in der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung etabliert. Dies erlaubt erst die Erschließung der in Kapitel 2.5.1 diskutierten Potentiale dezentraler Organisationsstrukturen und trägt damit zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit bei.

Die Nutzung von Erfahrungswissen ist daher eine weitere Anforderung an das zu erarbeitende Unterstützungssystem. Die im Rahmen der Analyse heutiger Informationssysteme festgestellten Defizite in diesem Bereich müssen beseitigt werden.

5.2.4 Auffinden ähnlicher oder gleicher Aufträge

Mit der Speicherung des Wissens aus vorangegangenen Planungen stellt sich die Frage nach einer effizienten Nutzung dieses Wissens. Dem Facharbeiter muß die Möglichkeit gegeben werden, die Daten ähnlicher oder gleicher Aufträge, die in der Vergangenheit mit dem Unterstützungswerkzeug bearbeitet worden sind, einfach wiederzufinden. Das mit den Daten dieser Aufträge verknüpfte Wissen steht ihm dann für neue Planungsvorgänge zur Verfügung. Dazu müssen die gespeicherten Aufträge zunächst klassifiziert werden, bevor dann entsprechende Suchfunktionen eingesetzt werden können, die das Auffinden ähnlicher oder gleicher Aufträge unterstützen. Die Suchergebnisse müssen dem Mitarbeiter auf einfache Weise und aufbereitet für eine möglichst unkomplizierte Nutzung präsentiert werden.

Zur Klassifikation und zum Auffinden ähnlicher oder gleicher Aufträge stehen mächtige Werkzeuge aus dem Bereich der Ähnlichkeitssuche zur Verfügung. Sie werden in der Arbeitsplanung genutzt, um den Planungsaufwand zu reduzieren und die Qualität der Planungsergebnisse weiter zu steigern. Im Bereich der Forschung wurden zum Beispiel von *Krönert (1998)* oder *Geiger (1993)* erweiterte Systeme zur Ähnlichkeitssuche vorgeschlagen, so daß im Rahmen dieser Arbeit darauf verzichtet werden kann, hier ein neues Vorgehen zu entwickeln. Vielmehr sollen in der Realisierung des Werkzeuges zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit die Ergebnisse der vorhandenen Forschungsarbeiten genutzt werden.

Im Rahmen der Realisierung stellt damit die Einbindung von Funktionen zur Ähnlichkeitssuche eine weitere, funktionale Anforderung an das zu entwickelnde Unterstützungssystem dar.

5.3 Strukturelle Anforderungen

Ergänzend zu den beschriebenen, funktionalen Anforderungen an das zu erarbeitende Unterstützungssystem müssen strukturelle Anforderungen an den Aufbau des Werkzeuges berücksichtigt werden. Diese werden in den nächsten Abschnitten erläutert.

5.3.1 Modularität

Die Organisationsform eines Unternehmens kann sich schnell und häufig ändern (Carbon 1996, Wiendahl & Scheffczyk 1997, Wiegand u. a. 1997). Damit können sich auch Art und Umfang der dezentralen Freiheitsgrade ändern, die durch den Facharbeiter an der Fertigungszelle im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ausgefüllt werden sollen (Decker & Gallasch 1996). Diese Änderungen in der Organisation eines Unternehmens dürfen nicht dazu führen, daß neue Unterstützungssysteme für die Mitarbeiter in der Produktion entwickelt, angeschafft und eingeführt werden müssen.

Deshalb ist es anzustreben, die Abhängigkeit des zu entwickelnden Systems von der Organisationsform des Unternehmens zu verringern. Gleichzeitig muß das System auf eine hohe Flexibilität ausgelegt sein, so daß dennoch notwendige Änderungen einfach vorgenommen werden können. Je feiner ein System strukturiert wird, um so flexibler kann es an sich ändernde Anforderungen angepaßt werden (Abbildung 5-3). Modulare Systeme sind damit besonders geeignet, der Forderung nach hoher Flexibilität Rechnung zu tragen (Martin 1998, Daude u. a. 1997).

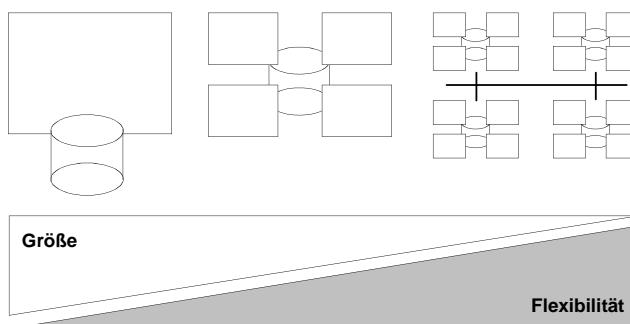


Abbildung 5-3: Zusammenhang zwischen der Größe eines Systems und seiner Flexibilität (nach Martin 1998, S. 69)

Modularität bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die einzelnen Planungsaufgaben im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung in getrennten Modulen ausgeführt werden. Alle diese Module müssen über eine definierte und offen gelegte Schnittstelle verfügen. Über eine Kommunikationsschicht wird si-

hergestellt, daß Informationen von einem Modul in das nächste Modul übertragen werden können.

Wird die Kompetenz zur Ausführung bestimmter Teilschritte in der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung auf andere Bereiche in der Produktion übertragen, so können die entsprechenden Teilmodule des Unterstützungssystems mit verschoben werden (Abbildung 5-4). Die Kommunikationsschicht stellt sicher, daß der Informationsfluß trotzdem erhalten bleibt. Anpassungen an sich ändernde Organisationsformen sind somit durch ein modular aufgebautes Werkzeug einfacher möglich (Rahman & Heikkala 1997).

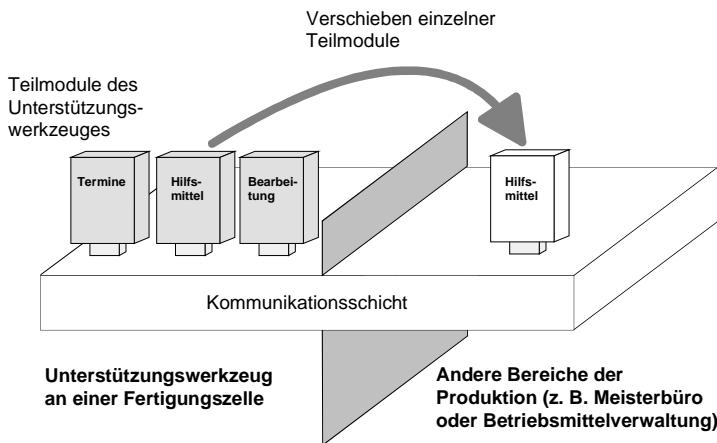


Abbildung 5-4: Modularität des Unterstützungswerkzeuges

Zudem läßt sich durch ein modular aufgebautes Informationssystem sein Funktionsumfang einfach skalieren (Pritschow u. a. 1993). Dem Facharbeiter an der Fertigungszelle können genau die Module zur Verfügung gestellt werden, die er zur Bewältigung der ihm zugewiesenen Aufgaben benötigt. Andere Module, die für seinen Zuständigkeitsbereich nicht von Interesse sind, können weggelassen und – wie oben gezeigt – an anderer Stelle genutzt werden (Frey 1997).

Soll der Funktionsumfang des Informationssystems erweitert werden, können zusätzliche Module eingefügt werden, ohne tiefgreifende Änderungen am gesamten

System vornehmen zu müssen. Dies ist ein weiterer Vorteil modularer Systeme (Blöchl 1996).

Ein modulares System ist also einfach an sich ändernde organisatorische Randbedingungen anpaßbar, kann in seinem Funktionsumfang skaliert werden und ist ohne allzu großen Aufwand erweiterbar. Eine modulare Gestaltung des Werkzeuges zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit ist somit als weitere Anforderungen festzuhalten. Bei der späteren Konzeptentwicklung ist allerdings zu berücksichtigen, daß modulare Systeme wesentlich durch ihre genau definierten Schnittstellen gekennzeichnet sind. Deshalb müssen bei der Vorstellung des Konzeptes des Unterstützungsstystems die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Funktionen des Systems genau beschrieben werden.

5.3.2 Integration in die Steuerung einer Fertigungszelle

Bei der Diskussion des technischen Aufbaus heutiger Informationssysteme zur Unterstützung des Benutzers (Abschnitt 4.4.5) wurde bereits über die räumliche Nähe des Unterstützungswerkzeuges zum Arbeitsplatz des Facharbeiters gesprochen. So kann die Nutzung des Werkzeuges vereinfacht und Informationsverluste vermieden werden. Aus Kostengründen soll außerdem nach Möglichkeit auf zusätzliche Hardware zum Aufbau eines Informationssystems verzichtet werden (Fleig & Schneider 1996).

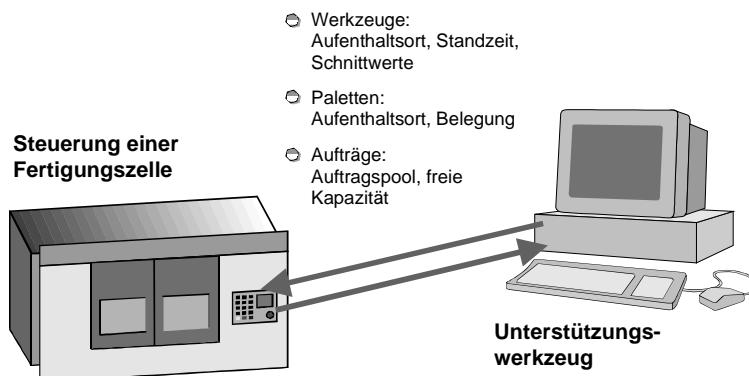


Abbildung 5-5: Verknüpfung des Unterstützungswerkzeuges mit der Zellensteuerung

Neben der räumlichen Nähe ist entscheidend, daß dem Mitarbeiter in der Produktion laufend aktuelle Daten als Planungsgrundlage über das Unterstützungssystem angeboten werden. Die Aktualität der Daten bestimmt die Qualität des Planungsergebnisses wesentlich mit (Reinhart & Ansorge 1997). Neben Daten aus übergeordneten Bereichen wie der Konstruktion und einer grob planenden, zentralen Instanz sind in diesem Zusammenhang Daten aus der Steuerung der Fertigungszelle von wesentlicher Bedeutung. Beispiele für Daten aus einer Fertigungszelle, die für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung von Bedeutung sind, sind in der Abbildung 5-5 dargestellt.

So stellen etwa die aktuell auf der Fertigungszelle vorhandenen Werkzeuge eine wichtige Randbedingung bei der Auswahl und Zuordnung von Werkzeugen zu einzelnen Bearbeitungsschritten dar. Von Bedeutung sind in diesem Zusammenhang zum Beispiel der derzeitige Aufenthaltsort des Werkzeuges, seine aktuelle Reststandzeit oder die mit diesem Werkzeug verknüpften Schnittwerte. Diese Daten liegen in der Steuerung der Fertigungszelle vor und müssen dem Facharbeiter im Unterstützungswerkzeug als Randbedingungen für die dezentrale Arbeitsplanung zur Verfügung gestellt werden.

Was hier beispielhaft für den Bereich der Werkzeugdaten beschrieben worden ist, gilt sinngemäß auch für andere Bereiche. So sind Daten über die vorhandenen Vorrichtungen erforderlich, um im Rahmen der Arbeitsplanung geeignete Vorrichtungen auswählen und die Aufspannungen festlegen zu können. Die dazu notwendigen Informationen wie zum Beispiel die Art, Anzahl und Belegung der vorhandenen Werkstückpaletten sind in heutigen Steuerungen abrufbar (Heller 1993, Siemens 1996). Wie in Abschnitt 4.3.1 dargestellt, verfügen herstellerübergreifend offene Steuerungen über ein Zellenauftragsmanagement, in dem der aktuelle Auftragspool und die freie Kapazität der Fertigungszelle gehalten wird. Diese Daten stellen eine wesentliche Grundlage für die Terminierung eines neuen Auftrages dar.

Neben Daten aus übergeordneten, zentralen Bereichen sind also Daten aus der Fertigungszelle eine wichtige Basis für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Es muß deshalb eine enge informationstechnische Kopplung zwischen dem Unterstützungswerkzeug und der Steuerung der Fertigungszelle erreicht werden. Aus der Forderung nach räumlicher Nähe des Werkzeuges zum Benutzer an der Fertigungszelle und aus Kostengründen ergibt sich damit als weitere strukturelle Anforderung an das zu erarbeitende Unterstützungswerkzeug seine Integration in die Steuerung der Fertigungszelle.

5.3.3 Nutzung herstellerübergreifend offener Steuerungen

Untersuchungen haben gezeigt, daß in der Vergangenheit viele von der Forschung vorgeschlagene Softwaresysteme in der Praxis aufgrund eines hohen Aufwandes bei der Realisierung gescheitert sind (*Feldmann u. a. 1994, Koch 1996b, Langen 1997*). Deshalb kommt einer Begrenzung des Realisierungsaufwandes und der damit verbundenen Kosten eine entscheidende Bedeutung bei der Konzeptentwicklung für ein neues Unterstützungssystem zu.

Der Aufwand bei der Realisierung eines derartigen Werkzeuges besteht nicht allein in der Programmierung der einzelnen Planungsmodule und ihrer Funktionen. Ein beträchtlicher Teil des Aufwandes muß geleistet werden, um die im vorigen Abschnitt geforderte Schnittstelle zur Zellensteuerung zu erstellen. Die Kosten liegen auch hier weniger in der einmaligen Erstellung einer Schnittstelle. Vielmehr muß diese Schnittstelle immer neu für jeden Steuerungstyp eines Herstellers und für die verschiedenen Steuerungen unterschiedlicher Hersteller erstellt werden (*Lutz & Seyfarth 1997*). Anpassungen für die verschiedenen Kundenwünsche erschweren diese Arbeiten zusätzlich.

Eine Lösung, diese Kosten wirksam zu senken, ist der Einsatz herstellerübergreifend offener Steuerungen. Durch die herstellerübergreifend einheitlichen Schnittstellen und durch die genaue Definition der hinter diesen Schnittstellen liegenden Funktionalität können Anpassungen einfach und kostengünstig vorgenommen werden (*Weck 1995, S. 171*). Durch die herstellerneutrale Gestaltung der Schnittstellen ist eine Übertragbarkeit auf vielfältige Steuerungen gesichert. Diese Kostenvorteile gilt es, bei der Umsetzung des im Rahmen der Arbeit erarbeitenden Systems zu erschließen.

Zudem bieten diese Steuerungen - wie in Kapitel 4.3 diskutiert - gegenüber heutigen Steuerungen bereits erweiterte Steuerungsfunktionen an. Diese können bei der Realisierung eines Unterstützungswerkzeuges genutzt werden. Somit gelingt es, nicht nur den Anpassungsaufwand gering zu halten. Vielmehr kann auch der Umfang der zu realisierenden Funktionen begrenzt werden.

Deshalb wird als weitere Anforderung an das zu realisierende Werkzeug zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit die Nutzung herstellerübergreifend offener Steuerungen festgehalten.

5.3.4 Handlungsorientierte Gestaltung der Benutzeroberfläche

Neben der Ganzheitlichkeit des Funktionsumfangs (Abschnitt 5.2.1) wird von den Mitarbeitern in der Produktion eine einfache Benutzung des Unterstützungswerkzeuges gewünscht (*Gottschalch 1996*).

Dem kommt auch deshalb eine besondere Bedeutung zu, da – wie die in den vorigen Abschnitten diskutierten Anforderungen erkennen lassen – ein ganzheitliches Werkzeug, das die Abhängigkeiten der einzelnen Funktionsbereiche berücksichtigt, weitreichend in seinem Funktionsumfang sein muß.

Die erfolgreiche Nutzung eines derartigen Unterstützungswerkzeuges hängt dann wesentlich davon ab, daß der Benutzer effizient durch dessen Funktionen geführt wird. Die logische Verknüpfung der Einzelergebnisse der jeweiligen Funktionen zu einem vollständigen und wirtschaftlichen Planungsergebnis darf deshalb nicht allein dem Können des Facharbeiters überlassen bleiben. Vielmehr muß ein sinnvolles Vorgehen bei der Nutzung durch das Werkzeug selbst vorgegeben sein (*Ilg 1998*).

Diese Fragestellungen wurden unter anderem im Rahmen des Verbundprojektes HÜMNOs untersucht. Als Ergebnis wurden Gestaltungsanforderungen an die Benutzeroberfläche von Werkzeugmaschinensteuerungen erarbeitet. Dabei hat sich in einer breiten Untersuchung gezeigt, daß ein handlungsorientierter Aufbau der Benutzeroberflächen von den Benutzern als beste Unterstützung bei ihrer täglichen Arbeit empfunden wird (*Rose u. a. 1998*). Mit dem Begriff der Handlungsorientierung ist gemeint, daß vom Benutzer als zusammengehörig erlebte Handlungsschnitte auch zu gemeinsamen Menüpunkten zusammengefaßt werden. Aus dieser Überlegung heraus wurden in HÜMNOs acht sogenannte Handlungsbausteine erarbeitet, die jeweils aus der Sicht der Facharbeiter zusammengehörige Steuerungsfunktionen umfassen.

Diese Gliederung der Benutzeroberflächen bedeutet eine Abkehr von der bisher üblichen funktionsorientierten Gestaltung. Wurden bisher zum Beispiel im Sinne einer funktionalen Strukturierung alle das Werkzeugmanagement betreffenden Funktionen in einem Menübereich integriert, so werden jetzt die Steuerungsfunktionen zur Diagnose, zum Bearbeiten oder zum Dokumentieren zusammengefaßt (*Delp & Eissler 1998*).

Anhand von Untersuchungen und Befragungen wurde im Rahmen des Projektes HÜMNOs nachgewiesen, daß diese handlungsorientierte Menüstrukturierung einen

intuitiven Zugriff auf die Benutzungsfunktionen fördert und damit die Arbeit mit der Steuerung sicherer und schneller werden läßt (Rose u. a. 1998).

Bei der Gestaltung der Benutzungsoberfläche des im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit muß diese Forderung der Benutzer aufgegriffen werden. Deshalb wird die handlungsorientierte Gestaltung der Benutzungsoberfläche als weitere strukturelle Anforderung an das Unterstützungssystem festgehalten.

5.4 Zusammenfassung

Auf Basis der in Kapitel 3 untersuchten erweiterten Aufgaben des Facharbeiters und der in Kapitel 4 ermittelten Schwachpunkte heutiger Informationssysteme wurden in Kapitel 5 die Anforderungen an das zu erarbeitende System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit analysiert. Dabei hat sich gezeigt, welchen Anforderungen ein Unterstützungssystem genügen muß, um der Zielsetzung einer Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit gerecht zu werden.

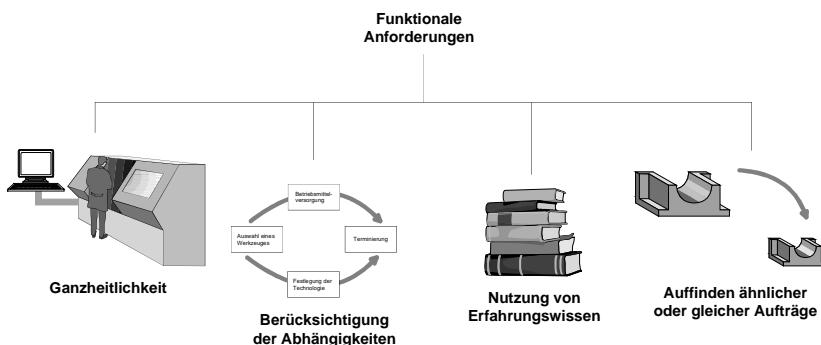


Abbildung 5-6: Zusammenfassung der funktionalen Anforderungen

Die im Rahmen der Analyse erarbeiteten funktionalen Anforderungen an das zu erarbeitende System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit sind in der Abbildung 5-6 noch einmal im Überblick zusammengefaßt. Die Abbildung 5-7 zeigt die analysierten, strukturellen Anforderungen.

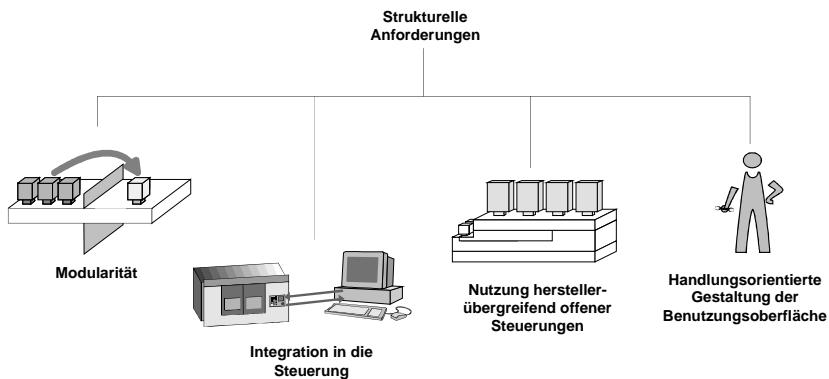


Abbildung 5-7: Zusammenfassung der strukturellen Anforderungen

Diese hier diskutierten Anforderungen dienen als Grundlage für die folgende Darstellung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzeptes für ein neuartiges System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit durch die Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung.

6 Konzept des Unterstützungssystems

6.1 Überblick

In den vorigen Kapiteln wurden die Aufgaben des Facharbeiters im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ermittelt (Kapitel 3), die Defizite heutiger Ansätze zur Unterstützung des Facharbeiters aufgezeigt (Kapitel 4) und die Anforderungen an derartige Systeme untersucht (Kapitel 5). Ausgehend von dieser Grundlage wird im vorliegenden Kapitel das Konzept des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit vorgestellt.

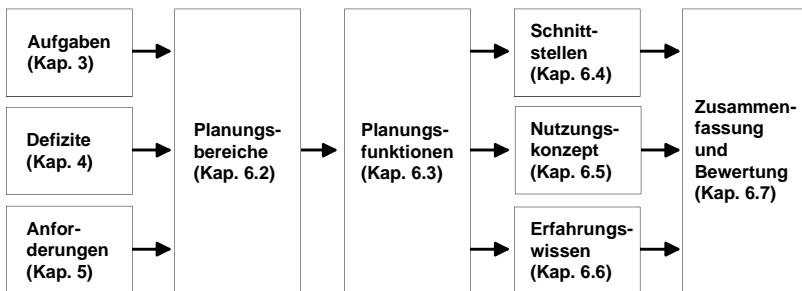


Abbildung 6-1: Vorgehen im Kapitel 6

Dabei wird wie folgt vorgegangen (Abbildung 6-1): Auf Basis der in den Kapiteln 3, 4 und 5 durchgeführten Analysen werden zunächst die sogenannten Planungsbereiche des Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit abgeleitet (Abschnitt 6.2). In Abschnitt 6.3 werden diese Planungsbereiche weiter detailliert. Dazu werden die Planungsfunktionen eingeführt und die internen Schnittstellen zwischen diesen Planungsfunktionen detailliert untersucht. Als Grundlage für die spätere Realisierung des Werkzeugs sind auch die externen Schnittstellen zu übergeordneten Bereichen und zur Steuerungsebene von Bedeutung. Deshalb ist der Betrachtung dieser Schnittstellen ein weiteres Kapitel gewidmet (Abschnitt 6.4).

Nachdem dann die Struktur des Unterstützungssystems und sein Funktionsumfang bekannt sind, kann auf das Vorgehen bei der Nutzung des Werkzeuges eingegangen

werden. Dazu wurde, der Idee der Handlungsorientierung folgend, ein Konzept entwickelt, das in Abschnitt 6.5 erläutert wird. In Abschnitt 6.6 wird dargestellt, wie durch das entwickelte System das Erfahrungswissen der Facharbeiter besser genutzt werden kann. Eine Bewertung und eine Zusammenfassung schließen das vorliegende Kapitel ab (Abschnitt 6.7).

6.2 Bestimmung der Planungsbereiche

Wesentliche Grundlage für die Entwicklung der Planungsbereiche sind die Untersuchungen zu den Aufgaben des Facharbeiters in der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Kapitel 3). In Abschnitt 3.3 wurden die einzelnen Planungsschritte, die der Facharbeiter im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung durchführt, vier Bereichen zugeordnet. Diese vier Bereiche sind Disposition, Bearbeitungsplanung, Ablaufplanung und Rüstplanung.

Diese Einteilung ist noch zu unscharf, als daß auf dieser Basis das Konzept des entwickelten Unterstützungssystems weiter detailliert werden könnte. Deshalb wird im folgenden Abschnitt das Vorgehen des Facharbeiters in die sogenannten Planungsbereiche gegliedert. Die Ermittlung dieser Planungsbereiche folgt eng dem Vorgehen der Facharbeiter bei der Bewältigung ihrer Aufgaben in der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Alle in Abschnitt 3.3 ermittelten Planungsschritte des Facharbeiters müssen in den hier vorgestellten Planungsbereichen enthalten sein.

Im Aufgabenfeld Disposition wurden in Abschnitt 3.3 Planungsschritte sowohl zur Terminierung eines Auftrages als auch zur Ermittlung des Zeitbedarfs eines Auftrages zusammengefaßt. Zur Terminierung eines Auftrages ist im Sinne des beschriebenen, iterativen Vorgehens zunächst eine grobe terminliche Einordnung des Auftrages erforderlich. In späteren Planungsphasen werden dann vom Facharbeiter Möglichkeiten zur Feinterminierung des Auftrags und zur Terminierung der Versorgung mit Betriebsmitteln und mit Material benötigt.

Damit zwar eng verknüpft, aber dennoch einem anderen Aufgabenfeld zuzuordnen, sind Planungsschritte, die zur Abschätzung bzw. zur Bestimmung des Zeitbedarfs für eine Auftragsbearbeitung notwendig sind. Auch hier ist ein schrittweises Detaillieren im Vorgehen des Facharbeiters festzustellen. So können Planungsschritte zur groben Bestimmung des Zeitbedarfs von Planungsschritten zur Zeitberechnung unterschieden werden.

Beide Bereiche – die Terminierung und die Zeitermittlung – sind zwar von einander abhängig und damit aufeinander bezogen. Nichtsdestotrotz können sie von einander abgegrenzt werden. Im Sinne der in Kapitel 5 geforderten Modularisierung der einzelnen Teilbereiche des Unterstützungssystems wird deshalb das Aufgabenfeld der Disposition in zwei Planungsbereiche aufgeteilt.

Somit ergeben sich aus dem Aufgabenfeld Disposition die Zeitermittlung und die Terminierung als die ersten zwei Planungsbereiche des entwickelten Systems. Die in diesen Planungsbereichen jeweils zusammengefaßten Planungsschritte sind in der Abbildung 6-2 dargestellt. Die grauen Pfeile in der Abbildung deuten die Richtung einer zunehmenden Detaillierung an, wie sie im Abschnitt 3.3 bereits angesprochen wurde.

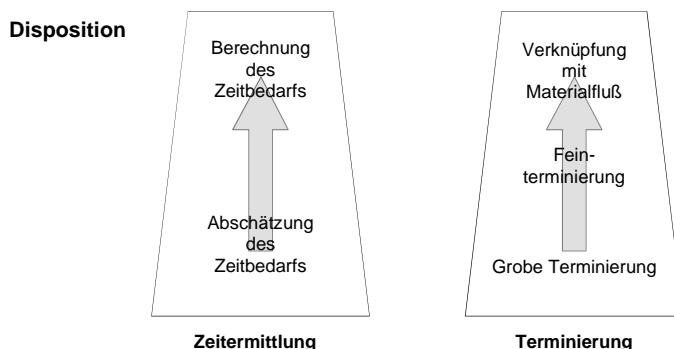


Abbildung 6-2: Planungsschritte der Bereiche Zeitermittlung und Terminierung im Aufgabenfeld Disposition

Das Aufgabenfeld der Bearbeitungsplanung faßt nach Abschnitt 3.3 die grobe Planung der Bearbeitung und die Ausarbeitung der Bearbeitung zusammen. Dabei wird ein geeigneter Rohling ausgewählt, werden Strategien zur Bearbeitung festgelegt und Werkzeuge und Vorrichtungen betrachtet. Damit wird ein sehr breites Aufgabenfeld beschrieben. Um einen modularen Aufbau des Unterstützungssystems zu erreichen und um die Abhängigkeiten innerhalb dieses breiten Aufgabenfeldes aufzudecken, muß hier eine feinere Strukturierung gefunden werden.

Zunächst wird deshalb der Begriff der Bearbeitung eingegengt auf die Planung der Arbeitsvorgänge zur Bearbeitung. Er umfaßt damit nur noch die Planungsschritte,

die zur Festlegung der Strategie für die einzelnen Bearbeitungsschritte durchlaufen werden. Dies meint neben der Festlegung der Aufspannung die Bestimmung der Bearbeitungsschritte und die Bewegungsplanung. Der Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung ist so enger gefaßt und stärker fokussiert.

Die Aspekte der Festlegung von Material, Werkzeugen und Vorrichtungen sind damit noch nicht betrachtet. Diese werden in jeweils eigene Planungsbereiche überführt. Sie bestimmen zwar jeweils die Bearbeitungstechnologie wesentlich mit und sind deshalb eng verknüpft zu sehen mit dem Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung. Sie haben aber auch eigene Aufgaben während des Planungsvorgangs.

Im Planungsbereich Material erfolgt die Festlegung des Rohlings. Dies geschieht in zwei Schritten. Zunächst werden durch den Facharbeiter grobe Festlegungen zur Form des Rohlings getroffen, bevor dann in einem zweiten Schritt die Anforderungen an den Rohling detailliert werden. Neben einer Festlegung der geometrischen Abmaße des Rohlings sind zum Beispiel die Anforderungen an seine Oberflächenqualität zu ermitteln.

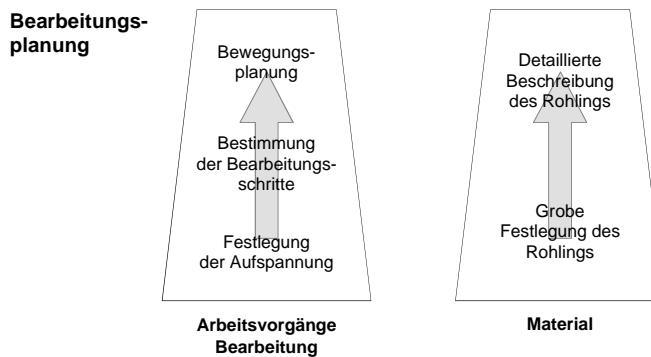


Abbildung 6-3: Planungsschritte der Bereiche Arbeitsvorgänge Bearbeitung und Material im Aufgabenfeld Bearbeitungsplanung

In der Abbildung 6-3 sind die Planungsbereiche Arbeitsvorgänge Bearbeitung und Material mit ihren Planungsschritten dargestellt. Wieder zeigt ein Pfeil die Richtung der schrittweisen Detaillierung an.

Die Planungsbereiche Werkzeuge und Vorrichtungen müssen ebenfalls genauer betrachtet werden. Im Planungsbereich Werkzeuge wird durch den Facharbeiter zunächst der Typ des einzusetzenden Werkzeuges festgelegt. Dann werden in einem nächsten Planungsschritt die technologischen Eigenschaften des Werkzeuges spezifiziert. Daraus ergibt sich dann ein spezielles Werkzeug, das zur Auftragsbearbeitung benutzt werden soll. Dann ermittelt der Facharbeiter den Bedarf an Werkzeugen. Dieser Bedarf dient als wesentliche Grundlage zur Planung einer kontinuierlichen Versorgung mit Werkzeugen während der Auftragsbearbeitung.

Im Planungsbereich Vorrichtungen legt der Facharbeiter zunächst den Vorrichtungstyp fest, bevor er dann eine Vorrichtung konkret auswählen kann und ihre Spannparameter bestimmt werden können. Abschließend wird der Bedarf an Vorrichtungen bestimmt.

Der Bereich der Ablaufprogrammierung ist damit noch offen. Es wird dem neuen Planungsbereich Abläufe Bearbeitung zugeordnet. Während im Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung einzelne Bearbeitungsschritte festgelegt werden, wird in diesem neuen Planungsbereich durch den Facharbeiter der Zellendurchlauf für einen Auftrag geplant. Es entstehen die automatisierten Abläufe innerhalb der Fertigungszelle und die Programme zur Koordinierung der einzelnen Teilkomponenten der Zelle. Neben einer Festlegung der Aufgabenverteilung zwischen dem Menschen und der Fertigungszelle werden die automatisierten Abläufe soweit detailliert, daß daraus Programme zur Steuerung dieser Abläufe erzeugt werden können.

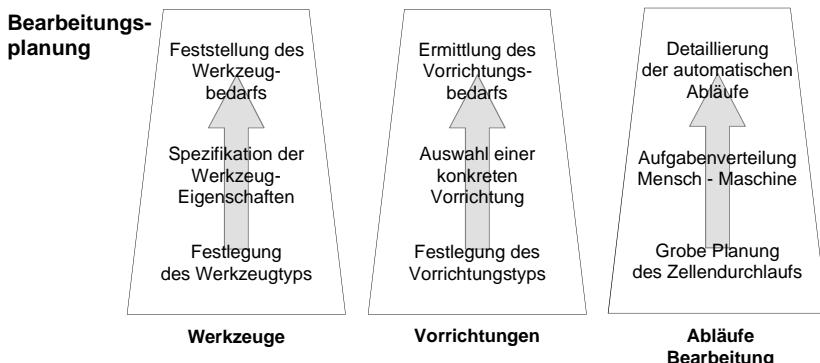


Abbildung 6-4: Planungsschritte der Bereiche Werkzeuge, Vorrichtungen und Abläufe Bearbeitung im Aufgabenfeld Bearbeitungsplanung

Die Abbildung 6-4 stellt die Planungsschritte, die der Facharbeiter in den Bereichen Werkzeuge, Vorrichtungen und Ablaufplanung durchführt, in ihrer schrittweise detaillierenden Abfolge dar. Damit wurden ausgehend vom Aufgabenfeld der Bearbeitungsplanung fünf neue Planungsbereiche gefunden. Sie werden mit den Begriffen Arbeitsvorgänge Bearbeitung, Material, Werkzeuge, Vorrichtungen und Abläufe Bearbeitung bezeichnet.

Die bis jetzt eingeführten Planungsbereiche dienen der Planung der Bearbeitung eines Auftrages. Sie stellen noch keine Möglichkeit dar, im Rahmen eines Planungsvorgangs auch das Rüsten zu betrachten. Deshalb müssen noch weitere Planungsbereiche eingeführt werden, welche die Planungsschritte des Facharbeiters für das Rüsten repräsentieren. In Analogie zu den Untersuchungen zur Bearbeitungsplanung werden für das Aufgabenfeld der Rüstplanung zwei Planungsbereiche unterschieden (Abbildung 6-5).

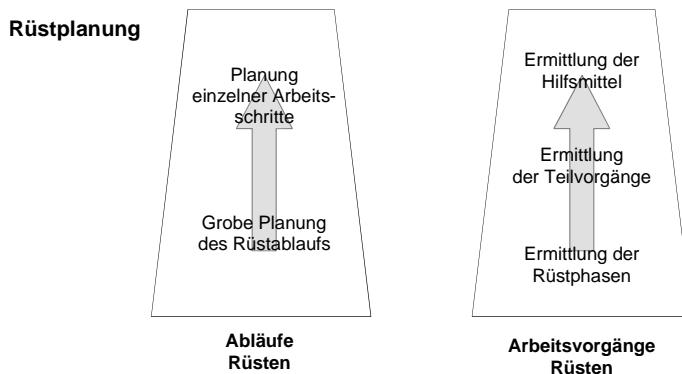


Abbildung 6-5: Planungsschritte der Bereiche Abläufe Bearbeitung, Abläufe Rüsten und Arbeitsvorgänge Rüsten im Aufgabenfeld Rüstplanung

Der erste Planungsbereich umfaßt die Ablaufplanung des Rüstens, während der zweite den Facharbeiter bei der Planung einzelner Teiltätigkeiten des Rüstens unterstützt. Im ersten Planungsbereich – er wird mit Abläufe Rüsten bezeichnet – wird durch den Facharbeiter zunächst eine grobe Planung des Rüstablaufs vorgenommen. Dann werden durch den Mitarbeiter in der Produktion einzelne Arbeitsschritte des Rüstens in ihrem Ablauf noch weiter detailliert, falls dies notwendig sein sollte.

Der zweite Planungsbereich – Arbeitsvorgänge Rüsten – dient dazu, in einem ersten Schritt die einzelnen Rüstphasen zu ermitteln. Dies sind zum Beispiel das Be- und Entladen der Fertigungszelle mit neuen Werkzeugen oder das Einbringen neuer Vorrichtungen. Dann können die Teilvergänge dieser Rüstphasen weiter detailliert und gegebenenfalls notwendige Hilfsmittel ermittelt werden.

Damit weist das entwickelte Unterstützungssystem neun Planungsbereiche auf, welche die durch den Facharbeiter durchgeführten Planungsschritte im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung umfassen. Alle diese Planungsschritte müssen durch den Funktionsumfang eines Unterstützungssystems abgedeckt werden. Damit ergibt sich so auch ein Überblick über den notwendigen Funktionsumfang eines Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit.

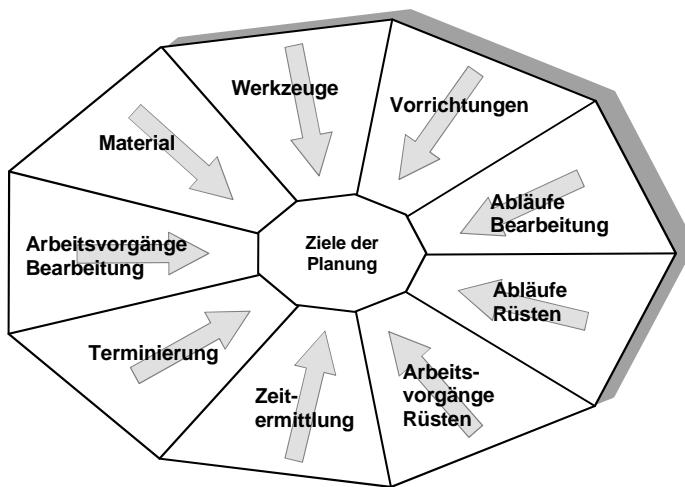


Abbildung 6-6: Zusammenfassung der ermittelten neun Planungsbereiche

Abschließend zusammengefaßt werden diese Planungsbereiche in der Abbildung 6-6. Dazu werden alle Planungsbereiche zu einer Fläche verbunden. In der Mitte der Fläche sind die in Abschnitt 3.3 erarbeiteten Aufgaben bzw. Ziele des Planungsvorgangs dargestellt. Die grauen Pfeile deuten die Richtung der schrittweisen Detaillierung der Planungsergebnisse auf diese Planungsziele hin an.

Für eine exakte Untersuchung der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Planungsbereichen und der Schnittstellen innerhalb der Planungsbereiche muß die Be- trachtung noch weiter verfeinert werden. Deshalb werden im folgenden Abschnitt die sogenannten Planungsfunktionen definiert.

6.3 Entwicklung der Planungsfunktionen

Zunächst wird im Rahmen einer kurzen Einführung in den Abschnitt 6.3 die Modellierungstechnik beschrieben, mit deren Hilfe die Planungsfunktionen erarbeitet worden sind. Dann werden in den nachfolgenden Teilkapiteln auf Basis der in Abschnitt 6.2 beschriebenen Planungsschritte und geordnet nach den einzelnen Planungsbereichen die Planungsfunktionen vorgestellt. Sie werden in der Reihenfolge der schrittweisen Detaillierung innerhalb der Planungsbereiche eingeführt. Jede einzelne Planungsfunktion ist dabei eingebettet in ein enges Geflecht aus Abhängigkeiten und Beziehungen zu anderen Planungsfunktionen. So werden Ergebnisse aus einzelnen Planungsbereichen auch über Bereichsgrenzen hinweg zwischen den Planungsfunktionen ausgetauscht und das Planungsergebnis schrittweise verfeinert.

Deshalb muß besonderes Gewicht auf die Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den Planungsfunktionen gelegt werden. Dadurch kann zusätzlich die Modularität des entwickelten Systems herausgearbeitet werden. Für die Darstellung der Planungsfunktionen wird von der ablauforientierten Sicht auf das Unterstützungssystem, welche die vorigen Kapitel geprägt hat, auf eine funktionsorientierte Sicht auf die einzelnen Planungsbereiche übergegangen. Dies dient der klareren Darstellung des gesamten Funktionsumfangs und der übersichtlichen Präsentation der einzelnen Planungsfunktionen.

Die bereits in Abschnitt 5.2.2 aufgezeigten, komplexen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Planungsfunktionen müssen für den Benutzer eines Unterstützungs- werkzeuges beherrschbar bleiben. Deshalb wird in Abschnitt 6.5 ein Konzept zur Nutzung der Planungsfunktionen durch den Facharbeiter vorgestellt.

6.3.1 Eingesetzte Modellierungstechnik

Um den Funktionsumfang des Unterstützungssystems und die Verknüpfungen zwischen seinen Funktionen genau beschreiben zu können, wurde im Rahmen der Ent- wicklung auf Methoden aus dem Bereich der objektorientierten Software-

entwicklung zurückgegriffen. Im Bereich der Systemanalyse wird dabei häufig auf die sogenannten Use Cases zurückgegriffen (Oestereich 1997).

Diese ursprünglich von *Jacobson u. a. (1992)* entwickelte Methode dient der Beschreibung der Anwendung eines Systems. Es werden mit Hilfe der Use Cases – oder zu deutsch Anwendungsfälle – „die grundlegenden Handlungen und Umstände benannt, die nötig sind, damit ein Anwender zu einem Zeitpunkt mit einem Anwendungssystem einen Arbeitsgang durchführen kann“ (Oestereich 1997, S. 213). Alle Use Cases zusammen bilden ein Modell, welches das Gesamtverhalten des zu realisierenden Systems beschreibt.

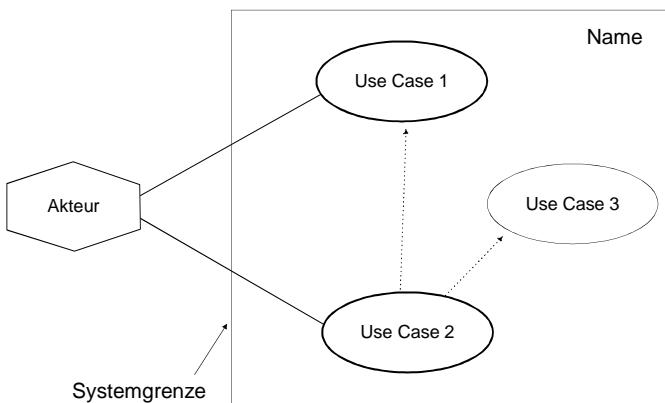


Abbildung 6-7: Elemente eines Use Case Diagramms

Dargestellt werden diese Use Cases in sogenannten Use Case Diagrammen. Die wesentlichen Elemente dieser Diagramme können der Abbildung 6-7 entnommen werden. Ergänzt werden diese Diagramme durch eine formlose, textuelle Beschreibung der auftretenden Ereignisse.

Das Use Case Diagramm enthält eine Menge von Use Cases, die durch einzelne Ellipsen dargestellt werden. Diese Use Cases sind über durchgezogenen Linien mit den Objekten oder Akteuren verbunden, die diese Anwendungsfälle auslösen. Im hier zu betrachtenden System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit wird dieser Akteur immer der Facharbeiter sein.

Ein gestrichelter Pfeil zwischen zwei Use Cases zeigt an, daß das Verhalten eines Anwendungsfalles vom Ergebnis des Use Cases abhängt, auf den die Pfeilspitze zeigt. Mit Hilfe dieser Notation können also Abhängigkeiten und Schnittstellen zwischen einzelnen Use Cases offengelegt werden. Der Rahmen um die Anwendungsfälle symbolisiert die Systemgrenze.

Um im Rahmen dieser Arbeit deutlich zu machen, welche Use Cases mit ihren Beziehungen im zugehörigen Text erläutert werden, sind diese durch eine fett gedruckte Ellipse gekennzeichnet. In der Abbildung 6-7 sind dies beispielhaft die Use Cases 1 und 2.

Die einzelnen Use Cases können später während des Designs und der Implementierung weiter detailliert werden. Dazu stehen weitere Beschreibungstechniken aus dem Bereich der objektorientierten Softwareentwicklung zur Verfügung. Damit ist die Modellierungstechnik der Use Cases nicht isoliert, vielmehr können die mit ihr erzielten Ergebnisse im weiteren Design und während der Implementierung als wesentliche Grundlage genutzt werden.

Gerade zur Beschreibung der komplexen Abhängigkeiten und Verknüpfungen zwischen den einzelnen Planungsfunktionen eignet sich die Beschreibungstechnik der Use Cases gut. Deshalb wurde sie bei der Entwicklung der Planungsfunktionen eingesetzt. Da sich diese Methode auch gut zu einer einfachen und klaren Darstellung eignet, wird sie im folgenden auch zur Beschreibung der Planungsfunktionen genutzt. In den nächsten Kapiteln werden die erstellten Use Case Diagramme gezeigt und eine Erläuterung in Textform gegeben.

6.3.2 Planungsfunktionen des Bereichs Zeitermittlung

Die in Abschnitt 6.2 durchgeführte Analyse hat ergeben, daß im Planungsbereich Zeitermittlung zwei wesentliche Planungsschritte durchgeführt werden. Dies sind die Abschätzung und die Berechnung des Zeitbedarfs für einzelne Vorgänge innerhalb der Fertigungszelle. Vier Planungsfunktionen werden diesem Planungsbereich zugeordnet.

Die erste Planungsfunktion dient zur Überprüfung der Vorgabezeit für die Bearbeitung. Diese Vorgabezeit wird dem Facharbeiter meist von übergeordneten Bereichen – wie etwa der Leitebene – zusammen mit terminlichen Randbedingungen und Fertigungszeichnungen zur Verfügung gestellt. Mit der Planungsfunktion ist eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Anpassung dieser vorgegebenen Zeit mög-

lich. Dieser jetzt überprüfte, aber noch nicht berechnete Zeitwert wird im nächsten Planungsschritt zur Kapazitätsabschätzung genutzt. Die zugehörige Planungsfunktion wird innerhalb des Planungsbereiches Terminierung zur Verfügung gestellt.

Die zweite Funktion des Planungsbereichs Zeitermittlung dient zur groben Bestimmung des Zeitbedarfs für die Zellenabläufe. Nach der Planung der Zellenabläufe wird mit dieser Funktion ermittelt, wie lange einzelne Abläufe wie Transport oder Messvorgang dauern werden. Dies dient einer verfeinerten Terminierung des Auftrags. Eingangsgrößen für diese Planungsfunktion sind die Abläufe innerhalb der Zelle, die vorher geprüfte Vorgabezeit für die Bearbeitung und die einzelnen Bearbeitungsschritte. Diese Größen werden von den entsprechenden Planungsfunktionen aus den Bereichen Arbeitsvorgänge Bearbeitung und Abläufe Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Ausgangsgröße der Planungsfunktion sind abgeschätzte Werte für den Zeitbedarf der einzelnen Abläufe. In der Abbildung 6-8 werden die beiden Planungsfunktionen mit ihren Abhängigkeiten von anderen Funktionen des Unterstützungssystems als Use Case Diagramm dargestellt. Als Orientierungshilfe wird zusätzlich der entsprechende Planungsbereich gemäß Abbildung 6-6 angezeigt.

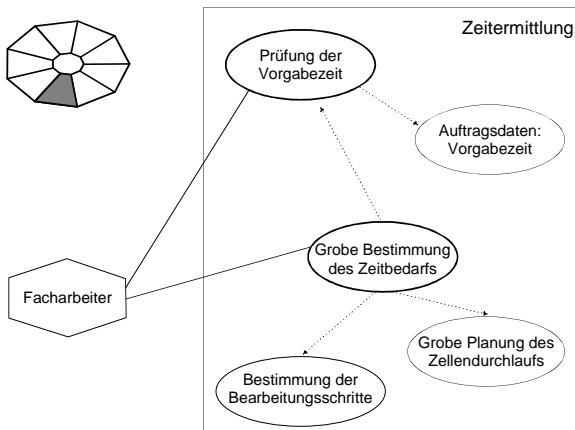


Abbildung 6-8: Planungsfunktionen zur Abschätzung des Zeitbedarfs im Planungsbereich Zeitermittlung

Im Planungsbereich Zeitermittlung steht als nächster Detaillierungsschritt zur Berechnung des Zeitbedarfs eine Planungsfunktion zur Berechnung der Bearbeitungs-

zeit zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe wird der Zeitbedarf für einen Durchlauf des NC-Programmes ermittelt. Als Eingangsgröße hierfür ist das NC-Programm notwendig. Es muß vorher im Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung mit der entsprechenden Planungsfunktion zur Bewegungsplanung erstellt werden. Aus der Zellensteuerung werden maximale Verfahrgeschwindigkeiten, die Dauer eines Werkzeugwechsels und Satzwechselzeiten benötigt. Diese Größen müssen über eine Schnittstelle zur Zellensteuerung zur Verfügung gestellt werden. Als Ausgangsgröße stellt diese Planungsfunktion die berechnete Bearbeitungszeit zur Verfügung. Sie dient als Grundlage für weitere Planungsschritte, wie zum Beispiel der Terminierung des Auftrages.

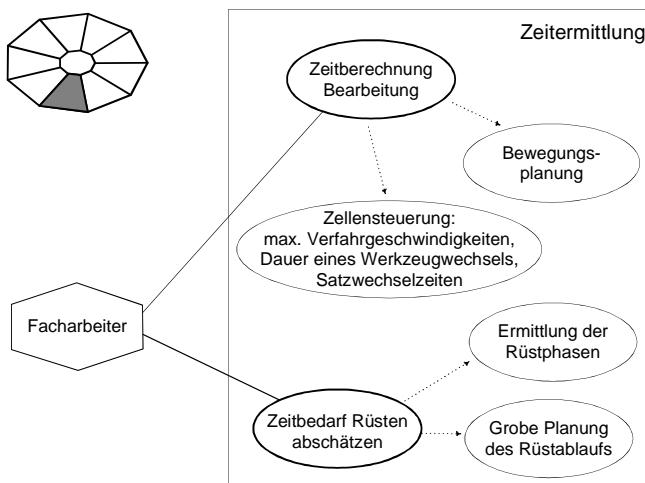


Abbildung 6-9: Planungsfunktionen im Planungsbereich Zeitermittlung zur Zeitberechnung für die Bearbeitung und zur Abschätzung des Zeitbedarfs für das Rüsten

Um den Facharbeiter bei der Abschätzung des Zeitbedarfs für das Rüsten zu unterstützen, wurde eine weitere Planungsfunktion entwickelt. Als Eingangsgröße für diese Planungsfunktion muß eine Liste der benötigten Rüstphasen und der Rüstschrifte vorhanden sein. Diese werden durch Planungsfunktionen aus den Bereichen Abläufe Rüsten und Arbeitsvorgänge Rüsten ermittelt. Als Ausgangsgröße liefert diese Planungsfunktion dann einen geschätzten Zeitbedarf für das Rüsten. Dieser

geht dann zum Beispiel in die Terminierung des Rüstens im Rahmen späterer Planungsschritte ein. Die Abbildung 6-9 faßt die Planungsfunktionen zur Zeitberechnung und zur Abschätzung des Zeitbedarfs für das Rüsten als Use Case Diagramm zusammen.

6.3.3 Planungsfunktionen des Bereichs Terminierung

Wie im Abschnitt 6.2 beschrieben, sind im Planungsbereich Terminierung Funktionen zur groben, terminlichen Einordnung und zur Feiterminierung des Auftrages sowie zur Verknüpfung mit dem Materialfluß erforderlich. Diese Funktionen müssen jetzt ausgearbeitet und ihre Abhängigkeiten beschrieben werden.

Die erste Planungsfunktion des Bereichs Terminierung dient der Kapazitätsabschätzung. Mit ihrer Hilfe wird durch den Facharbeiter überprüft, ob auf der Fertigungszelle genügend freie Kapazität vorhanden ist, um einen Auftrag innerhalb der durch übergeordnete Bereiche gesetzten, terminlichen Randbedingungen durchzuführen. Als Eingangsdaten sind die terminlichen Randbedingungen, die Losgröße, die geprüfte Vorgabezeit und die aktuelle Auslastung der Zelle erforderlich. Termine und Losgröße werden mit den Auftragsdaten von übergeordneten Bereichen wie zum Beispiel von einer Leitebene zur Verfügung gestellt. Die aktuelle Auslastung der Zelle kann über die Schnittstelle zur Zellensteuerung abgegriffen werden, die in Abschnitt 6.4.2 beschrieben wird. Die geprüfte Vorgabezeit wird von der entsprechenden Planungsfunktion aus dem Bereich Zeitermittlung zur Verfügung gestellt.

Ausgangsgröße dieser Planungsfunktion ist die Aussage, ob der Auftrag innerhalb seiner terminlichen Randbedingungen auf der Fertigungszelle gefertigt werden kann oder nicht. Gleichzeitig findet eine erste Zuweisung der benötigten Kapazität zu diesem Auftrag und eine grobe Terminierung statt.

Die zweite Planungsfunktion des Planungsbereichs dient der Terminierung der Bearbeitung. Dabei ist allerdings die Dauer der Bearbeitung noch unscharf, da die notwendigen Informationen für eine Berechnung der Bearbeitungsdauer noch nicht zur Verfügung stehen. Als Eingangsgröße wird neben den Terminen der abgeschätzte Zeitbedarf für die Abläufe innerhalb der Zelle benötigt, wie er in der entsprechenden Planungsfunktion des Bereichs Zeitermittlung ermittelt wurde. Zusätzlich werden die bereits auf der Fertigungszelle eingeplanten Aufträge, ihre Termine und die grobe Terminierung des neuen Auftrages aus der Planungsfunktion Kapazitätsab-

schätzung benötigt. Die aktuelle Auftragsliste kann über entsprechende Schnittstellen aus der Zellensteuerung bezogen werden.

Mit Hilfe der nächsten Planungsfunktion wird die Terminierung der Bearbeitung durch den Facharbeiter noch einmal überprüft und damit abgeschlossen. Ist inzwischen die Planung der Bearbeitung abgeschlossen, liegen jetzt aus dem Planungsbereich Zeitermittlung berechnete Werte für die Bearbeitungsdauer vor. Dies kann die Terminierung des Auftrages noch einmal beeinflussen und Änderungen notwendig machen. Aus der Zelle wird dazu die aktuelle, terminierte Auftragsliste benötigt. Aus der Leitebene werden die terminlichen Eckdaten übernommen, während der berechnete Zeitbedarf von vorhergehenden Planungsfunktionen des Bereichs Zeitermittlung zur Verfügung gestellt wird.

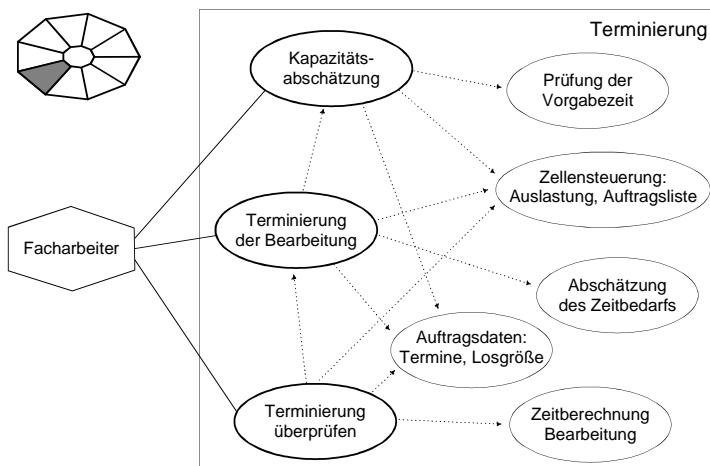


Abbildung 6-10: Planungsfunktionen zur Kapazitätsabschätzung und zur schrittweisen Terminierung im Planungsbereich Terminierung

Die Abbildung 6-10 faßt die Planungsfunktionen zur Kapazitätsabschätzung und zur schrittweisen Terminierung der Bearbeitung in einer Darstellung als Use Case Diagramm zusammen.

Wenn nach weiteren Planungsschritten das Rüsten der Fertigungszelle grob geplant worden ist, stehen die notwendigen Eingangsdaten zur Terminierung des Rüstens

zur Verfügung. Dafür ist eine weitere Planungsfunktion im Bereich Terminierung vorgesehen. In dieser Planungsfunktion wird, ausgehend vom Zeitbedarf für das Rüsten, wie er im Bereich Zeitermittlung abgeschätzt wurde, eine Terminierung des Rüstens vorgenommen. Um sicherzustellen, daß der Facharbeiter eine Rüstoptimierung durchführen kann, wird aus der Zellensteuerung der aktuelle Rüstzustand der Fertigungszelle für diese Planungsfunktion benötigt.

Die letzte Planungsfunktion im Bereich Terminierung dient der Terminierung der Beschaffung der Werkzeuge und der Hilfsmittel zum Rüsten der Fertigungszelle. Dazu ist die Werkzeug – Differenzliste notwendig. Sie wird im Planungsbereich Werkzeuge bei der Feststellung des Werkzeugbedarfs ermittelt. Außerdem wird die Beschreibung der Hilfsmittel für das Rüsten benötigt. Dazu steht eine Planungsfunktion aus dem Bereich Arbeitsvorgänge Rüsten zur Verfügung. Eine weitere wichtige Randbedingung für die Terminierung der Versorgung mit Werkzeugen und Hilfsmitteln ist der vorher ermittelte Zeitpunkt für das Rüsten. Deshalb muß auch dieser Termin als Eingangsgröße der Planungsfunktion zur Verfügung stehen.

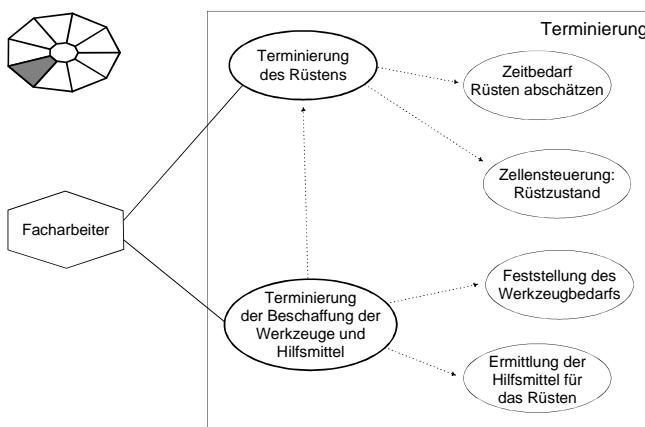


Abbildung 6-11: Planungsfunktionen zur Terminierung des Rüstens und zur Terminierung der Versorgung mit Werkzeugen und Hilfsmitteln im Planungsbereich Terminierung

Die Planungsfunktionen zur Terminierung des Rüstens und zur Terminierung der Versorgung mit Werkzeugen und Hilfsmitteln sind in Abbildung 6-11 in einer Dar-

stellung als Use Case Diagramm zusammengefaßt. Damit sind im Planungsbereich Terminierung fünf Planungsfunktionen zu realisieren. Als Grundlage für die Realisierung dienen die ausgearbeiteten und hier dargestellten Use Case Diagramme.

6.3.4 Planungsfunktionen des Bereichs Arbeitsvorgänge Bearbeitung

Im Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung wird im wesentlichen die schrittweise Erstellung des NC-Programmes betrachtet. Dazu werden drei Planungsfunktionen zur Verfügung gestellt (Abbildung 6-12).

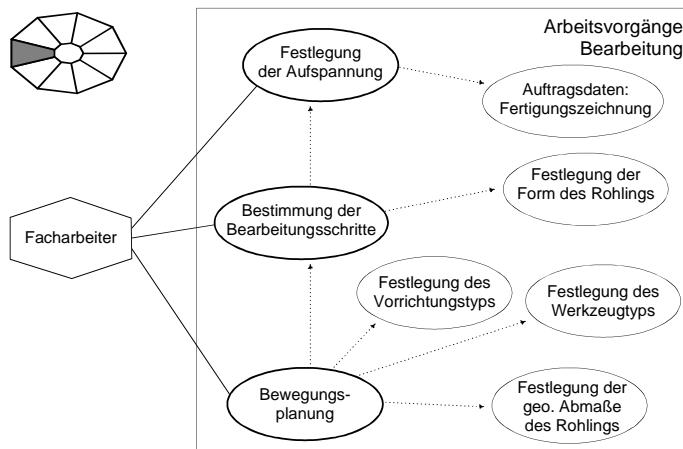


Abbildung 6-12: Planungsfunktionen zur Festlegung der Aufspannung, zur Bestimmung der Bearbeitungsschritte und zur Bewegungsplanung im Planungsbereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung

Zunächst werden mit der ersten Planungsfunktion die notwendigen Aufspannungen zur Bearbeitung des gewünschten Teils durch den Facharbeiter gewählt. Dazu wird als Eingangsgröße die Fertigungszeichnung benötigt. Diese wird dem Facharbeiter von übergeordneten bzw. vorgelagerten Bereichen zur Verfügung gestellt. Eingangsgrößen aus der Zellensteuerung werden zur Festlegung der Aufspannungen

nicht benötigt. Als Ausgangsgröße liefert diese Planungsfunktion dann die Abfolge der Aufspannungen für die Bearbeitung des gewünschten Werkstücks.

Die zweite Funktion des Planungsbereichs Arbeitsvorgänge Bearbeitung unterstützt den Facharbeiter bei der Bestimmung der Bearbeitungsschritte. Dazu muß vorher die Form des Rohlings bekannt sein. Diese Form wird mit Hilfe einer Planungsfunktion des Bereichs Material festgelegt. Ergebnis der Planungsfunktion zur Bestimmung der Bearbeitungsschritte sind die zur Bearbeitung notwendigen Teilschritte in einer Zuordnung zu den einzelnen Aufspannungen.

Die letzte Planungsfunktion im Bereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung dient der Bewegungsplanung. Innerhalb dieser Funktion wird das NC-Programm abschließend erstellt. Als Grundlage dienen die Ergebnisse der vorigen Planungsschritte im Bereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung. Zusätzlich werden die ausgewählten Werkzeugtypen und der Vorrichtungstyp benötigt. Sie werden durch den Facharbeiter in entsprechenden Planungsfunktionen der Bereiche Werkzeuge und Vorrichtungen bestimmt. Nicht zuletzt sind detaillierte Angaben über die geometrischen Abmaße des Rohlings erforderlich. Diese werden mit Hilfe einer Planungsfunktion aus dem Bereich Material bestimmt. Als Ergebnis liefert die Planungsfunktion zur Bewegungsplanung dann das NC-Programm. Dabei werden zum Beispiel Schnittparameter festgelegt, die bei der Spezifikation der Werkzeugeigenschaften in der entsprechenden Planungsfunktion wieder benötigt werden.

6.3.5 Planungsfunktionen des Bereichs Material

Abbildung 6-13 stellt die Use Cases zu den Planungsfunktionen des Bereichs Material dar. Nach Abschnitt 6.2 werden vom Facharbeiter im Rahmen dieses Planungsbereiches Funktionen zur Festlegung der Form des Rohlings und zur Detaillierung der Anforderungen an den Rohling benötigt. Die sich daraus ergebenden Planungsfunktionen werden im folgenden näher erläutert.

In einer sehr frühen Phase der Planung legt der Facharbeiter die Form des Rohlings fest. Dieser Planungsschritt dient einer ersten groben geometrischen Beschreibung des Rohlings. Sie dient als Eingangsgröße für nachfolgende Planungsschritte wie zum Beispiel der Bestimmung der Bearbeitungsschritte. Die exakte Festlegung der geometrischen Abmaße des Rohlings erfolgt in einem zweiten Planungsschritt.

Zu seiner Unterstützung bei der Festlegung der Form des Rohlings wird dem Facharbeiter eine Planungsfunktion zur Verfügung gestellt. Als Eingangsgröße aus vor-

gelagerten Bereichen wird die Fertigungszeichnung benötigt. Aus dieser Zeichnung ermittelt der Benutzer dann den geforderten Werkstoff und die Form des Rohlings. Die festgelegte Form des Rohlings dient als Ausgangspunkt für spätere Planungsschritte wie der Bestimmung der Bearbeitungsschritte.

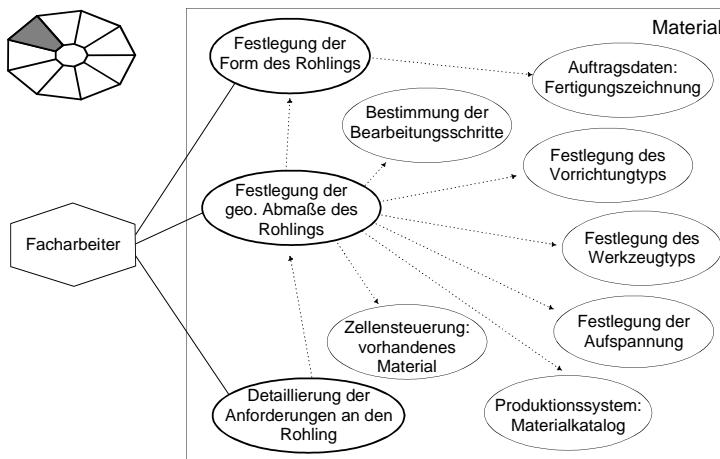


Abbildung 6-13: Planungsfunktionen im Planungsbereich Material zur Festlegung der Form und der Abmessungen des Rohlings und zur Detaillierung der Anforderungen an den Rohling

Damit der Facharbeiter in einem zweiten Planungsschritt die geometrischen Abmaße des Rohlings ermitteln kann, müssen vorher die Bearbeitungsschritte, die Aufspannungen und die Vorrichtungs- und Werkzeugtypen untersucht worden sein. Dazu stehen ihm Planungsfunktionen in den Bereichen Arbeitsvorgänge Bearbeitung, Werkzeuge und Vorrichtungen zur Verfügung. Zusätzlich kann als weitere Eingangsinformation ein Materialkatalog dem Facharbeiter die Auswahl geeigneter Abmaße des Rohlings erleichtern. Dieser Materialkatalog verzeichnet, welches Material innerhalb des Produktionssystems erhältlich ist. Eventuell auf der Zelle bereits vorhandenes Material kann über eine Schnittstelle zur Zellensteuerung ermittelt werden. So hat der Benutzer eine vollständige Übersicht über die ihm zur Verfügung stehenden Ressourcen.

In einem dritten Planungsschritt im Bereich Material werden die Anforderungen an den Rohling abschließend betrachtet. Hier wird zum Beispiel festgelegt, welche Oberflächengüte der Rohling aufweisen muß. Als Eingangsinformationen für die Planungsfunktion, die den Facharbeiter bei diesem Planungsschritt unterstützt, dienen die geometrischen Abmaße des Rohlings, wie sie vorher in der entsprechenden Planungsfunktion des Bereichs Material ermittelt worden sind. Als Ergebnis dieser Planungsfunktion liegen dann vollständige Angaben zum Rohling vor. Auf dieser Grundlage können Planungsschritte wie die Bewegungsplanung, die im Bereich Arbeitsvorgänge Bearbeitung stattfindet, durchgeführt werden.

6.3.6 Planungsfunktionen des Bereichs Werkzeuge

Dem Planungsbereich Werkzeuge sind drei Planungsfunktionen zugeordnet. Wie in Abschnitt 6.2 skizziert, müssen hier Planungsfunktionen erstellt werden, die den Facharbeiter bei den Planungsschritten zur Festlegung der Werkzeugdaten und zur Ermittlung des Werkzeugbedarfs für einen neuen Auftrag unterstützen. In Abbildung 6-14 sind die Use Cases zu diesen drei Planungsfunktionen dargestellt.

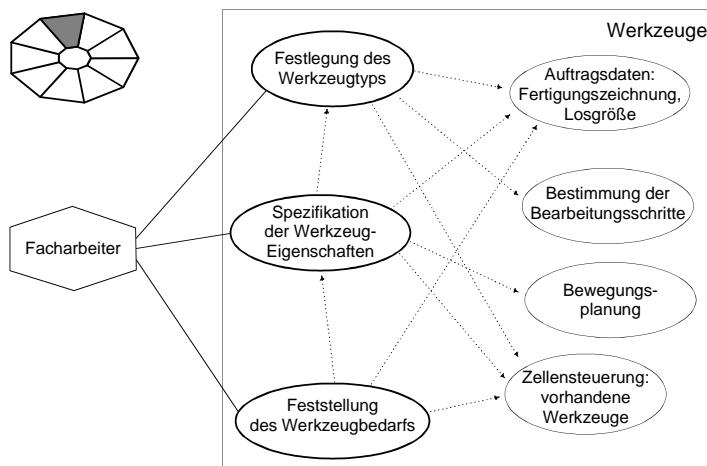


Abbildung 6-14: Planungsfunktionen zur Festlegung des Werkzeugtyps, zur Spezifikation der Werkzeugeigenschaften und zur Feststellung des Werkzeug-Bedarfs im Planungsbereich Werkzeuge

Zunächst legt der Facharbeiter in einem ersten Planungsschritt im Bereich der Werkzeuge den Werkzeugtyp fest. Mit Hilfe der zugehörigen Planungsfunktion ordnet er den einzelnen Bearbeitungsschritten Typen von Werkzeugen zu. Es findet dabei noch keine Festlegung eines einzelnen, konkreten Werkzeuges statt. Als Eingangsdaten für diesen Planungsschritt benötigt der Benutzer die Fertigungszeichnung, die ihm von übergeordneten Bereichen zur Verfügung gestellt wird. Zusätzlich sind die Bearbeitungsschritte erforderlich, die in einem vorangehenden Planungsschritt mit Hilfe einer Planungsfunktion des Bereichs Arbeitsvorgänge Bearbeitung ermittelt worden sind. Außerdem können die auf der Zelle bereits vorhandenen Werkzeuge den Facharbeiter bei der Auswahl der Werkzeugtypen unterstützen. Über eine Schnittstelle zur Zellensteuerung können diese Werkzeuge ermittelt und über das Unterstützungssystem zur Verfügung gestellt werden. Ausgangsgröße der Planungsfunktion ist eine Festlegung, welcher Werkzeugtyp für welchen Bearbeitungsschritt eingesetzt werden soll.

Mit Hilfe der nächsten Funktion des Planungsbereichs Werkzeuge werden durch den Facharbeiter die Informationen zu den Werkzeugen weiter detailliert. Die Planungsfunktion zur Spezifikation der Werkzeugeigenschaften dient dazu, die Werkzeugparameter vollständig zu bestimmen. Ausgehend von der Fertigungszeichnung, der geforderten Losgröße und der vorangegangenen Festlegung der Werkzeugtypen wählt der Facharbeiter jetzt einzelne, konkrete Werkzeuge für die Bearbeitung des Auftrages aus, bestimmt ihre Parametern vollständig und legt die notwendige Anzahl fest. Dies geschieht in enger Wechselwirkung mit dem Planungsschritt zur Bewegungsplanung. Als Eingangsgröße aus der Zellensteuerung sind für diese Planungsfunktion die zur Zeit auf der Zelle verfügbaren Werkzeuge mit ihren Werkzeugdaten notwendig. Nach diesem Planungsschritt hat der Facharbeiter die Werkzeugparameter zur Bearbeitung des Auftrages vollständig ermittelt.

Die letzte Planungsfunktion im Bereich Werkzeuge ist die Funktion zur Bestimmung des Werkzeugbedarfs. Im Rahmen dieses Planungsschrittes vergleicht der Facharbeiter den Bedarf an Werkzeugen für die Bearbeitung des neuen Auftrages mit Art und Anzahl der auf der Zelle bereits vorhandenen Werkzeuge. Daraus ergibt sich dann eine sogenannte Werkzeug – Differenzliste. Diese besteht aus zwei Teilen. Die Beladeliste legt fest, welche Werkzeuge zusätzlich in die Zelle gebracht werden müssen, während die Entladeliste angibt, welche Werkzeuge aus der Zelle entnommen werden können. Als Eingangsgröße dieser Planungsfunktion muß die vollständige Beschreibung der Werkzeugdaten vorhanden sein. Zusätzlich müssen

die derzeit auf der Zelle verfügbaren Werkzeuge, ihre noch verbleibende Standzeit und die Anzahl der noch freien Magazinplätze bekannt sein.

6.3.7 Planungsfunktionen des Bereichs Vorräte

Fünf Planungsfunktionen bilden zusammen den Planungsbereich Vorräte. In der Abbildung 6-15 sind die ersten zwei Planungsfunktionen als Use Cases dargestellt.

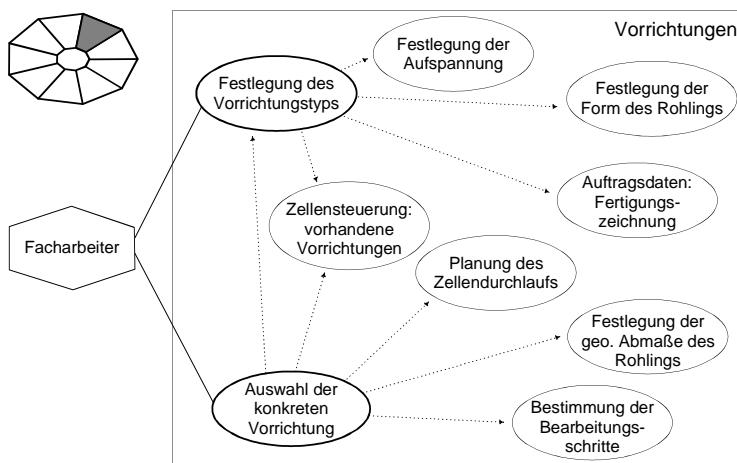


Abbildung 6-15: Planungsfunktionen Festlegung des Vorrätekinds und Auswahl der Vorräte im Planungsbereich Vorräte

In Analogie zum Planungsbereich Werkzeuge wird in einem ersten Planungsschritt des Bereichs Vorräte der Vorrätekind durch den Facharbeiter festgelegt. Eine Planungsfunktion unterstützt den Facharbeiter dabei. Ausgehend von den vorher ermittelten Aufspannungen, der Form des Rohlings und der Fertigungszeichnung wird der Typ der einzusetzenden Vorräte vom Benutzer ausgewählt. Dabei wird er dadurch unterstützt, daß ihm die auf der Zelle vorhandenen Vorräte angezeigt werden. Als Ergebnis dieser Planungsfunktion liegt dann eine Zuordnung eines Vorrätekinds zu jeder Aufspannung vor.

In einem späteren Planungsschritt wird dann durch den Facharbeiter die Auswahl der Vorrichtung weiter detailliert. Auf Basis der Planung des Zellendurchlaufs, der geometrischen Abmaße des Rohlings und der Bearbeitungsschritte wird eine konkrete Vorrichtung bestimmt, die für einen einzelnen Bearbeitungsschritt genutzt werden soll. Die erforderlichen Eingangsdaten werden in Planungsfunktionen aus den Bereichen Abläufe Bearbeitung, Material und Arbeitsvorgänge Bearbeitung ermittelt. Wiederum ist aus der Zellensteuerung der aktuelle Bestand an Vorrichtungen zur Unterstützung des Benutzers notwendig. Mit der Bearbeitung dieser Planungsfunktion ist eine konkrete Vorrichtung durch den Benutzer ausgewählt worden.

Für diese konkrete Vorrichtung ermittelt der Facharbeiter in einer weiteren Planungsfunktion die Einzelteile, aus denen er die Vorrichtung aufbauen will (Abbildung 6-16). Dazu werden die geometrischen Abmaße des Rohlings und die Ergebnisse der vorigen Planungsfunktion zur Auswahl der konkreten Vorrichtung benötigt. Um den Benutzer bei der Auswahl der Einzelteile besser zu unterstützen, werden die aktuell auf der Zelle zur Verfügung stehenden Vorrichtungen und die Elemente eines in der Produktion eingesetzten Vorrichtungsbaukastens angezeigt. Ergebnis der Planungsfunktion ist dann die in ihrer Struktur vollständig bestimmte Vorrichtung. Es sind jetzt die Einzelteile bekannt, aus denen die Vorrichtung aufgebaut werden soll.

Ausgehend von dieser detaillierten Beschreibung der Vorrichtung und auf Basis der Bearbeitungsschritte werden in einem nächsten Planungsschritt die Spannparameter für diese Vorrichtung durch den Facharbeiter ermittelt. Dafür steht eine entsprechende Planungsfunktion zur Verfügung (Abbildung 6-16). Als Eingangsdaten sind zusätzlich die ausgewählten Werkzeugtypen und die Fertigungszeichnung erforderlich. Mit der Bearbeitung dieser Planungsfunktion ist die technische Beschreibung der Vorrichtung abgeschlossen.

Für einen letzten Planungsschritt im Bereich der Vorrichtungen steht eine Planungsfunktion zur Ermittlung des Vorrichtungsbedarfs zur Verfügung. In Analogie zum Bereich Werkzeuge wird dabei eine Differenzliste erstellt. Es wird festgehalten, welche Vorrichtungsteile neu in die Zelle gebracht werden müssen und welche Teile die Zelle verlassen können. Als Eingangsdaten werden dazu die auf der Zelle vorhandenen Vorrichtungen und die Einzelteile der neu aufzubauenden Vorrichtung benötigt.

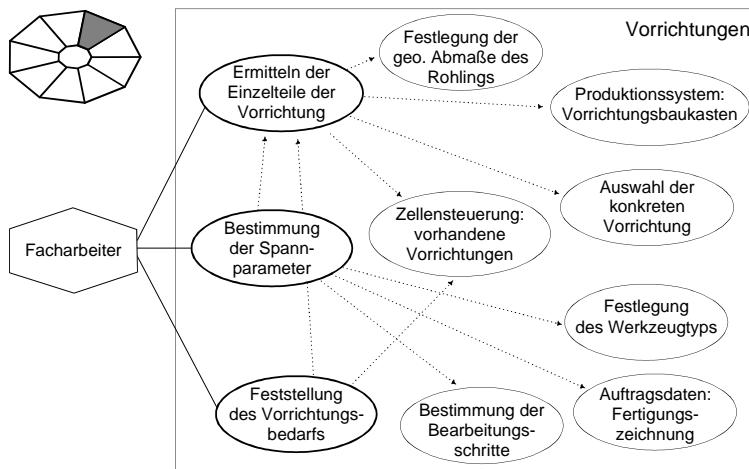


Abbildung 6-16: Planungsfunktionen zur Ermittlung der Einzelteile der Vorrichtung, zur Bestimmung der Spannparameter und zur Feststellung des Vorrichtungsbedarfs im Planungsbereich Vorrichtungen

6.3.8 Planungsfunktionen des Bereichs Abläufe Bearbeitung

Um die Planung der Bearbeitung abschließen zu können, benötigt der Facharbeiter noch Unterstützung bei seinen Planungsschritten zur Ablaufplanung. Die Planungsfunktionen, die ihm dabei zur Verfügung stehen, sind im Bereich Abläufe Rüsten zusammengefaßt. Diesem Planungsbereich sind drei Planungsfunktionen zugeordnet, die in der Abbildung 6-17 im Überblick als Use Cases dargestellt sind.

In einem ersten Planungsschritt findet in diesem Planungsbereich eine grobe Planung des Zellendurchlaufs statt. Dabei legt der Facharbeiter mit Hilfe einer Planungsfunktion fest, in wie vielen Zellendurchläufen das Werkstück bearbeitet werden soll. Außerdem wird dabei ermittelt, wie viele Werkstücke in einem Durchlauf gleichzeitig bearbeitet werden können. Als Eingangsgrößen werden dazu die einzelnen Aufspannungen, die Zuordnung der Vorrichtungstypen zu diesen Aufspannungen und die geometrischen Abmaße des Rohlings benötigt. Diese Daten werden in Planungsfunktionen der Bereiche Vorrichtungen und Material ermittelt.

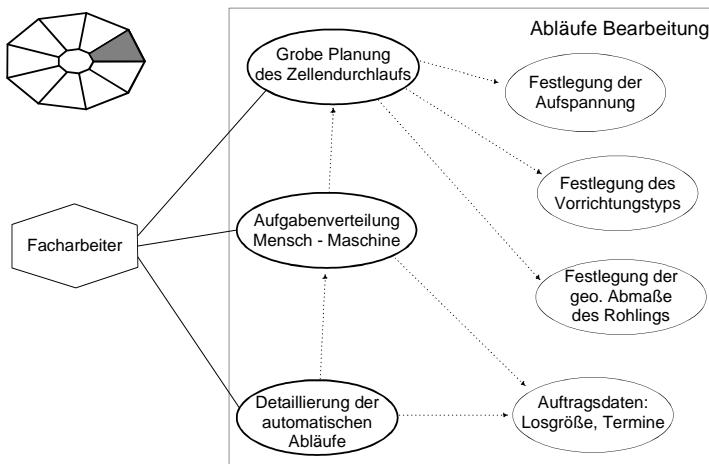


Abbildung 6-17: Planungsfunktionen im Bereich Abläufe Bearbeitung zur groben Planung des Zellendurchlaufs, zur Aufgabenverteilung Mensch – Maschine und zur Detaillierung der automatischen Abläufe

Die nächste Planungsfunktion des Bereichs Abläufe Bearbeitung greift dieses Planungsergebnis auf und dient der Ermittlung einer Aufgabenverteilung zwischen dem Facharbeiter und seiner Fertigungszelle. Dazu zerlegt der Facharbeiter die Auftragsbearbeitung in manuelle und in automatische Arbeitsphasen. So ist etwa das Messen nach einer Bearbeitung eine Arbeitsphase, die meist manuell vom Benutzer übernommen wird, während der Transport des Werkstückes in die Bearbeitungseinheit häufig automatisiert erfolgt und damit der Fertigungszelle übertragen wird. Im Rahmen dieser Planungsfunktion wird damit, ausgehend von der groben Planung des Zellendurchlaufs und der zu produzierenden Losgröße, ein Schema für den Zellendurchlauf erstellt, in dem die Aufgaben des Menschen und der Maschine klar unterschieden werden können.

In einer abschließenden Planungsfunktion des Bereichs Abläufe Bearbeitung werden die automatisierten Abläufe, die von der Fertigungszelle ausgeführt werden, weiter detailliert. Ziel ist dabei die Erstellung der Ablaufprogramme. Dabei kann der Facharbeiter standardisierte Zellenabläufe wie zum Beispiel für das Transportieren oder das Einlagern von Paletten nutzen. Randbedingungen für die Ermittlung der automatisierten Abläufe werden dabei von übergeordneten Bereichen wie der

Leitebene gesetzt. Ist zum Beispiel durch Festlegung eines kurzen Terminintervalls eine kurze Durchlaufzeit gefordert, so ist auf das Zwischenlagern von Rohlingen bzw. Halbzeug innerhalb der Zelle zu verzichten. So wird der Zellendurchlauf kurz gehalten und der späteste Fertigstellungstermin ist nicht gefährdet.

6.3.9 Planungsfunktionen des Bereichs Abläufe Rüsten

Die letzten beiden Planungsbereiche des entwickelten Werkzeugs, deren Planungsfunktionen noch nicht beschrieben worden sind, sind der Planung des Rüstens gewidmet. Dabei wird analog zur Bearbeitung unterschieden zwischen der Planung der Abläufe des Rüstens und der Planung der Arbeitsvorgänge des Rüstens. Zunächst werden hier die Planungsfunktionen für den Bereich Abläufe Rüsten vorgestellt. Die zugehörigen Use Cases finden sich in der Abbildung 6- 18.

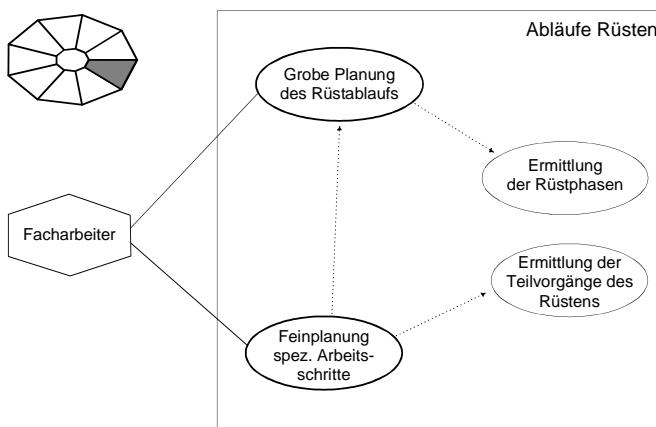


Abbildung 6-18: Planungsfunktionen zur groben Planung des Rüstablaufs und zur Feinplanung spezieller Arbeitsschritte des Rüstens im Planungsbereich Abläufe Rüsten

Erster Planungsschritt im Bereich Abläufe Rüsten ist die grobe Planung des Rüstablaufs. Dabei werden mit Hilfe der entsprechenden Planungsfunktion die einzelnen Rüstschrifte wie Montieren, Einstellen, Messen oder Dokumentieren ermittelt und in die Reihenfolge gebracht, in der sie später abgearbeitet werden sollen. We-

sentliche Grundlage hierfür sind die Rüstphasen. Sie werden in der ersten Planungsfunktion des Bereich Arbeitsvorgänge Rüsten ermittelt und als Ergebnis in die hier vorgestellte Planungsfunktion übernommen.

Im nächsten Planungsschritt wird mit Hilfe der Planungsfunktion Feinplanung spezieller Rüstschrifte die Ablaufplanung für das Rüsten abgeschlossen. Für kritische und aufwendige Rüstschrifte kann hier durch den Facharbeiter eine detaillierte Ablaufplanung erstellt werden. Dazu werden die Teilevorgänge des Rüstens als Eingangsdaten benötigt, wie sie in der entsprechenden Planungsfunktion des Bereichs Arbeitsvorgänge Rüsten festgelegt worden sind. Zusätzlich stehen die Rüstschrifte und ihre Reihenfolge aus der groben Planung des Rüstablaufs als Eingangsdaten zur Verfügung.

6.3.10 Planungsfunktionen des Bereichs Arbeitsvorgänge Rüsten

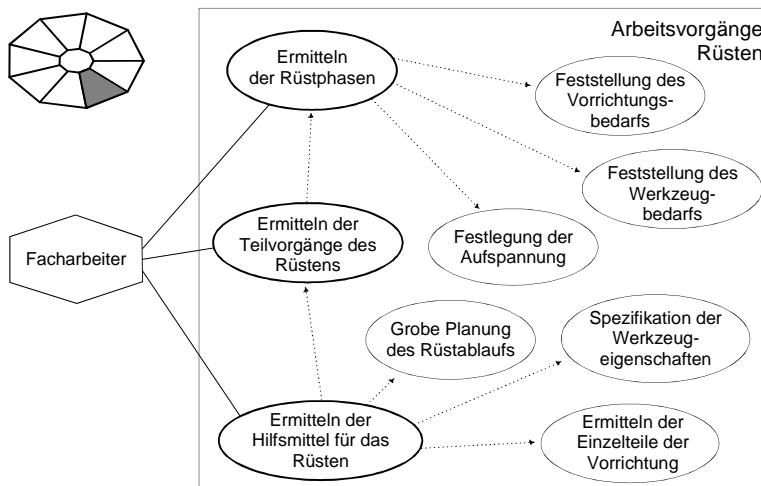


Abbildung 6-19: Planungsfunktionen zur Ermittlung der Rüstphasen, zur Ermittlung der Teilevorgänge des Rüstens und zur Ermittlung der Hilfsmittel für das Rüsten im Planungsbereich Arbeitsvorgänge Rüsten

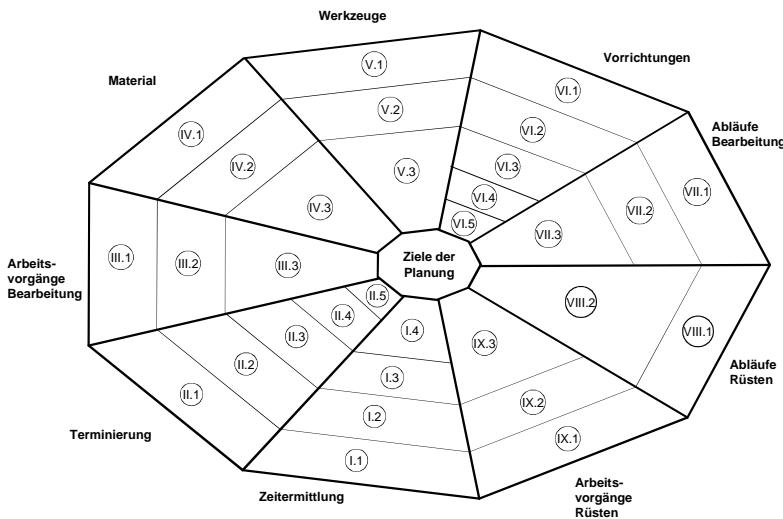
Zum Abschluß der detaillierten, funktionalen Beschreibung des entwickelten Unterstützungssystems werden die Planungsfunktionen des Bereichs Arbeitsvorgänge Rüsten dargestellt. Laut Abschnitt 6.2 dienen die zugehörigen Planungsschritte dem Facharbeiter dazu, die Arbeitsvorgänge für das Rüsten zu ermitteln und zu beschreiben. Außerdem werden die für das Rüsten benötigten Hilfsmittel wie Meßuhren, Schablonen oder Winkel betrachtet. Dargestellt sind die sich daraus ergebenden Planungsfunktionen in Abbildung 6-19.

Zunächst werden durch den Facharbeiter die Rüstphasen mit Hilfe einer entsprechenden Planungsfunktion untersucht. Eine Rüstphase ist zum Beispiel das Einbringen einer Vorrichtung, das Beladen oder Entladen von Werkzeugen oder das Vorbereiten des Rüstens. Zur Analyse der Rüstphasen werden die zuvor bei der Bedarfsermittlung bestimmten Differenzlisten für Vorrichtungen und Werkzeuge benötigt. Außerdem ist die Abfolge der Aufspannungen erforderlich. Daraus werden durch den Facharbeiter mit Hilfe der Planungsfunktion die erforderlichen Rüstphasen ermittelt. Die sich dadurch ergebende Liste der benötigten Rüstphasen dient der Ablaufplanung des Rüstens wie sie im Planungsbereich Abläufe Rüsten beschrieben worden ist.

Außerdem werden die Arbeitsinhalte der Rüstphasen im nächsten Planungsschritt des Bereichs Arbeitsvorgänge Rüsten weiter detailliert. Zum Beispiel über Montagevorranggraphen werden hierbei einzelne Teilvergänge des Rüstens genauer beschrieben. Ausgehend von diesem Ergebnis kann der Benutzer dann den eigentlichen Rütvorgang ohne Verzögerung durchführen.

In einer abschließenden Planungsfunktion wird der Bedarf an Hilfsmitteln untersucht, die für das Rüsten notwendig sind. Derartige Hilfsmittel sind zum Beispiel Winkel, Meßdorne, Meßuhren oder Schablonen, die während des Rüstens benötigt werden. Um die notwendigen Hilfsmittel für das Rüsten ermitteln zu können, werden die in der groben Planung des Rüstablaufs erarbeiteten Rüstschrifte, die zur Bearbeitung notwendigen Werkzeuge und ihre Eigenschaften und die Beschreibung der Vorrichtung benötigt. Diese Eingangsdaten stehen aus Planungsfunktionen der jeweiligen Bereiche zur Verfügung. Mit der Planungsfunktion zur Ermittlung der Hilfsmittel für das Rüsten besteht für den Benutzer die Möglichkeit, bereits im Vorfeld des Rüstens die erforderlichen Hilfsmittel festzuhalten. Ausgehend von dieser Liste kann dann die rechtzeitige Beschaffung dieser Hilfsmittel veranlaßt werden.

6.3.11 Zusammenfassung der Planungsfunktionen



Zeitermittlung

- (I.1) Prüfung der Vorgabezeit
- (I.2) Grobe Bestimmung des Zeitbedarfs der Zellenabläufe
- (I.3) Zeitberechnung Bearbeitung
- (I.4) Zeitbedarf Rüsten abschätzen

Terminierung

- (II.1) Kapazitätsabschätzung
- (II.2) Terminierung der Bearbeitung auf Grundlage geschätzter Werte
- (II.3) Überprüfung der Terminierung der Bearbeitung
- (II.4) Terminierung des Rüsten
- (II.5) Terminierung der Beschaffung von HM, WZ

Arbeitsvorgänge Bearbeitung

- (III.1) Festlegung der Aufspannung
- (III.2) Bestimmung der Bearbeitungsschritte
- (III.3) Bewegungsplanung

Material

- (IV.1) Festlegung der Form des Rohlings
- (IV.2) Festlegung der geometrische Abmaße des Rohlings
- (IV.3) Anforderungen an Rohling detaillieren

Werkzeuge

- (V.1) Festlegung des Werkzeugtyps
- (V.2) Spezifikation der WZ-Eigenschaften
- (V.3) Feststellung des Werkzeugbedarfs

Vorrichtungen

- (VI.1) Festlegung des Vorrichtungstyps
- (VI.2) Auswahl der konkreten Vorrichtung
- (VI.3) Ermitteln der Einzelteile der Vorrichtung
- (VI.4) Bestimmung der Spannparameter
- (VI.5) Feststellung des Vorrichtungsbedarfs

Abläufe Bearbeitung

- (VII.1) Grobe Planung des Zellendurchlaufs
- (VII.2) Aufgabenverteilung Mensch - Maschine
- (VII.3) Detaillierung der automatischen Abläufe

Abläufe Rüsten

- (VIII.1) Grobe Planung des Rüstablaufs
- (VIII.2) Feinplanung spez. Arbeitsschritte des Rüstens

Arbeitsvorgänge Rüsten

- (IX.1) Ermittlung der Rüstphasen
- (IX.2) Ermittlung der Teilvorgänge
- (IX.3) Ermittlung der Hilfsmittel für das Rüsten

Abbildung 6-20: Funktionale Beschreibung des entwickelten Unterstützungssystems

In den vorangegangenen Teilkapiteln 6.3.2 bis 6.3.10 wurde der Funktionsumfang der einzelnen Planungsbereiche detailliert dargestellt. Dazu wurden die Planungsfunktionen eingeführt und ihre Abhängigkeiten untereinander mit Hilfe der Use Cases beschrieben. Faßt man am Ende des Abschnitts 6.3 noch einmal zusammen, so liegt jetzt eine vollständige, funktionale Beschreibung des entwickelten Unterstützungssystems vor. Die Abbildung 6-5 kann auf dieser Basis weiter detailliert werden. So können die jetzt bekannten Planungsfunktionen in die dort nur grob dargestellten Planungsbereiche „eingesetzt“ werden. Die so verfeinerte Darstellung des Funktionsumfangs des Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit ist der Abbildung 6-20 zu entnehmen. Ergänzt wird diese Beschreibung der Funktionalität durch die Analyse der Verknüpfungen zwischen den einzelnen Planungsfunktionen, wie sie mit Hilfe der Use Cases herausgearbeitet wurden.

Um die komplexen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Planungsfunktionen für den Facharbeiter in der Produktion beherrschbar zu machen, ist ein Nutzungskonzept von besonderer Bedeutung. Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Nutzungskonzept wird im Abschnitt 6.5 vorgestellt.

6.4 Externe Schnittstellen

Zum Abschluß der Diskussion der Struktur und des Aufbaus des entwickelten Unterstützungssystems werden in den folgenden zwei Abschnitten die externen Schnittstellen des Systems vorgestellt. Dabei muß zwischen der Schnittstelle zu übergeordneten Bereichen wie zum Beispiel der Leitebene und der Schnittstelle zur Steuerungsebene unterschieden werden. Beide Schnittstellenbereiche wurden bereits bei der Vorstellung der einzelnen Planungsfunktionen immer wieder angesprochen. Deshalb genügt im folgenden eine zusammenfassende Darstellung der über diese Schnittstellen übertragenen Daten.

6.4.1 Schnittstelle zu übergeordneten Bereichen

Die Schnittstelle zu übergeordneten Bereichen faßt Verknüpfungen zur Leitebene und Verknüpfungen zu Systemen für die Betriebsmittel- und Materialverwaltung zusammen (Abbildung 6-21).

Aus der Leitebene werden der einzelnen Fertigungszelle Auftragsdaten zur Verfügung gestellt. Sie stellen die wesentlichen Eingangsinformationen und Randbedin-

gungen für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung dar. Die von der Leitebene übertragenen Daten sind die Losgröße des Auftrags, die Fertigungszeichnung und die Vorgabezeiten für die Bearbeitung. Diese Daten dienen der möglichst genauen Beschreibung des Auftragsinhalts. Ausgehend davon ermittelt der Facharbeiter seine Strategie zur Herstellung des gewünschten Werkstücks in der geforderten Stückzahl und terminiert die Bearbeitung dieses Auftrages.

Terminliche Eckdaten aus der Leitebene setzen ihm dabei Randbedingungen. Aus ihrer übergeordneten Sicht auf die Produktion und in Erfüllung ihrer koordinierenden Aufgaben setzt die Leitebene den Termin, zu dem die Bearbeitung frühestens begonnen werden kann, und den Termin, zu dem sie spätestens beendet sein muß, fest. Um das koordinierte Zusammenwirken aller Fertigungszellen nicht zu gefährden, sind diese Termine vom Facharbeiter nicht veränderbar und stellen damit einen Eckpfeiler seiner Planung dar.

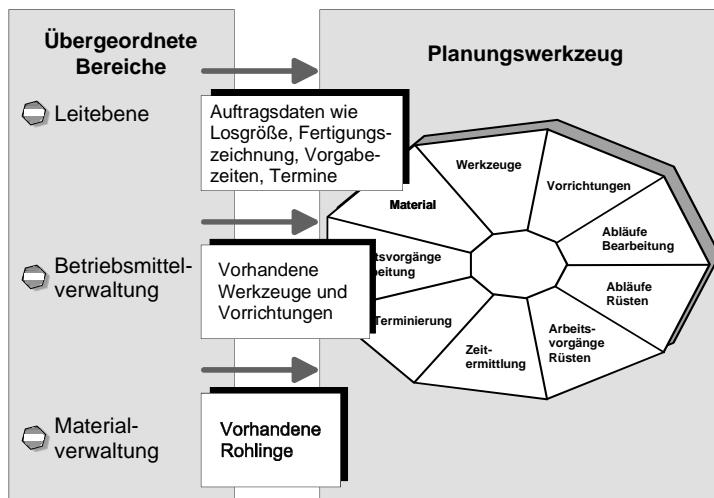


Abbildung 6-21: Schnittstelle zu übergeordneten Bereichen

Neben der beschriebenen Verknüpfung zur Leitebene besteht eine Verbindung zu Systemen der Betriebsmittelverwaltung. Über diesen Informationskanal kann sich der Facharbeiter über im Produktionssystem vorhandene Werkzeuge oder die Ele-

mente eines Vorrichtungsbaukastens informieren. Die Werkzeug – Informationen sind dabei nicht auf Werkzeuge zur Bearbeitung eingeschränkt. Vielmehr kann er auf diesem Weg auch Informationen über spezielle Werkzeuge und Hilfsmittel erhalten, die zum Rüsten eingesetzt werden können.

Als eine weitere Schnittstelle besteht eine Verbindung zu Systemen zur Materialverwaltung im Rahmen eines Produktionssystems. Diesen Informationskanal kann der Facharbeiter nutzen, um zum Beispiel einen Materialkatalog anzufordern. Dieser Katalog beinhaltet Art und Anzahl der im Produktionssystem erhältlichen Rohlinge und unterstützt dadurch den Benutzer bei der Auswahl eines geeigneten und verfügbaren Rohlings zur Auftragsbearbeitung.

Die hier beschriebenen Schnittstellen stellen den maximalen Umfang der Verknüpfung mit anderen informationstechnischen Systemen aus übergeordneten Bereichen der Produktion dar. Liegen entsprechende Systeme nicht vor oder läßt sich eine informationstechnische Verbindung zu diesen Systemen nicht herstellen, so ist die Funktion des Unterstützungssystems trotzdem sichergestellt. Dem Facharbeiter stehen dann entsprechend weniger Eingangsdaten für die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung zur Verfügung, eine Einschränkung, die ein erfahrener Facharbeiter aber durch sein Wissen ausgleichen kann.

6.4.2 Schnittstelle zur Steuerungsebene

Wie im Kapitel 5 diskutiert, kommt der Integration des Unterstützungssystems in die Steuerung einer Fertigungszelle eine besondere Bedeutung zu. Eine Analyse der in Abschnitt 6.3 definierten Planungsfunktionen zeigt, daß die für diese Integration zu realisierende Schnittstelle die Beschreibung der Fähigkeiten der Zelle, die Abbildung der auf der Zelle vorhandenen Werkzeuge und Vorrichtungen und die Darstellung der auf der Zelle eingeplanten Aufträge umfaßt (Abbildung 6-22).

Der erste Schnittstellenbereich betrachtet die auf der Zelle bereits eingeplanten Aufträge und ihre terminlichen Eckdaten, die aus der Auftragsverwaltung abgegriffen werden können. Sie geben Auskunft über die aktuelle Auslastung der Zelle und legen die noch für neue Aufträge zur Verfügung stehenden Terminfenster fest. Damit bestimmen sie wesentlich die Möglichkeiten zur Disposition neuer Aufträge. Deshalb müssen die aktuelle Auslastung der Zelle und die Termine der auf der Zelle fest eingeplanten Aufträge aus der Zellensteuerung dem Unterstützungssystem über geeignete Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden.

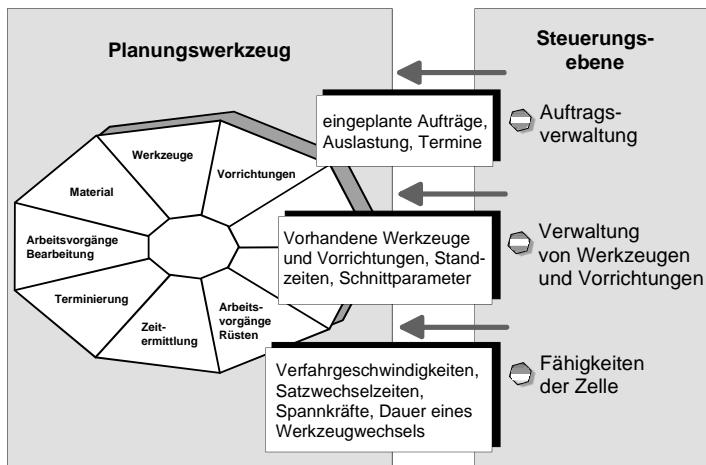


Abbildung 6-22: Schnittstelle zur Steuerungsebene

Wie in Abschnitt 6.3 beschrieben, werden für die Auswahl geeigneter und verfügbarer Werkzeuge und Vorrichtungen durch den Facharbeiter Daten aus der Zellensteuerung benötigt. Dabei müssen nicht nur Informationen über die vorhandenen Bestände an Werkzeugen und Vorrichtungen weitergegeben werden. Zusätzlich muß diese Schnittstelle auch detaillierte Informationen über die Werkzeuge umfassen. So sind für den Facharbeiter die noch verbleibende Standzeit und die mit dem Werkzeug verknüpften Schnittparameter von Interesse und müssen deshalb ebenfalls aus der Zellensteuerung in das System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit übertragen werden.

Für die Erstellung des NC-Programmes, für die Berechnung der Bearbeitungsdauer und für die Auswahl einer geeigneten Vorrichtung werden Angaben über die Fähigkeiten der Fertigungszelle benötigt. Dies sind Daten zu Satzwechselzeiten, zu maximalen Verfahrgeschwindigkeiten, zur Dauer eines Werkzeugwechsels oder zu den erzielbaren Spannkräften. Sie müssen über einen entsprechenden, dritten Schnittstellenbereich aus der Zellensteuerung zur Verfügung gestellt werden.

6.5 Nutzungskonzept

Auf den vorigen Seiten wurden die Planungsbereiche und die Planungsfunktionen des erarbeiteten Unterstützungssystems ausführlich besprochen. Besonders hervorgehoben wurden die Abhängigkeiten zwischen den Planungsfunktionen. Dabei wurde aus einer funktionsorientierten Sicht heraus argumentiert und die Struktur und der Funktionsumfang des Unterstützungssystems vorgestellt.

Diese Sichtweise trifft das Vorgehen von Softwareentwicklern, aber nicht die Erwartungen und Wünsche der Facharbeiter. Sie wünschen sich vielmehr eine an ihrem Vorgehen bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung orientierte Nutzungsmöglichkeit des Systems. Entsprechend der in Kapitel 5.3.4 formulierten Anforderung muß diese gewünschte, handlungsorientierte Sicht auf den Funktionsumfang des Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit im folgenden entwickelt werden.

Als Grundlage dazu wird auf das in Abschnitt 3.3 vorgestellte Vorgehen der Facharbeiter bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung zurückgegriffen. Betrachtet man dabei weniger die Aufgaben bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung, sondern mehr die Handlungsabläufe des Facharbeiters, so kann laut Abschnitt 3.3 festgestellt werden, daß er den gesamten Planungsvorgang in acht einzelnen Phasen abarbeitet. Innerhalb der Phasen geht der Facharbeiter in den genannten Planungsschritten vor.

Im vorgestellten Konzept entsprechen diesen Planungsschritten die einzelnen Planungsfunktionen, wie sie im Kapitel 6.3 ausführlich erläutert worden sind. Zur Entwicklung einer handlungsorientierten Sicht auf die Planungsfunktionen müssen diese zu den acht Planungsphasen zusammengefaßt werden, die nach der Analyse aus Abschnitt 3.3 das Vorgehen des Facharbeiters prägen.

Das Ergebnis dieser Zuordnung ist in der Abbildung 6-23 festgehalten. Als Meilensteine dargestellt findet man in dieser Abbildung die acht Phasen des Planungsvorgangs. Die schematische Beschreibung des Unterstützungssystems (vgl. Abbildung 6-20) ergänzt diese Darstellung. Dabei sind einzelne Planungsfunktionen grau markiert. Diese grau unterlegten Planungsfunktionen sind die Umsetzung der einer Planungsphase zugeordneten Planungsschritte und dienen dazu, den jeweiligen Meilenstein zu erreichen.

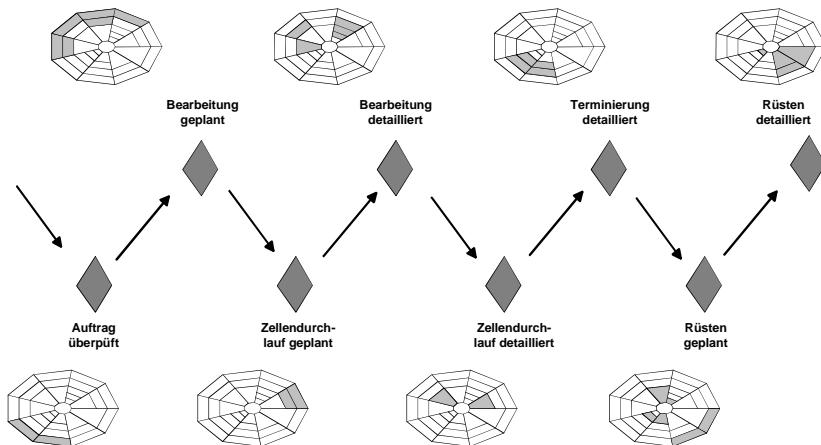


Abbildung 6-23: Meilensteine bei der handlungsorientierte Nutzung

Ein Beispiel soll diese Darstellung erläutern. So werden die Planungsfunktionen *Grobe Planung des Zellendurchlaufs* und *Aufgabenverteilung Mensch – Maschine* benötigt, um ausgehend vom Meilenstein *Bearbeitung geplant* den nächsten Meilenstein *Zellendurchlauf geplant* zu gelangen. Die entsprechenden Felder im Planungsbereich Abläufe Bearbeitung sind deshalb in der Abbildung 6-23 grau schattiert worden.

Um von einem Meilenstein der Planung zum nächsten zu gelangen, müssen dem Benutzer also gar nicht alle Planungsfunktionen angeboten werden. Vielmehr genügt es, ihm die Planungsfunktionen zur Verfügung zu stellen, die er zur Bearbeitung der nächsten Planungsschritte benötigt. Das strukturierte Vorgehen des Facharbeiters in acht Planungsphasen kann also für eine effektive Umsetzung eines handlungsorientierten Nutzungskonzeptes herangezogen werden.

Damit ist ein wichtiger Schritt zur Vereinfachung der Nutzung des Unterstützungssystems getan. Nicht mehr der Facharbeiter muß die für ihn wichtige, nächste Planungsfunktion ermitteln. Vielmehr kann ihm das Unterstützungssystem immer genau die Menge an Planungsfunktionen zur Verfügung stellen, die für die Bearbeitung der nächsten Planungsschritte von Bedeutung sind.

Führt man diese Überlegung zu Ende, so ergeben sich weitere, interessante Möglichkeiten, den Facharbeiter bei der Nutzung des Systems zu unterstützen. Wie wäh-

rend der Erläuterung der Planungsfunktionen in Kapitel 6.3 gezeigt, sind die einzelnen Planungsfunktionen eng miteinander vernetzt. So wird etwa die Ausgangsgröße der einen Planungsfunktion von der nächsten Funktion weiter detailliert und als Randbedingung in anderen Planungsbereichen berücksichtigt. Außerdem werden Daten aus der Steuerungsebene oder aus übergeordneten Bereichen übernommen und in die Planung einbezogen. Diese vielfältigen Abhängigkeiten wurden durch die Use Cases beschrieben. Für den Planungsbereich Werkzeuge ist ein Beispiel dieser Abhängigkeiten in der Abbildung 6-24 dargestellt.

Diese komplexen Abhängigkeiten dienen nicht nur zur sorgfältigen Betrachtung der vielfältigen Einflußgrößen auf die einzelnen Planungsfunktionen. Vielmehr können daraus auch Vorteile für die Nutzung des Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit abgeleitet werden.

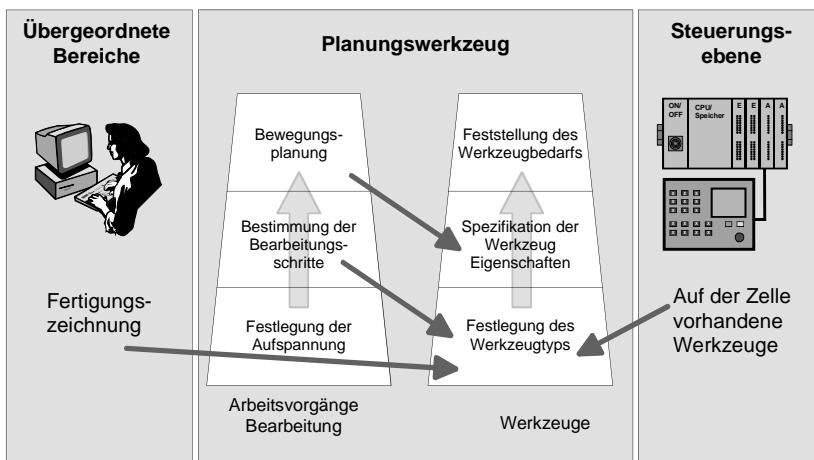


Abbildung 6-24: Beispiel für die Abhängigkeiten zwischen Planungsfunktionen im Planungsbereich Werkzeuge

Der Benutzer kann nur die Planungsfunktionen sinnvoll abarbeiten, deren Eingangsdaten vollständig bestimmt sind. Wenn er die Bearbeitung einer Planungsphase beginnt, dann kann der Benutzer also nicht mit einer beliebigen, dieser Planungsphase zugeordneten Planungsfunktion beginnen. Vielmehr stehen ihm nur einzelne Funktionen zur Bearbeitung zur Verfügung, deren Eingangsdaten jetzt

schon vorliegen. Sind diese Funktionen bearbeitet, ist es möglich, deren „Nachfolger“ zu betrachten.

Dies bedeutet, daß aufgrund der Abhängigkeiten die Anzahl der für eine Bearbeitung möglichen Planungsfunktionen kleiner ist, als die Anzahl der Funktionen, die innerhalb einer Planungsphase zur Verfügung stehen. Dem Facharbeiter wird nun nur diese Auswahl an möglichen Planungsfunktionen zur Verfügung gestellt. Damit ergibt sich eine weitere effektive Möglichkeit, das handlungsorientierte Vorgehen des Facharbeiters während der Planung durch das entwickelte System zu unterstützen.

Das hier vorgestellte Nutzungskonzept muß bei der Ausarbeitung der Benutzerschnittstelle des Werkzeuges aufgegriffen werden, um der Anforderung nach einer handlungsorientierten Gestaltung gerecht zu werden.

6.6 Nutzung des Erfahrungswissens

Bis jetzt noch nicht beschrieben worden sind die Möglichkeiten des Systems, das Erfahrungswissen des Facharbeiters abzuspeichern und für die Planung ähnlicher oder gleicher Aufträge wieder zur Verfügung zu stellen. Dies wird im folgenden dargestellt (Abbildung 6-25).

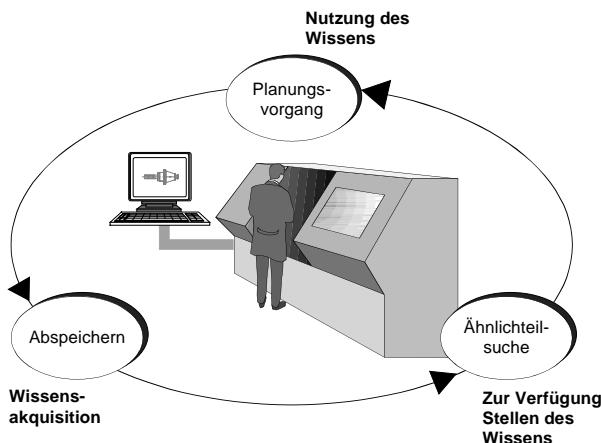


Abbildung 6-25: Nutzung des Erfahrungswissens

Ausgangspunkt für die Nutzung des Erfahrungswissens ist die Wissensakquisition. Nur in irgendeiner Form abgespeichertes Wissen kann später in folgenden Planungsvorgängen wieder zur Verfügung gestellt werden. Deshalb speichert am Ende eines Planungsvorgangs der Benutzer die im Informationssystem erarbeiteten Planungsdaten für diesen Auftrag ab. Damit legt er auch das in diesen Daten implizit enthaltene Erfahrungswissen im Unterstützungswerkzeug ab. Dieses Wissen kann somit für spätere Planungsvorgänge wieder genutzt werden.

Am Beginn der Planung eines neuen Auftrages steht dann eine Ähnlichkeitssuche. Dabei wird der neu zu planende Auftrag mit früheren, im Wissensspeicher abgelegten Aufträgen, für die bereits ausgearbeitete Planungsdaten vorliegen, verglichen. Der Auftrag, der dem neu zu planenden Auftrag am nächsten kommt, wird ermittelt. Seine Planungsdaten dienen dann als „Vorlage“ für den neuen Planungsvorgang. Bei der Planung des neuen Auftrages steht somit das Wissen aus vorherigen Planungsvorgängen zur Verfügung. Werden die Planungsdaten zu diesem neuen Auftrag am Ende der Planung im Werkzeug abgespeichert, so können sie bei späteren Planungsvorgängen wieder genutzt werden. Der Kreislauf der Nutzung des Erfahrungswissens des Facharbeiters ist damit geschlossen. Im Unterstützungswerkzeug steht für weitere Planungsvorgänge eine erweiterte Wissensbasis zur Verfügung.

6.7 Zusammenfassung

In Kapitel 6 wurde das Konzept des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit dargestellt. Wesentliche Grundlage waren die in Kapitel 5 ermittelten Anforderungen und die in Kapitel 3 erarbeiteten Aufgaben des Facharbeiters im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung.

Ausgehend von einer Analyse der Aufgaben und des Vorgehens des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung (Kapitel 3) wurde das der Funktionsumfang des Unterstützungssystems zunächst grob in sogenannte Planungsbereiche strukturiert (Abschnitt 6.2). Um sicherzustellen, daß alle notwendigen Bereiche der Planung abgedeckt werden, folgte die Darstellung eng dem Vorgehen des Facharbeiters.

Nach einem Übergang von dieser ablauforientierten Sicht auf das Unterstützungssystem auf eine funktionale Sicht wurden in einem nächsten Schritt diese Planungsbe-

reiche weiter detailliert (Abschnitt 6.3). Dazu wurden sogenannte Planungsfunktionen eingeführt. Diese Planungsfunktionen wurden mit Hilfe der Use Cases nach *Jacobson u. a. (1992)* entwickelt und dargestellt. Um die Modularität des erarbeiteten Unterstützungssystems herauszuarbeiten, wurde dabei besonderes Gewicht auf die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Planungsfunktionen gelegt. Die gewählte Methode der Use Cases stellt diese Verknüpfung zwischen den einzelnen Planungsfunktionen anschaulich dar.

Um eine ausreichende Basis für die folgende Beschreibung der prototypischen Realisierung zur Verfügung zu stellen, wurden die Schnittstellen des Unterstützungssystems zu übergeordneten Bereichen und zur Steuerungsebene analysiert (Abschnitt 6.4). Die Untersuchung der Möglichkeiten zur Integration des entwickelten Werkzeuges in herstellerübergreifend offene Steuerungen steht allerdings noch aus. Sie bleibt dem Kapitel 7 vorbehalten.

Zur Unterstützung des Benutzers bei der Nutzung des Werkzeuges zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit wurde ein handlungsorientiertes Vorgehen entwickelt (Abschnitt 6.5). Ausgehend vom im Kapitel 3 beschriebenen Vorgehen des Facharbeiters wurden sogenannte Meilensteine definiert, welche die Nutzung des Unterstützungssystems wesentlich vereinfachen. Zusätzlich wurden, um das Erfahrungswissen des Facharbeiters für neue Planungsvorgänge nutzen zu können, die Möglichkeiten der Ähnlichkeitssuche in das Konzept integriert (Abschnitt 6.6).

Spiegelt man die erreichten Ergebnisse an den in Kapitel 5 formulierten Anforderungen, so ergibt sich die in Abbildung 6-26 gezeigte Tabelle. Diese Tabelle zeigt in der linken Spalte die in Kapitel 5 erarbeiteten Anforderungen an ein Unterstützungssystem und das darauf aufbauend im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Konzept.

Diese Darstellung zeigt, daß im Rahmen der Arbeit ein umfassendes und tragfähiges Konzept für ein neues System zur Unterstützung des Facharbeiters bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung vorgestellt werden konnte, das den in Kapitel 5 formulierten Anforderungen gerecht wird.

Das erarbeitete Unterstützungssystem erleichtert durch seine umfassende Funktionalität die dezentrale Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung. Durch das vorgestellte Nutzungskonzept verringert es den zur Planung notwendigen Zeitaufwand. Durch die Nutzung des Erfahrungswissens der Facharbeiter trägt es zu einer Steigerung der Planungsqualität bei. Insgesamt leistet das entwickelte System so einen Beitrag zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen.

Funktionale Anforderungen	Lösung im vorgestellten Konzept
Ganzheitlichkeit	Betrachtung aller Aufgaben der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung
Betrachtung der Abhängigkeiten	Beschreibung der Abhängigkeiten mit Hilfe der Use Cases
Nutzung des Erfahrungswissens	Speicherung der Planungsergebnisse im Unterstützungs- werkzeug
Auffinden ähnlicher oder gleicher Aufträge	Integration von Methoden der Ähnlicheiteilsuche
Technische Anforderungen	
Modularität	Gliederung in Planungsbereiche und Planungsfunktionen
Integration in die Zellensteuerung	Festlegung der Schnittstellen zur Steuerungsebene
Nutzung herstellerübergreifend offener Steuerungen	Noch offen (siehe Kapitel 7)
Handlungsorientierte Gestaltung	In Planungsphasen gegliedertes Nutzungskonzept

Abbildung 6-26: Abgleich des entwickelten Konzeptes mit den erarbeiteten Anforderungen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der prototypischen Umsetzung dieses Konzepts dargestellt. Dabei werden die Möglichkeiten zur Integration des Unterstützungswerkzeugs in herstellerübergreifend offene Steuerungen untersucht.

7 Realisierung des Unterstützungssystems

7.1 Übersicht

Im vorliegenden Kapitel wird die prototypische Realisierung des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit in einem Werkzeug beschrieben und sein Einsatz im Rahmen eines Anwendungsbeispiels dargestellt. Zunächst werden die Grundlagen der Realisierung (Abschnitt 7.2.1) und der interne Aufbau des Werkzeuges (Abschnitt 7.2.2) erläutert, bevor auf seine Integration in herstellerübergreifend offene Steuerungen eingegangen wird (Abschnitt 7.2.3). Im Abschnitt 7.2.4 wird dann aufgezeigt, wie das Werkzeug aufgrund seiner Strukturierung mit wenig Aufwand auch mit herstellerspezifischen Steuerungen verknüpft werden kann. Der Abschnitt 7.2.5 stellt die Gestaltung der Benutzungsoberfläche vor, die gemäß dem in Abschnitt 6.5 erarbeiteten Nutzungskonzept entwickelt wurde. Die Beschreibung einer beispielhaften Umsetzung an zwei Bearbeitungszentren (Abschnitt 7.3) und eine Bewertung von Aufwand und Nutzen des erarbeiteten Systems (Abschnitt 7.4) schließen das Kapitel 7 ab.

7.2 Prototypische Realisierung

7.2.1 Grundlagen

Nach *Booch* (1994, S. 314) sind Prototypen die „primären Ergebnisse der Konzeptualisierung“. Sie sind „auf eine schnelle Beweismöglichkeit für das entwickelte Konzept ausgelegt“ (Booch 1994, S. 314). Um die demnach durch den Aufbau eines Prototypen mögliche Absicherung des Konzeptes durchzuführen, wurde das in Kapitel 6 dargestellte System zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit in einer prototypischen Realisierung umgesetzt.

Im Sinne einer „schnellen Beweismöglichkeit“ wurden bei der Erstellung des Prototypen nach Möglichkeit Standard – Softwarewerkzeuge eingesetzt. Außerdem sollten soweit wie möglich bereits vorgefertigte Software – Bausteine genutzt werden. Diese Überlegungen führten dazu, daß der Prototyp des Unterstützungswerk-

zeuges auf der Basis des Microsoft – Produktes MS-Excel V7.0 entstanden ist. Hier besteht die Möglichkeit, Daten einfach zu speichern und später auszuwerten. Zusätzlich können in sogenannten Visual-Basic Modulen Abläufe automatisiert werden. Sie stehen dann unter MS-Excel V7.0 als ablauffähige Programmelemente zur Verfügung. Der Funktionsumfang von MS-Excel V7.0 kann außerdem mit Hilfe von ActiveX Komponenten sogenannten ActiveX-Controls erweitert werden.

Die Kommunikation zwischen den einzelnen Prozessen des Unterstützungswerkzeuges wird über die Kommunikationsplattform COM¹ abgewickelt. COM ist eine auf Windows NT/95 aufbauende Kommunikationsschicht, die im PC Bereich häufig eingesetzt wird (*Meta 1998*). Die Anbindung des Werkzeuges an die Steuerung einer Fertigungszelle erfolgt über ein OSACA² - COM Gateway, das als ActiveX-Control ausgeführt ist. Die Kommunikationsplattform OSACA wurde im Rahmen des gleichnamigen EU-Projektes entwickelt und wird in herstellerübergreifend offenen Steuerungen eingesetzt. Nähere Informationen zur OSACA – Plattform findet man zum Beispiel bei *Pritschow u. a. (1993)*.

Zur prototypischen Umsetzung wurde der Funktionsumfang des Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit in softwaretechnische Module aufgeteilt. Wie sich aus diesen Software – Modulen der interne Aufbau des Prototypen ergibt, wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

7.2.2 Interner Aufbau

Um einen klaren internen Aufbau des Prototypen zu erreichen, wurde jede Planungsfunktion in ein sogenanntes Funktionsmodul umgesetzt. Dieses Funktionsmodul stellt die hinter der jeweiligen Planungsfunktion liegenden Algorithmen zur Verfügung und übernimmt die notwendige Datenhaltung. Diese Datenhaltung erfolgt im Rahmen des Prototypen in Tabellen, die durch Microsoft Excel zur Verfügung gestellt werden.

Jedem dieser Funktionsmodule wird ein Oberflächenmodul zugeordnet. Dieses Oberflächenmodul stellt die Funktionalität des Funktionsmoduls gegenüber dem Benutzer dar. Die bewußte Entkopplung von Funktionalität und ihrer Darstellung in

¹ Component Object Model

² Open System Architecture for Controls within Automated Systems

der Benutzungsoberfläche stellt sicher, daß das gesamte Unterstützungswerkzeug einfach an sich ändernde Wünsche in der Gestaltung der Oberflächen angepaßt werden kann. Denn durch dieses Konzept müssen nur die entsprechenden Oberflächenmodule verändert werden, die Funktionsmodule müssen nicht betrachtet werden.

Dazu müssen nicht nur die Schnittstellen der einzelnen Funktionsmodule sondern auch die Schnittstellen der Oberflächenmodule eindeutig und klar definiert sein. Symbolisch dargestellt finden sich diese Schnittstellen als grau schattierte Sockel in der Abbildung 7-1 wieder.

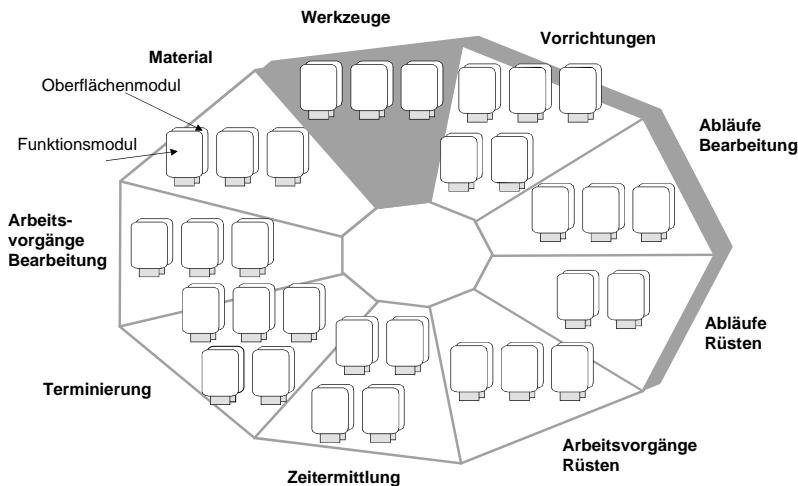


Abbildung 7-1: Gliederung des Werkzeuges in Module

Der grobe Entwurf des internen Aufbaus des Unterstützungswerkzeuges läßt sich der Abbildung 7-1 entnehmen, die in Anlehnung an Abbildung 6-20 entstand. Diese Darstellung zeigt, wie jeder Planungsfunktion ein Funktionsmodul und ein Oberflächenmodul zugeordnet werden. So werden etwa wie in der Abbildung gezeigt den drei Planungsfunktionen des Planungsbereichs Werkzeuge je ein Funktionsmodul und ein Oberflächenmodul zugewiesen.

Die Gliederung in Prozesse ist von der gewählten Modularisierung des Werkzeuges unabhängig. Ausgehend von Kriterien wie zum Beispiel dem Kommunikationsaufkommen können unterschiedliche Module zu Prozessen zusammengefaßt werden. So können alle Funktionsmodule eines Planungsbereichs zu einem Prozeß gegliedert werden. Es ist aber auch vorstellbar, die Funktionsmodule, die aus der Sicht des Facharbeiters eher für eine grobe Planung benutzt werden, zu einem Prozeß zusammenzuführen und in einem zweiten Prozeß die Funktionsmodule der feineren Planung zusammenzufassen.

Neben der Funktionalität des Werkzeuges ist für seinen internen Aufbau die Schnittstelle zur Steuerung von besonderer Bedeutung. Dabei ist die Nutzung herstellerübergreifend definierter Schnittstellen zu offenen Steuerungen eine wesentliche technische Anforderung an die Umsetzung des entwickelten Unterstützungs werkzeuges (Abschnitt 5.3.3). Zusätzlich können die bereits in herstellerübergreifend offenen Steuerungen vorhandenen Steuerungsfunktionen zum Aufbau des Unterstützungs werkzeuges genutzt werden.

Durch die Integration des Werkzeuges in offene Steuerungen und durch die Nutzung des dort vorhandenen, erweiterten Funktionsumfangs bei der Darstellung des Aufbaus des Prototypen kommt einer genauen Unterscheidung zwischen den Funktionen des entwickelten Werkzeuges und der Funktionen herstellerübergreifend offener Steuerungen eine große Bedeutung zu.

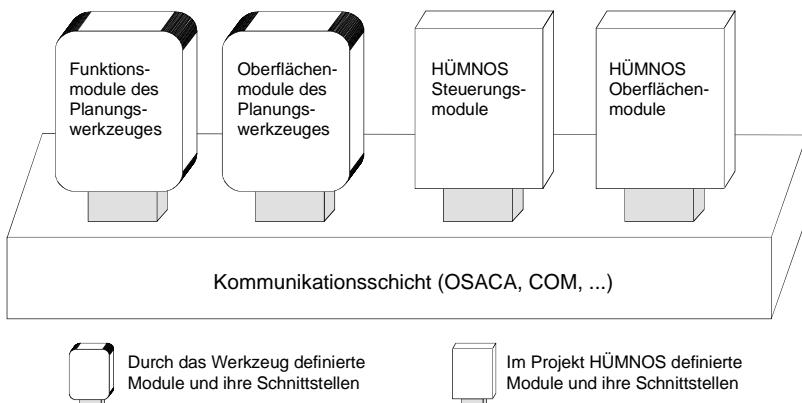


Abbildung 7-2: Prinzipielle Architektur des Werkzeuges

Im folgenden werden deshalb bei der Darstellung des Aufbaus des Prototypen Steuerungs- und Oberflächenmodule, die im Rahmen des Projektes HÜMNOs für herstellerübergreifend offene Steuerungen definiert wurden, und Module, die im Rahmen der Entwicklung des Unterstützungswerkzeuges erarbeitet wurden, unterschieden. Dies zeigt die Abbildung 7-2. Verbunden sind die Module über eine Kommunikationsschicht. Im Prototypen sind dies OSACA und COM.

Bei der Betrachtung des internen Aufbaus des entwickelten Werkzeuges ist die Untersuchung seiner Integration in die Steuerung von besonderem Interesse. Dazu soll zunächst gezeigt werden, wie das entwickelte Werkzeug in herstellerübergreifend offene Steuerungen integriert werden kann. In Abschnitt 7.2.4 wird dann dargestellt, wie eine Integration in herstellerspezifische Steuerungen erfolgen kann.

7.2.3 Integration in herstellerübergreifend offene Steuerungen

Am Beispiel der Funktionsmodule zum Planungsbereich Werkzeuge soll das prinzipielle Vorgehen zur Integration des Werkzeuges in herstellerübergreifend offenen Steuerungen erläutert werden. Die gewählte Architektur ist in der Abbildung 7-3 festgehalten.

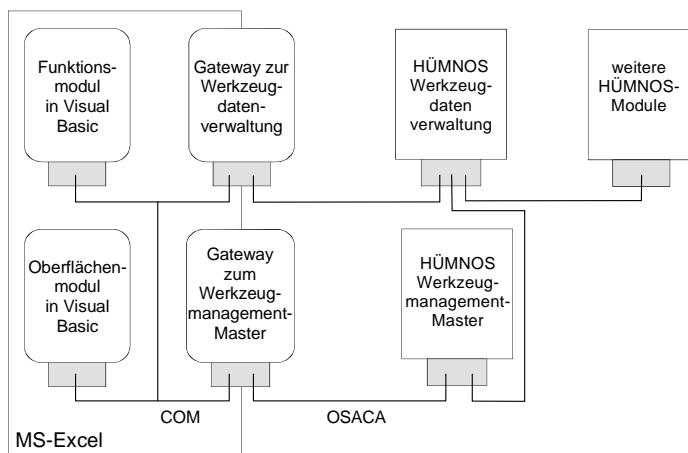


Abbildung 7-3: Umsetzung der Architektur am Beispiel des Planungsbereichs Werkzeuge

Auf der linken Seite dargestellt sind die Module, die auf der Basis von MS-Excel V7.0 umgesetzt wurden. Neben den Funktionsmodulen sind dies auch die Oberflächenmodule, die im Rahmen der prototypischen Umsetzung des Werkzeugs erarbeitet wurden. Um die Verbindung zu einer herstellerübergreifend offenen Steuerung zu realisieren, wurden sogenannte Gateways entwickelt.

Jedes dieser Gateways stellt die Verbindung zu einem Funktionsbereich her, wie er im Projekt HÜMNOS für herstellerübergreifend offene Steuerungen definiert wurde. Um den Planungsbereich Werkzeuge mit einer HÜMNOS – konformen Steuerung zu verknüpfen, sind demnach Gateways zum Werkzeugmanagement – Master und zur Werkzeugdatenverwaltung notwendig. Die Werkzeugdatenverwaltung und der Werkzeugmanagement – Master stehen ihrerseits wieder mit anderen Modulen einer HÜMNOS - konformen Steuerung in Verbindung, die aber im Rahmen der prototypischen Umsetzung des Unterstützungswerkzeugs von geringerem Interesse sind. Deshalb werden sie hier nicht näher betrachtet.

Am Beispiel der Daten zum Planungsbereich Werkzeuge ist in der Abbildung 7-4 der Informationsaustausch zwischen den Funktionsmodulen des Unterstützungswerkzeugs und den HÜMNOS – Modulen dargestellt.

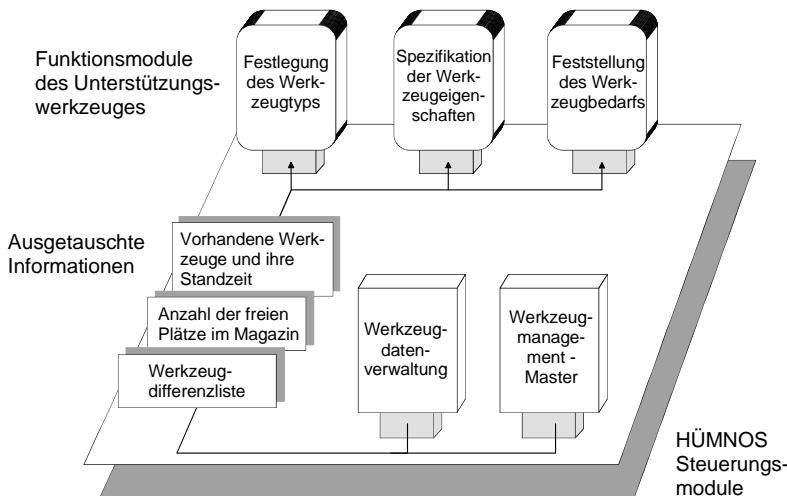


Abbildung 7-4: Informationsaustausch am Beispiel der Werkzeugdaten

Wie in Kapitel 6.3.6 dargestellt, sind zur Festlegung des Werkzeugtyps und zur Spezifikation der Werkzeugeigenschaften die auf der Fertigungszelle bereits vorhandenen Werkzeuge von Bedeutung. Alle Daten über diese Werkzeuge sind in der Werkzeugdatenverwaltung einer HÜMNOS – konformen Steuerung abgreifbar. Hier können Informationen zum Beispiel über den Aufenthaltsort der Werkzeuge oder über die aktuelle Standzeit abgefragt werden. Über das entsprechende Gateway werden diese Daten den Planungsfunktionen des Bereichs Werkzeuge zur Verfügung gestellt.

Die Werkzeugdifferenzliste und Informationen über die Anzahl der freien Magazinplätze liegen beim Werkzeugmanagement – Master vor. Diese Daten werden im Unterstützungswerkzeug insbesondere zur Feststellung des Werkzeugbedarfs benötigt. Sie werden der Planungsfunktion über das Gateway zum Werkzeugmanagement – Master zur Verfügung gestellt.

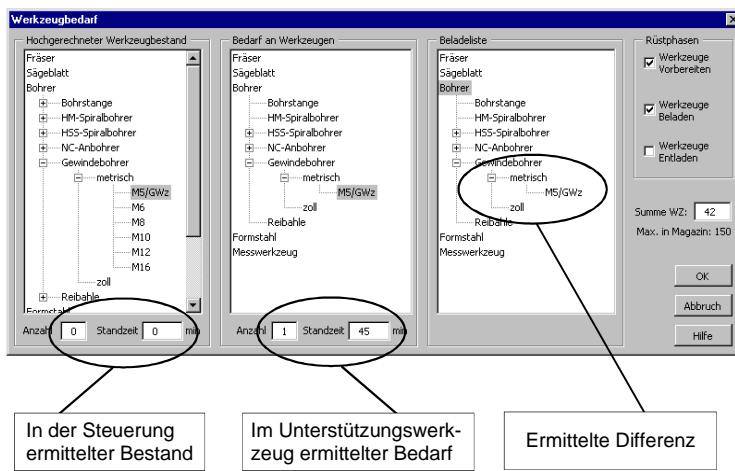


Abbildung 7-5: Oberfläche zur Planungsfunktion Bestimmung des Werkzeugbedarfs

Die Abbildung 7-5 zeigt beispielhaft, wie diese Informationen im zugehörigen Oberflächenmodul des Unterstützungswerkzeuges dargestellt werden. Auf dieser Oberfläche ist in der linken Spalte der in der HÜMNOS – konformen Steuerung

verwaltete Bestand an Werkzeugen dargestellt. Diesem wird in der mittleren Spalte der im Unterstützungswerkzeug in früheren Planungsschritten ermittelte Bedarf an Werkzeugen zur Bearbeitung des Auftrages gegenübergestellt.

Aus dem Vergleich von Bedarf und Bestand ergibt sich eine sogenannte Differenzliste. In dieser Liste sind die Werkzeuge vermerkt, die zusätzlich in die Fertigungszelle eingebracht werden müssen, um den ermittelten Bedarf zu decken. Falls die Kapazität des Werkzeugmagazins nicht ausreicht, sind in der Differenzliste auch die Werkzeuge eingetragen, welche die Fertigungszelle verlassen können. Diese Differenzliste wird mit Hilfe einer Steuerungsfunktion berechnet, die von herstellerübergreifend offenen Steuerungen nach der im Projekt HÜMNOS getroffenen Vereinbarung zur Verfügung gestellt wird. Die zugehörigen Daten werden über das Gateway zum Werkzeugmanagement – Master ausgetauscht.

Zwei wesentliche Vorteile ergeben sich aus der gewählten Strukturierung des Prototypen: Durch das Aufsetzen auf HÜMNOS – konformen Steuerungen kann der erweiterte Funktionsumfang dieser Steuerungen für den Aufbau des Unterstützungswerkzeuges genutzt werden. Wie am Beispiel der Erstellung der Werkzeug – Differenzliste gezeigt werden konnte, müssen dadurch nicht alle Funktionen im Unterstützungswerkzeug selbst erstellt werden. Dies verringert den Programmieraufwand zur Realisierung. Außerdem bieten die in HÜMNOS definierten Schnittstellen die Möglichkeit, herstellerunabhängig und standardisiert auf Daten aus der Steuerung, wie zum Beispiel die Werkzeugdaten zuzugreifen. Dies verringert den Anpassungsaufwand und ermöglicht eine kostengünstige Umsetzung des Werkzeuges zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit auch für Steuerungen verschiedener Hersteller (*Brandl u. a. 1997*).

Diese Vorteile können zum Teil auch dann genutzt werden, wenn das Unterstützungswerkzeug in herstellerspezifische Steuerung integriert wird. Dies wird im folgenden Abschnitt gezeigt.

7.2.4 Integration in herstellerspezifische Steuerungen

Am Beispiel der Steuerung uni-Pro 90 der Firma Heller wird gezeigt, daß das vorgeschlagene Unterstützungswerkzeug mit geringem Aufwand auch in herstellerspezifische Steuerungen integriert werden kann. Dazu wird wieder auf das Beispiel der Werkzeugdaten referenziert.

Die Abbildung 7-6 stellt die gewählte Architektur vor. Die Darstellung zeigt, daß die in MS-Excel V7.0 umgesetzten Funktions- und Oberflächenmodule des Unterstützungswerkzeuges und auch die Gateways unverändert übernommen werden können. Die im Projekt HÜMNOS definierten Steuerungsmodule einer herstellerübergreifend offenen Steuerung kommen auch bei der Integration in hersteller-spezifische Steuerungen zum Einsatz.

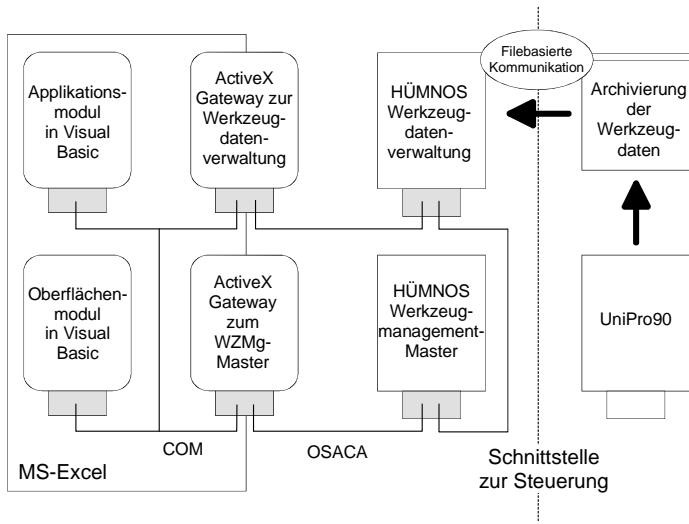


Abbildung 7-6: Integration in herstellerspezifische Steuerungen am Beispiel der Werkzeugdaten

Die zur Integration notwendigen Anpassungsarbeiten müssen an der Schnittstelle zwischen den HÜMNOS – konformen Modulen und der herstellerspezifischen Steuerung geleistet werden. Hier ist eine Umsetzung der Steuerungsdaten und der Schnittstellen zur Steuerung auf die von HÜMNOS geforderten Formate notwendig. Im Beispiel der Heller – Steuerung bedeutet dies, daß die Werkzeugdaten aus der Steuerung abgegriffen und der in HÜMNOS herstellerübergreifend definierten Werkzeugdatenverwaltung zur Verfügung gestellt werden müssen. Dazu wurde im Rahmen der prototypischen Realisierung des Unterstützungswerkzeuges eine filebasierte Kommunikation eingesetzt. Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Umset-

zung auch für die anderen Datenbereiche möglich ist, die für die Integration des Unterstützungswerkzeuges betrachtet werden müssen.

Die gewählte Architektur für die Integration in herstellerspezifische Steuerungen birgt den Vorteil, daß das eigentliche Unterstützungswerkzeug auch weiterhin auf einer herstellerunabhängigen Schnittstelle aufsetzt und dadurch nicht laufend neu an herstellerspezifische Steuerungen angepaßt werden muß. Anpassungsaufwand muß geleistet werden, um herstellerspezifische Steuerungen an die herstellerneutralen Vereinbarungen von HÜMNOS anzupassen. Durch die zunehmende Verbreitung HÜMNOS – konformer Steuerungen kann allerdings davon ausgegangen werden, daß dieser Anpassungsaufwand von den meisten Steuerungsherstellern in der nächsten Zeit auf jeden Fall geleistet werden muß, unabhängig von der Realisierung des hier vorgestellten Unterstützungswerkzeuges. Damit ist auch die Integration des Werkzeuges zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit nicht mit einem zusätzlichen Realisierungsaufwand verbunden.

7.2.5 Benutzungsoberfläche

Im Rahmen der Diskussion der technischen Anforderungen wurde eine handlungsorientierte Gestaltung der Benutzungsoberfläche gefordert (Kapitel 4.3.4). Deshalb wurde in Kapitel 6.5 ein Nutzungskonzept für das Unterstützungssystem vorgestellt. Wie dieses Nutzungskonzept bei der Gestaltung der Benutzungsoberfläche des Prototypen umgesetzt wurde, wird im folgenden dargestellt.

Die Abbildung 7-7 zeigt das grundlegende Konzept der Benutzungsoberfläche. In der ersten „Zeile“ des Bildschirms sind die in der Abbildung 5-27 festgehaltenen Planungsphasen, die sogenannten Meilensteine, dargestellt. Abhängig vom ausgewählten Meilenstein werden in der zweiten „Zeile“ der Oberfläche die damit verknüpften Planungsfunktionen dargestellt. Im Beispiel der Abbildung 7-7 ist der Meilenstein „Rüsten planen“ angewählt. Die damit verknüpften Planungsfunktionen – wie die Feststellung des Werkzeugbedarfs, die Feststellung des Vorrichtungsbedarfs usw. – werden an der Oberfläche dargestellt. Andere Planungsfunktionen werden dem Benutzer nicht zur Auswahl angeboten. Damit ist erreicht, daß dem Facharbeiter nur die in der aktuellen Situation notwendigen Informationen dargestellt werden; zur Erfüllung der aktuellen Aufgabe nicht notwendige Planungsfunktionen sind weggelassen.

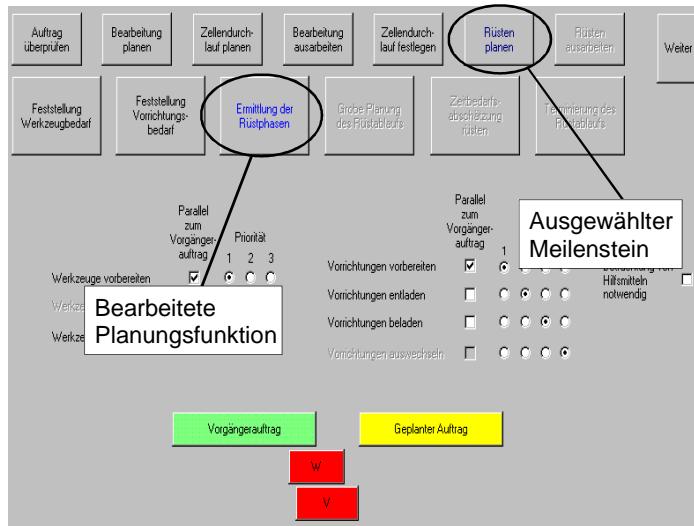


Abbildung 7-7: Handlungsorientierte Gestaltung der Benutzungsoberfläche

Im Beispiel der Abbildung 7-7 ist die Planungsfunktion zur Ermittlung der Rüstphasen als bearbeitete Planungsfunktion angewählt. Der damit verknüpfte Auswahlbutton ist in der Abbildung markiert. Für das mit dieser Planungsfunktion verknüpfte Oberflächenmodul steht die untere Hälfte des Bildschirms zur Verfügung.

Die durch den Facharbeiter bereits bearbeiteten Planungsfunktionen sind fett markiert dargestellt. So wird markiert, daß die Planungsschritte zur Feststellung des Werkzeug- und Vorrichtungsbedarfs bereits bearbeitet wurden. Noch nicht auswählbar sind die Planungsfunktionen zur groben Planung des Rüstablaufs, zur Zeitabschätzung für das Rüsten und zur Terminierung des Rüstablaufs. Dies zeigt an, daß die notwendigen Eingangsdaten zur Bearbeitung dieser Planungsfunktionen noch nicht vorliegen. Deshalb ist eine Bearbeitung der Planungsfunktionen auch nicht sinnvoll. Dadurch können die für den Facharbeiter zugänglichen Planungsfunktionen weiter eingeschränkt werden. Dies trägt zusätzlich zu einer effektiven Benutzerführung bei, wie sie im Abschnitt 5.3.4 gefordert wurde.

Außerdem wurde im Rahmen der prototypischen Realisierung eine Funktion zum Erstellen einzelner User-Profile erarbeitet. Diese Funktion erlaubt es, die Funktio-

nalität des Werkzeuges an unterschiedliche Nutzergruppen anzupassen. Hier kann für jede einzelne Planungsfunktion entschieden werden, ob sie für die jeweilige Nutzergruppe zugänglich ist oder nicht. Soll zum Beispiel Mitarbeitern aus der Nachschicht nicht die Möglichkeit gegeben werden, Terminierungen vorzunehmen oder Abläufe zu planen, so können gezielt einzelne Planungsfunktionen aus dem Funktionsumfang des Unterstützungswerkzeuges gestrichen werden. Dies kann erforderlich sein, wenn eine Fertigungszelle von unterschiedlich qualifizierten Benutzern abwechselnd bedient wird.

7.3 Beispielhafte Umsetzung

Das entwickelte Konzept wurde im Rahmen der prototypischen Umsetzung des Unterstützungswerkzeuges sowohl in Verbindung mit einer herstellerübergreifend offenen Steuerung als auch zusammen mit einer herstellerspezifischen Steuerung getestet. Dazu standen im Versuchsfeld des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München zwei Fertigungszellen zur Verfügung.

Zur Umsetzung auf Basis einer herstellerübergreifend offenen Steuerung wurde ein Bearbeitungszentrum der Firma Heckert genutzt. Es ist mit einer Steuerung der Firma Siemens vom Typ 840D ausgestattet. Um die Steuerung 840D mit dem entwickelten Unterstützungswerkzeug über Schnittstellen zu verbinden, wurde ein sogenanntes HÜMNOS – Gateway entwickelt. Es stellt die in der Steuerung 840D vorhandenen Daten und Funktionen gemäß der in HÜMNOS erarbeiteten Definitionen für herstellerübergreifend offene Steuerungen zur Verfügung. Obwohl derzeit auf dem Markt noch keine HÜMNOS – konformen Steuerungen erhältlich sind, war dadurch eine Umsetzung des Unterstützungswerkzeuges auf der Basis der Definitionen für herstellerübergreifend offener Steuerungen möglich.

Die zweite Fertigungszelle ist ein Horizontal - Bearbeitungszentrum der Firma Heller. Dieses Bearbeitungszentrum ist mit der Steuerung uni-Pro 90 der Firma Heller ausgerüstet und dient damit im Rahmen dieser Arbeit als Beispiel für eine herstellerspezifische Steuerung. Die Abbildung 7-8 zeigt diese Fertigungszelle im Versuchsfeld des iwb. Die Umsetzung des Unterstützungswerkzeuges an dem Heller – Bearbeitungszentrum erfolgte gemäß der in Abschnitt 7.2.4 beschriebenen Architektur.



Abbildung 7-8: Flexible Fertigungszelle der Firma Heller im Versuchsfeld des iwb.

Die Umsetzung des Unterstützungswerkzeuges auf der Basis dieser unterschiedlichen Steuerungen hat gezeigt, daß es die gewählte Architektur erlaubt, die gewünschten Vorteile einer kostengünstigen Umsetzung zu nutzen. Wenn das Unterstützungswerkzeug statt mit der herstellerübergreifend offenen Steuerung mit einer herstellerspezifischen Steuerung verknüpft wird, können seine Funktions- und Oberflächenmodule und die Steuerungsmodule nach HÜMNOS unverändert bleiben. Auch war der Anpassungsaufwand gering, der zur Verknüpfung der uni-Pro 90 Steuerung des Heller – Bearbeitungszentrums mit den HÜMNOS – konformen Steuerungsmodulen geleistet werden mußte.

Darüber hinaus ist es möglich, die Verbindung des Unterstützungswerkzeug mit der Steuerung uni-Pro 90 zu lösen und eine Verknüpfung mit der Steuerung 840D herzustellen, ohne das Werkzeug beenden und neu starten zu müssen. Diese Möglichkeit, die sich aus der gewählten Architektur des Prototypen ergibt, kann genutzt werden, wenn die enge Verbindung zwischen dem Unterstützungswerkzeug und einer Fertigungszelle gelöst und einer anderen Fertigungszelle hergestellt werden soll. Dies ermöglicht es, die Planungsaufgaben nicht nur an der Fertigungszelle selbst sondern bei Bedarf auch in anderen Bereichen der Produktion zu erledigen.

So können dann mit einem Unterstützungswerkzeug verschiedene Organisationsformen abgedeckt werden.

7.4 Bewertung

Abschließend sollen Aufwand und Nutzen des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit diskutiert werden. Die wichtigsten Argumente sind in der Abbildung 7-9 zusammengefaßt.

Nutzen	Aufwand
Umfassende Unterstützung des Facharbeiters bei seinen erweiterten Aufgaben	Kosten für die Programmierung des Unterstützungswerkzeuges
Systematisches Vorgehen bei der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung	Aufwand zur Erstellung und Pflege der informationstechnischen Schnittstellen
Steigerung der Qualität der Planungsergebnisse	Aufwendungen für die Qualifizierung der Mitarbeiter
Nutzung des Erfahrungswissens des Facharbeiters	Kosten für Hardware
Dokumentation der Planungsergebnisse des Facharbeiters	

Abbildung 7-9: Zusammenfassung von Aufwand und Nutzen des entwickelten Unterstützungssystems

Wesentlicher Nutzen des erarbeiteten Systems ist die umfassende und ganzheitliche Unterstützung des Facharbeiters bei allen seinen Aufgaben, die ihm im Rahmen der Dezentralisierung der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung übertragen werden. Ein weiterer wesentlicher Baustein ist das systematische Vorgehen bei der Bearbeitung der Planungsaufgaben, das durch das handlungsorientierte Nutzungskonzept des erarbeiteten Unterstützungssystems vorgegeben wird. Dadurch ist sichergestellt, daß

während der Planungsphase alle erforderlichen Planungsschritte durchlaufen werden und alle notwendigen Planungsergebnisse auch erarbeitet werden. Dies verbessert die Qualität der Planung. Nur ein hochwertiges Planungsergebnis stellt sicher, daß sich durch die Dezentralisierung der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung die gewünschte Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit einstellt.

Ein weiterer Nutzen des erarbeiteten Systems zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit besteht darin, daß das Erfahrungswissen des Facharbeiters durch das Werkzeug intensiver genutzt werden kann. Der Facharbeiter speichert die erreichten Planungsergebnisse in einem Werkzeug ab. Dadurch stehen sie für spätere Planungsvorgänge wieder zur Verfügung. Durch diese Dokumentation des Fertigungsvorgangs ist es außerdem möglich, später in eventuellen Haftungsfällen die Produktentstehung mit Hilfe des Unterstützungswerkzeuges nachzuvollziehen.

Diesem Nutzen des Systems steht ein gewisser Aufwand gegenüber. Hier ist zunächst der Aufwand zur Programmierung des Werkzeuges zu nennen. Da das entwickelte Unterstützungswerkzeug eng mit der Leitebene und mit der Steuerung einer Fertigungszelle vernetzt ist, entsteht zusätzlicher Aufwand durch die Schaffung und Pflege der notwendigen Schnittstellen. Im Rahmen der prototypischen Umsetzung konnte allerdings dargestellt werden, wie eine Realisierung des entwickelten Werkzeuges kostengünstig erfolgen kann. Am Beispiel der Funktionen im Planungsbereich Werkzeuge konnte sowohl die Integration des Unterstützungswerkzeuges in herstellerübergreifend offene Steuerungen als auch seine Integration in herstellerspezifische Steuerungen gezeigt werden. Die prototypische Umsetzung des Werkzeuges hat dabei nachgewiesen, daß durch die gewählte Architektur in beiden Fällen eine wirtschaftliche Realisierung des entwickelten Unterstützungssystems möglich ist.

Ein weiterer Aufwand besteht in der Qualifizierung der Mitarbeiter, die das entwickelte Werkzeug zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit in der Fertigung nutzen. Die Facharbeiter müssen in den Gebrauch des Werkzeuges eingewiesen und laufend für ihre Aufgaben im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung geschult werden. Die Qualifizierung der Mitarbeiter in der Produktion ist eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Dezentralisierung von Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung und damit für die gewünschte Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit. Der Aufwand dafür darf nicht unterschätzt werden.

Nicht zuletzt entstehen bei der Nutzung des entwickelten Werkzeuges Kosten für zusätzliche Hardware. So müssen die Bedienrechner heutiger Steuerungen mit zusätzlichem Speicher und eventuell auch mit einer größeren Prozessorleistung ausgestattet werden, wenn das Unterstützungswerkzeug als zusätzliche Anwendung auf diesem Rechner zum Einsatz kommt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Zur Steigerung der Flexibilität und der Reaktionsfähigkeit in der Produktion werden zunehmend dezentrale, autonome Funktionseinheiten mit entsprechenden Freiheitsgraden in der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung eingeführt. Dies ist damit verbunden, daß dem Facharbeiter in diesen dezentralen Organisationsstrukturen zusätzliche Aufgaben im Bereich der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung übertragen werden. Durch diese Maßnahmen soll die Qualität der Planung und Steuerung in der Produktion verbessert, die Störungsbehandlung beschleunigt und damit insgesamt die organisatorische Verfügbarkeit in der Produktion gesteigert werden.

Systeme, die den Facharbeiter bei der Bearbeitung der ihm übertragenen, zusätzlichen Aufgaben unterstützen, fehlen allerdings oder weisen zum Teil gravierende Defizite auf. Wesentliche Defizite bestehen darin, daß nicht alle dem Facharbeiter übertragenen Aufgaben in einem Werkzeug betrachtet werden und daß den komplexen Verflechtungen zwischen den Aufgaben der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung nur unzureichend Rechnung getragen wird. Außerdem fehlt eine informationstechnische Verknüpfung zwischen der Steuerung der Fertigungszelle und dem Unterstützungswerkzeug für den Facharbeiter. Dadurch liegen der Planung durch den Facharbeiter keine aktuellen Informationen aus der Steuerung zugrunde, und es können keine im Vergleich zum zentralen Vorgehen besseren Planungsergebnisse erreicht werden.

Deshalb ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein System zu entwickeln, das den Facharbeiter im Bereich der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung bei der Nutzung der ihm zugestandenen Freiheitsgrade unterstützt und damit zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit beiträgt.

Um die bestehenden Defizite heutiger Unterstützungssysteme zu beseitigen, wurde dieses Unterstützungssystem als ein ganzheitliches Werkzeug aufgebaut. Ganzheitlich meint, daß alle Aufgaben der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung in einem Werkzeug erledigt werden können. Dabei müssen die engen Verflechtungen zwischen der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung untersucht werden. Das zu entwickelnde Werkzeug zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit muß

zudem modular aufgebaut sein und einfach in herstellerübergreifend offene Steuerungen integriert werden können. So wird sichergestellt, daß eine informationstechnische Verknüpfung zwischen der Steuerung der Fertigungszelle einfach hergestellt, der Entwicklungs- und Anpassungsaufwand für diese Schnittstelle gering gehalten und das Werkzeug selbst einfach erweitert werden kann.

Ausgehend von diesen Anforderungen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Konzept eines neuartigen Unterstützungssystems für den Facharbeiter in dezentralen Organisationsstrukturen im Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung entwickelt. Dazu wurden aufbauend auf die Analyse der Aufgaben des Facharbeiters bei der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung die sogenannten Planungsbereiche erarbeitet und weiter in sogenannte Planungsfunktionen detailliert. Zur klaren Darstellung der komplexen Verknüpfungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Planungsfunktionen wurde die Beschreibungstechnik der Use Cases genutzt.

Die entwickelten Planungsfunktionen und das handlungsorientierte Nutzungskonzept stellen sicher, daß der Facharbeiter alle Aufgaben, die ihm im Rahmen der dezentralen Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung übertragen worden sind, mit der Unterstützung eines Werkzeuges erledigen kann. Dadurch kann er bessere Planungsergebnisse erreichen. Die Stillstände der Fertigungszelle werden reduziert und die organisatorische Verfügbarkeit steigt.

Im Rahmen einer prototypischen Umsetzung konnte gezeigt werden, daß das Unterstützungswerkzeug mit wenig Aufwand in herstellerübergreifend offene Steuerungen integriert werden kann. Am Beispiel der Schnittstelle zum Werkzeugmanagement wurden die ausgetauschten Informationen detailliert dargestellt. Auch eine Integration in herstellerspezifische Steuerungen ist auf der Basis der entwickelten Architektur mit geringem Aufwand möglich und wurde an einem Beispiel gezeigt. In einer abschließenden Bewertung wurden abschließend Aufwand und Nutzen des entwickelten Werkzeuges gegeneinander abgewogen.

8.2 Ausblick

Um die Unterstützung des Facharbeiters in dezentralen Organisationsformen für die Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung noch weiter zu verbessern und damit die organisatorische Verfügbarkeit noch mehr zu steigern, sind zusätzliche Arbeiten notwendig. Zwei mögliche Schwerpunkte derartiger zukünftiger Arbeiten sollen hier genannt werden.

- Bewertung der erreichten Planungsergebnisse:

In direkter Weiterführung des entwickelten Werkzeuges sollte ein Bewertungssystem geschaffen werden, das dem Facharbeiter die Konsequenzen seiner lokalen Planungsschritte vor Augen führt. So wird zum Beispiel von *Specht u. a. (1998)* ein System zur Ermittlung der Stückkosten vorgeschlagen. Daraufhin müssen aber auch besonders die Zusammenhänge zwischen dem vom Facharbeiter erreichten Planungsergebnis und der Störanfälligkeit eines Auftrags untersucht werden.

So erhöhen technologische Planungsparameter wie zum Beispiel der Einsatz von Werkzeugen mit geringen Durchmessern oder hohe Vorschubgeschwindigkeiten die Wahrscheinlichkeit, daß während der Auftragsbearbeitung eine Störung auftritt. Zusätzlich hat die Leistungsfähigkeit des Facharbeiters während der Auftragsbearbeitung Einfluß auf die Störanfälligkeit. Aus organisatorischer Sicht begünstigt zum Beispiel eine ungünstige Terminierung in der Nachschicht Unaufmerksamkeiten und Fehler bei kritischen Bearbeitungsvorgängen wie etwa dem Einfahren neuer NC-Programme.

Ein Bewertungssystem, das diese hier beispielhaft genannten Zusammenhänge für den Facharbeiter aufbereitet, kann zusätzlich zur Steigerung der organisatorischen und auch der technischen Verfügbarkeit einer Fertigungszelle beitragen und damit die Vorteile, die sich aus dem Einsatz dezentraler Strukturen im Bereich der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung ergeben, noch weiter verstärken.

- Koordinierung von mehreren dezentral agierenden Zellen:

Im Bereich der Koordinierung von mehreren dezentral agierenden Zellen müssen übergreifende Zielkriterien definiert und operationalisiert werden, um sicherzustellen, daß alle dezentralen, autonomen Funktionseinheiten nach den gleichen Maßstäben ihre lokalen Aufgaben in der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung wahrnehmen. Durch diese übergreifende Festlegung der Zielkriterien kann so ein globales Optimum und damit insgesamt eine wirtschaftliche Produktion erreicht werden. Denn so ist sichergestellt, daß nicht nur aus der Sicht der einzelnen Fertigungszelle, sondern auch aus der Sicht des gesamten Unternehmens wirtschaftlich produziert wird.

Neben diese zwei wesentlichen Handlungsfelder für zukünftige Arbeiten müssen noch Untersuchungen treten, die sich mit der Situation der Facharbeiter in dezentralen Organisationsformen im Bereich der Produktion beschäftigen. Hier müssen im besonderen die Anforderungen an die Qualifikation des Facharbeiters – hier ist

besonders die oft zitierte soziale Kompetenz zu nennen – betrachtet werden. Diese Forschungsarbeiten sind aber wohl weniger dem ingenieurwissenschaftlichen Bereich, sondern eher den Sozial- oder Arbeitswissenschaften zuzuordnen.

9 Literaturverzeichnis

Augustin 1990

Augustin, S.: Information als Wettbewerbsfaktor. *Informationslogistik – Herausforderung für das Management*. Köln: Verlag TÜV Rheinland 1990.

Banaszak & Biewald 1995

Banaszak, W.; Biewald, R.: Werkstattgerechte Umfeldorganisation und Toolmanagement für wirtschaftliches Fertigen. *Werkstatt und Betrieb* 128 (1995) 5, S. 394 – 399.

Baum u. a. 1997

Baum, T.; Uhlig, V.; Zahl, G.: Manuelle Vorgehensweise dominiert. *AV* 34 (1997) 1, S. 50 – 54.

Becker u. a. 1995

Becker, J.; Rehfeldt, M.; Turowski, K.: Koordination verteilter Objekte in der PPS. *CIM Management* 11 (1995) 3, S. 33 – 37.

Bierschenk 1997

Bierschenk, S.: PPS in dezentral organisierten Unternehmen. *Industrie Management* 13 (1997) 3, S. 44 – 46.

Blessing 1998

Blessing, S.: Dynamik im Griff. *Logistik Heute* 12 (1998) 20, S. 77 – 81.

Blöchl 1997

Blöchl, W.: Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen zur Prozeß- und Programmoptimierung. Bamberg: Meisenbach 1997 (Fertigungstechnik – Erlangen 66).

Booch 1994

Booch, G.: Object-Oriented Analysis and Design with Applications. Redwood City: Benjamin/Cummings, 1994.

Bongaerts u. a. 1998

Bongaerts, L.; Monostori, L.; McFarlane, D.; Kádár, B.: Hierarchy in Distributed Shop Floor Control. In: *Proceedings of the First International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*. Lausanne 1998, S. 97 – 113.

Brandl u. a. 1997

Brandl, T.; Driller, J.; Uhl, J.: Softwaretechnik für Steuerungs- und Informationssysteme in der Produktion. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse: Innovation durch Technik und Organisation / FTK '97. Stuttgart: Springer 1997, S. 485 – 491.

Braun u. a. 1995

Braun, H.-J.; Kristof, R.; Leisner, J.: Das fraktale Unternehmen – Aufbruch zu neuen Ufern. VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995) 10, S. 26 – 30.

Brüggemann u. a. 1997

Brüggemann, H.; Griffel, N.; Köhrmann, C.: Kennwertansatz für die Verfügbarkeitssicherung von Produktionsanlagen. VDI-Z 139 (1997) 4, S. 36 – 38.

Carbon 1996

Carbon, M.: Technische Unterstützung dezentraler Organisationsstrukturen im Bereich der kurzfristigen Auftragssteuerung. In: Scherer, E.; Schönsleben, P.; Ulich, E. (Hrsg.): Werkstattmanagement – Organisation und Informatik. Zürich: vdf 1996, S. 243 – 262.

Conway u. a. 1967

Conway, R. W.; Maxwell, W. L.; Miller, L. W.: Theorie of Scheduling. Massachusetts: Addison-Wesley 1967.

Daude u. a. 1997

Daude, R.; Wenk, C.; Westerwick, A.; Hennig, K.; Weck, M.: Handlungsunterstützung für den Facharbeiter. VDI-Z 139 (1997) 9, S. 88 – 92.

Decker & Gallasch 1996

Decker, F.; Gallasch, A.: Information macht Dynamik erst möglich. Logistik Heute 8 (199), S. 42 – 44.

Delp & Eissler 1998

Delp, M.; Eissler, R.: Easy to use – Einheitliche Gestaltung von Benutzungsoberflächen. In: Schäfer, W. (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik. Frankfurt: VDW-Verlag 1998, S. 85 – 96.

Diesch 1998

Diesch, R.: Planungswerkzeug zur Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit. In: Reinhart, G.; Milberg, J.: Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit,

Kapitel 9

München. Landsberg: Herbert Utz 1998, S. 62 – 73. (iwb Seminarberichte 37)

Diesch u. a. 1997

Diesch, R.; Graf, U.; Valkyser, B.; Weiner, M.: Organisationsmodule für offene Steuerungen. ZWF 92 (1997) 9, S. 418 - 420.

Diesch & Koch 1995

Diesch, R.; Koch, M. R.: Zukunftsorientierte Ansätze für autonome Produktionssysteme. In: Reinhart, G.; Milberg, J.: Autonome Produktionssysteme, München. Landsberg: Herbert Utz 1995, S. 83-94. (iwb Seminarberichte 12)

Diesch & Koch 1996

Diesch, R.; Koch, M. R.: Knowledge-Based Information Processing in Manufacturing Cells - The Present and the Future. In: Calmet, J.; Campell, J.; Pfalzgraf, J.: Artificial Intelligence and Symbolic Mathematical Computation, Steyr. Berlin: Springer 1996, Seite 109 - 123.

DIN 1981

DIN 66025: Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen. Berlin: Beuth 1981.

Dohmen u. a. 1998

Dohmen, W.; Graf, U.; Valkyser, B.; Weiner, M.; Wong, B.-L.: Strukturierung und Spezifikation von Modulen für organisatorische Funktionen. In: Schäfer, W. (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik. Frankfurt: VDW-Verlag 1998, S. 97 – 120.

Ebner 1996

Ebner, C.: Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten. Berlin: Springer 1996. (iwb Forschungsberichte 101)

Eversheim 1995

Eversheim, W.: Prozeßorientierte Unternehmensorganisation. Berlin: Springer 1995.

Eversheim 1996a

Eversheim, W.: Prozeßgestaltung. In: Eversheim, W. (Hrsg.), Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management Teil 1. Berlin: Springer 1996, S. 7-73 – 7-124.

Eversheim 1996b

Eversheim, W.: Ausprägungen der Produktionsplanung und –steuerung. In: Eversheim, W. (Hrsg.), Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management Teil 2. Berlin: Springer 1996, S. 14-60 – 14-83.

Feldmann u. a. 1994

Feldmann, K.; Blöchl, W.; Solvie, M.: Optimizing of Interaction between Machine Unit, Control System and Software in Computer based Manufacturing Cells. In: Proceedings of the CIRP – Seminars – Manufacturing Systems, Vol. 23, No. 3, 1994, S. 225 ff.

Ferstl & Mannmeusel 1995

Ferstl, O.; Mannmeusel, T.: Dezentrale Produktionslenkung. CIM Management 11 (1995) 3, S. 26 – 32.

Fleig & Schneider 1995

Fleig, J.; Schneider, R.: Erfahrung und Technik in der Produktion. Berlin: Springer 1995.

Fleig & Schneider 1996

Fleig, J.; Schneider, R.: Informationen für die Werkstatt. wt – Produktion und Management 86 (1996), S. 457 – 461.

Frey 1997

Frey, K.: Offene Steuerungssysteme – ein Zwischenbilanz. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse: Innovation durch Technik und Organisation / FTK '97. Stuttgart: Springer 1997, S. 271 – 297.

Gehlhaar 1995

Gehlhaar, I.: Ein rechnergestütztes, multifunktionales Arbeitsplatz-Informations- und Kommunikationssystem. Bochum: Ruhr-Universität, 1995. (Schriftenreihe Nr. 95.3 des LPS)

Geiger 1993

Geiger, M.: Analyse und Klassifizierung von Blechteilen. Technica 42 (1993) 20, S. 10 – 16.

Glas 1993

Glas, J.: Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechner-software. Berlin: Springer 1993. (iwb Forschungsberichte 61)

Kapitel 9

Gottschalch 1996

Gottschalch, H.: Ein kognitionspsychologisches Konzept für arbeitsorientierte Gestaltung von Software zum Planen und Steuern. In: Scherer, E.; Schönsleben, P.; Ulich, E. (Hrsg.): Werkstattmanagement – Organisation und Informatik. Zürich: vdf 1996, S. 263 – 288.

Guerra 1997

Guerra, F.: Lean Organisation Applicability in Small and Medium Factories. In: Proceedings of the 14th International Conference on Production Research. Osaka 1997, S. 1434 – 1437.

Hackstein 1989

Hackstein, R.: Produktionsplanung und –Steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.

Hartmann u. a. 1995

Hartmann, E.; Fuchs-Frohnhofer, P.; Henning, K.; Sell, R.: Lernen und Fertigen: ein integriertes Konzept zur Personal-, Organisations- und Technikgestaltung. In: Henning, K. (Hrsg.); Volkholz, V. (Hrsg.); Risch, W. (Hrsg.); Hacker, W. (Hrsg.): Moderne Lern-Zeiten. Lernen und Arbeiten in der Neuen Fabrik. Berlin: Springer 1995.

Heller 1993

Heller (Hrsg.): uni-Pro CNC 90. Bedienungsanleitung. Nürtingen: 1993.

Henning & Weck 1997

Henning, K. (Hrsg.); Weck, M. (Hrsg.): Gruppenarbeit und Technik – Anregungen zu Gestaltung und Einsatz von gruppenarbeitsgerechter Technik. Broschüre des Projektes InnovatiF. Aachen 1997.

Henzler & Späth 1998

Henzler, H. A.; Späth, L.: Die zweite Wende – Wie Deutschland es schaffen wird. Weinheim: Beltz Quadriga 1998.

Hirsch-Kreinsen u. a. 1993

Hirsch-Kreinsen, H.; Köhler, C.; Moldaschl, M.; Schultz-Wild, R.: Design Principles of Work Organization and Skilled Labour in a Computer-Integrated Manufacturing Environment. In: Ito, Y. (Hrsg.): Human-Intelligence-Based Manufacturing. Springer 1993, S. 29 – 66.

Hohenadel 1998

Hohenadel, J.: PC-basierte, offene Steuerungssysteme. *Werkstattstechnik* 88 (1998) 1 / 2, S. 18 – 22.

Hohwieler 1998

Hohwieler, E.: Steuerungstechnik für Werkzeugmaschinen. *ZwF* 93 (1998) 10, S. 519 – 523.

Hoss 1965

Hoss, K.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden. Würzburg: Physika 1965.

Hurtz 1996

Hurtz, A.: Bestandsaufnahme Gruppenarbeit. In: Scherer, E.; Schönsleben, P.; Ulich, E. (Hrsg.): *Werkstattmanagement – Organisation und Informatik*. Zürich: vdf 1996, S. 115 – 130.

Huthmann 1995

Huthmann, A.: Individualisierbare heuristische Einplanung für rechnerbasierte Leitstände. Berlin: Springer 1995. (IPA-IAO Forschung und Praxis 223)

Ihara 1993

Ihara, T: Anthropocentric Intelligence-Based Manufacturing. In: Ito, Y. (Hrsg.): *Human-Intelligence-Based Manufacturing*. Springer 1993, S. 151 – 170.

Ilg 1998

Ilg, R.: Rechnerunterstützte Gestaltungsvorgaben und Dialogbausteine für grafische Benutzungsschnittstellen. Berlin: Springer 1998. (IPA-IAO Forschung und Praxis 283)

Imai 1992

Imai, M.: Kaizen – der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. München: Langen Müller 1992.

Jacobson u. a. 1992

Jacobson, I.; Christerson, M.; Jonsson, P.; Overgaard, G.: *Object-Oriented Software Engineering*. Workingham: Addison-Wesley 1992.

Kapitel 9

Kakino u. a. 1998

Kakino, Y.; Matsubara, A.; Nakagawa, H.; Takeshita, T.; Sato, T.; Fujishima, M.; Nishiura, I.: High Speed and High Productive Drilling by Intelligent Machine Tools. In: Proceedings of the Japan – USA Symposium on Flexible Automation. Otsu 1998, S. 285 – 290.

Kees 1995

Kees, U.: Flexible Montage bei hoher Variantenzahl. In: Qualität, Kosten, Zeit – Erfolgsfaktoren für die Montage. Landsberg: Moderne Industrie 1995.

Kees 1998

Kees, A.: Integrierte Planung und Steuerung. ZWF 93 (1998) 3, S. 84 – 86.

Kief 1997

Kief, H.: NC / CNC Handbuch 97/98. München: Hanser 1997.

Kinkel & Lay 1998

Kinkel, S.; Lay, G.: Der Leistungsstand der deutschen Investitionsgüterindustrie. Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung. Karlsruhe: 1998.

Klabunde u. a. 1998

Klabunde, S.; Borowsky, R.; Scheer, A.-W.: Integration von Produktentwicklung und Prozeßplanung via Intranettechnologien. Industrie Management 14 (1998) 1, S. 19 – 23.

Kljajin 1998

Kljajin, M.: Instandhaltungs-Organisationsformen und Fertigungsintegrierte Instandhaltung. Werkstattstechnik 88 (1998) 7/8, S. 338 – 342.

Kluth & Storr 1997

Kluth, R.; Storr, A.: Hohe Produktivität durch werkergerechtes, situationsorientiertes Informationsmanagement. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse: Innovation durch Technik und Organisation / FTK '97. Stuttgart: Springer 1997, S. 325 – 349.

Koch 1996a

Koch, M.: Autonome Fertigungszellen – Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung. Berlin: Springer 1996. (iwb Forschungsberichte 98)

Koch 1996b

Koch, T.: Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung von Zellenrechner-
software. Aachen: Shaker 1996.

Koepfer 1991

Koepfer, T.: 3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung – ein Ansatz zur Auf-
hebung der Arbeitsteilung. Berlin: Springer 1996. (iwb Forschungsberichte
40)

Krönert 1998

Krönert, U.: Systematik für die rechnergestützte Ähnlicheitsuche und Stan-
dardisierung. Berlin: Springer 1998. (iwb Forschungsberichte 108)

Kuba 1997

Kuba, R.: Informations- und kommunikationstechnische Integration von
Menschen in der Produktion. Berlin: Springer 1997. (iwb Forschungsbe-
richte 110)

Kupec 1991

Kupec, T.: Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung Flexibler Fertiungs-
anlagen. Berlin: Springer 1991. (iwb Forschungsberichte 37)

Langen 1997

Langen, R.; Weck, M.: Produktionsnahe Softwaresysteme – Ein neues
„Werkzeug“ hilft bei der Erstellung. VDI-Z 139 (1997) 5, S. 40 – 44.

Leyhausen 1995

Leyhausen, B.: Beteiligungsqualifizierung der Mitarbeiter. In: Luczak, H.
(Hrsg.): Experte Mitarbeiter: Strategien und Methoden einer mitarbeiterori-
entierten Gestaltung und Einführung rechnerintegrierter Produktion. Köln:
TÜV Rheinland 1995, S. 104 – 118.

Lorenz & Hartmann 1998

Lorenz, R., Hartmann, E.: Bedarf nach facharbeitergerechter und gruppen-
arbeitsorientierter Fertigungstechnik aus Sicht der Industrie. In: Henning, K.
(Hrsg.), Weck, M. (Hrsg.): Innovative Wege zur Handlungsunterstützung
des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen. Aachen: Wissenschaftsverlag
Mainz 1998, S. 5 – 12.

Kapitel 9

Lutz & Wälde 1998

Lutz, P.; Wälde, K.: Applications for Open Control Systems based on OSACA. In: Borne, P.; Ksouri, M.; El Kamel, A. (Hrsg.): Proceedings of IMACS/IEEE Multiconference Computational Engineering in Systems Applications (CESA) '98, Hammamet, 01.-04.04.1998. Vol. 3, S. 300 – 305.

Lutz & Seyfarth 1997

Lutz, R.; Seyfarth, M.: Konfigurierungswerkzeug für offene Steuerungen. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse: Innovation durch Technik und Organisation / FTK '97. Stuttgart: Springer 1997, S. 500 – 506.

Mårtensson u. a. 1993

Mårtensson, N.; Mårtensson, L.; Stahre, J.: Human-Centred Flexible Manufacturing Systems in Machining and Assembly. In: Ito, Y. (Hrsg.): Human-Intelligence-Based Manufacturing. Springer 1993, S. 67 – 82.

Martin 1998

Martin, C.: Produktionsregelung – ein modularer Ansatz. Berlin: Springer 1998. (iwb Forschungsberichte 113)

Martinetz & Mertens 1998

Martinetz, J.; Mertens, S.: Bedarfsgerechte Information und Kommunikation im Unternehmen. Maschinenmarkt 104 (1998) 38, S. 66 – 69.

Masing 1998

Masing, W.: Produktivität, Qualität und Business Excellence. ZwF 93 (1998) 10, S. 528 – 530.

Maßberg u. a. 1998

Maßberg, W.; Weigt, D.; Giese, M. A.; Steinhage, A.; Schöner, G.: Modelle der Fertigungssteuerung. Werkstattstechnik 88 (1998) 3, S. 97 – 100.

Maßberg & Sossna 1999

Maßberg, W.; Sossna, F.: Gruppentechnologische Fertigungsstrukturen in wandlungsfähigen Fabriken. Werkstattstechnik 89 (1999) 1-2, S. 23 – 26.

Maßberg & Weigt 1997

Maßberg, W.; Weigt, D.: Konzeption lernfähiger Systeme. Industrie Management 13 (1997) 6, S. 12 – 16.

Mauderer 1998

Mauderer, M.: Verfügbarkeit an Produktionsanlagen. In: Reinhart, G.; Milberg, J.: Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit, München. Landsberg: Herbert Utz 1998, S. 1 – 10. (iwb Seminarberichte 37)

Mengedoht u. a. 1997

Mengedoht, F.-W.; Großmann, A.; Fiestas Cueto, H.; Hertel, U.: Flexibel reagieren. QZ 42 (1997) 11, S. 1240 – 1242.

Mertins & Carbon 1996

Mertins, K.; Carbon, M.: Der Maschinenführer als erfahrener Disponent. In: Gude, D.; Seeber, A.; Zimolong, B. (Hrsg.): Maschinenführer in der flexiblen Fertigung. Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 142 – 153.

Meta 1998

Meta Group Consulting: CORBA vs. DCOM: Solutions for the Enterprise. Studie der Meta Group Consulting vom 20. März 1998.

Milberg & Ebner 1994

Milberg, J.; Ebner, C.: Verfügbarkeit von Werkzeugmaschinen. Abschlußbericht zum AiF-Projekt 8649. Frankfurt: Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken 1994.

Milberg & Koch 1993

Milberg, J., Koch, M. R.: Autonomous Manufacturing Systems. In: Peklenik, J. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems. Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, 1993

Naber 1991

Naber, H.: Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente. Berlin: Springer 1991 (iwb Forschungsberichte 36)

Niefer 1993

Niefer, H.: Planung, Einführung und Optimierung von Gruppenarbeit in der Teilefertigung. München: Hanser 1993 (Produktionstechnik – Berlin 123)

Pfeifer u. a. 1998

Pfeifer, T.; Gaida, W.; Wunderlich, M.: Umfassendes Qualitätsmanagement mittels moderner Informationstechnologie. Werkstatttechnik 88 (1998) 5, S. 217 – 222.

Kapitel 9

Pfob 1998

Pfob, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen. Berlin: Springer 1998 (iwb Forschungsberichte 120)

Pischeltsrieder 1996

Pischeltsrieder, K.: Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion. Berlin: Springer 1996 (iwb Forschungsberichte 102)

Pritschow u. a. 1993

Pritschow, G.; Daniel, Ch.; Junghans, G.; Sperling, W.: Open System Controllers - A Challenge for the Future of the Machine Tool Industry. In: Annals of the CIRP 42 (1993) 1, S. 449 - 452.

Pritschow u. a. 1998

Pritschow, G.; Hohenadel, R.; Reichle, R.: Neue Ansätze in der numerischen Steuerungstechnik. ZwF 93 (1998) 6, S. 251 – 254.

Oestreich 1997

Oestreich, B.: Objektorientierte Softwareentwicklung: Analyse und Design. München: Oldenbourg 1997.

Rahman & Heikkala 1997

Rahman, M.; Heikkala, J.: Modular Control System for FMS for Prismatic Workpieces. In: Proceedings of the 14th International Conference on Production Research. Osaka 1997, S. 1008 – 1011.

Redeker u. a. 1998

Redeker, G.; Rummel, J.; Schöfer, A.; Wolter, C.: Schnell informiert am Arbeitsplatz. QZ 43 (1998) 2, S. 179 – 182.

Reinhart 1997a

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme - Der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Reinhart, G., Milberg, J.: Mit Schwung zum Aufschwung, Landsberg: Moderne Industrie 1997.

Reinhart 1997b

Reinhart, G.: Autonome Produktionssysteme. In: Schuh, G. (Hrsg.); Wieden-dahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität. Berlin: Springer 1997.

Reinhart & Ansorge 1997

Reinhart, G.; Ansorge, D.: Beherrschung flexibler Abläufe durch dezentrale Leittechnik. *ZwF* 92 (1997) 10, S. 514 – 517.

Reinhart & Lulay 1998

Reinhart, G.; Lulay, W.: Koordination dezentraler Produktionsstrukturen durch begleitende Simulation. *ZwF* 93 (1998) 1-2, S. 35 – 38.

Reinhart u. a. 1997

Reinhart, G.; Diesch, R.; Mauderer, M: Werkzeugmanagement für offene Steuerungen. *ZwF* 92 (1997) 1-2, S. 57 - 59.

Rose u. a. 1998

Rose, H.; Schulze, H.; Wahl, M.: Nutzeranforderungen für die Arbeit mit Steuerungssystemen. In: Schäfer, W. (Hrsg.): *Trendwende in der Steuerungstechnik*. Frankfurt: VDW-Verlag 1998, S. 59 – 84.

Schneewind 1994

Schneewind, J.: Entwicklung eines Systems zur integrierten Arbeitsplanerstellung und Fertigungsfeinplanung und -steuerung für die spanende Fertigung. Aachen: Shaker 1994. (wzl – Berichte aus der Produktionstechnik 8/94)

Schönecker 1992

Schönecker, W.: *Integrierte Diagnose in Produktionszellen*. Berlin: Springer 1992. (iwb Forschungsberichte 45)

Sell & Fuchs-Frohnhofen 1993

Sell, R.; Fuchs-Frohnhofen, P.: Gestaltung von Arbeit und Technik durch Beteiligungsqualifizierung. Opladen: Westdeutscher Verlag 1993.

Siemens 1996

Siemens (Hrsg.): *SINUMERIK Bedienungsanleitung – Ausgabe 03.96*. Erlangen 1996.

Sonnenschein 1998

Sonnenschein, K.: Feinplanung in Flexiblen Fertigungssystemen. Aachen: Shaker 1998. (wzl – Berichte aus der Produktionstechnik 23/98)

Kapitel 9

Spath 1996

Spath, D.: Fertigungsmittel. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebs-
hütte – Produktion und Management Teil 2. Berlin: Springer 1996, S. 10-1 –
10-9.

Spath u. a. 1994

Spath, D.; Tritsch, C.; Hartel, M.: Multimedia-Unterstützung in der De-
montage. VDI-Z 136 (1994) 6, S. 38 – 41.

Spath u. a. 1995

Spath, D.; Burghardt, J.; Walter, W.: Aus Erfahrung gut. Arbeitsvorberei-
tung 32 (1995) 4, S. 267 – 271.

Specht u. a. 1998

Specht, D.; Heina, J.; Metzdorf, D.: Autonome flexible Fertigungssegmente.
ZwF 93 (1998) 5, S. 196 – 199.

Sperling & Lutz 1996

Sperling, W.; Lutz, P.: Enabling Open Control Systems – An Introduction to
the OSACA System Platform. In: Jamshidi, M.; Pin, F.; Dauchez, P.
(Hrsg.): Proceedings of the 6th International Symposium on Robotics and
Manufacturing (ISRAM '96). Montpellier 1996, S. 613 – 620.

Spur 1995

Erfolgsfaktoren im weltweiten Wettbewerb. ZwF 90 (1995) 10, S. 464 –
465.

Storr u. a. 1995

Storr, A.; Leinmüller, M.; Schluck, M.: Werkzeugorganisation: Chancen
durch die systematische Einführung. VDI-Z 137 (1995) 11/12, S. 54 – 55.

Storr u. a. 1997

Storr, A.; Driller, J.; Hummel, M.; Uhl, J.; Weiner, M.: Dezentrale, objekt-
orientierte Konzepte in der Fertigungsleittechnik. In: Pritschow, G.; Weck
M.; Spur, G. (Hrsg.): Zukunftsweisende Steuerungs- und Maschinenkon-
zepte für die Fertigung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997, S. 144 – 155.

Taylor 1919

Taylor, F.W.: Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung. Mün-
chen: Raben 1919.

Tseng u. a. 1998

Tseng, M.; Lei, M.; Guan, Z.: A Market-Based Coordination Mechanism for Resource Allocation in Mass Customization Manufacturing. In: Proceedings of the Japan – USA Symposium on Flexible Automation. Otsu 1998, S. 637 – 640.

VDI 1986

VDI 4004, Blatt 4: Zuverlässigkeitskenngrößen: Verfügbarkeitskenngrößen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986.

Warnecke 1996

Warnecke, G.: Ganzheitlich denken – gemeinsam handeln. *wt – Produktion und Management* 86 (1996) 6, S. 292.

Warnecke & Augustin 1996

Warnecke, G.; Augustin, H.: Knowledge Based Information Design of Network Production Segments. *Production Engineering III* (1996) 2, S. 119 – 122.

Warnecke 1992

Warnecke, H. J.: Die fraktale Fabrik – Revolution der Unternehmenskultur. Berlin: Springer 1992.

Weck 1995

Weck, M.: Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme - Band 3.1 Automatisierung und Steuerungstechnik 1. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995.

Weck u. a. 1997

Weck, M.; Daude, R.; Wenk, C.; Westerwick, A.; Henning, K.: Supporting Skilled Workers at Shop Floor Machine Tools. In: Brandt, D. (Hrsg.): Automated Systems based on Human Skills - Joined Design of Technology and Organisation. Proceedings of the IFAC Conference. Kranjska Gora 1997.

Weißenborn & Hedemann 1995

Weißenborn, R.; Hedemann, D.: Multimedia-System zur Information und Qualifikation . *wt Produktion und Management* 85 (1995) 7/8, S. 385 – 387.

Westkämper 1997

Westkämper, E.: Produktion in Netzwerken. In: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse? Berlin: Springer 1997.

Kapitel 9

Westkämper & Jeschke 1995

Westkämper, E.; Jeschke, K.: Maßnahmen zur Null-Fehler-Produktion im Maschinenbau. VDI-Z 137 (1995) 3 / 4, S. 84 – 87.

Westkämper & Unger 1995

Westkämper, E.; Unger, U.: Durchlaufzeitreduzierung durch Kommunikation unterhalb der PPS-Ebene. ZwF 90 (1995) 3, S. 90 – 94.

Wiegand u. a. 1997

Wiegand, R.; Picot, A.; Reichwald, R.: Information, Organization and Management. New York: Wiley 1997.

Wiendahl 1987

Wiendahl, H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung – Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung. München: Hanser 1997.

Wiendahl 1995

Wiendahl, H.-P.: Produktionsplanung und –steuerung im Wandel. ZwF 90 (1995) 3, S. 82 – 85.

Wiendahl 1996

Wiendahl, H.-P.: Produktionsplanung und –steuerung – Aufgaben und Zielkonflikte. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte – Produktion und Management Teil 2. Berlin: Springer 1996, S. 14-1 – 14-130.

Wiendahl 1997

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. München: Hanser 1997.

Wiendahl & Köhrmann 1997

Wiendahl, H.-P.; Köhrmann, C.: Results of an International Investigation of Strategies for Availability Optimization of Complex Assembly Systems. In: Proceedings of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Osaka 1997.

Wiendahl & Scheffczyk 1997

Wiendahl, H.-P.; Scheffczyk, H.: Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen: Strategien, Planungsmethoden, Beispiele. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse: Innovation durch Technik und Organisation / FTK '97. Stuttgart: Springer 1997, S. 175 – 198.

Wiendahl u. a. 1995

Wiendahl, H.-P.; Scholtissek, P.; Mittwollen, N.: Potentiale der Fertigungssegmentierung. VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995) 5, S. 48 – 53.

Wildemann 1997

Wildemann, H.: Logistik Prozeßmanagement. München: TCW Transfer-Centrum 1997.

Wittmann 1959

Wittmann, W.: Unternehmung und unvollkommene Information. Köln: Westdeutscher Verlag 1959.

Wöhrmann & Keller 1998

Wöhrmann, D.; Keller, S.: Wir gehören zur Werkstatt. Werkstattstechnik 88 (1998) 9/10, S. 417 – 420.

Womack u. a. 1990

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Ross, D.: The Machine that Changed the World. New York: Rawson Macmillan 1990.

Zahn & Dillup 1994

Zahn, E.; Dillup, R.: Fabrikstrategien und –strukturen im Wandel. In: Zülich, G. (Hrsg.): Vereinfachen und Verkleinern: Die neue Strategie in der Produktion. Stuttgart 1994.

