

Wolfgang Blöchl

*Erweiterte Informationsbereitstellung an  
offenen CNC-Steuerungen zur Prozeß-  
und Programoptimierung*



Wolfgang Blöchl

*Erweiterte Informationsbereitstellung an  
offenen CNC-Steuerungen zur Prozeß-  
und Programmoptimierung*

Herausgegeben von  
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,  
Lehrstuhl für  
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

**FAPS**



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 9. Juli 1996  
Tag der Promotion: 25. Oktober 1996  
Dekan: Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. habil. H. Stoyan  
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann  
Prof. Dr.-Ing. W. Bühler

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Blöchl, Wolfgang:**

Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen  
zur Prozeß- und Programoptimierung / Wolfgang Blöchl. Hrsg. von  
Klaus Feldmann. - Bamberg : Meisenbach, 1997

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 66)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1996

ISBN 3-87525-091-5

ISSN 1431-6226

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks  
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,  
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-  
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich  
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder  
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 1997

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Fertigungstechnik, danke ich für die großzügige Förderung bei der Durchführung meiner Arbeit, die wertvollen Anregungen und den Freiraum, den er mir bei der Bearbeitung praxisorientierter Problemstellungen zuteil werden ließ.

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Bühler, dem Lehrbeauftragten des Lehrstuhls für Fertigungstechnologie, danke ich für die Übernahme des Korreferates, die aufgeschlossenen Diskussionen und fachlichen Anregungen.

Die Arbeit beruht auf einer Vielzahl von Kooperationsprojekten im Umfeld der Werkzeugmaschinenindustrie. Mein Dank gilt insbesondere den Mitarbeitern der Siemens AG aus dem Bereich Automatisierungstechnik, Herrn Dr.-Ing. H.-J. Thon und Herrn Dipl.-Ing. P. Hofmann, sowie den Mitarbeitern der Firma Weiler Werkzeugmaschinen, Herrn Dipl.-Ing. K. Rümmler und Herrn Dipl.-Ing. F. Rechberger die durch anwendungsbezogene Aufgabenstellungen und fachliche Diskussionen dazu beigetragen haben, die Relevanz dieser Arbeit für die Anwendung sicherzustellen.

Weiterhin danke ich meinen Kollegen für die ungezählten fachlichen Diskussionen, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Matthias Herbst, der mir stets den Rücken frei hielt. Den Kollegen aus der Gruppe für Handhabungs- und Montagetechnik und dem verantwortlichen OBERINGENIEUR dieser Gruppe, Herrn Dipl.-Ing. Michael Steber, gilt mein Dank für die Entlastung, die mir in den schwierigen Phasen zuteil wurde. Weiterer Dank gebührt den Studenten und wissenschaftlichen Hilfskräften, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Hier sind insbesondere Herr cand.-Ing. Martin Bachmann, Herr Dipl.-Ing. Thomas Giere, Herr Dipl.-Inf. Markus Krüger, Herr Dipl.-Ing. Dirk Bischoff, Herr Dipl.-Ing. Frank Pitter, Herr Dipl.-Inf. Helmut Garkisch und Herr cand.-Ing. Thomas Herlein zu nennen, die mir durch Ihre gewissenhafte Unterstützung bei der Realisierung zur Seite standen.

*Wolfgang Blöchl*



# Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen zur Prozeß- und Programmoptimierung

- Inhaltsverzeichnis -

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Situationsanalyse der spanenden Fertigungstechnik .....</b>	<b>4</b>
2.1 Wirtschaftliche Situation der metallverarbeitenden Betriebe in Deutschland .....	5
2.2 Hierarchisches Organisationskonzept der flexiblen Werkstattfertigung .....	9
2.3 Verbesserungspotentiale in der Prozeßkette .....	13
2.4 Mitarbeiterqualifikation als Basis einer wirtschaftlichen Produktion .....	14
2.5 Umfeld einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine .....	15
2.5.1 Werkstückfluß in einer flexiblen Fertigung .....	17
2.5.2 Betriebsmittelfluß in der spanenden Fertigung .....	18
2.6 Neue Entwicklungen in der spanenden Fertigung .....	21
2.6.1 Automatisierungsfreundliche Maschinen .....	21
2.6.2 Werkzeuge .....	24
2.6.3 Entwicklungen im Bereich der CNC-Steuerungssysteme .....	25
2.6.4 Auswirkungen der Kühlschmierstoffproblematik .....	28
<b>3 Datenverarbeitung in der Werkstattfertigung .....</b>	<b>30</b>
3.1 Fertigungsinformationen in der Werkstatt .....	30
3.1.1 Arbeitsgangdaten .....	35
3.1.2 NC-Programmerstellung .....	35
3.1.3 Betriebsmittelverwaltung .....	36
3.1.4 Maschinen- und Betriebsdaten .....	39
3.2 Datentransferkonzepte in der Fertigung .....	40
3.2.1 Datenübertragung zwischen Leitrechner und CNC-Steuerung .....	40
3.2.2 Handhabung objektbezogener Daten .....	42
3.2.3 Bewertung der Datenbereitstellungskonzepte .....	44
3.3 Entwicklungen in der Computertechnik .....	45
3.3.1 Hardware für Computer und Steuerungen .....	46
3.3.2 Betriebssysteme .....	46
3.3.3 Kommunikationstechnik .....	47
3.4 Einsetzbarkeit bestehender Softwarelösungen für dezentral organisierte Fertigungsbereiche .....	48

<b>4 Benutzerorientierte Steuerungssoftware in der dezentral organisierten flexiblen Werkstattfertigung .....</b>	<b>50</b>
4.1 Anforderungen an BOSIFLEX .....	50
4.2 Konzeption der Steuerungssoftware.....	54
4.3 Funktionen des benutzerorientierten Ansatzes in der flexiblen Werkstattfertigung.....	57
4.3.1 Auftragsdatenfluß.....	57
4.3.2 NC-Programm- und Werkzeugdatenhaltung .....	60
4.3.3 Online-Kommunikation zwischen den Arbeitsplätzen.....	62
4.4 Hierarchische Gliederung .....	63
4.4.1 Zentralrechner.....	64
4.4.2 Arbeitsplatzrechner .....	66
4.4.3 Gruppenrechner .....	67
4.5 Offene CNC-Steuerung als primäre Hardwareplattform für BOSIFLEX.....	69
4.6 Migrationskonzept für nicht offene CNC-Steuerungen und Handarbeitsplätze .....	73
<b>5 Auftragssteuerung und Betriebsdatenerfassung .....</b>	<b>76</b>
5.1 Zentraler Auftragsdatenserver .....	76
5.2 Dezentrale Arbeitsgangplanung .....	78
5.2.1 Funktionen der dezentralen Arbeitsgangplanung.....	80
5.2.2 Visualisierung der Arbeitsgangreihenfolge .....	83
5.2.3 Überprüfen der Ressourcenverfügbarkeit.....	85
5.2.4 Softwarestabilität und Notlaufeigenschaften.....	86
5.3 Rückmeldung der Maschinen- und Betriebsdaten.....	86
<b>6 Integrierte NC-Programm- und Betriebsmitteldatenhandhabung.....</b>	<b>90</b>
6.1 Zentrale Datenhaltung von NC-Programmen und Betriebsmittelinformationen .....	90
6.1.1 NC-Programmverwaltung .....	92
6.1.2 Betriebsmittelverwaltung .....	93
6.2 NC-Programmerstellung .....	94

---

6.3 Integration der NC-Programmerstellung in den Datenfluß einer Werkstattfertigung .....	96
6.3.1 Erweiterung der Betriebsmittelverwaltung um ein Statistikmodul .....	97
6.3.2 Kopplung eines NC-Programmiersystems und eines zentralen Betriebsmittelverwaltungssystems .....	100
6.3.3 Kopplung der zentralen NC-Programmverwaltungskomponente mit einem NC-Programmiersystem .....	101
6.4 Bereitstellung zentral verfügbarer NC-Programme und Werkzeugpläne an einer offenen CNC-Steuerung .....	102
6.5 Maschinennahe Werkzeugverwaltung für ein offenes Steuerungssystem....	105
<b>7 Konzept einer Prozeßüberwachung für ein offenes Steuerungssystem .....</b>	<b>110</b>
7.1 Konventionelle Systeme zur Werkzeugüberwachung .....	114
7.2 Anforderungen an ein Prozeßüberwachungssystem.....	115
7.3 Struktur eines miniaturisierten Multisensorsystems zur Prozeßüberwachung beim Drehen .....	116
7.4 Integrierter Datenträger.....	119
7.5 Umsetzung des Konzeptes.....	121
<b>8 Diskussion des realisierten Systems.....</b>	<b>122</b>
8.1 Exemplarische Umsetzung .....	122
8.1.1 Produktorientiertes Fertigungssegment.....	122
8.1.2 Dezentrale Disposition und Abwicklung eines Arbeitsganges.....	125
8.2 Bewertung des BOSIFLEX-Konzeptes .....	127
8.3 Maßnahmen zur Einführung neuer Organisationskonzepte .....	131
8.4 Wirtschaftlichkeit .....	132
8.5 Integrierte Werkzeugüberwachung auf der Basis eines Mikrosystems .....	134
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>135</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>138</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AG	<b>A</b> rbeits <b>g</b> ang
ASCII	<b>A</b> merican <b>S</b> tandard <b>C</b> ode for <b>I</b> nformation <b>I</b> nterchange
AV	<b>A</b> rbeits <b>v</b> orbereitung
BDE	<b>B</b> etriebs <b>d</b> atenerfassung
BM	<b>B</b> etriebs <b>m</b> ittel
BMM	<b>B</b> etriebs <b>m</b> ittel <b>m</b> anagement
CAD	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>D</b> esign
CAM	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>M</b> anufacturing
CAP	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>P</b> lanning
CAQ	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>Q</b> uality Assurance
CNC	<b>C</b> omputerized <b>N</b> umerical <b>C</b> ontrol
DDE	<b>D</b> ynamic <b>D</b> ata <b>E</b> xchange
DNC	<b>D</b> irect <b>N</b> umerical <b>C</b> ontrol
DZ	<b>D</b> reh <b>z</b> entrum
IBM	<b>I</b> nternational <b>B</b> usiness <b>M</b> achines
ID	<b>I</b> dentnummer
ISA-Bus	<b>I</b> ndustry <b>S</b> tandard <b>A</b> rchitecture-Bus, Bussystem für Personal Computer
LAN	<b>L</b> ocal <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
MDE	<b>M</b> aschinen <b>d</b> atenerfassung
MMC	<b>M</b> an <b>M</b> achine <b>C</b> ommunication
MPI	<b>M</b> ulti <b>P</b> ort <b>I</b> nterface
MS	<b>M</b> icrosoft
NC	<b>N</b> umerical <b>C</b> ontrol
ODBC	<b>O</b> pen <b>D</b> atabase <b>C</b> onnectivity
OEM	<b>O</b> riginal <b>E</b> quipment <b>M</b> anufacturer
OSACA	<b>O</b> pen <b>S</b> ystem <b>A</b> rchitecture within <b>A</b> utomation Systems
PC	<b>P</b> ersonal <b>C</b> omputer
PPS	<b>P</b> roduktions <b>p</b> lanung und <b>S</b> teuerung
SPS	<b>S</b> peicher <b>p</b> rogrammierbare <b>S</b> teuerung
TCP/IP	<b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol/ <b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol
UNIX	<b>M</b> ultitaskingfähiges Betriebssystem für Computer
V.24	<b>S</b> erielle Standardschnittstelle an Personal Computern
WZ	<b>W</b> erkzeug

# 1 Einleitung

Die Anforderungen an die Produktionstechnik der Zukunft sind geprägt von der Internationalisierung der Märkte und der Anbieter, steigenden Qualitätserwartungen, sich weiter verkürzenden Produktlebenszyklen und immer schneller fortschreitender Innovation. Die Zeit als Produktionsfaktor gewinnt zunehmend an Bedeutung. Eine der wichtigsten unternehmerischen Aufgaben ist es daher, alle Abläufe in einem Unternehmen zu beschleunigen [95]. Viele Unternehmen haben dies bereits erkannt. Exemplarisch sei an dieser Stelle nur auf die top-Initiative des Siemens-Konzerns hingewiesen [52]. Dabei steht top für „time optimized processes“. Im Mittelpunkt dieser Initiative steht die Optimierung und Beschleunigung aller, an der Entstehung eines Produktes beteiligten Geschäftsprozesse.

In den 90-er Jahren stand die vollständige Automatisierung, mit der Folge, daß aus Kostengründen nur Insellösungen implementiert wurden, im Vordergrund [51]. Die zunehmende Komplexität der Produkte und der Arbeitsschritte, die zu deren Herstellung erforderlich sind, hat in der Vergangenheit zu einer starken Spezialisierung geführt, die allzuoft die Innovation hemmt und Rationalisierungspotentiale verdeckt [31]. Unternehmen können in der Zukunft nur erfolgreich bestehen, wenn es ihnen gelingt, flexible Organisationsstrukturen zu schaffen und die Leistungsfähigkeit, sowie die Ideen aller Mitarbeiter durch Motivation zu erschließen [95]. Die Konzentration auf die Integration aller Geschäftsprozesse und das Nutzen der Intelligenz des Menschen in der Fertigung wird zunehmend an Bedeutung gewinnen [61, 3].

Die Dezentralisierung der bisher hierarchisch organisierten Unternehmen, hin zu einer, in Segmente aufgeteilten Struktur mit vernetzten, produktorientiert kooperierenden Arbeitsplätzen stellt eine Möglichkeit zur Steigerung der Flexibilität und Motivation der Mitarbeiter dar [111]. Möglichst viele Funktionen, wie die Integration von Vorfertigung und Montage, die Arbeitsvorbereitung, die Qualitätssicherung, die Instandhaltung und die Logistik werden von den Facharbeitern der Produktion selbstständig wahrgenommen [95, 28]. Dies stellt höhere Anforderungen an die Qualifikation und die Bereitschaft der Mitarbeiter, eigenständig zu handeln. Innerhalb eines Fertigungsbereichs und über dessen Grenzen hinweg muß ein ständiger Verbesserungsprozeß gemäß dem japanischen Kaizen-Gedanken [41] in Gang kommen. Damit werden die seit der ersten industriellen Revolution stark arbeitsteilig ausgelegten Unternehmensstrukturen aufgebrochen.

Um den steigenden zeitlichen Anforderungen gerecht zu werden, ist sicherzustellen, daß in der Produktion zu jedem Zeitpunkt aktuelle Informationen verfügbar sind. Dies kann nur auf Basis einer computergestützten Informationsverarbeitung und -verteilung realisiert werden. In der Vergangenheit wurde die Integration des Computers in

die Fertigung durch hohe Hardwarepreise für Rechner und Zuverlässigkeitsprobleme behindert. Die Preise für Computer und deren Peripherie sind in den letzten Jahren rasant gesunken, während sich deren Leistungsfähigkeit und Stabilität drastisch erhöht hat [32]. Die Erstellung der Software verursacht bei der Neuentwicklung von Werkzeugmaschinensteuerungen gegenüber dem Aufwand für die Hardware den weitaus überwiegenden Teil an den Gesamtkosten [75]. Analog gilt dies auch für die Einführung von Softwaresystemen zur Fertigungssteuerung.

Bestehende Informationsverteilungssysteme für die Fertigung sind in der Regel hierarchisch strukturiert, die Module an die strenge Arbeitsteilung angepaßt [39]. Aufgrund fehlender Normen sind die Nahtstellen zwischen den verschiedenen Modulen zur Fertigungssteuerung nur mit hohem Aufwand zu realisieren und gegenüber Änderungen des organisatorischen Ablaufes in einem Fertigungsbetrieb zu unflexibel.

Eine Verbesserung kann hier neben der konsequenten Nutzung leistungsfähiger Programmierwerkzeuge und Softwarestandards, sowie das Vorantreiben verschiedener Normungsansätze wie beispielsweise OSACA im Bereich der CNC-Steuerungen [76], MAP im Bereich der Schnittstelle zwischen der Werkzeugmaschinensteuerung [27] und CIM-Systemen [68], sowie die Normung von Schnittstellen für die rechnerintegrierte Produktion [14] bieten.

Im Bereich der CNC-Technik für Werkzeugmaschinen setzen sich offene Steuerungskonzepte immer mehr durch [53]. Im Gegensatz zu herkömmlichen CNC-Steuerungen können die Hardware und die Software offener numerischer Steuerungen sehr einfach erweitert werden [77].

Die vielfältigen, auf der Produktionsleitebene vorhandenen Informationen können mit den konventionellen Softwaresystemen nicht an den Maschinenbenutzer in der Werkstatt weitergegeben werden. Gerade der Facharbeiter an der Bearbeitungsmaschine erkennt zuerst Fehler und kann schnell reagieren, um deren Auswirkungen zu begrenzen. Die effektive Bereitstellung der, den Arbeitsplatz betreffenden, Informationen [2] und die konsequente Weiterbildung der Mitarbeiter reduzieren die Auswirkungen von Störungen.

Diese Anforderungen können am besten durch die Vernetzung aller Arbeitsplätze und den Einsatz eines rechnergestützten Informationssystem auf Client-Server-Basis erfüllt werden, dessen Funktionen sich in die offene CNC oder in einen Personal Computer am Maschinenarbeitsplatz integrieren lassen. Einer der wichtigsten Punkte bei der Einführung einer neuen Organisationsstruktur ist die Akzeptanz durch die von der Veränderung betroffenen Mitarbeiter. Nur die aktive und intelligente Verwendung der zur Verfügung gestellten Hilfsmittel sichert den Nutzen.

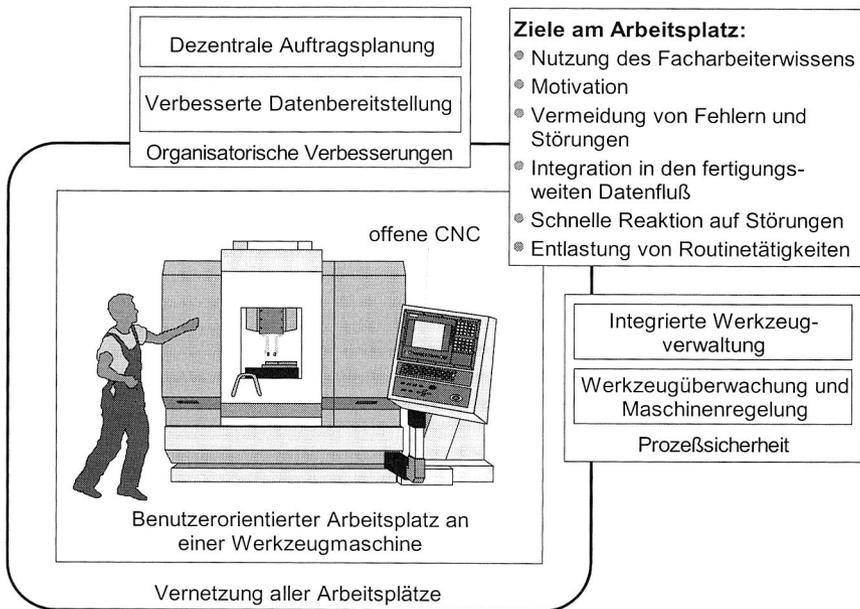


Bild 1: Ziele und Maßnahmen zur Umsetzung eines benutzerorientierten Arbeitsplatzes in der Fertigung

Die vorliegende Arbeit legt die gegenwärtig vorhandenen Defizite der Einbindung des Maschinenbenutzers in den Informationsfluß der Unternehmen offen. Auf der Basis aktueller Entwicklungen in den Bereichen Steuerungen, Sensoren, Rechner, Werkzeugmaschinen und Werkzeuge kann das neu entwickelte Konzept einer benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung zu einer erheblichen Effizienzsteigerung beitragen. Die exemplarisch implementierten Funktionen sind auf den Facharbeiter zugeschnitten und tragen zu einer Erreichung der übergreifenden Unternehmensziele, wie Produktivitätssteigerung, Qualitätssicherung, Flexibilisierung und Verbesserung der Termintreue bei. Die Nutzung der menschlichen Intelligenz, die Entlastung des Personals von Routinetätigkeiten, die Sicherstellung der Fertigungsqualität bei einem teilautonomen Betrieb in Pausenzeiten und über das Schichtende hinaus, sowie die kostengünstige Umsetzbarkeit stehen dabei im Mittelpunkt der Überlegungen.

## 2 Situationsanalyse der spanenden Fertigungstechnik

Die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der spanenden Produktionstechnik in der Bundesrepublik Deutschland steht unter Berücksichtigung der sich ändernden Marktanforderungen im Zentrum der Betrachtungen dieses Abschnittes. Gegenstand der Situationsanalyse ist auch die Erschließung neuer technischer Möglichkeiten gepaart mit der Nutzung einer organisatorischen Neuordnung und personeller Gegebenheiten mit dem Hauptziel einer Gewinnmaximierung in den Unternehmen. Dies wird durch die Vermeidung von Fehlern, die Verbesserung der Qualität und die Steigerung der Effizienz an den Arbeitsplätzen in einem Betrieb erreicht [44]. Der Einfluß der Öffentlichkeit über das Kaufverhalten der Kunden und das staatliche Setzen der Rahmenbedingungen für ein Unternehmen darf bei den Bemühungen um eine gesamtheitliche Verbesserung nicht außer Acht gelassen werden. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Unternehmen ist in Zukunft die zeitliche Optimierung aller Geschäftsprozesse. Daraus ergeben sich Veränderungen für die Werkstattfertigung und deren Umfeld, die herausgearbeitet werden.

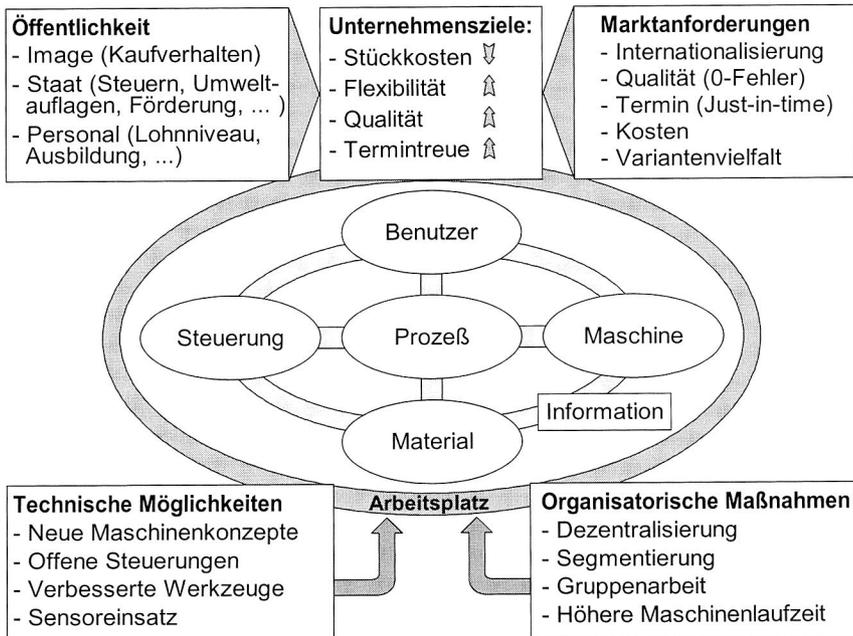


Bild 2: Anforderungen, Chancen und Ziele der spanenden Fertigungstechnik

## 2.1 Wirtschaftliche Situation der metallverarbeitenden Betriebe in Deutschland

Die Unternehmen in Deutschland klagen zunehmend über steigende Lohn- und Lohnnebenkosten. Aus diesem Grund führen derzeit viele Betriebe eine Reengineering- und Standortdebatte. Bei der Analyse der Herstellkosten wird vielfach der Einfluß des Lohnanteils überbewertet. Am Beispiel einer Serienfertigung für Motorteile wurde ermittelt, daß den Kühlschmierstoffen ein Anteil von ca. 17% an den Herstellkosten zugeschrieben werden kann, während Werkzeuge nur mit ca. 4% und Lohnkosten nur mit ca. 9% zu Buche schlagen [21, 47, 62] (Bild 3). Die Maßnahmen zur Effizienzsteigerung sollten daher auf der Basis einer systematischen Betrachtung der Kostenblöcke nach dem Aufwand zu Nutzen Verhältnis und dem Risiko ausgewählt werden.

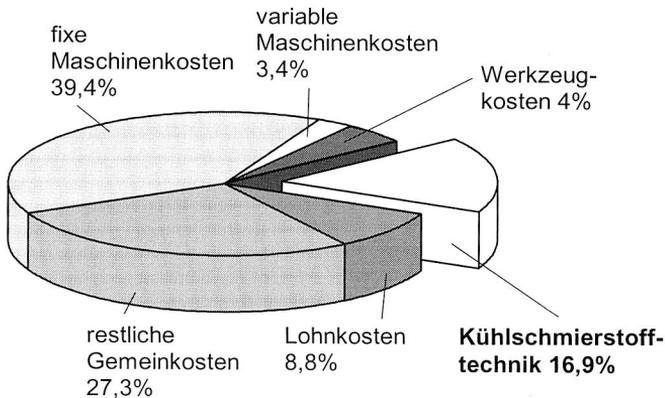


Bild 3: Struktur der Herstellkosten in der spanenden Fertigung [21, 47]

Einen erheblich größeren Stellenwert als die Lohn- und Lohnnebenkosten für die Standortentscheidung eines Betriebes besitzen aufgrund der kostenintensiven Betriebsmittel die möglichen Maschinenlaufzeiten. Im Vergleich mit den meisten Ländern der europäischen Gemeinschaft lag 1993 die Quote für Samstags- und Sonntagsarbeit in der Bundesrepublik Deutschland deutlich niedriger. In Großbritannien arbeiten samstags 57% aller Arbeitnehmer, sonntags sind es noch 37%. In Deutschland liegt dieser Anteil samstags bei 31% und sonntags bei 16% [Quelle: eurostat]. Die Nutzungszeit einer Werkzeugmaschine im Einschichtbetrieb unter Berücksichtigung der Fünftageweche bei 10 Feiertagen, die jeweils auf einen Arbeitstag fallen, und einem Betriebsurlaub von 3 Wochen beträgt nur ca. 20% der insgesamt verfügbaren Jahresstunden.

Eine Untersuchung des Institutes für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe ergab, daß eine Werkzeugmaschine in der spanenden Fertigung von Maschinenbaubetrieben nur zu 50% der Gesamtmaschinenlaufzeit produktiv genutzt wird [93]. Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der vorwiegend kundenauftragsorientierten Fertigung metallverarbeitender mittelständischer Betriebe [83] und den damit verbundenen geringen Losgrößen, die zu häufigen Rüst- und Einfahrvorgängen führen. Der Anteil der effektiven Maschinenlaufzeit an den gesamten Jahresstunden beträgt damit nur ca. 10%. Bei einer zweischichtigen Nutzung der Maschine kann dieser Anteil annähernd verdoppelt werden, wobei lediglich die Bedeutung von technisch bedingten Ausfällen zunehmen wird.

Der auf Basis gängiger Berechnungsformeln [72] ermittelte Maschinenstundensatz für ein CNC-Drehzentrum mit Haupt- und Gegenspindel, das im Einschichtbetrieb genutzt wird, liegt über 150 DM/h. Der relativ geringe Anteil variabler Kosten führt dazu, daß sich der Maschinenstundensatz bei einer zweischichtigen Nutzung annähernd halbiert. Damit wird deutlich, welchen Einfluß die mögliche Maschinenlaufzeit für die Standortentscheidung metallverarbeitender Betriebe besitzt.

Ein qualifizierter Facharbeiter, der eine Werkzeugmaschine optimal einsetzt, Störungen schnell erkennt und gegebenenfalls auch selbst beheben kann, leistet einen

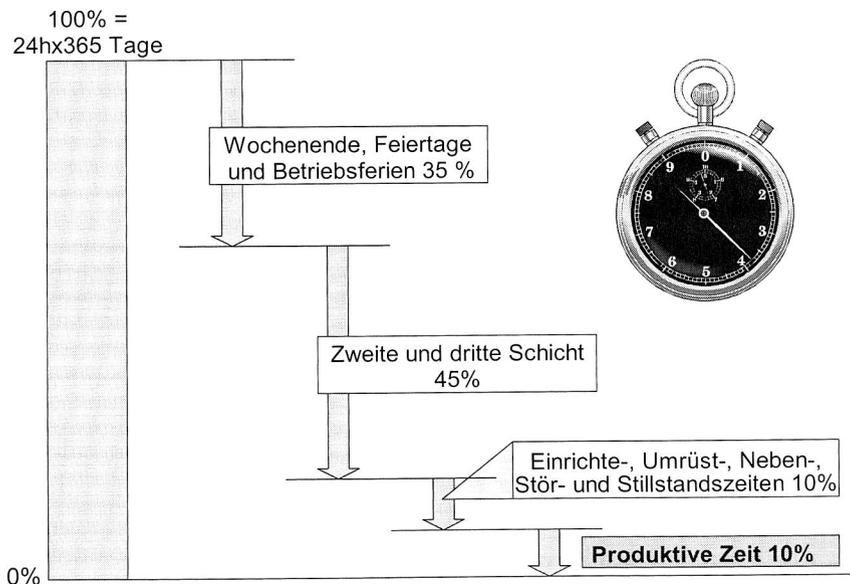


Bild 4: Effektive Nutzung der Produktionsmittel in der Fertigung (nach [23, 93])

wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Produktivität. Werden in der Fertigung Fehler nicht frühzeitig erkannt und dadurch Werkstücke produziert, die den Qualitätsanforderungen nicht genügen, ist entweder eine aufwendige Nacharbeit erforderlich oder der Wert des Werkstückes bis zum Zeitpunkt der Entdeckung des Fehlers geht verloren. Je später ein Fehler erkannt wird um so größer ist der Schaden [41]. Diese Überlegung macht transparent, welch hohe Bedeutung einem motivierten und hochqualifizierten Mitarbeiter in der Teilefertigung zukommt.

Viele Engagements deutscher Unternehmen in anderen Ländern zielen auf die Erschließung neuer Märkte ab [50]. Als weiterer Grund für die Verlagerung der Produktion ins Ausland wird die Besteuerung der Unternehmensgewinne genannt, die mit 56% in Deutschland die Spitze aller OECD-Länder markiert. Im Vergleich dazu liegt die Besteuerung in Großbritannien bei 32% [87]. Langwierige Genehmigungsverfahren, Umweltauflagen, das Arbeitsrecht, kurze Arbeitszeiten und die Bürokratie tragen ein übriges bei [64, 66].

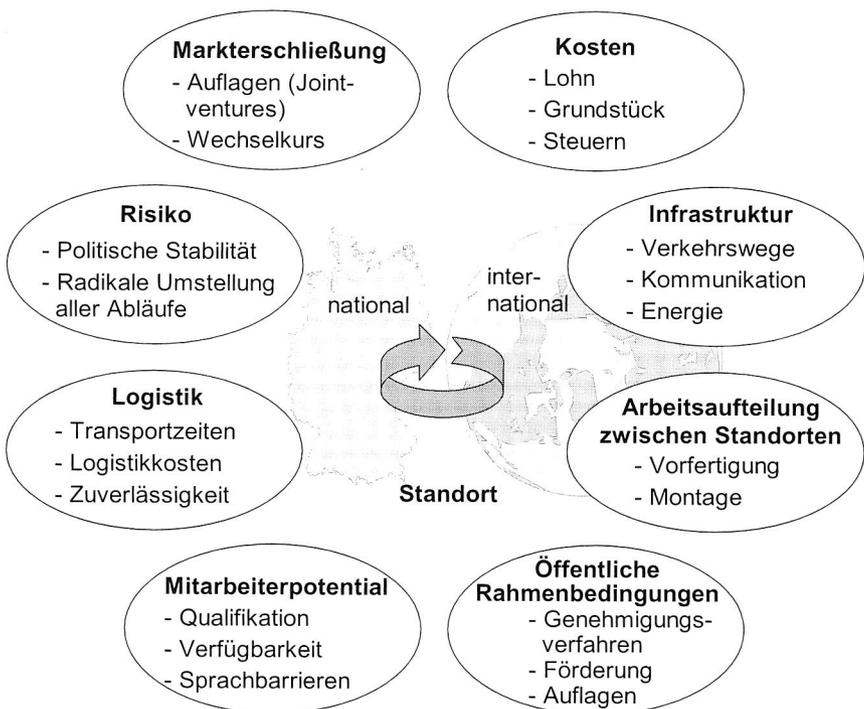


Bild 5: Einflüsse auf die Entscheidung für einen Produktionsstandort

Diese Beeinträchtigungen schlagen sich in den Direktinvestitionen deutscher Unternehmen im Ausland nieder, deren Summe seit Jahren deutlich über der Summe der Direktinvestitionen des Auslands in Deutschland liegt. Gerade im ersten Halbjahr 1995 wurde hier mit 27 Mrd. DM ein neues Rekordniveau erreicht [64]. Der größte Teil dieser Investitionen fließt in den europäischen Raum und nach Nordamerika [66]. Die Investitionen in sogenannten Billiglohnländern haben sich nach der Öffnung des „eisernen Vorhangs“ im Bereich der metallverarbeitenden Industrie auf die nahegelegenen ehemaligen Ostblockstaaten konzentriert [63]. Sie verfügen über einen großen Bestand gut ausgebildeter Facharbeiter. Allerdings wirken sich insbesondere die mangelhafte Infrastruktur, Wechselkursrisiken und politische Unsicherheiten negativ aus. In der Praxis wird über erhebliche Qualitätsprobleme geklagt [78, 33].

Inzwischen wird aber immer häufiger vor dem „Irrweg“ in die Billiglohnländer gewarnt und auf das Beispiel USA verwiesen. Dort hat sich gezeigt, daß dieser Weg dazu führt, daß wichtige Investitionen, sowohl in weiterführende Technologien als auch in Produktionsmittel im eigenen Land versäumt werden [115]. Mittelfristig geht der kurzfristig erreichbare Kostenvorteil verloren. Durch den Transfer von Know-how ohne entsprechende Gegenleistung wird aus dem momentanen Vorteil ein Nachteil, der sich durch die Schaffung neuer Konkurrenten auf dem Weltmarkt ergibt. Auf mittlere Sicht muß die Verlagerung der Produktion in Billiglohnländer, aufgrund steigender qualitativer und zeitlicher Anforderungen, insbesondere an die Produktion von technologisch hochwertigen Produkten, sehr genau geprüft werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß sich die Verlagerung des Produktionsstandortes in Länder mit einem niedrigen Lohnniveau vor allem dann rechnet, wenn arbeitsintensive Produktionsschritte betroffen sind. Der erzielbare wirtschaftliche Vorteil verringert sich, wenn kapitalintensive Produktionseinrichtungen, wie sie in der Teilefertigung erforderlich sind, eingesetzt werden müssen und der Warenwert, der auf dem Transport Kapitalbindung verursacht, hoch ist. Die schnelle Fertigung kundenauftragsspezifischer Produkte ist aufgrund der Infrastruktur und der Transportwege in der Regel problematisch. Längere Maschinenlaufzeiten und eine Fertigung in hoher Qualität, bei der Ausschuß erst gar nicht produziert wird, hat einen erheblich höheren Stellenwert, als hohe Lohn- und Lohnnebenkosten des Maschinenpersonals.

Eine kontinuierliche Verbesserung der bestehenden Produktion, die zu einer stetigen Steigerung der Produktivität und der Qualität führt, bietet in Verbindung mit einer vernünftigen Haltung der Tarifpartner, wie sie zuletzt der IG-Metallvorsitzende Klaus Zwickel mit seinem Angebot auf einen Verzicht auf Reallohnsteigerungen [88] zur Schaffung neuer Arbeitsplätze vertreten hat, eine ernstzunehmende wirtschaftliche Alternative zur Fertigungsverlagerung ins Ausland. Dies wird von der Industrie in der letzten Zeit zunehmend so gesehen [106].

## 2.2 Hierarchisches Organisationskonzept der flexiblen Werkstattfertigung

Die kundenspezifische Fertigung in kleinen Losgrößen überwiegt den Anteil der Massenfertigung in den vorwiegend mittelständischen metallverarbeitenden Betrieben der Bundesrepublik Deutschland [83]. Die unterschiedlichen Abteilungen eines Unternehmens, die in die Abwicklung eines Auftrages involviert sind, bearbeiten diesen häufig seriell. Die Kommunikation zwischen den Beteiligten läßt in der Praxis oft zu wünschen übrig. Dadurch werden Fehler erst spät erkannt.

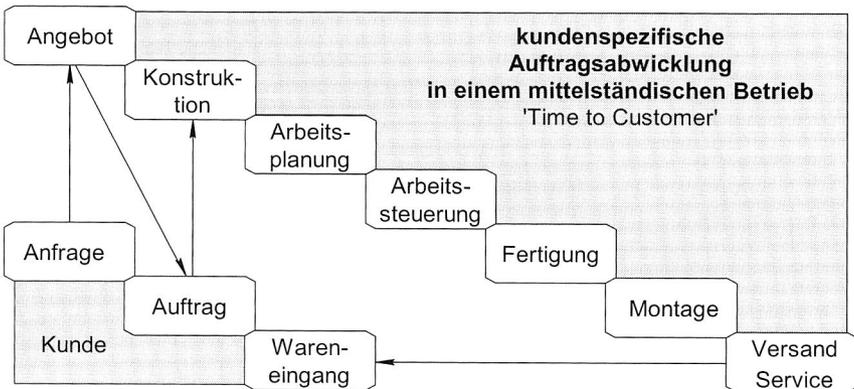


Bild 6: Abwicklung eines kundenspezifischen Auftrages

Das Augenmerk der vorliegenden Betrachtungen gilt der Verbesserung der Teilefertigung für die Produktion in geringen Losgrößen. Von einer überlagerten Planungs- und Steuerungsebene werden die Aufträge mit Termin- und Mengenvorgaben in die Produktion eingelastet.

Konstruktion, Arbeitsplanerstellung und NC-Programmierung nehmen in der Praxis zu wenig Rücksicht auf die Erfahrungen und Belange des Arbeitsplatzes an der Maschine. Die bisherigen hierarchischen Strukturen in der Fertigungsorganisation haben zu einem erheblichen Steuerungsaufwand und zu Störungen in den Fertigungsabläufen durch falsche Planung geführt [60]. Lange Durchlaufzeiten der Aufträge bei nicht optimaler Maschinennutzung waren die Folge [6].

Durch den zunehmenden Einfluß der „Lean-Production-Strategie“ in den Betrieben rückt der Mensch mit seiner Qualifikation und Erfahrung wieder in den Mittelpunkt der Fertigung [107]. Die dezentrale Verantwortung für Mengen, Termine, Qualität, Kosten und Bestände sind Merkmale dieses neuen Konzepts. Die Bildung von Arbeitsgruppen, die ihre Aufträge größtenteils eigenständig abwickeln, und der Fach-

arbeiter, der die volle Verantwortung für seinen Arbeitsplatz erhält, spiegeln den gegenwärtigen Trend in der Fertigungsindustrie wider [71]. Auf aktuelle Veränderungen in der Produktion kann der Mitarbeiter an der Maschine am schnellsten reagieren.

Eine Maßnahme, um die Abläufe in der Produktion überschaubarer zu machen, ist die produktorientierte Segmentierung der Fertigung [112]. Jedes dieser Fraktale trägt für einen überschaubaren Bereich die mengenmäßige, terminliche und qualitative Verantwortung [6, 107]. Die Segmentierung der Produktion wird insbesondere in der Automobilindustrie, durch die Einführung gruppenorientierter Fertigungsstrukturen flankiert [39]. Der wesentliche Ansatz bei einer Gruppenfertigung ist die Anreicherung der Arbeitsinhalte der einzelnen Arbeitsplätze. Beispielsweise kann dem Benutzer einer CNC-Drehmaschine zusätzlich zu der Handhabung der Werkstücke und der Werkzeuge die Verantwortung für die Fertigungsqualität, die Optimierung der Fertigungsprozesse und die Wartung der Maschine übertragen werden. Er ist für die Überprüfung der Ressourcenverfügbarkeit und gegebenenfalls deren Heranführung

Körperlich	Überwachen	Organisation und Planung	Optimieren
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rüsten</li> <li>- Ressourcenlogistik</li> <li>- Werkzeug- und Werkstückhandhabung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wartung und Instandhaltung</li> <li>- Qualitätsprüfung</li> <li>- Prozeßüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NC-Programmerstellung</li> <li>- Feindisposition</li> <li>- Auftragsdurchsetzung</li> <li>- Ressourcencheck</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umfeld</li> <li>- Prozeß</li> <li>- NC-Programm</li> </ul>

**Tätigkeiten des Maschinenbenutzers**

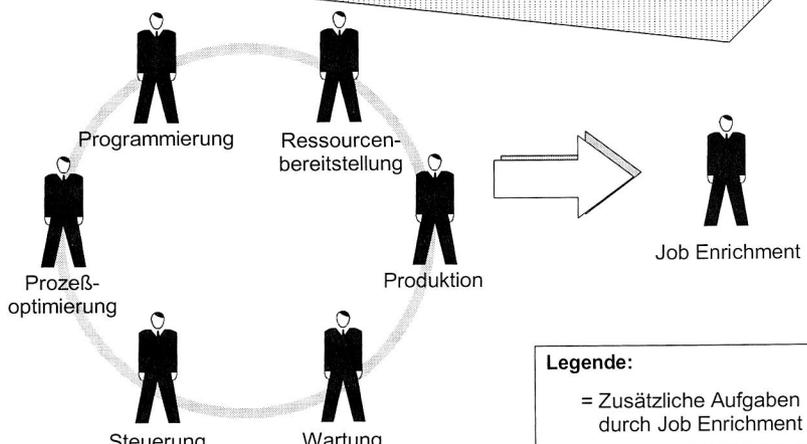


Bild 7: Erweiterte Aufgabenbelastung für den Facharbeiter in einer dezentral organisierten Fertigungsstruktur

verantwortlich. Die Beschaffung und Pflege der notwendigen Fertigungsdaten, sowie die Feinplanung der Arbeitsgänge und die Überwachung deren Durchführung liegen in seinem Zuständigkeitsbereich [1].

Der Facharbeiter, der bisher die Anweisungen des Meisters ausgeführt hat, muß sich nun aktiv mit dem Produktionsprozeß befassen und Verbesserungspotentiale aufspüren [6]. Er soll kreativ und organisatorisch handeln. Dies erfordert ein Umdenken, das nicht nur den Maschinenbenutzer sondern auch den Meister betrifft, der seinen Mitarbeitern nun einen Freiraum einräumen muß. Die Aufgaben des Meisters werden sich in der Zukunft nicht mehr auf die Überwachung und direkte Führung sondern auf die Unterstützung der Mitarbeiter in der Produktion konzentrieren. Dies erfordert eine erheblich größere soziale Kompetenz von den Industriemeistern [5].

Die Bereitschaft aller Mitarbeiter eines Betriebes, eine höhere Verantwortung zu übernehmen, ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Einführung der neuen Organisationsstruktur. Durch die Vergrößerung der Arbeitsinhalte kann die Motivation des Fertigungspersonals zunehmen. Um dies effektiv umsetzen zu können, ist jedoch der Einsatz qualifizierter Facharbeiter erforderlich, die für die erweiterte Verantwortung entsprechend weitergebildet werden, um eine Überforderung und deren demotivierende Wirkung zu vermeiden. Dabei ist die Vorgabe klarer Ziele und die Überwachung deren Einhaltung von großer Wichtigkeit.

Jeder Produktionsmitarbeiter ist dann auch für die Einhaltung der Fertigungsqualität, der Termine und der Liefermenge der von ihm durchgeführten Arbeitsgänge ver-

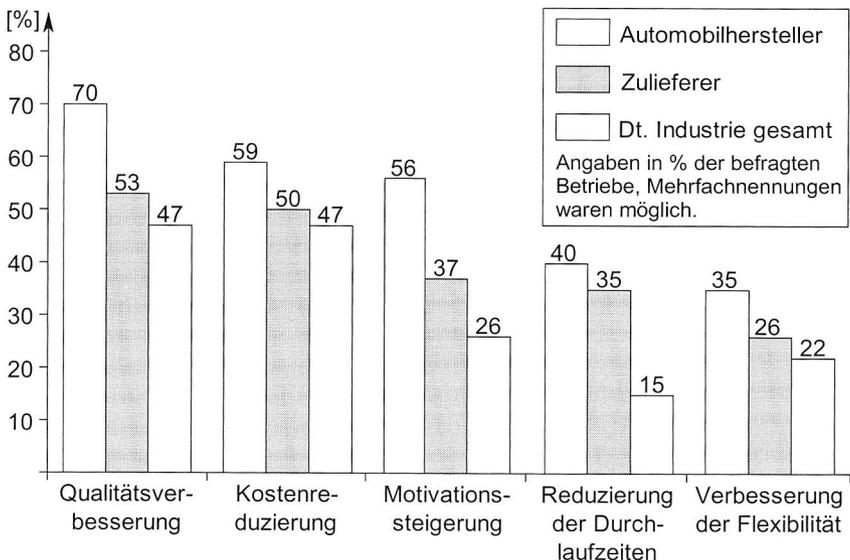


Bild 8: Gründe für die Einführung von Gruppenarbeit [71]

antwortlich. Einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Fertigungsqualität liefert hier der Aufbau interner Kunden-Lieferanten-Beziehungen [111, 112].

Mit der Einführung der Gruppenarbeit werden im wesentlichen die Ziele der Verbesserung der Fertigungsqualität, Kostenreduzierung und Motivationssteigerung verfolgt [71]. Bei der Umsetzung gruppenorientierter Konzepte schreitet die Automobilindustrie und ihre Zulieferer den anderen Industriezweigen voran. Die Konzepte besitzen auch in der Teilefertigung des Maschinenbaus Relevanz.

Die maximale Effizienz werden nur die Unternehmen erreichen, die alle Geschäftsprozesse in ihre Überlegungen mit einbeziehen. Die Zusammenarbeit von Teams aus allen Bereichen eines Unternehmens trägt zur Verkürzung der Durchlaufzeit sowohl in der kundenspezifischen Auftragsabwicklung, als auch in der kundenanonymen Produktentwicklung bei [20, 52].

Die bisher bestehende hierarchische Ordnung in den Unternehmen wird durch die Kooperation in Teams ersetzt. Dies soll zu einer Verbesserung der Kommunikation zwischen allen Bereichen eines Unternehmens führen, die an der Entwicklung eines Produktes arbeiten. Durch die damit verbundene Beschleunigung der Geschäftsprozesse kann ein Unternehmen schneller auf die Wünsche der Kunden und den Wandel der Märkte reagieren. Die gesteigerte Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Mitbewerbern stärkt die Marktposition und erhöht die Unternehmensgewinne.

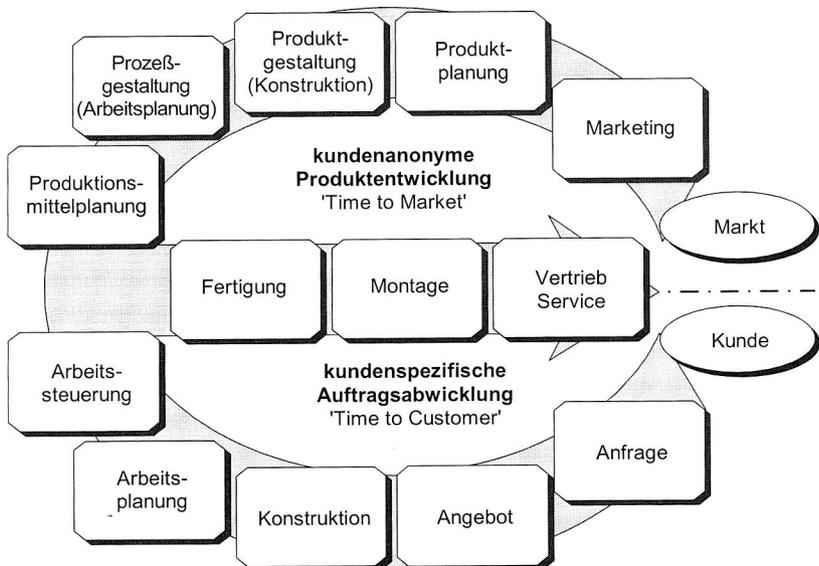


Bild 9: Teamorientierter Unternehmensablauf (nach [20, 52])

### 2.3 Verbesserungspotentiale in der Prozeßkette

Die wichtigste Aufgabe des Managements ist es, die Qualität der gesamten Prozeßkette in einem Unternehmen zu verbessern und sich nicht nur auf die Produktqualität als solches zu konzentrieren [41]. Eine von der Universität Braunschweig durchgeführte Untersuchung [109] der Fehler in einem Maschinenbaubetrieb ergab, daß der überwiegende Anteil der Qualitätsmängel zufällig auftritt.

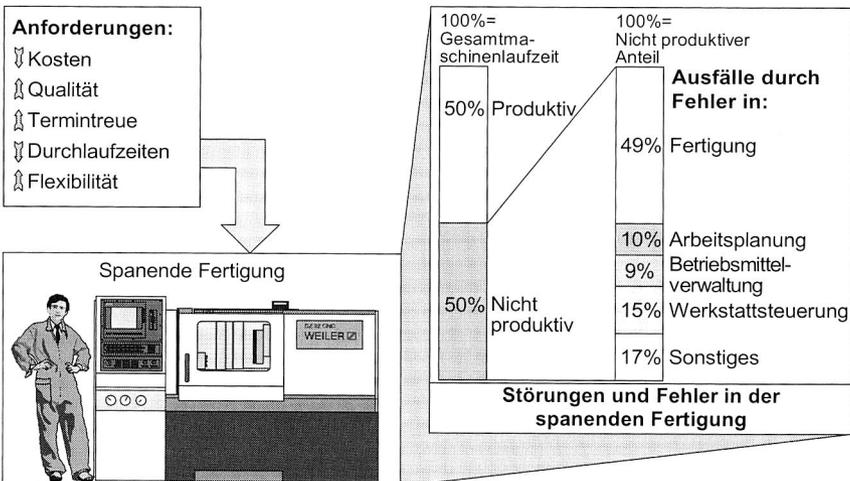


Bild 10: Ursachen von Fehlern und Störungen in einer spanenden Fertigung (Daten: [93, 109])

Die Fertigung verursacht die meisten Probleme. Gründe dafür sind insbesondere Fehlbedienungen, falsche Handhabung von Maschinen oder Werkzeugen und nicht korrekt eingerichtete Maschinen. Die Arbeitsplanung und hier nicht zuletzt die NC-Programmierung ruft 15% der Fehler hervor [109]. Die Entfernung zwischen der meist zentralen Erstellung und dem dezentralen Einsatz der NC-Programme, ohne den erforderlichen engen Kontakt zwischen dem Programmierer und dem Facharbeiter an der Maschine, insbesondere beim Einfahren neuer Programme und bei der Fehlerbehebung, ist verantwortlich für diesen hohen Anteil [93]. Ein weiterer Grund ist die fehlerhafte Auswahl von Werkzeugen bei der NC-Programmerstellung. Die Werkstattsteuerung verursacht aufgrund einer nicht optimalen Auftragsplanung 10% der Störungen, die mangelhafte Verwaltung von Betriebsmitteln schlägt mit einem Anteil von 9% an den Stillständen zu Buche [109].

Eine Steigerung der Fertigungsqualität ist durch die Dezentralisierung und die Schaffung eines kontinuierlichen Verbesserungszykluses erreichbar [41, 95]. Eine Segmentierung der Produktion und der Aufbau interner Kunden-Lieferanten-Beziehungen verbessert die Übersicht, da dann jedes Segment für die gelieferte Qualität und den Termin verantwortlich ist [111, 112]. Ein Abbau der Schnittstellen in der Fertigung, der durch die Bereicherung des Maschinenarbeitsplatzes um zusätzliche Aufgaben und die Verkürzung der Prozeßketten durch die Komplettbearbeitung und die Integration von Vorfertigung und Montage [28] erreicht werden kann, reduziert die möglichen Fehlerquellen und macht deren Auswirkungen transparenter. Das vorhandene Wissen des Personals an den Bearbeitungsmaschinen muß gezielt für die Beseitigung und Verhinderung von Fehlern, sowie für die Verbesserung aller Abläufe genutzt werden [41]. Diese Maßnahmen können aber nur dann sinnvoll greifen, wenn der Facharbeiter an der Maschine über eine hohe Motivation und ein hohes Ausbildungsniveau verfügt. In der Praxis ist ein deutlicher Trend zur Verschiebung von geführten zu selbständigen Mitarbeitern erkennbar [53].

Ein leistungsfähiges System, das die Vorteile dieser neuen Organisationsform durch eine integrierte Datenhaltung und schnellen Bereitstellung der benötigten Fertigungsinformationen am Arbeitsplatz in der Werkstatt erschließt, kann zu einer Reduzierung der auftretenden Fehler in der Fertigung um bis zu 44% beitragen [2]. Die Verbindung der Erstellung und Verwendung von NC-Programmen, eine leistungsfähige Verwaltung der Betriebsmittel und die dezentrale Feindisposition von Arbeitsgängen am Arbeitsplatz, in Abhängigkeit von den verfügbaren Ressourcen, bieten die größten Rationalisierungspotentiale.

## **2.4 Mitarbeiterqualifikation als Basis einer wirtschaftlichen Produktion**

Einer der wesentlichen Vorteile des Produktionsstandortes Deutschland ist die hohe Verfügbarkeit gut ausgebildeter Facharbeiter. Dieser Vorteil ist allerdings in jüngster Zeit durch eine erheblich verringerte Anzahl von besetzten Ausbildungsplätzen in der Industrie gefährdet. Die wesentlichen Gründe für ein geringeres Angebot durch die Industrie sind die Kosten der Ausbildung, die Verlagerung der Fertigung ins Ausland und damit aktuell die nicht vorhandene Möglichkeit neue Kräfte einzustellen.

Auf der Seite der Bewerber hat das Berufsbild des Facharbeiters, ebenso wie das des Ingenieurs, in der vergangenen Rezession gelitten. Der Rückgang der Bewerberzahlen, sowohl für Facharbeiter-Berufe in der Industrie [65] als auch für Ingenieurstudiengänge belegt dies. Insbesondere in den neuen Bundesländern sind weniger Ausbildungsplätze als im westlichen Teil Deutschlands vorhanden. Trotzdem können auch dort viele Lehrstellen in der Industrie nicht besetzt werden, da die Be-

werber verstärkt in die Büroberufe drängen. Verantwortlich dafür sind unter anderem das vergleichsweise schlechte Image, die schlechtere Bezahlung und die geringen Aufstiegschancen von Produktionsmitarbeitern. In den bestehenden hierarchischen Unternehmensorganisationsmodellen werden die Potentiale qualifizierter Mitarbeiter im Produktionsprozeß häufig zu wenig genutzt. Dies kann demotivierend wirken und trägt nicht zur Verbesserung des Berufsbildes in der Öffentlichkeit bei.

Aus den aufgezeigten Tendenzen kann die Gefahr einer Überalterung des Wissens in den Unternehmen und damit das Absinken des Niveaus, des verfügbaren Mitarbeiterpotentials abgeleitet werden. Weiterbildungsmaßnahmen, um diesem Trend entgegenzuwirken, fehlen häufig [65].

Der Trend zur selbständigen Arbeit in der Produktion ruft einen wachsenden Bedarf für gut ausgebildete Fachkräfte hervor. Die stark zurückgehenden Ausbildungszahlen können die großflächige Einführung dezentraler Organisationskonzepte gefährden.

Aber gerade die Dezentralisierung von Verantwortung und die Vergrößerung der Arbeitsinhalte der einzelnen Arbeitsplätze kann einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des Berufsbildes und zur Steigerung der Motivation der Facharbeiter liefern. Neue Konzepte wie Lean Produktion oder Gruppenarbeit stehen für diese Ansätze. Von elementarer Bedeutung ist die Schaffung eines ständigen Verbesserungsprozesses in der Fertigung, der sich am Kaizen-Gedanken orientiert [41]. Dieser Verbesserungsprozeß kann nur unter aktiver Einbeziehung gut ausgebildeter Facharbeiter erfolgreich umgesetzt werden.

## **2.5 Umfeld einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine**

An einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine für spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide müssen grundsätzlich Rohteile angeliefert und aufgespannt werden. Nach der Bearbeitung erfolgt das Abspinnen und die Bereitstellung des Fertigteils für den Abtransport. Durch den Prozeß werden die geometrischen Abmaße des Werkstücks verändert. Dazu ist ein Werkzeugsatz erforderlich, den Mitarbeiter des Werkzeugwesens in der Regel individuell für die Bearbeitung eines Loses gleicher Werkstücke zusammenstellen.

An der Maschine müssen die Werkzeuge in ein Werkzeugmagazin oder in die Spindel eingesetzt und die genaue Schneidenlage der NC-Steuerung mitgeteilt werden. Fehler bei der Eingabe dieses Wertes können zu Kollisionen im Arbeitsraum führen und sowohl das Werkzeug, das Werkstück, als auch die Maschine beschädigen. Für diesen in der Regel manuellen Austauschvorgang und die Eingabe der Korrektur-

werte ist der Facharbeiter verantwortlich. Der Werkzeugwechsel zwischen dem Magazin und der Spindel, beziehungsweise das Schwenken des Werkzeugrevolvers, um ein neues Werkzeug in Eingriff zu bringen, wird von der CNC-Steuerung initiiert. Der Vorgang wird durch einen Befehl im NC-Programm angestoßen.

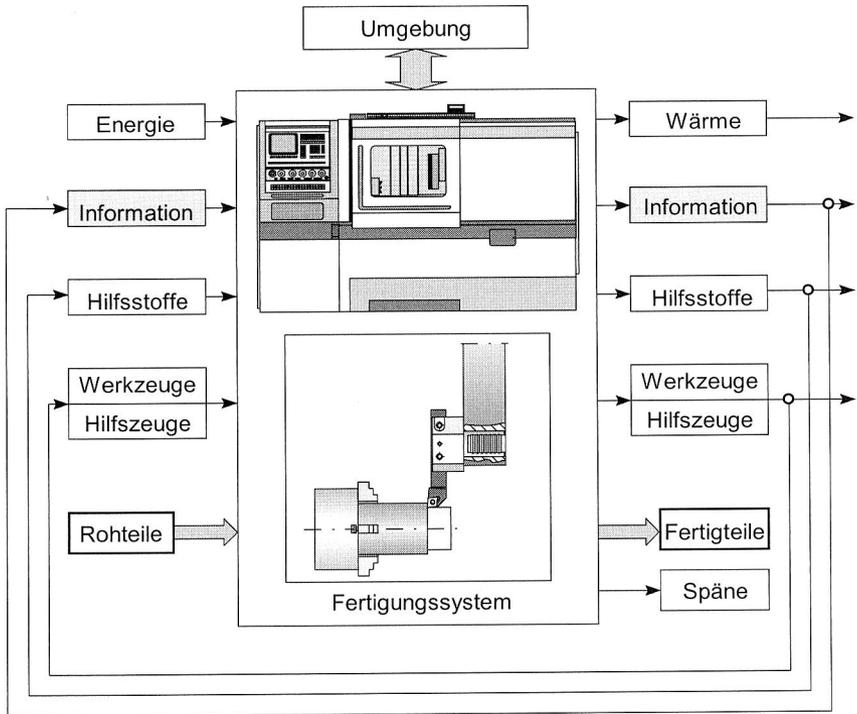


Bild 11: Äußere Verknüpfung des Fertigungssystems mit Ein- und Ausgabeoperanden [96]

Um eine definierte Lage des Werkstücks während der Bearbeitung sicherzustellen, ist die Verwendung von Spannmitteln erforderlich, die den Abmessungen des Rohstücks und gegebenenfalls der Konturveränderung des Werkstücks durch die Bearbeitung angepaßt sein müssen. Die Entsorgung der Fertigungsabfälle, die durch das Abtragen von Material an der Maschine zurückbleiben, kann insbesondere an Drehmaschinen, die über eine hohe Zerspanleistung verfügen, von Bedeutung sein.

Für die Produktion mit einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine werden NC-Programme, Werkzeugpläne, Einrichtungunterweisungen, Auftragsdaten, aber auch materialflußbegleitende Informationen, wie Materialschein oder Werkzeugkorrekturwerte

benötigt. Ein MDE-/BDE-System stellt sowohl die Eingabemöglichkeit, als auch eine Schnittstelle zur Verfügung, um Informationen über den Fertigungsfortschritt und Meldungen über Störungen an einen zentralen Datenserver zu übermitteln, der diese archiviert und aufbereitet.

### 2.5.1 Werkstückfluß in einer flexiblen Fertigung

Die Auftragsplanung wird in der Regel anhand des Werkstückflusses durchgeführt [85]. In der spanenden Fertigung sind in der Regel sequentiell mehrere Bearbeitungsstationen zu durchlaufen. Die Werkstücke eines Fertigungsauftrages werden zu Losen zusammengefaßt und in diesem Verbund zu den Stationen transportiert, auf einem Pufferplatz bereitgestellt und bearbeitet.

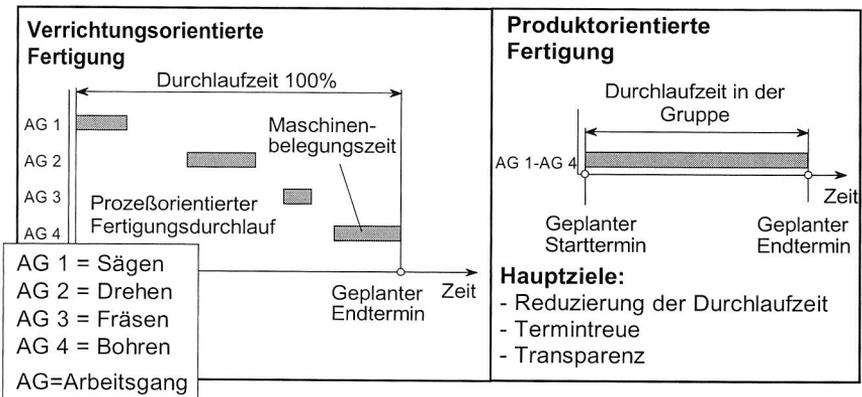


Bild 12: Durchlaufzeitverkürzung eines Fertigungsauftrages in einer produktorientierten Fertigung (nach: [80])

In einer verrichtungsorientierten Fertigung, die über eine eigenständige Dreherei, Fräseerei etc. verfügt, wird das gesamte Los nach Abschluß aller Arbeiten an einer Station zum nächsten Arbeitsplatz transportiert. Bei der Betrachtung der Durchlaufzeit eines Fertigungsloses übersteigen in der Praxis die Liegezeiten die effektiven Bearbeitungszeiten bei weitem. Dies haben Untersuchungen in Betrieben der metallverarbeitenden Industrie und anderen Produktionszweigen gezeigt [18, 80].

Die Bildung autonomer produktorientierter Fertigungsgruppen kann die Durchlaufzeit aufgrund geringerer Transportwege und der Möglichkeit zur besseren Abstimmung der Arbeitsplätze untereinander deutlich reduzieren [71]. Die Weitergabe gesplitteter Lose, die in eng kooperierenden Arbeitsplätzen einfach realisierbar ist, trägt zu einer weiteren Verringerung der Durchlaufzeiten bei. Damit steigt die Flexibilität gegenüber

Eilaufträgen und Produktänderungen. Aufgrund eines, gegenüber einer verrichtungsorientierten Fertigung eingegrenzten Teilespektrums, sinkt die Anzahl der Rüstvorgänge.

Das schnelle Nachordern bei einer störungsbedingten Beschädigung eines Werkstückes stellt die Termintreue sicher. Die Reduzierung der Bestände in der Fertigung führt zur Verbesserung der Transparenz und zu einer Kosteneinsparung bei Kapitalbindung und Lagerung. Lediglich die Auslastung der Produktionsmittel kann durch die Zuordnung zu einem Produkt unter Umständen nicht vollständig optimiert werden.

### **2.5.2 Betriebsmittelfluß in der spanenden Fertigung**

Gemäß der VDI-Richtlinie 2815 [103] sind Betriebsmittel alle Anlagen, Geräte und Einrichtungen, die zur betrieblichen Leistungserstellung dienen. Im Einzelnen können folgende Betriebsmittelgruppen unterschieden werden:

- Fertigungsmittel (Werkzeugmaschinen, Werkzeuge),
- Meß- und Prüfmittel (Meßschieber, etc.),
- Fördermittel (Werkstückpaletten, Transportsysteme),
- Lagermittel (Regale, Ablagen, etc.),
- Organisationsmittel (DV-Anlagen, Karteien),
- Ver- und Entsorgungsanlagen, (Stromverteilungsanlagen, ...)
- Innenausstattung (Tische, Leuchten oder Brandschutzeinrichtungen)

Aus datentechnischer Sicht sind jedoch nur die in Bild 13 dargestellten Betriebsmittelgruppen relevant.

Spann- und Prüfmittel unterliegen, bei korrekter Verwendung, einem sehr geringen Verschleiß. In bestimmten Zeitintervallen ist lediglich eine Überprüfung bzw. Eichung erforderlich. Werkzeuge verfügen aufgrund ihrer hohen Belastung im Einsatz nur über eine begrenzte Standzeit. In der Regel übertrifft die Typenvielfalt und der Umlaufbestand der Betriebsmittelgruppe Werkzeuge die anderen bei weitem. Der Einfluß des Werkzeugwesens auf die Herstellkosten wird häufig unterschätzt [55]. Daher muß ihm bei Lagerung, Beschaffung, Dimensionierung des Materialflusses und der Verwaltung der Daten besonderes Augenmerk geschenkt.

Werkzeuge sind meist modular aufgebaut, um die Verschleiß- und Kapitalbindungskosten bzw. die Kosten eines Bruchs zu minimieren. Für das Drehen und das Fräsen sind die Schnittstellen für Werkzeugsysteme der Bearbeitungsmaschinen genormt [15]. Ebenso existieren Normen für die unterschiedlichen Werkzeugmodule. Ein montiertes Komplettwerkzeug für die Technologie Drehen besteht im wesentlichen aus den Einzelkomponenten Wendeschneidplatte, Klemmhalter und Werkzeughalter.

In den Klemmhalter können verschiedene Schneidplattentypen für unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben eingesetzt werden.

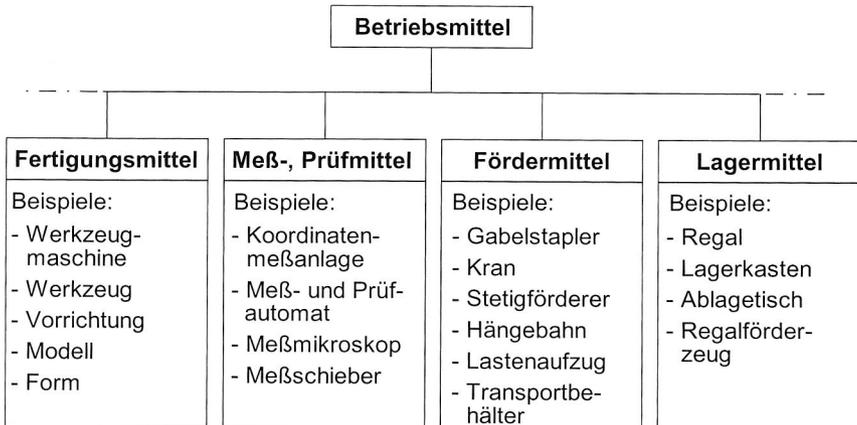


Bild 13: Fertigungsrelevante Betriebsmittelgruppen (nach: [103])

Aus dem modularen Aufbau resultiert der herkömmliche Betriebsmittelkreislauf für die spanende Fertigung (Bild 14). Die Betriebsmittelkomponenten werden aus einem Komponentenlager entnommen, montiert und anschließend vermessen, um die Fertigungstoleranzen, die in jedem mechanischen Bauteil enthalten sind, zu eliminieren. Die Übertragung des ermittelten Korrekturwertes an die Steuerung der Bearbeitungsmaschine, in der das Werkzeug zum Einsatz kommt, dient der Sicherstellung einer hochgenauen Fertigung. Je nach der Organisationsform des Betriebsmittelflusses erfolgt das Einlagern in ein Komplettbetriebsmittellager oder der direkte Transport zu einer Maschine. Nach dem Einsatz wird das Werkzeug gereinigt und überprüft. Die einzelnen Komponenten werden untersucht, falls möglich, instandgesetzt und im Komponentenlager abgelegt. Verbrauchte Betriebsmittelkomponenten werden ausgesondert.

Mit hohem Aufwand wird in den Betrieben der Werkstückfluß optimiert. Der Werkzeugfluß ist dagegen in vielen Fällen eine Schwachstelle [79]. Durch Fehler in der Bereitstellung und beim Rüsten der Maschine kommt es zu Störungen und zu Stillständen [109]. Dem wird unter anderem durch eine, in jedem Fall ausreichende Bevorratung von Betriebsmitteln begegnet. Dies führt zu unnötig hohen Kapitalbindungskosten durch das Betriebsmittelwesen. Eine Alternative stellt die intelligente Verwaltung von Betriebsmitteln und die Einbeziehung des Betriebsmittelflusses in die Produktionsplanung dar.

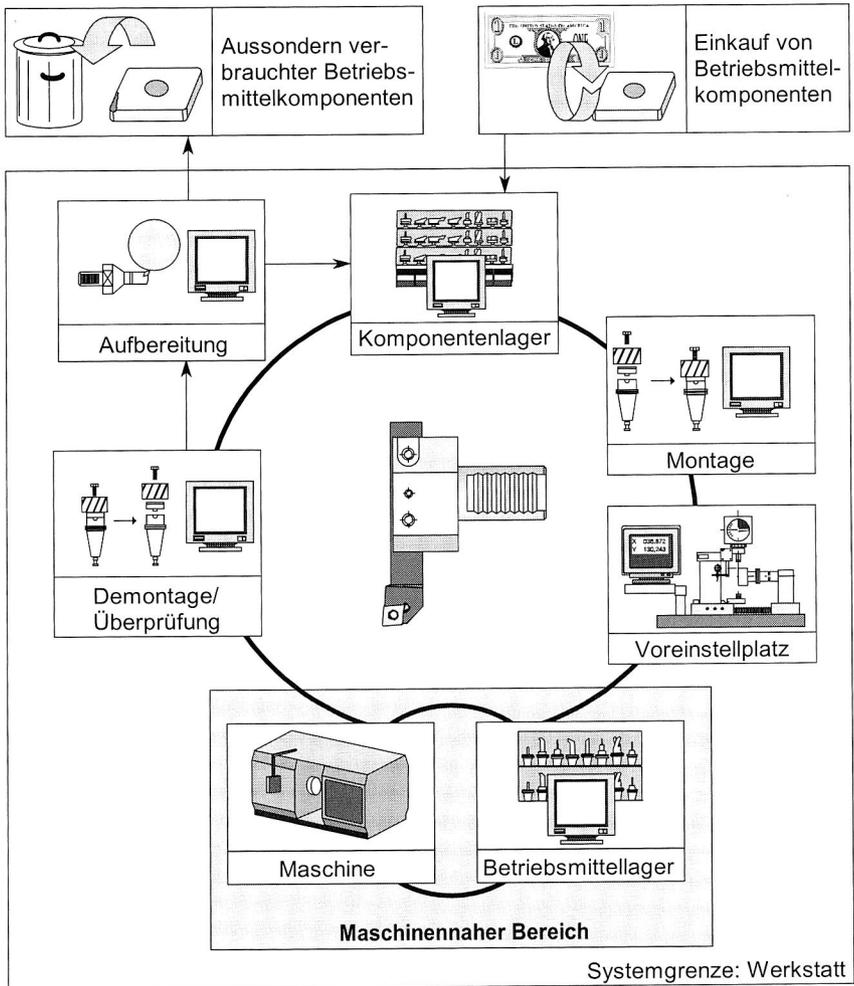


Bild 14: Betriebsmittelkreislauf in der spanenden Fertigung

Die Schaffung einer schnellen Versorgung der Maschinenarbeitsplätze mit den erforderlichen Betriebsmitteln reduziert bei einer Steuerung in der Werkzeugstandzeit oder bei einem unvorhergesehenen Schneidenbruch die Dauer von Störungen. Die Kapitalbindungskosten für den Umlaufbestand an Betriebsmitteln können durch die Beseitigung der Notwendigkeit, größere Mengen von Betriebsmitteln auf Vorrat an den Maschinen bereitzuhalten, deutlich reduziert werden.

## 2.6 Neue Entwicklungen in der spanenden Fertigung

Die Entwicklung und der Einsatz von innovativen Fertigungskonzepten ist eine wichtige Grundlage zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit für die Unternehmen. Der Werkzeugmaschinenbau hat als wichtigster Ausrüster der Produktion einen großen Anteil an der wirtschaftlichen und effizienten Herstellung vieler Produkte. Demzufolge sind Innovationen im Bereich der Werkzeugmaschinen häufig treibende Kräfte für Leistungssteigerungen anderer Industriezweige [110].

Neuerungen im Bereich der Werkzeuge sind, besonders im kurzfristigen Rahmen, für den Anwender, im Gegensatz zu maschinenbaulichen Fortschritten, von größerer Bedeutung. Dies ist darin begründet, daß ein neues Werkzeug auf vielen Maschinen einsetzbar ist und somit die Leistungssteigerung im Werkzeugsektor einer breiten Masse von Anwendern schnell zugänglich ist [23].

Die Entwicklung neuer Schneidstoffe ermöglicht immer höhere Schnittgeschwindigkeiten. Dies wirkt im Rahmen der erforderlichen Spindeldrehzahlen und Vorschubgeschwindigkeiten auf die konstruktive Ausführung der Werkzeugmaschinen zurück. Die bewegten Massen müssen verringert werden, um die Dynamik der Fertigungseinrichtung zu verbessern. Auf der anderen Seite sind aufgrund der reduzierten Schnittkräfte bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung die Anforderungen an die Steifigkeit des Maschinenbaus geringer.

In der jüngsten Vergangenheit geriet der ökonomisch und ökologisch bedenkliche Einsatz von Kühlschmiermitteln in den Mittelpunkt des Interesses. Ihr Ersatz erfordert leistungsfähigere Schneidstoffe zum Erzielen eines wirtschaftlichen Zerspanvolumens und den Einsatz von Sensoren zur Absicherung des Prozesses.

### 2.6.1 Automatisierungsfreundliche Maschinen

Die Forderungen nach einer wirtschaftlichen Herstellung von Produkten in hoher Qualität bedingt die Analyse aller an der Herstellung beteiligten Arbeitsschritte. In der jüngsten Vergangenheit wurden neue Maschinenkonzepte, wie z. B. eine Werkzeugmaschine in Hexapod-Bauweise, zur Marktreife geführt [53]. Bis vor wenigen Jahren war man noch der Ansicht, daß nur eine konsequente Mechanisierung die Wirtschaftlichkeit der Produktion verbessern kann [39]. Allerdings war beispielsweise bei der Automatisierung von Schrägbettdrehzentren erheblicher Aufwand notwendig. Neue automatisierungsfreundliche Maschinenbaukonzepte tragen zur Leistungssteigerung in der spanenden Fertigung bei.

Exemplarisch sei an dieser Stelle auf die Vertikaldrehmaschinen verwiesen, die über eine mobile Motorspindel verfügen. Diese ermöglicht das Aufnehmen und Ablegen von Werkstücken an einer Übergabeposition im Arbeitsraum der Maschine. Bei der Bearbeitung von Futterteilen kann auf den Einsatz eines zusätzlichen Handhabungsgerätes verzichtet werden. Zusätzlich lassen sich aufgrund des vereinfach-

ten Handhabungssystems deutlich geringere Nebenzeiten erreichen. Die Werkstückwechselzeit einer Vertikaldrehmaschine beträgt 3 s [7], das ist etwa die halbe Zeit die das Beladen einer horizontalen Drehspindel durch ein Portalladesystem in Anspruch nimmt.

**Vorteile einer Vertikaldrehmaschine gegenüber einer Schrägbettmaschine:**

- + Leichte Automatisierbarkeit der Werkstückzuführung
- + Kurze Beladezeiten (kurze Wege zwischen Werkstückzuführung und Werkzeug)
- + Leichte Integrierbarkeit ergänzender Technologien (Werkstück wird zur feststehenden Bearbeitungsposition geführt, großer Arbeitsraum)
- + Hohe Steifigkeit
- + Geringer Platzbedarf

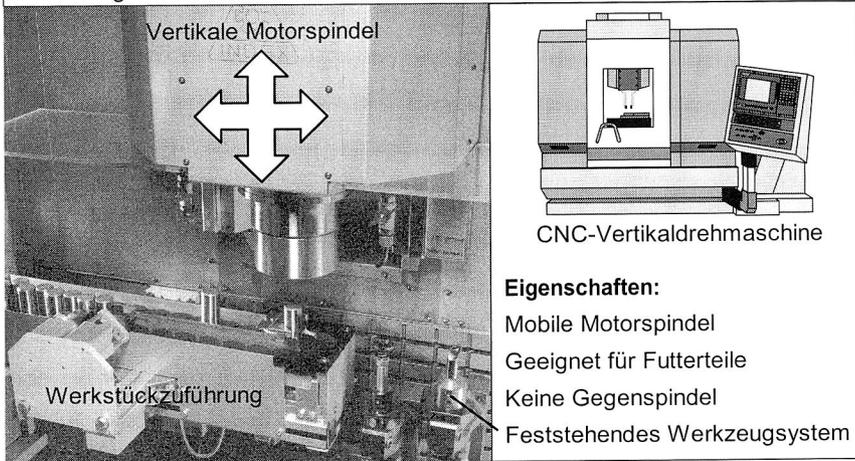


Bild 15: Automatisierungsfreundliche Vertikaldrehmaschine (Arbeitsraumfoto: Index)

Der freie Fall der Späne wirkt sich positiv auf die Einsetzbarkeit dieses Konzeptes für die Trockenbearbeitung aus. Die mobile Motorspindel kann das Werkstück an jeden Punkt des Arbeitsraumes positionieren. Die Platzprobleme, die sich bei konventionellen Schrägbett-drehmaschinen der Integration anderer Fertigungsverfahren entgegenstellen, treten bei Vertikaldrehmaschinen kaum auf. Beispielsweise können große angetriebene Werkzeuge oder an festen Positionen ein Laser zum Härten und Schweißen angeordnet werden [7]. Einrichtungen dieser Art sind bei Gegenspindel-drehmaschinen nur mit einem großen Aufwand in ähnlicher Flexibilität integrierbar.

Der Anteil der mechanischen Bauteile an einer CNC-gesteuerten Drehmaschine beträgt, je nach der Anzahl der integrierten Spindeln und Achsen, ca. 50% des Ge-

samtaufwandes für die Herstellung. Bei stark rückläufigen Preisen für die Steuerungshardware gewinnt in CNC-Maschinen insbesondere die Software einen immer größeren Stellenwert. Programmierbare Zusatzfunktionen und eine benutzerorientierte Steuerungsoberfläche stellen ein Verkaufsargument dar.

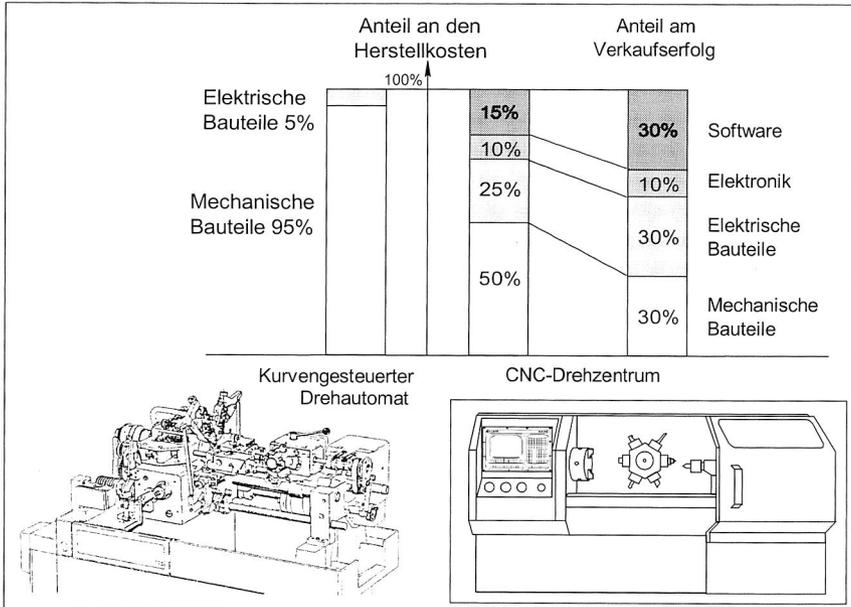


Bild 16: Beitrag zum Markterfolg des Elektronik- und Softwareanteils einer Werkzeugmaschine (Quelle der Daten: Professor Bühler, Index Werke)

Unter dem zunehmenden Druck zur Kostensenkung gewinnt die Auslastung der Produktionsanlagen im Rahmen der in Deutschland durchsetzbaren Arbeitszeitmodelle einen immer höheren Stellenwert. Insbesondere die Steigerung der Maschinenlaufzeit bietet noch ein erhebliches Rationalisierungspotential. Die flexible Mechanisierung zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Autonomie der Maschine und der Einsatz neuer zuverlässiger Sensortechniken, die die Erkennung von Werkzeugverschleiß in allen Bearbeitungsschritten zulassen, kann zu einer Steigerung der Maschinenlaufzeiten beitragen. Die „intelligente Werkzeugmaschine“ der Zukunft wird sich durch den Einsatz neuer Technologien sowie durch die Integration neuer Steuerungs- und Überwachungssysteme auszeichnen [110]. Von ebenso großer Bedeutung ist die Verbesserung des organisatorischen Umfeldes einer Werkzeugmaschine.

## 2.6.2 Werkzeuge

Die Bedeutung der Werkzeuge für eine wirtschaftliche Fertigung wird bei der Betrachtung des Verhältnisses des inländischen Marktvolumens zwischen Präzisionswerkzeugen und Werkzeugmaschinen deutlich. Es berechnet sich nach der Formel:

Inländisches Marktvolumen = Produktion - Export + Import

Der Inlandsverbrauch von Präzisionswerkzeugen übersteigt den von Werkzeugmaschinen mittlerweile deutlich. Ein Grund dafür ist die zurückhaltende Investitionsneigung für die Anschaffung kapitalintensiver Werkzeugmaschinen in den vergangenen Jahren. Der Trend zur Verwendung von hochwertigen Sonderwerkzeugen und Schneidstoffen [67], wie Cermet, CBN<sup>1</sup> und PKD<sup>2</sup>, führt zu einer Leistungssteigerung in der spanenden Bearbeitung und reduziert die Anzahl der erforderlichen Fertigungsmaschinen bei gleicher Mengenausbringung. Dies und die aktuelle Tendenz zur Trockenbearbeitung, bei der die Werkzeuge einem hohen Verschleiß unterliegen [54], wird das Verhältnis zwischen dem Inlandsverbrauch von Werkzeugen und Werkzeugmaschinen auf einem hohen Niveau halten. Damit kommt dem innerbetrieblichen Werkzeugfluß in der Zukunft eine erheblich größere Bedeutung zu.

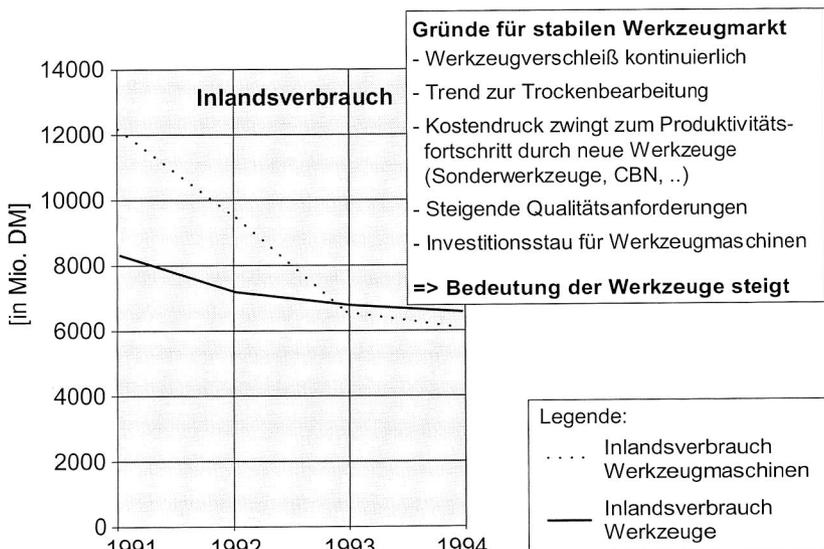


Bild 17: Verhältnis zwischen dem jährlichen Inlandsverbrauch von Werkzeugmaschinen und Präzisionswerkzeugen (Daten: [104, 105])

<sup>1</sup> Kubisches Bornitrit

<sup>2</sup> Polykristalliner Diamant

### 2.6.3 Entwicklungen im Bereich der CNC-Steuerungssysteme

Die erste NC-Steuerung wurde im Auftrag der U.S. Air Force von J. T. Parsons konzeptioniert [73], am M.I.T.<sup>3</sup> entwickelt und 1952 vorgestellt. Primäres Ziel der Entwicklung war die Schaffung eines Produktionsmittels, das die wiederholgenaue Fertigung von Integralteilen für die Flugzeugindustrie ermöglichte. Die verwendeten Elektronenröhren waren teuer und aufgrund ihrer begrenzten Lebensdauer unzuverlässig. Der Einsatz von Minicomputern und Mikroprozessoren ermöglichte 1972 die ersten CNC-Steuerungen, die kleiner, schneller und zuverlässiger waren als ihre Vorgänger [45].

Seit 1970 stehen zumeist proprietäre DNC Interfaces an den Steuerungen zur Verfügung. Diese sind die Basis für alle automatisierten flexiblen Fertigungseinrichtungen. Die Standardisierung der Maschinenschnittstelle soll die Wirtschaftlichkeit solcher Lösungen verbessern. Mit MAP 3.0 wurde 1990 ein stabiler Stand erreicht [68]. Die Integration zusätzlicher Funktionen in die Steuerungen und ein anhaltender Preisverfall prägen die Entwicklung bis heute. Zwischen 1960 und 1994 hat sich der

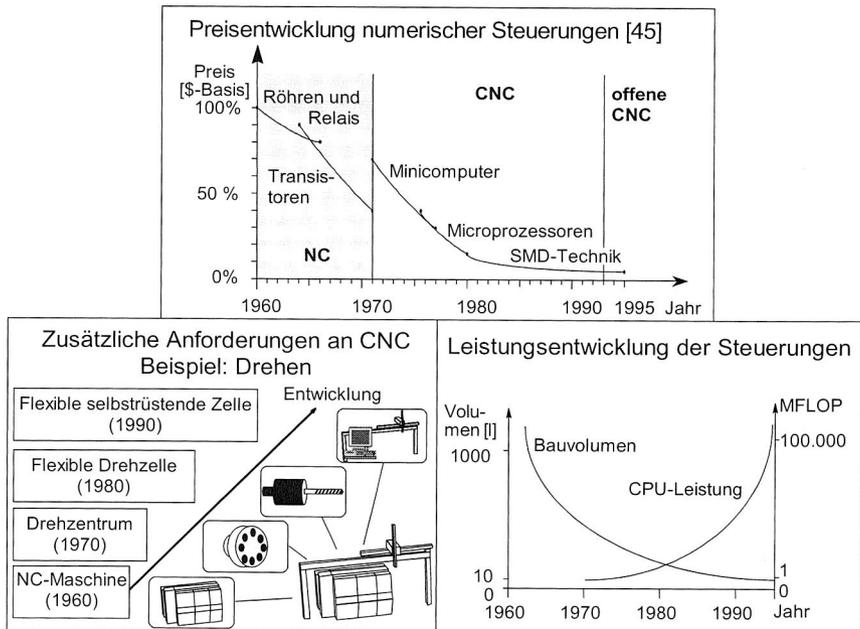


Bild 18: Historische Entwicklung numerischer Steuerungen (Daten nach: [45, 68, 77, 79, 91, 110])

<sup>3</sup> Massachusetts Institute of Technology

Preis von NC-Steuerungen auf weniger, als 5% reduziert [45], während im selben Zeitraum die Arbeitskosten im verarbeitenden Gewerbe in der Bundesrepublik Deutschland um mehr als 1000% gestiegen sind [74]. Dies geht einher mit einer deutlichen Steigerung des Funktionsumfangs und der Zuverlässigkeit [81]. CNC-Steuerungen bestehen derzeit überwiegend aus einem Steuerungskern, dessen wichtigste Aufgabe die Ansteuerung der Achsregelkreise ist, und aus einer speicherprogrammierbaren Steuerungen, die das Setzen und Auswerten von Schaltsignalen abarbeitet [45].

Der Werkzeugmaschinenmarkt ist heute ein Käufermarkt. Der Kunde kann dem Hersteller einer Werkzeugmaschine vorgeben, welche Steuerung in eine Maschine eingebaut werden soll. Für den Anbieter ist dies mit hohen Kosten verbunden, da er das notwendige Wissen für die Entwicklung, Pflege und Wartung jeder von ihm ausgelieferten Steuerungsfamilie bereithalten muß. Darüber hinaus ist die Erstinbetriebnahme einer Steuerung in einer Werkzeugmaschine in der Regel sehr zeitaufwendig, da die Anpassung durch die Eingabe einer großen Zahl von Maschinenparametern und die Programmierung einer SPS erfolgt. Zusätzlich waren Maschinenhersteller mit eigenem steuerungstechnischen Know-how gezwungen, entweder eine eigene Steuerung zu entwickeln, oder sich eng an einen Steuerungsanbieter zu binden. Im ersten Fall entstanden hohe Kosten, um die Qualität der Steuerung zu gewährleisten, während im zweiten Fall nicht immer der Schutz des Know-hows vor den Konkurrenten sichergestellt werden konnte [43, 75].

Ebenso mußten alle Systemerweiterungen, wie beispielsweise der Einbau eines Kommunikationsprozessors zur Einbindung der Steuerung in ein Local Area Network in die SPS eingefügt werden. Dazu waren spezielle Baugruppen erforderlich, die nur in begrenzten Stückzahlen produziert wurden, und daher erheblich teurer waren als Standard-PC-Baugruppen mit einer vergleichbaren Funktionalität. Die integrierte SPS verfügt über einen sehr kleinen Speicher für variable Daten (z. B. 48 KByte). Zusätzlich ist der Sprachumfang zur Programmierung einer SPS eingeschränkt und nur begrenzt auf die Systeme anderer Steuerungsanbieter portierbar.

Um diesen Mißstand abzustellen wurde 1992 das europäische Verbundprojekt OSACA (Open System Architecture within Automation Systems) unter der Leitung von Herrn Professor Pritschow gestartet, dessen Ziel die Schaffung einer herstellerunabhängigen Steuerungsplattform ist [76]. Das Hinzufügen eigener Applikationssoftwaremodule soll ebenso ermöglicht werden, wie eine schnelle Inbetriebnahme der Werkzeugmaschinen. Die Entwicklung einer offenen Architektur für Steuerungssysteme hat erste Ergebnisse vorzuweisen, die zur EMO 1995 vorgestellt wurden [53]. Bereits seit 1993 werden am Markt vermehrt „offene Steuerungssysteme“ angeboten. Diese unterscheiden sich jedoch in ihrer Architektur und im Grad ihrer Offenheit z. T. ganz erheblich [42].

Bei den am Markt befindlichen „offenen Steuerungssystemen“ sind die Eingriffsmöglichkeiten häufig nur auf den Bereich der Bedienung begrenzt. Im Bereich der Benut-

zerschnittstelle setzen sich integrierte IBM-kompatible Personal Computer mit dem Betriebssystem Microsoft DOS/Windows immer mehr durch. Die Nahtstelle zum NC-Kern ist weiterhin herstellerspezifisch. So ist beispielsweise die Portierung eines MDE-/BDE-Systems, das eine automatische Erfassung von Maschinenzuständen beinhaltet, zwischen zwei Steuerungen derselben Architektur nicht ohne die zum Teil aufwendige Anpassung der Schnittstellen zum NC-Kern möglich [43].

Andere Steuerungshersteller bieten die Möglichkeit eines eingeschränkten Eingriffs in den NC-Kern über definierte herstellerspezifische Schnittstellen. Bei der Verwendung eines eigenständigen steuerungstechnischen Know-hows kann ein Anbieter von Werkzeugmaschinen den NC-Kern um eigene Applikationsmodule erweitern. Allerdings ist eine Übertragung auf Steuerungen anderer Anbieter, die über dieselbe Architektur verfügen, nur mit hohem Aufwand realisierbar [43].

Eine Umfrage unter Anwendern von CNC-Steuerungen [69] ergab, daß insbesondere die Qualität und die Benutzerfreundlichkeit die CNC-Steuerung der Zukunft auszeichnen sollen. Die Offenheit der Steuerung steht aus der Sicht der Anwender mit einem vorderen Mittelfeldplatz nicht im Brennpunkt des Interesses. Offenbar existieren Defizite in der Darstellung der Möglichkeiten offener CNC-Steuerungen, wie beispielsweise die in Kapitel 6 vorgestellte einfache und kostengünstige Integration von benutzerfreundlichen DNC-Funktionen in die Steuerung. Bei einer Umfrage unter den Anbietern von Werkzeugmaschinen dürfte sich hier eine deutliche Verschiebung zugunsten der Offenheit, der Einbindbarkeit eigener Programme und einem Steuerungskern nach dem OSACA-Prinzip ergeben.

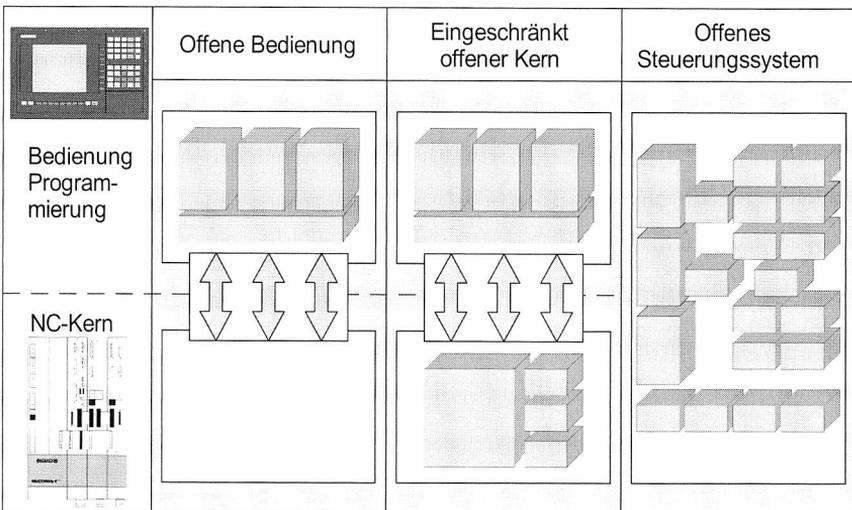


Bild 19: Einordnung von offenen Steuerungssystemen [43]

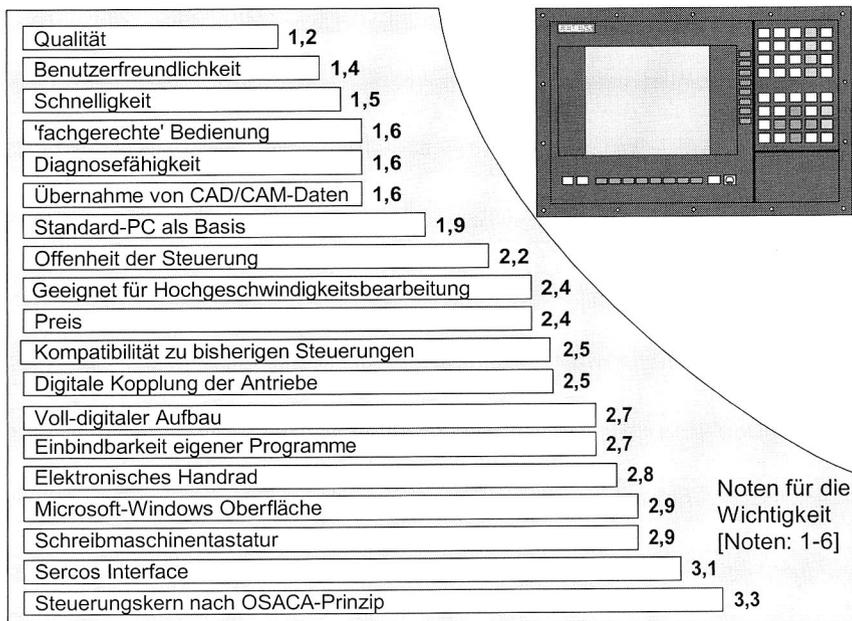


Bild 20: Anforderungen an ein Steuerungssystem der Zukunft [69]

### 2.6.4 Auswirkungen der Kühlschmierstoffproblematik

Jährlich werden in der Bundesrepublik Deutschland mehr als 1,1 Mio. t wasser-mischbare und nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe verbraucht [47]. In der Praxis verursacht der Einsatz dieser Hilfsstoffe in der Fertigung ein erhebliches Gefährdungspotential für die Umwelt und die Gesundheit der Mitarbeiter. Aufgrund zunehmender gesetzlicher Reglementierungen, bezüglich des Einsatzes dieser gefährdenden Stoffe steigen die Kosten ständig an. Eine genaue Wirtschaftlichkeitsrechnung wird erschwert durch die nur eingeschränkt nachweisbaren Zusammenhänge mit Berufskrankheiten, die sowohl für den Betrieb als auch für die Volkswirtschaft erhebliche Kosten verursachen [47]. Häufig werden in den Betrieben die Kosten für diese Hilfsstoffe nicht gesondert ausgewiesen, sie fallen unter die Gemeinkosten [62]. Nach einer Analyse der Herstellkosten in einer Motorenfertigung der Daimler Benz AG verursachen die Kühlschmierstoffe einen Anteil von ca. 17% [47, 62]. Die wesentlichen Gründe für die hohen Kosten, die durch die Kühlschmiermittel hervorgerufen werden, sind der Aufwand für deren Beschaffung und Pflege, sowie die rapide steigenden Entsorgungspreise. Die Anstrengungen konzentrieren sich auf die Verbesserung der Kühlschmierstoffe mit dem Ziel, diese umweltverträglicher und

weniger gesundheitsgefährdend zu gestalten. Eine konsequente Pflege kann ebenso wie die Verringerung der eingesetzten Menge dazu beitragen, die Kosten für den Einsatz zu reduzieren [47].

Eine andere Maßnahme zur Leistungssteigerung in der spanenden Fertigung stellt der völlige Verzicht auf den Einsatz von Kühlschmiermitteln dar. Neben der Vermeidung der genannten Probleme kann bei einer konsequenten Trockenbearbeitung der Arbeitsgang „Reinigen des Werkstückes“ entfallen. Allerdings ist ein Verzicht auf die Verwendung der Kühlschmiertechnik für einige Bearbeitungsvorgänge bei Gewährleistung wirtschaftlicher Abtragsraten nicht möglich.

Bei einer Trockenzerspannung sind die Werkzeuge erheblich höheren Belastungen ausgesetzt. Dies führt in der Praxis zu erhöhtem Verschleiß und einer Abnahme der Kantenfestigkeit [48]. Die verfügbare Standzeit der Werkzeuge sinkt. Neue Entwicklungen bei den Schneidstoffen und bei den Beschichtungen, sowie angepaßter Schneidengeometrien ermöglichen mittlerweile in vielen Fällen den wirtschaftlichen Einsatz der Trockenbearbeitung. Insbesondere dickere Beschichtungen wirken als Isolationsschicht und reduzieren den Anteil der thermischen Zerspanungsenergie, der durch das Werkzeug abtransportiert wird [62].

Die neuentwickelten Schneidstoffe verursachen jedoch erhöhte Kosten [54]. Aus den geringeren Werkzeugstandzeiten [46] resultiert ein häufigerer Werkzeugaustausch an den Maschinen. Dabei wird eine Steigerung des Anteils der Werkzeugkosten an den Gesamtbearbeitungskosten in der spanenden Fertigung, bei einem reduzierten Aufwand für Kühlschmierstoffe, von derzeit 4% auf 6% als realistisch angesehen [54]. Dem Werkzeugwesen kommt in Zukunft eine deutlich steigende Bedeutung zu.

Ergebnisse aus der Forschung haben gezeigt, daß durch die Aufteilung der Bearbeitung in einen Vorbearbeitungsschritt und einen Endbearbeitungsschritt mit einer zwischenzeitlichen Abkühlung des Werkstücks auf Raumtemperatur ähnlich gute Fertigungsqualitäten erreichbar sind, wie bei der Verwendung von Kühlschmierstoffen [48]. Alternativ dazu kann ein Temperatursensor, der in den Werkzeughalter integriert ist, Rückschlüsse auf die thermische Verlagerung der Werkzeugschneide ermöglichen. Eine anschließende adaptive Nachregelung kann den Schneidenversatz ausgleichen. Der wesentliche Vorteil dieses Vorgehens ist die Gewährleistung einer hohen Fertigungsgüte bei einer Komplettbearbeitung ohne Kühlschmierstoffe. Die Umstellung des Materialflusses und die Verlängerung der Durchlaufzeiten, die bei einer Abkühlphase der Werkstücke vor dem Erzeugen der Endkontur derzeit noch erforderlich ist, kann entfallen. In Kapitel 7 wird ein Multisensorsystem, das in den Klemmhalter eines Drehwerkzeuges integriert ist, vorgestellt. Es enthält einen Temperatursensor, der während der Bearbeitung ständig Temperaturwerte an eine offene CNC-Steuerung sendet, deren Aufgabe unter anderem die Nachregelung des thermisch bedingten Schneidenversatzes ist.

### 3 Datenverarbeitung in der Werkstattfertigung

In jüngster Vergangenheit setzt sich die Erkenntnis durch, daß erst der durchgängige Informationsverbund die Voraussetzung für die bestmögliche Planung, Steuerung und Überwachung der Produktion auf der Basis aktueller und umfassender Informationen schafft [99]. Insbesondere die zur Entwicklung und Herstellung eines Produktes benötigte Zeitspanne spielt eine immer größere Rolle. Die rechnergestützte Datenverarbeitung und die Vernetzung aller Bereiche eines Unternehmens gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Am deutlichsten wird dies bei der Betrachtung der Computerbranche, deren Kennzeichen eine extrem hohe Innovationsgeschwindigkeit und ein schneller Verfall der Preise sind. Daraus resultieren hohe Anforderungen an die Lieferanten, bezüglich der Reduzierung von Entwicklungszeiten sowie der ständigen Entwicklung neuer Produkte und Produktionsmethoden. Aus der Sicht eines metallverarbeitenden Betriebes bieten sich neben dem Beispiel einer zeitoptimierten Entwicklung und Fertigung von Produkten schnell steigende Möglichkeiten für die Datenverarbeitung in der Produktion und machen die Überprüfung des innerbetrieblichen Datenflusses in kurzen Zeitabständen erforderlich.

#### 3.1 Fertigungsinformationen in der Werkstatt

Im Rahmen der innerbetrieblichen Auftragsabwicklung fällt eine Vielzahl von Daten an. Für eine schnelle Fertigung kundenauftragspezifischer Produkte ist ein durchgängiger Datenfluß erforderlich. Durch den Einsatz einer elektronischen Datenverarbeitung und der Vernetzung aller Arbeitsplätze kann die Bereitstellung der erforderlichen aktuellen Informationen in kurzer Zeit sichergestellt und die Datenmenge bewältigt werden.

Die in der zweiten Hälfte der 90-er Jahre propagierten CIM-Konzepte wiesen als wesentlichen Mangel das Fehlen genormter Schnittstellen auf. Der Anpassungsaufwand nahm z. T. so enorme Größenordnungen an, daß die Wirtschaftlichkeit von CIM-Realisierungen in Frage gestellt wurde [59]. Die Ergebnisse von Normungsbemühungen stehen teilweise bereits zur Verfügung. Exemplarisch sei an dieser Stelle nur auf MAP<sup>4</sup> [68] und die Normungsanstrengungen in KCIM<sup>5</sup> hingewiesen [14]. Ein weiteres Defizit bestand in den hohen Kosten für Rechenleistung und un-

---

<sup>4</sup> Manufacturing Automation Protocol

<sup>5</sup> Kommission CIM im deutschen Institut für Normung, angestrebt wurde die Normung von CIM-Schnittstellen

genügenden Betriebssystemen. Auch in diesem Bereich hat sich eine deutliche Verbesserung ergeben.

Bestehende Computerprogramme zur Unterstützung der Unternehmensprozesse bilden die hierarchische Einteilung der Auftragsbearbeitung ab. Die wichtigsten Komponenten einer computergestützten Fertigungssteuerung sind:

- Entwicklung und Konstruktion (CAD)
- Arbeitsplanung und NC-Programmierung (CAP)
- Produktionsplanung und Steuerung (PPS)
- Teilefertigung (CAM)
- Qualitätssicherung (CAQ)

Die hervorgehobenen Elemente des CIM-Modells nach Professor Scheer stehen im Zentrum der weiteren Betrachtungen (Bild 21).

Der Kernbaustein einer computergestützten Auftragsplanung und -steuerung ist das PPS-System. Zu den für die Fertigung wichtigen Aktivitäten innerhalb einer integrierten Auftragsabwicklung gehört außer der Bildung und Terminierung von Werkstattaufträgen der Abgleich der erforderlichen mit der verfügbaren Produktionskapazität für einen mittel- bis langfristigen Zeitraum. Die auf der Planungsebene notwendige enge Verknüpfung mit der Materialwirtschaft ermöglicht darüber hinaus

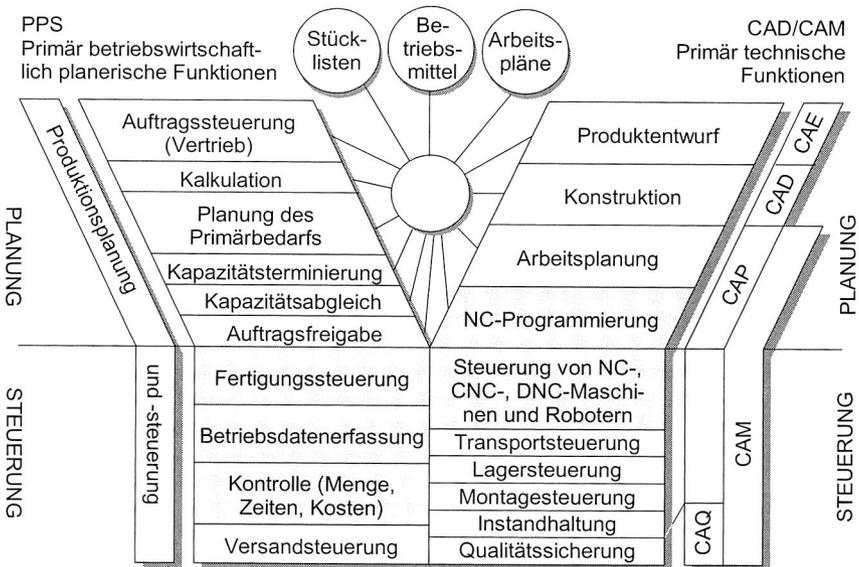


Bild 21: Das CIM-Modell nach Professor Scheer [84]

dispositive Verfügbarkeitsprüfungen für das benötigte Material. Bei der Auftragsfreigabe für die Produktion erfolgt eine Bestandsreservierung der benötigten Komponenten [85].

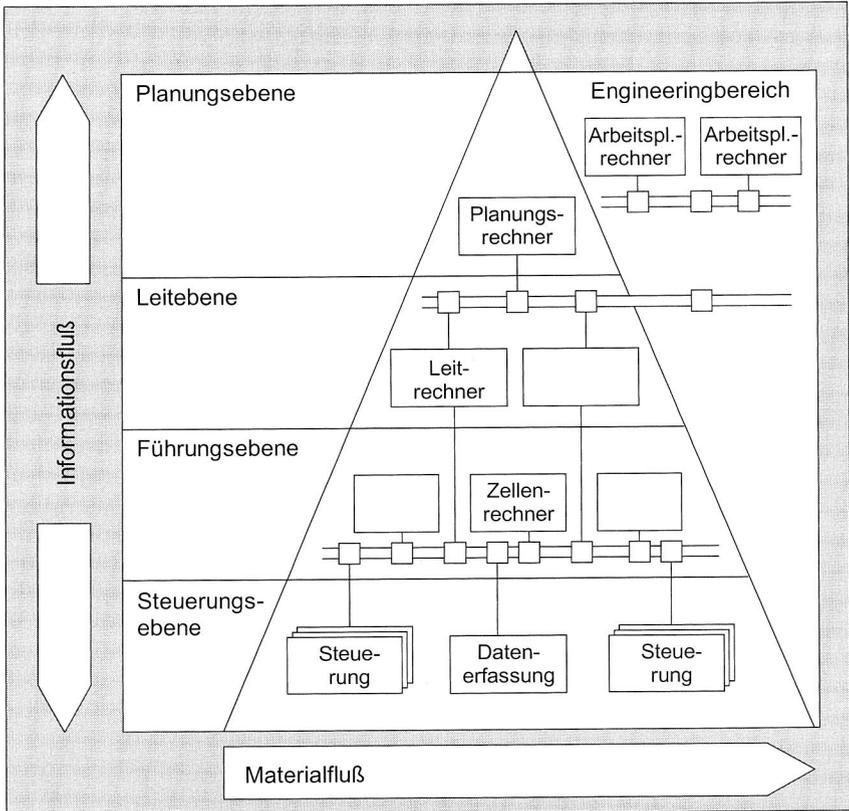


Bild 22: Hierarchische Struktur der bisherigen Werkstattorganisation [99]

Das PPS-System kann aber nicht alle Anforderungen dieses Bereichs – vor allem bei kurzfristig auftretenden Störungen oder anderen außerplanmäßigen Vorkommnissen – erfüllen. Die Feinplanung einzelner Arbeitsgänge, deren Umplanung als Reaktion auf Störungen, die eigentliche Arbeitsgangzuteilung sowie die aktuelle Überwachung von Werkstatt und Aufträgen sind dagegen wichtige Aufgaben einer dezentralen Werkstattsteuerung [85]. Diese wurde früher von den Werkstattmeistern oder Vorarbeitern mit Hilfe von Stecktafeln und Belegkarteien durchgeführt, wobei der Großteil der Planung in den Köpfen dieser Personen stattfand. Heute überneh-

men in vielen Betrieben computergestützte Fertigungsleitsysteme diese Aufgaben. Um die Arbeitsgänge der abzuwickelnden Fertigungsaufträge effizient planen, verwalten und steuern zu können, bieten verfügbare Systeme eine komplexe Funktionalität an.

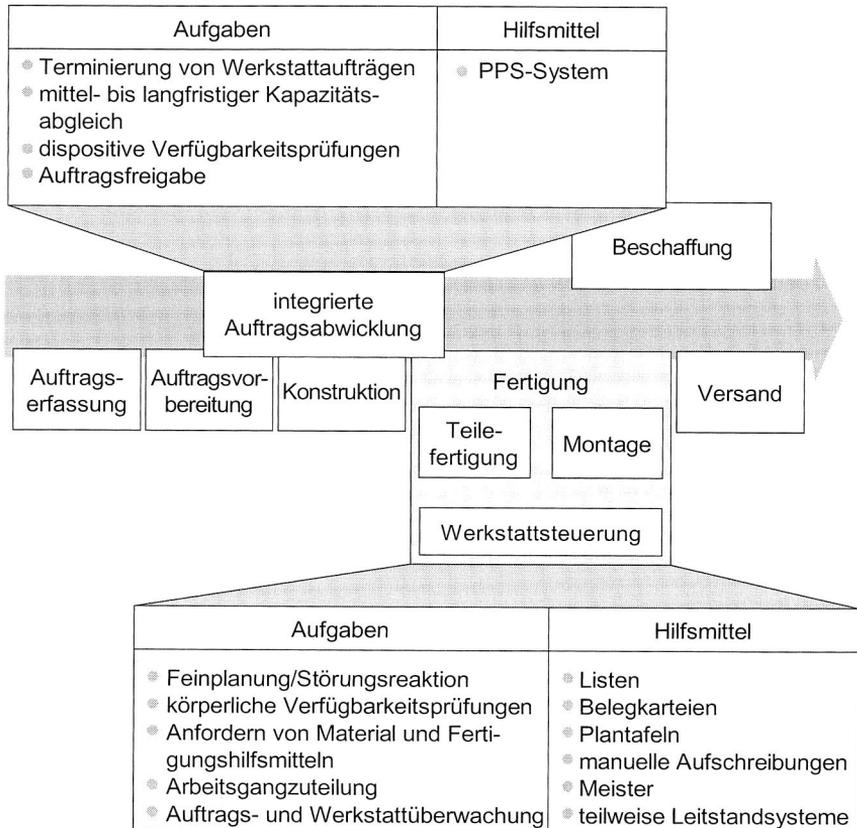


Bild 23: Gesamtauftragsabwicklung und Werkstattsteuerung [113]

Die Fertigungsleitebene ist für die Auftragsdurchsetzung verantwortlich. Die Werkstattsteuerung hat die wesentliche Aufgabe, eine Auftragsfeindisposition und die Überprüfung der Ressourcenverfügbarkeit durchzuführen, sowie den Fortschritt in der Produktion zu überwachen. Zusätzlich ist sie für die Arbeitsgangzuteilung zu den Arbeitsplätzen und die Reaktion auf Störungen verantwortlich [113]. Die unterlagerte Steuerungsebene besitzt keinen Dispositionsspielraum und führt die Anweisungen der höheren Ebenen aus [60].

Als Hilfsmittel der Werkstattsteuerung werden primär Listen, Karteien, Plantafeln und teilweise Leitstandssysteme verwendet. Der Meister ist verantwortlich für die Auftragsverteilung, die Überwachung der Produktion und die technische Unterstützung der Mitarbeiter. Viele Vorgänge werden durch manuell aufgenommene Notizen dokumentiert. Die Kommunikation zwischen den Arbeitsplätzen ist nur eingeschränkt möglich. Am Anfang der Kontaktaufnahme zwischen einem Facharbeiter und dem Meister, die beispielsweise aufgrund einer Störung erforderlich ist, steht in der Regel ein kurzer Fußmarsch. Dies verlängert die Zeitspanne, die für die Behebung der Störung benötigt wird.

Der Versuch die Routinetätigkeiten beim Umplanen der Fertigung durch den Einsatz eines Softwarepaketes zu automatisieren wird dadurch erschwert, daß in jedem Betrieb andere Prioritäten und Arbeitsabläufe vorherrschen. Darüber hinaus findet durch den hohen Grad der Automatisierung die Erfahrung und Wahrnehmungsgabe der Mitarbeiter zu wenig Eingang in die Disposition der Fertigungsaufträge. Der Mitarbeiter in der Werkstatt selbst ist nur noch ausführendes Organ und hat kaum Einfluß auf die Abwicklungsreihenfolge der zu bearbeitenden Aufträge.

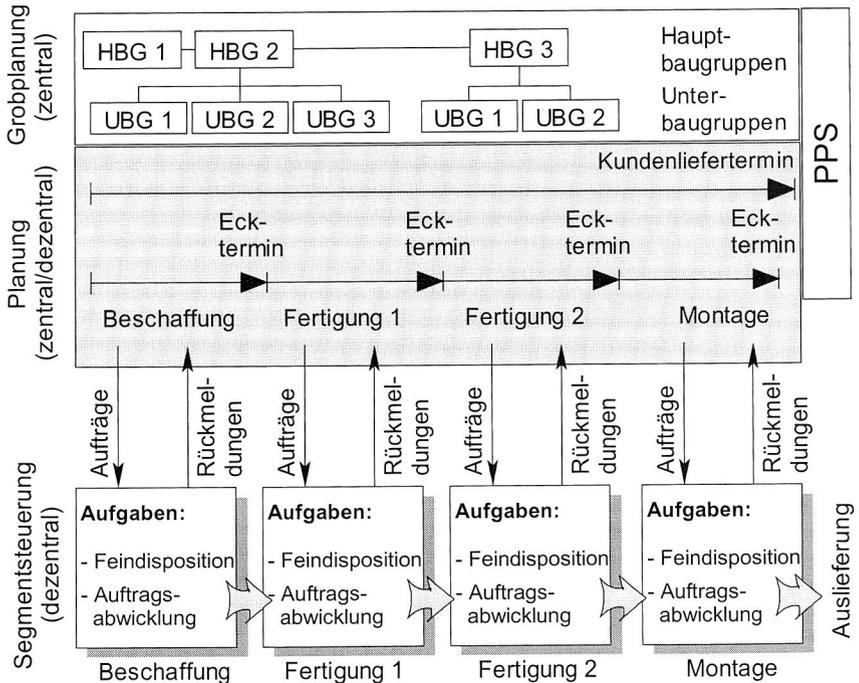


Bild 24: Aufbau einer abgestuften Auftragssteuerung (nach: [111])

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, daß eine dezentrale Feindisposition der Fertigungsaufträge Stillstandszeiten und Fehlerhäufigkeiten reduziert [109, 85]. Die Durchlaufzeiten der Aufträge sinken deutlich [71]. Dazu wird die Fertigung in Segmente aufgeteilt, die für Menge, Termin und Qualität der von ihnen geleisteten Verrichtungen verantwortlich sind. Ergebnisse in industriellen Anwendungen haben gezeigt, daß mit den einfachsten DV-Systemen, welche die Dezentralisierung der Verantwortlichkeit unterstützen und gleichzeitig nach dem Abrufprinzip arbeiten, Erfolge in der Beruhigung der Abläufe sowie der Reduzierung der Durchlaufzeiten erzielt werden können [98].

Von einem übergeordneten PPS-System werden dann Ecktermine für die Fertigstellung der Leistungen der einzelnen Segmente vorgegeben. Die Segmente können im Rahmen dieses vorgegebenen Dispositionsspielraums die Aufträge dezentral einplanen und bearbeiten. Nach der Beendigung eines Fertigungsauftrages erfolgt eine Rückmeldung an das PPS-System. Eine computergestützte Auftragsplanung innerhalb des Segments kann unabhängig von der im PPS-System gewählten Planungsstrategie realisiert werden. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Schaffung einer rechnergestützten Steuerung, die dem Menschen zur Seite steht und nicht versucht, ihn in ein Korsett vorgegebener Abläufe zu zwingen.

### 3.1.1 Arbeitsgangdaten

Neben den Daten zur Identifikation, wie beispielsweise eine eindeutige Auftragsnummer, sind die zu produzierende Stückzahl und die vom PPS-System ermittelten Vorgabetermine für die Fertigung relevant. Dabei kennzeichnen die Ecktermine den frühesten Start- und den spätesten Endtermin. Innerhalb dieser zeitlichen Grenzen kann der Auftrag eingeplant und bearbeitet werden. Prinzipiell ist die Vorgabe von exakt terminierten Arbeitsgängen möglich. Der Dispositionsspielraum der Werkstattsteuerung würde allerdings so stark eingeschränkt, daß eine flexible Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse nicht mehr erfolgen könnte. Zusätzlich ist in den Arbeitsgangdaten die Beschreibung des Auftragszustands und Informationen bezüglich der Priorität sowie zur Kostenerfassung enthalten.

### 3.1.2 NC-Programmerstellung

Die Erstellung von NC-Programmen kann in Form einer rein manuellen Programmierung der Verfahrenswege des Werkzeuges durch Eingabe des Codes nach DIN 66025 [16] erfolgen. Bei komfortablen maschinellen Programmiersystemen wird vom Programmierer die Werkstückkontur und ein Werkzeug für die Bearbeitung vorgegeben. Die Berechnung der Verfahrensbewegung übernimmt das Programmiersystem. Bei der Benutzung der integrierten graphischen Simulation der Bearbeitung können Programmierfehler Offline erkannt und dadurch die Beschädigung der Maschine verhindert werden [19].

Die Zuordnung zu den im Programm verwendeten Werkzeugen erfolgt in der Regel über den Magazinplatz. In einem zu jedem NC-Programm gehörenden Werkzeugplan werden alle verwendeten Werkzeuge identifiziert und deren Zuordnung zu den Magazinplätzen hergestellt. Beim Beladen der Maschinen mit Werkzeugen muß sichergestellt sein, daß jedes Werkzeug in den Magazinplatz eingesetzt wird, der im Werkzeugplan dafür vorgesehen ist. NC-Programme können nur maschinentypspezifisch eingesetzt werden, da bei ihrer Erstellung auf die geometrischen und technologischen Gegebenheiten der Werkzeugmaschine Rücksicht genommen werden muß.

Eine weitere Unterscheidung kann nach dem Ort der NC-Programmerstellung getroffen werden (Bild 25). Die maschinennahe NC-Programmerstellung an einem Programmierplatz erweist sich in der Praxis aufgrund der Rückkopplung zum Einsatz an der Maschine und der ergonomischen Arbeitsumgebung als die geeignetste.

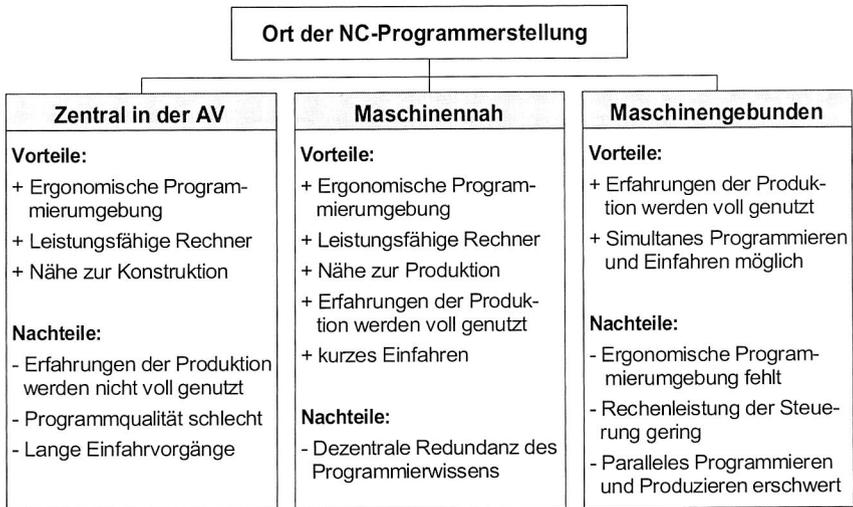


Bild 25: Diskussion des Ortes der NC-Programmerstellung

### 3.1.3 Betriebsmittelverwaltung

Die Datenhaltung in rechnergestützten Betriebsmittelorganisationssystemen konzentriert sich bezüglich der genannten Obermenge hauptsächlich auf Werkzeuge, Spannmittel, sowie Prüf- und Meßmittel. Sie zeichnen sich insbesondere durch ihre großen Umlaufmengen und ihre Ortsungebundenheit aus. Dies erschwert den Überblick bezüglich der genannten Teilmenge der Betriebsmittel (siehe Bild 26). Die zentrale Aufgabe von Betriebsmittelverwaltungssystemen ist die Verbesserung des Überblicks zum aktuell verfügbaren Bestand in einer Fertigung. Sie leisten dadurch

einen Beitrag zur Reduzierung der Umlaufbestände und der Typenvielfalt von Betriebsmitteln.

In der spanenden Fertigung werden in den verschiedensten Unternehmensbereichen aktuelle Informationen über die verfügbaren Betriebsmittel benötigt. In der maschinellen NC-Programmerstellung werden geometrische, technologische und organisatorische Daten von Werkzeugen und Spannmitteln benötigt. An CNC-Steuerungen müssen die geometrischen Korrekturwerte, die die Position der Schneiden gegenüber einem Bezugspunkt am Werkzeugsystem kennzeichnen, ebenso wie die aktuell verfügbare Standzeit des Werkzeuges zur Verfügung stehen. PPS-Systeme und Leitstände greifen auf die dispositiven Daten eines Betriebsmittels zu.

Zur vollständigen datentechnischen Beschreibung eines Betriebsmittels kann nach Beschaffenheit, Fähigkeit und administrativen Merkmalen unterschieden werden [29]. Zentrale Betriebsmittelverwaltungssysteme eliminieren die redundante Datenerhaltung und genügen der Forderung nach aktuellen Informationen am besten. Die größte Hemmschwelle für die breite Einführung von Betriebsmittelverwaltungssystemen ist der enorme Aufwand, der mit der Erfassung der Daten verbunden ist. In jüngster Vergangenheit wurden die Anstrengungen verstärkt, ein herstellerunabhängiges Format für die Beschreibung von Betriebsmitteln [29] und deren wichtigster Teilmenge, der Werkzeuge [94, 97], zu definieren. Durch diese Standardisierung ist die direkte Übernahme der Daten vom Hersteller des Betriebsmittels möglich.

In der Betriebsmittelverwaltung ist eine Unterscheidung zwischen Stamm- und Zustandsdaten erforderlich. Die Stammdaten beinhalten alle typspezifischen Informa-

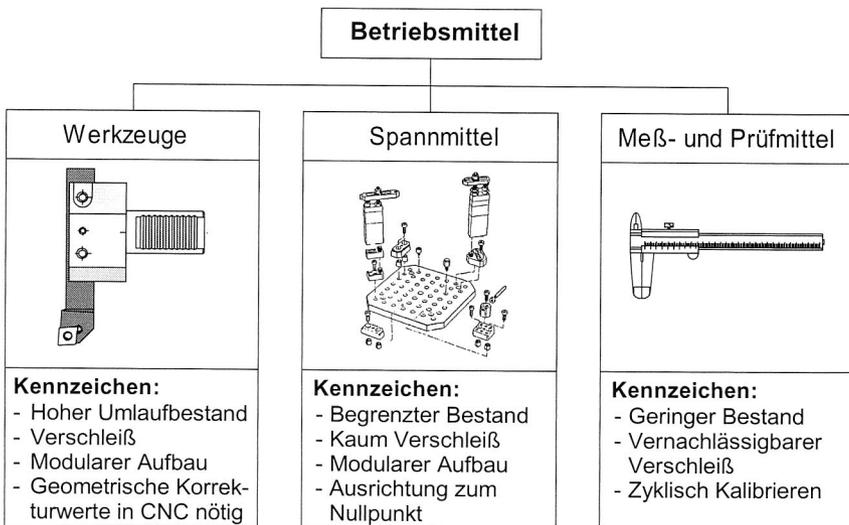


Bild 26: Kennzeichen unterschiedlicher Betriebsmittel

tionen. In den Stammdaten eines Komplettbetriebsmittels ist eine Stückliste enthalten, die die für eine Montage benötigten Komponenten identifiziert. Alle Betriebsmittel, die auf der Basis dieser Stückliste montiert werden, gehören zum selben Typ und werden datentechnisch durch die Zuordnung einer eindeutigen Duplonummer unterschieden.

Zu jedem physikalisch in der Werkstatt vorhandenen Betriebsmittel ist die Erfassung und Verwaltung der Zustandsdaten zur Gewährleistung einer durchgängigen Datenhaltung unerlässlich. Zustandsdaten sind die variablen Informationen, die an das Betriebsmittel als solches geknüpft sind. Bei einem Werkzeug handelt es sich dabei beispielsweise um die verfügbare Reststandzeit oder den aktuellen Lagerort. Die eindeutige Identifikation eines Zustandsdatensatzes erfolgt durch die Typbezeichnung und eine fortlaufend vergebene Duplonummer. Für die Identifikation der Stammdaten eines Werkzeugtyps genügt die Typbezeichnung. Im Rahmen der Normungsaktivitäten in KCIM wurde versucht, die Daten zur eindeutigen Beschreibung eines Werkzeuges festzulegen. Im Bereich der Bereitstellung standardisierter Werkzeugdaten und deren rechnergestützten Verwaltung liegen noch erhebliche ungenutzte Rationalisierungspotentiale.

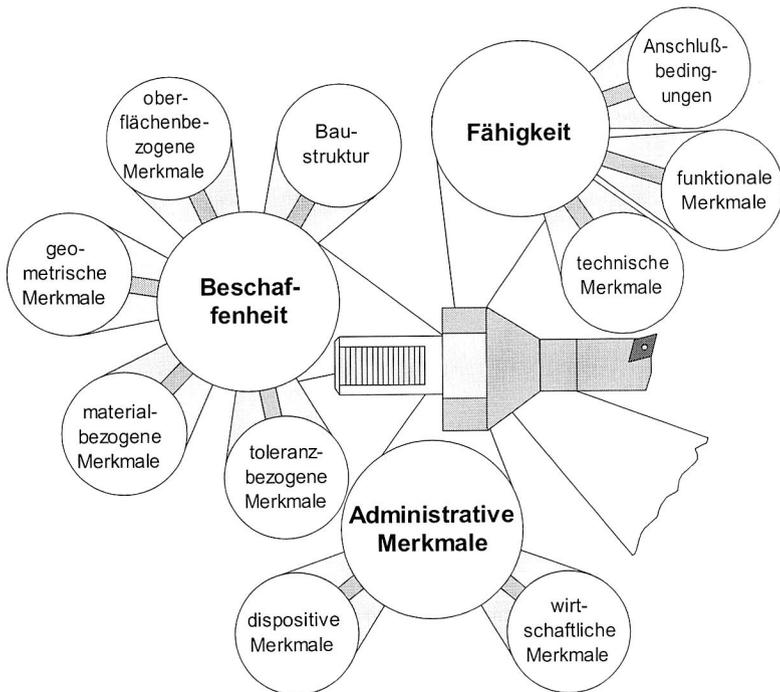


Bild 27: Werkzeugbezogene Daten [29]

### 3.1.4 Maschinen- und Betriebsdaten

Unter Betriebsdaten werden die in den Produktionsprozessen entstehenden und verwendeten Daten verstanden. Dabei handelt es sich um technische und dispositive Daten, insbesondere über den Zustand und das Verhalten des Betriebs [49]. Die Betriebsdatenerfassung (BDE) beinhaltet alle Aktivitäten, die für die Erfassung der im Betrieb anfallenden Daten durchgeführt werden. Maschinendatenerfassung (MDE) ist die automatische Erfassung und Weiterleitung der Daten einer Maschine durch eine Steuerung [90].

Die wesentlichen Anforderungen an die Betriebsdatenerfassung sind:

- Vollständigkeit,
- Richtigkeit,
- Aktualität,
- Sicherheit der erfaßten Daten [85].

In der Praxis ist die Auswertung der Betriebsdaten aus technischer Sicht sehr stark von der Qualität der Datenerfassung abhängig. Werden beispielsweise Maschinenstörungen und die Störgründe durch manuelle Eingaben an einem BDE-Terminal erfaßt, besteht die Gefahr, daß ein Maschinenbenutzer die Eingabe einer Störung, die er schnell beheben kann, unterläßt. Zusätzlich fühlen sich die Mitarbeiter durch die Installation eines BDE-Systems häufig beobachtet. Die Datenqualität muß durch Information und Überzeugung des Werkstattpersonals sichergestellt werden. Ein Ansatz, um dessen Motivation bei der sorgfältigen Eingabe zu steigern, ist neben einer ausreichenden Schulung die Visualisierung der Auswertungsergebnisse in der Produktion. Für den Mitarbeiter wird dadurch zum einen die Verwendung der Informationen transparent, zum anderen können die Ergebnisse zu einer zusätzlichen Steigerung der Motivation beitragen, wenn beispielsweise die Mitarbeiter verschiedener produktorientierter Fertigungsgruppen um das Erreichen einer höheren Maschinenauslastung konkurrieren.

Als Alternative können viele Meldungen aus den Maschinensteuerungen direkt über eine DNC-Schnittstelle erfaßt werden. Aufgrund des hohen Aufwandes und der zumeist uneinheitlichen Steuerungslandschaft vieler Betriebe scheidet diese Möglichkeit häufig aus.

Die Qualität der erfaßten Daten ist von entscheidender Bedeutung für die Aussagefähigkeit der darauf basierenden Auswertungen, wie die Berechnung der produktiven Zeitanteile eines Arbeitsplatzes und Häufigkeit von Störungen. Aber auch die Garantieüberwachung von Maschinen oder eine Hilfestellung zum Aufspüren instabiler Fertigungsprozesse und Maschinen können implementiert werden. Die in der Produktion entstehenden Daten werden übermittelt, gespeichert, komprimiert und aufbereitet.

## 3.2 Datentransferkonzepte in der Fertigung

Insbesondere unter dem Gesichtspunkt kürzerer Produktlebenszeiten, geringerer Losgrößen, höherer Variantenvielfalt, komplexerer Werkstücke, gesteigerter Qualitätsanforderungen, kürzerer Liefertermine, sowie der Anforderung der Kunden nach einer hohen Termintreue gewinnt die Informationsverarbeitung und -bereitstellung an den Arbeitsplätzen in der Produktion eine immer größere Bedeutung.

### 3.2.1 Datenübertragung zwischen Leitrechner und CNC-Steuerung

Die zunehmenden Datenmengen für die NC-Programme, die durch komplexere Werkstücke und eine größere Anzahl von Fertigungsvarianten hervorgerufen werden, können nicht mehr an der Maschine bewältigt werden. Die Einführung überlagerter DNC-Systeme mit hohen Speicherkapazitäten ist in vielen Fällen unausweichlich, um eine schnelle Verfügbarkeit aktueller Fertigungsinformationen zu gewährleisten.

In der Vergangenheit wurden die NC-Programme in Form von Lochstreifen archiviert. Bei Bedarf wurde der Lochstreifen an die Maschine transportiert und dort eingelesen. Ein ähnliches Vorgehen liegt der Archivierung der Steuerungsprogramme auf Disketten zugrunde. Um schnell auf aktuelle NC-Programme zugreifen zu können und den Aufwand für den Austausch der Daten zwischen einer zentralen NC-Programmierung und der Fertigung zu reduzieren, wurden in der unmittelbaren Vergangenheit vermehrt zentrale NC-Programmverwaltungssysteme eingeführt. Für die Übertragung der Daten an die Maschinen existieren unterschiedliche Möglichkeiten (Bild 28).

Der Standardumfang aktueller numerischer Steuerung enthält in der Regel eine serielle Schnittstelle, die Datenübertragungsraten bis zu 19200 Bit/Sekunde zulässt. Der wesentliche Vorteil einer seriellen Direktverbindung zwischen der CNC und dem DNC-Rechner liegt in dem einfachen kostengünstigen Aufbau für eine kleine Fertigung. Nachteilig wirkt sich aus, daß ein sinnvoller Einsatz dieser Lösung nur über geringe Entfernungen möglich ist, da einerseits die maximale Distanz für eine serielle Datenübertragung begrenzt ist und andererseits bei der Übertragung Bedienvorgänge, sowohl am DNC-Rechner, als auch an der Steuerung durchgeführt werden müssen. Zusätzlich benötigt der DNC-Rechner für jede angeschlossene Maschine eine separate serielle Schnittstelle.

Sind größere Fertigungen zu vernetzen, kann dies durch den Einsatz zusätzlicher DNC-Terminals geschehen, die über ein Local Area Network (LAN) mit dem DNC-Rechner verbunden sind. Der Benutzer der Werkzeugmaschine kann Programme aus der Datenbank in das DNC-Terminal laden, um diese anschließend über die se-

rielle Schnittstelle in die Steuerung zu transferieren. Die Terminals verfügen über einen lokalen Speicher, in dem Informationen zwischengepuffert werden können. Dies macht sich positiv bemerkbar, wenn die Verbindung zum Server ausfällt. Als Nachteil ist die zusätzliche Investition in ein DNC-Terminal und ebenso wie bei der vorhergehenden Lösung, die niedrige Datenübertragungsrate der seriellen Schnittstelle zu sehen.

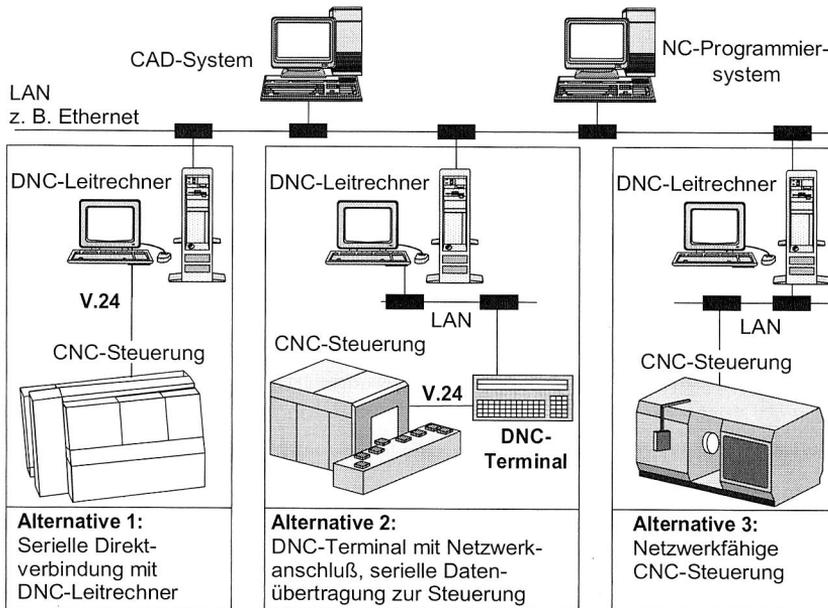


Bild 28: Konzepte zur Bereitstellung von Fertigungsdaten an Werkzeugmaschinen

Die Integration der DNC-Funktionalität und der Einbau eines LAN-Adapters in die Maschinensteuerung stellt die technisch beste, aber auch die bislang kostenintensivste Lösung dar. Die notwendige Softwareanpassung in einer konventionellen CNC-Steuerung ist mit einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. LAN-Adapter für herkömmliche Steuerungen sind herstellerspezifische Sonderbaugruppen, die in geringen Stückzahlen gefertigt werden. Die Verwendung neuer offener CNC-Steuerungskonzepte stellt die Basis einer wirtschaftlichen Direktanbindung von Werkzeugmaschinensteuerungen an einen DNC-Rechner dar. Der Preis eines LAN-Adapters für eine offene Steuerung beträgt 5-10% des Preises, der für die Hardware einer Kommunikationsbaugruppe für eine konventionelle Steuerung veranschlagt werden muß. Software für die Kommunikation ist in den Betriebssystemen offener Steuerungen teilweise schon enthalten.

### 3.2.2 Handhabung objektbezogener Daten

Alle Informationen, die direkt an ein Objekt im Fertigungsumfeld gebunden sind, erfordern eine gesonderte Betrachtung, da die unbeabsichtigte Zuordnung eines Datensatzes zum falschen Objekt schwere Störungen des Fertigungsablaufes verursachen kann. Als Objekte werden in diesem Zusammenhang Werkstücke, Werkzeuge, Spannmittel und Meßmittel bezeichnet.

Die Bereitstellung von Werkzeugkorrekturwerten, die von der NC-Steuerung für die Bearbeitung des Werkstückes benötigt werden, hat in der Praxis einen besonderen Stellenwert. Falsche Daten können zur Produktion fehlerhafter Werkstücke oder im schlimmsten Fall zu einer Beschädigung der Maschine und zu einer Störung des gesamten Fertigungsablaufes eines Betriebes führen. Die exakte Schneidenlage der Werkzeuge wird in der Regel hauptzeitparallel an einer Werkzeugmeßmaschine ermittelt. Die Aufgabe besteht darin, die an der Werkzeugmeßmaschine verfügbaren Informationen zusammen mit dem Werkzeug fehlerfrei und ohne zusätzliche manuelle Eingriffe der NC-Steuerung zur Verfügung zu stellen.

Für die Übertragung objektbezogener Datenmengen an die CNC-Maschine existieren grundsätzlich die Möglichkeiten der Erstellung eines Begleitzettels und der manuellen Eingabe an der Steuerung, die Datenübertragung via DNC sowie die Verwendung eines Identifikationssystems.

Die manuelle Eingabe der Korrekturdaten an der Maschine ist die einfachste der vorgestellten Lösungen. Der Aufwand für die manuelle Eingabe der Werte erhöht die Zeitspanne, die für das Rüsten der Maschine benötigt wird, und senkt damit die Produktivität des Maschinenarbeitsplatzes. Fehleingaben und die falsche Zuordnung zwischen dem Werkzeug und dem Magazinplatz sind ebenso möglich, wie das Einsetzen des Werkzeuges an einem falschen Platz im Maschinenmagazin.

Zur Gewährleistung der eindeutigen Zuordnung zwischen den objektbezogenen Daten und dem Objekt werden in der Praxis verschiedene Formen von Identifikationssystemen eingesetzt.

Mechanische Codierringe sind bei aktuellen Systemen nur noch selten anzutreffen. Für die Einstellung der Codierung ist ein zusätzlicher manueller Aufwand zu leisten. Die Datenmenge, die ein mechanisches Codiersystem aufnehmen kann, ist extrem gering. Für das Abtasten ist eine geringe Laufgeschwindigkeit des Maschinenmagazins erforderlich. Der Investitionsaufwand ist mittelgroß, da jedes Werkzeug mit einer zusätzlichen mechanischen Codierung nachgerüstet werden muß.

Auch bei optisch lesbaren Datenträgern in Form von Barcodeaufklebern ist die speicherbare Informationsmenge gering. Insbesondere im Umfeld einer Werkzeugma-

schine besteht die Gefahr der Verschmutzung des Datenträgers. Dies kann zu Lesefehlern und dadurch zu Störungen in der Produktion führen [70]. Vorteil ist dagegen der geringe Investitionsaufwand. Die eindeutige Zuordnung der Daten zum Werkzeug ist gut, wenn der Datenträger fest mit dem Werkzeug verbunden ist.

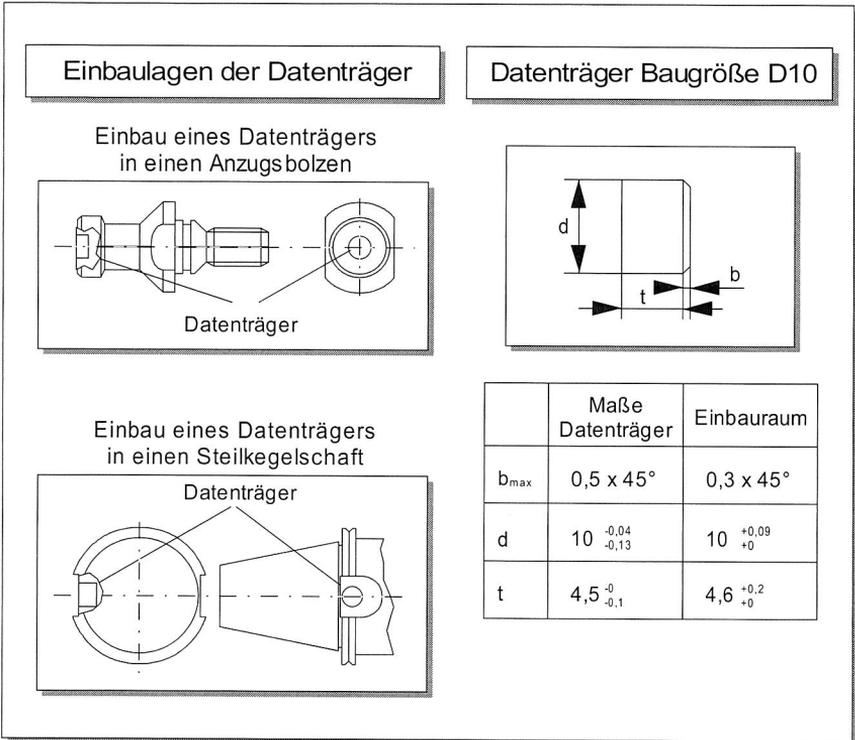


Bild 29: Normgrößen für die Datenträger zur Werkzeugidentifikation und deren Einbauort [11, 100]

Elektronische Datenchips, deren Baugröße genormt ist [11], können erheblich größere Informationsmengen aufnehmen und zuverlässig wiedergeben. Die Empfindlichkeit gegen Verschmutzungen ist äußerst gering. Aufgrund des geringen Einbauraumes können elektronische Datenträger an den meisten Werkzeugen angebracht werden. Für Steilkegelschäfte nach DIN 69871 sind beispielsweise die Aufnahmeplätze für elektronische Datenträger genormt [15] (Bild 29).

Bei den elektronischen Datenträgern werden festprogrammierte und freiprogrammierbare Identchips unterschieden. Festcodierte Systeme sind ausschließlich für die

Identifikation von Werkzeugen geeignet [56]. Durch den Einsatz der etwas teureren freiprogrammierbaren Datenträger kann zusätzlich die Aufgabe der Speicherung und Übertragung von Werkzeugkorrekturwerten in die Steuerung der Werkzeugmaschine schnell und zuverlässig bewältigt werden.

Der wesentliche Nachteil einer rein datenbankgestützten Übertragung der objektorientierten Informationen von einem zentralen Server an die Maschine ist die fehlende eindeutige Zuordnung zum Objekt. Durch die Übertragung großer Datenmengen, wie z. B. einer Werkzeuggraphik, kann das Risiko einer Verwechslung der Werkzeuge beim Einbau in die Maschine und damit ein Fehler in der Zuordnung der Werkzeugdaten reduziert, aber nicht beseitigt werden.

#### **3.2.3 Bewertung der Datenbereitstellungskonzepte**

Die Einsetzbarkeit unterschiedlicher Datenbereitstellungskonzepte ist von den Anforderungen des Benutzers und den Umgebungsbedingungen geprägt. Für die reine Identifikation von Objekten ist der Barcodeaufkleber gut geeignet. Bei extremen Umweltbedingungen erfüllt ein festprogrammierter elektronischer Datenträger diese Aufgabe am besten.

Der freiprogrammierbare Identchip hat sich bewährt, wenn zusätzlich zur Identifikation eines Objektes der Transfer variabler Daten erforderlich ist. Die auf einem Identchip speicherbare Datenmenge ist allerdings begrenzt.

Die Bereitstellung von Fertigungsinformationen über eine DNC-Verbindung und durch einen objektgebundenen Datenträger stellt die sicherste und flexibelste Lösung dar. Wesentlicher Vorteil sind die reduzierten Kommunikationsanforderungen an das Netzwerk im Vergleich zu einer reinen Datenbanklösung und die Notlaufeigenschaften, falls die zentrale Datenbank ausfällt. An der CNC-Steuerung können durch den Vergleich der Informationen, die vom Datenträger und von der zentralen Datenbank übertragen wurden, Fehler erkannt werden. Nachteilig wirken sich die sehr hohen Kosten, die durch die Anbindung des Schreib-/Lesesystems für die Datenträger und die Einbindung der DNC-Schnittstelle in die Werkzeugmaschinensteuerung verursacht werden, aus [70].

Unter Berücksichtigung des Investitionsaufwandes ist die parallele Verwendung von DNC-Schnittstelle und elektronischen Datenträgern für den Transfer objektbezogener Daten, losgelöst von den anderen Fertigungsbereichen betrachtet, nicht wirtschaftlich. Eingebunden in ein Gesamtkonzept, bei dem die DNC-Verbindung zu einem Leitrechner ohnehin realisiert werden muß, ergibt sich die Kombination aus einer zentralen Datenbank und einem objektgebundenen Datenträger als die optimale

Lösung. Der Einsatz einer offenen CNC-Steuerung reduziert aufgrund des Standardbetriebssystems den Anpaßaufwand der Software.

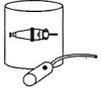
	 Barcode	 festpro- grammierter Identchip	 freiprogram- mierbarer Identchip	 Datenbank	 Datenbank & Identchip
Kosten	gering	mittel	mittel	hoch	sehr hoch
Verfügbarkeit der Information	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch
flexible Verwendbarkeit	keine	keine	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Übertragbare Datenmengen	mittel	gering	groß	sehr groß	sehr groß
Eindeutige Zuordnung der Daten	gut	bedingt	gut	bedingt	gut
Pflegeaufwand der Daten	gering	mittel	mittel	hoch	hoch

Bild 30: Methoden zur Bereitstellung von objektgebundenen Information an einer Werkzeugmaschine [117]

### 3.3 Entwicklungen in der Computertechnik

Im wesentlichen sind die Entwicklungen im Bereich der Steuerungstechnik und der allgemeinen Computertechnik von einer rasanten Steigerung der Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig fortschreitender Miniaturisierung gekennzeichnet. In der Fertigung setzten sich Lösungen, die diese Entwicklungen nutzen, zunehmend durch. Das Umfeld der Computer ist von einer ähnlich großen Dynamik geprägt wie die Entwicklung der Prozessorleistung. Als Beispiel für diesen Trend, stehen die Entwicklung der Betriebssysteme und der Kommunikationstechnik.

### 3.3.1 Hardware für Computer und Steuerungen

Seit der Markteinführung der ersten Personal Computer durch IBM im August 1981 [86] sind die Preise, bezogen auf die Rechenleistung um durchschnittlich 35% pro Jahr gesunken [82]. Dabei verdoppelt sich die Komplexität der Prozessoren, d. h. die Anzahl der integrierten Transistoren, alle 1,5 Jahre [35]. Dies bedeutet, daß sich die Rechenleistung in den letzten 15 Jahren bei einem ähnlichen Preisniveau um den Faktor 1000 gesteigert hat. Die ersten Personal Computer wurden mit einer Hauptspeicherkapazität von 16 bis 64 KByte ausgeliefert [86], 16 MByte stellen für einen leistungsfähigen Rechner heute die Mindestausstattung dar. Ein ähnlicher Leistungssprung um den Faktor 1000 innerhalb der letzten 15 Jahre ist bei der Entwicklung der Permanentenspeicher erkennbar.

Diese Steigerung in der Rechenleistung ermöglicht den Einsatz von graphisch unterstützten Betriebssystemen wie beispielsweise Microsoft DOS/Windows oder OS/2 und damit die Entwicklung benutzerfreundlicher Applikationen. Die Erstellung von Anwendungsprogrammen in Hochsprachen, wie beispielsweise C, ermöglicht die einfache Portierung von Applikationen auf andere Hardwareplattformen. Trotz graphischer Benutzeroberfläche und den erhöhten Anforderungen von Anwendungsprogrammen, die in Hochsprachen implementiert sind, an die Performance der CPU, haben sich die Antwortzeiten der verfügbaren Systeme verbessert. In der Vergangenheit trat bei der Implementierung komplexer Softwareprojekte, die aus Gründen der niedrigen Performance der verfügbaren Prozessoren in Maschinensprache erfolgte, häufig das Problem auf, daß zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Software die eingesetzten Prozessoren bereits veraltet waren. Dies gilt nicht nur für den PC-Bereich, sondern für alle computergestützten Steuerungssysteme.

Mittlerweile verfügbare komfortable Entwicklungswerkzeuge für die Programmierung und die gebotene Unterstützung bei der Implementierung von Benutzeroberflächen erschließen deutliche Kosten- und Zeitvorteile bei der Abwicklung aufwendiger Softwareprojekte. Dokumentiert ist dies beispielsweise auch in der Entwicklung der SINUMERIK 840 D, einer aktuellen „offenen“ CNC-Steuerung. Die Entwicklungszeit für einen NC-Kern betrug in der Vergangenheit über 5 Jahre, für die neueste Steuerungsgeneration der Fa. Siemens reichten 2 Jahre aus [89].

### 3.3.2 Betriebssysteme

Die am weitesten verbreiteten Betriebssysteme für Personal Computer sind DOS/Windows für Workgroups, Windows 95 und OS/2 Warp. Sie stellen entweder standardmäßig oder durch den Erwerb eines kostengünstigen Zusatzpaketes Netzwerkdienste zur Verfügung.

Für die Vernetzung aller Arbeitsplätze in der Fertigung und die Bereitstellung des Zugriffs auf eine gemeinsame Datenbasis bieten sich grundsätzlich Workstations mit dem Betriebssystem UNIX und angebundene X/Terminals oder Personal Computer mit den Betriebssystemen Windows oder OS/2 an. Die wichtigsten Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Lösungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Ein Arbeitsplatz an einem UNIX System verursacht höhere Anschaffungskosten als ein PC-Arbeitsplatz.
- Die Lizenzkosten für Software ähnlicher Leistungsfähigkeit liegen für Workstations mit UNIX-Betriebssystem höher als im PC-Bereich.
- Unter dem Betriebssystem MS-DOS/Windows stehen leistungsfähige Entwicklungswerkzeuge zur Verfügung, die den Aufwand für die Erstellung und Pflege von Applikationen senken.
- Im Gegensatz zu MS-Windows-Systemen verfügen UNIX-Systeme derzeit über eine höhere Betriebssicherheit.
- Aufgrund der weiten Verbreitung von MS-Windows gegenüber UNIX und OS/2 erscheint die Verwendung eines MS-Windows Umgebung am Arbeitsplatz aus Akzeptanzgründen angeraten.

Die wesentlichen Anforderungen an einen Fertigungsdatenserver sind eine hohe Betriebssicherheit und eine hohe Rechenleistung. Aus diesen Gründen wurde eine Workstation mit dem Betriebssystem UNIX als Plattform für die zentralen Datenhaltungsfunktionen gewählt. Aus Kosten- und Akzeptanzgründen erfolgt die Anbindung der Arbeitsplätze in der Fertigung mit Personal Computern und dem Betriebssystem MS-DOS/Windows.

### **3.3.3 Kommunikationstechnik**

Globale Vernetzung, Internet und Datenautobahn sind nur Schlagworte für die zunehmende Bedeutung der Kommunikationstechnik. Die Nachfrage nach den Kommunikationsdiensten des Internet übersteigt derzeit die technischen Möglichkeiten. Die Folge ist eine geringe Geschwindigkeit des Datentransfers [40, 58]. Die Nutzer kommen sowohl aus dem privaten als auch aus dem kommerziellen Bereich. Das Internet basiert ebenso wie viele lokale Netze auf dem Protokoll TCP/IP.

Im Gegensatz dazu hat sich die Verbreitung von Computern und einer Vernetzung der Arbeitsplätze durch ein Local Area Network in den Fertigungsbetrieben noch nicht in dem Maße durchgesetzt. Dabei nehmen die Möglichkeiten zu einer preiswerten Vernetzung aller Arbeitsplätze einer Produktionsstätte zu. Als Vernetzungshardware dominiert das Ethernet den Markt. Adapter für Personal Computer werden zu einem Preis von weniger als 100 DM angeboten.

### 3.4 Einsetzbarkeit bestehender Softwarelösungen für dezentral organisierte Fertigungsbereiche

Am Markt befindliche Softwarepakete sind häufig auf die Komprimierung und Bereitstellung von Informationen aus der Fertigung für eine höhere Ebene zugeschnitten. Die Anforderungen und Wünsche des Benutzers einer Werkzeugmaschine werden dabei nicht ausreichend berücksichtigt.

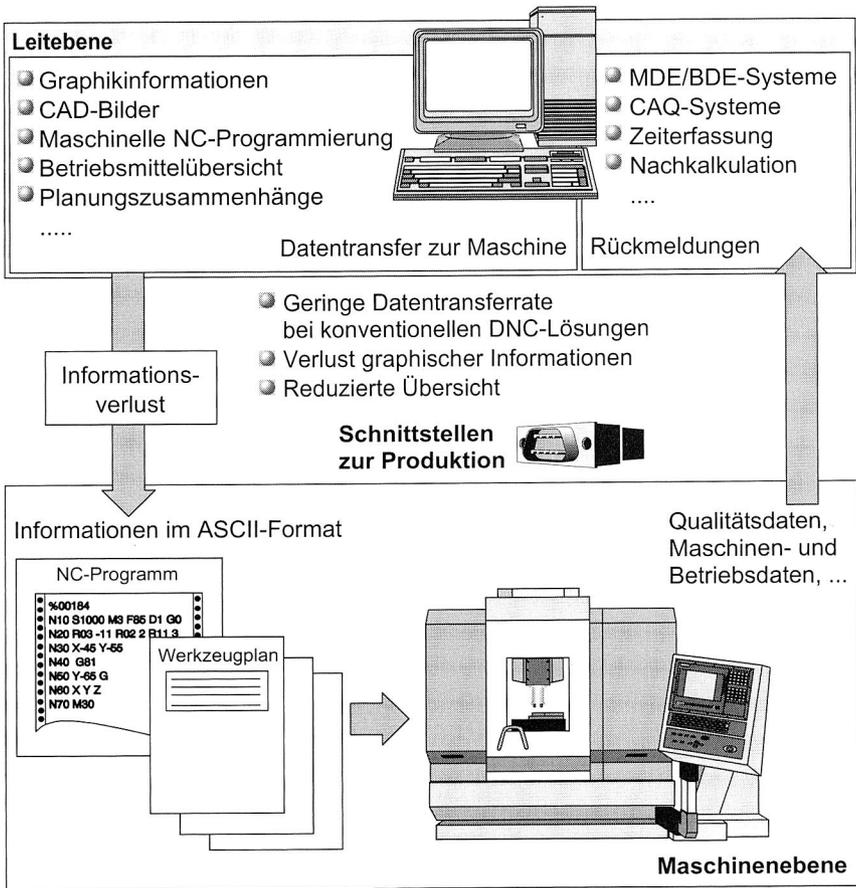


Bild 31: Defizit in der Zugänglichkeit von wichtigen Fertigungsinformationen an der Werkzeugmaschine

Die hierarchischen Fertigungsstrukturen sind in diesen Systemen abgebildet. Konventionelle Fertigungsleitsysteme konzentrieren sich auf die Unterstützung der Leit- und Führungsebene. Sie enthalten Funktionen zur Verwaltung und Visualisierung von Daten sowie die Anbindung der Planungsebene. Viele der in den Leitsystemen vorhandenen Informationen können dem Facharbeiter an der Maschine nicht zur Verfügung gestellt werden. Der Einsatz von DNC-Terminals und die serielle Anbindung der CNC-Steuerungen über die V.24-Schnittstelle ermöglicht nur geringe Datentransferraten.

Neue Softwarekonzepte müssen den Maschinenbenutzer bei der zunehmenden Verantwortung seiner Tätigkeiten im Rahmen der Gruppenarbeit unterstützen [101]. Eine transparente Darstellung der Fertigungsabläufe, sowie die übersichtliche und schnelle Bereitstellung der benötigten Informationen sind die Kennzeichen zukünftiger Lösungen. Eine weitere wesentliche Forderung ist die einfache Bedienbarkeit ohne aufwendiges Einarbeiten. Eingebaute Online-Hilfen können hier die gegebenenfalls erforderlichen Hinweise zur korrekten Benutzung liefern. Der Facharbeiter muß einen persönlichen Vorteil für seine Arbeit durch den Einsatz rechnergestützter Organisationshilfen sehen können. Nur im Falle der Akzeptanz durch das Werkstattpersonal kann die erfolgreiche Einführung eines benutzerorientierten Fertigungsleitkonzepts für die flexible Werkstattfertigung sichergestellt werden.

Aus dem bestehenden Softwareumfeld können die Funktionen zur Datenhaltung und Anbindung der Planungsebene weiter verwendet und exemplarisch zu einem zentralen Fertigungsdatenserver ausgebaut werden. Module zur Erstellung von NC-Programmen sind in der Regel als Insellösung konzipiert [26]. Vorhandene Systeme müssen mit einer Nahtstelle ausgerüstet werden, um die Einbindung in eine integrierte NC-Programmerstellung und -verteilung zu ermöglichen. Alle Funktionen zur Unterstützung des Maschinenbenutzers an seinem Arbeitsplatz, insbesondere die Funktionen zu einer dezentralen Feindisposition von Arbeitsgängen, sind in den vorhandenen Lösungen nicht vorgesehen. Für die Rückmeldung und Archivierung der Fertigungszustände und der Personaldaten stehen am Markt Pakete mit einer ausreichenden Funktionalität zur Verfügung.

## **4 Benutzerorientierte Steuerungssoftware in der dezentral organisierten flexiblen Werkstattfertigung**

Um den Anforderungen nach immer kürzeren Durchlaufzeiten, wirtschaftlicher Produktion geringer Losgrößen und hoher Termintreue in der spanenden Fertigung gerecht zu werden, ist die schnelle Verfügbarkeit aktueller Fertigungsdaten von elementarer Bedeutung. Darüber hinaus wird an zukünftige Systeme die Forderung nach einer hohen Benutzerfreundlichkeit und Zuverlässigkeit gestellt [69]. Das Konzept einer benutzerorientierten Steuerungssoftware in einer dezentral organisierten flexiblen Werkstattfertigung BOSIFLEX wird basierend auf den bestehenden Anforderungen an einen Arbeitsplatz in der spanenden Fertigung vorgestellt. Dabei steht der Einsatz der notwendigen Funktionen in unterschiedlichen Hierarchiestufen und die daraus resultierenden Hardwareanforderungen ebenso im Mittelpunkt der Betrachtungen, wie die Einbindung von manuellen Arbeitsplätzen und Werkzeugmaschinen mit konventionellen CNC-Steuerungen.

### **4.1 Anforderungen an BOSIFLEX**

In der Praxis sprechen der hohe Steuerungsaufwand und die z. T. mangelhafte Berücksichtigung aktueller Fertigungszustände bei der Planung und Terminierung der Aufträge in bestehenden Leitstandsystemen für die Dezentralisierung der Fertigungsreihenfolgebestimmung an die Maschinenarbeitsplätze. Zusätzlich ist die Schaffung papierloser Kommunikationswege, die eine große Menge aktueller Fertigungsdaten in hoher Geschwindigkeit an den Arbeitsplätzen bereitstellen, zur flexiblen Auftragsabwicklung und schnellen Reaktion auf Störungen erforderlich.

Um der gesteigerten Verantwortung der Facharbeiter an der Maschine in einer gruppenorientierten Fertigung gerecht werden zu können, ist der Zugriff auf aktuelle Informationen notwendig. Ziel eines Auftragsabwicklungssystems auf Gruppenebene ist die Nachbildung der bisher manuell durchgeführten Tätigkeiten am Rechner unter Einbindung der Maschinenebene. Dadurch können Eingabeaufwand, Eingabefehler und die Zeit für den Transport von Fertigungsunterlagen durch einen Mitarbeiter eingespart werden. Die Reaktionszeit auf Störungen wird verkürzt. Dabei ist eine Unterstützung des Facharbeiters bei der Suche nach Informationen und eine benutzerorientierte übersichtliche Darstellung unerlässlich.

An einer Werkzeugmaschine in einer dezentral organisierten Fertigung werden primär Informationen über die durchzuführenden Arbeitsgänge benötigt. Dazu gehören Termin-, Mengen- und Qualitätsvorgaben ebenso wie NC-Programme und Be-

triebsmitteldaten. An der Maschine werden der Auftragsfortschritt, Störungen, Personal- und Qualitätsinformationen dokumentiert und für eine zentrale Datenerfassung aufbereitet.

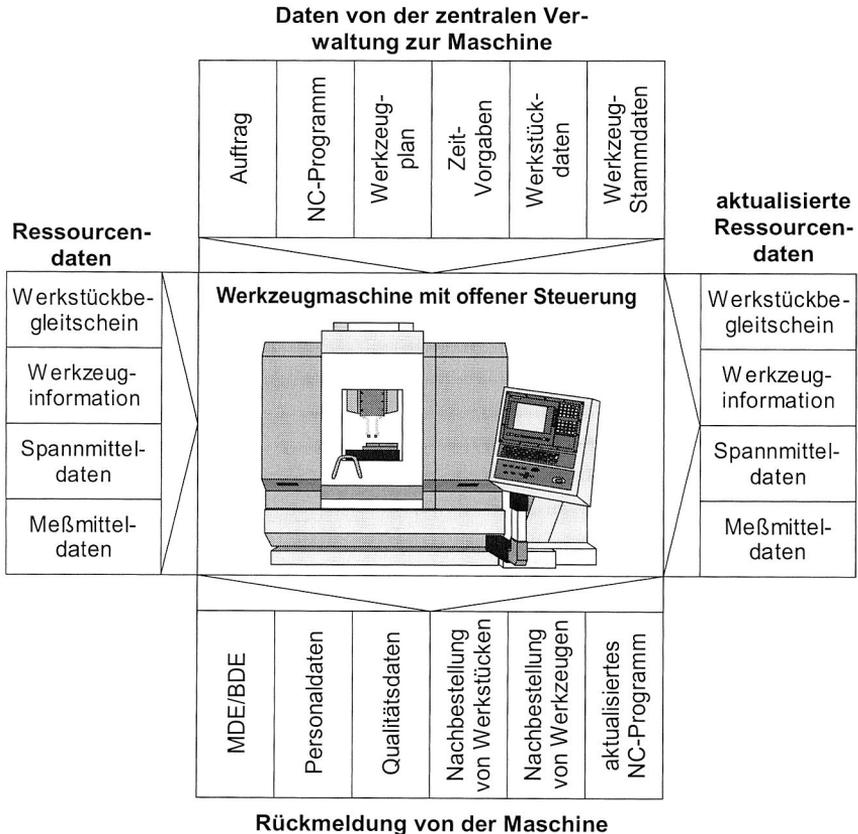


Bild 32: Informationsfluß an einem Maschinenarbeitsplatz für die gruppenorientierte Fertigung

Eine benutzerorientierte Steuerungssoftware für die flexible Werkstattfertigung BO-SIFLEX muß den skizzierten Datenfluß (Bild 32) papierlos abdecken. Sie basiert auf Standardsoftware und unterstützt das Fertigungspersonal durch die Bereitstellung schneller Kommunikationswege, über die alle für die spanabhebende Fertigung erforderlichen Daten angefordert werden können. Dabei müssen neben der optimalen Gestaltung der Benutzerschnittstelle datentechnische, wirtschaftliche und

allgemeine Anforderungen, wie Stabilitätskriterien und Migrationsmöglichkeiten zu vorhandenen, nicht offenen Steuerungssystemen abgedeckt werden.

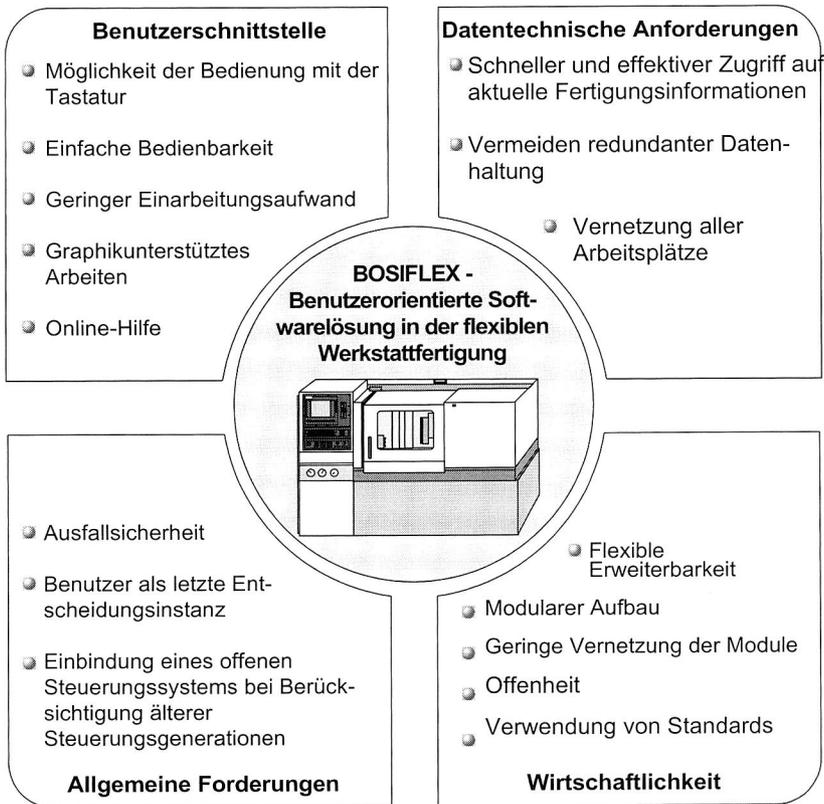


Bild 33: Anforderungen an BOSIFLEX

### Benutzerschnittstelle

Bei der Benutzerschnittstelle stehen grafikunterstütztes Arbeiten, geringer Einarbeitungsaufwand und einfache Bedienung im Vordergrund. Die bei allen Modulen ständig verfügbare Online-Hilfe sowie übersichtlich gestaltete Masken leisten einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung dieser Forderungen. Um dem Einsatz auf offenen CNC-Steuerungen, die statt einer Maus häufig nur mit Softkeys ausgestattet sind, Rechnung zu tragen, müssen alle Funktionen über die Tastatur benutzbar sein. Darüber hinaus erreichen Experten bei Bedienvorgängen mit der Tastatur eine höhere Performance als mit der Maus.

## **Allgemeine Anforderungen**

Eine hohe Ausfallsicherheit ist von großer Bedeutung für ein System, das vom Facharbeiter in der Fertigung akzeptiert werden soll. Die geringe Zahl von automatisierten Abläufen erhöht die Flexibilität der Software gegenüber unterschiedlichen Ablaufstrukturen in verschiedenen Fertigungsbetrieben und diktiert dem Bediener keine Vorgehensweisen. Es erfolgen beispielsweise keine automatischen Planungsläufe oder kein automatischer Vorschlag von Werkzeugen in der NC-Programmerstellung. Ziel ist es dagegen ein Softwarepaket zu schaffen, das dem Benutzer Informationen anbietet, sowie die Ergebnisse seiner Überlegungen entgegennimmt und weiterleitet. Primär ist die Software für den Einsatz in offenen Steuerungssystemen mit integriertem IBM-kompatiblen PC vorgesehen. Die Einbindung von konventionellen CNC-Steuerungen und Handarbeitsplätzen ist aber im Konzept berücksichtigt.

## **Wirtschaftliche Anforderungen**

Durch den modularen Aufbau von BOSIFLEX ist sicherzustellen, daß die Softwarepakete flexibel erweiterbar sind, sowie der Aufwand für Anpassungen an die Anforderungen und Gegebenheiten in der Praxis niedrig bleibt. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen sind zu definieren. Auf der Gruppen- und Maschinenebene werden Informationen zwischen den Modulen im wesentlichen über die Zwischenablage des Betriebssystemaufsatzes Microsoft Windows ausgetauscht. Dadurch können einzelne Module hinzugefügt oder weggelassen werden, ohne die Funktion der anderen zu beeinträchtigen. Der Einsatz einer Standardbetriebssystemumgebung und von Standardtools wirkt sich hier positiv aus, da Akzeptanzprobleme vermieden und Entwicklungsaufwand eingespart werden kann. Das Einbinden der Funktionen von Microsoft Windows für Workgroups Version 3.11 steht exemplarisch für die Nutzung dieser Möglichkeiten.

## **Datentechnische Anforderungen**

BOSIFLEX soll lediglich ein Hilfsmittel sein um die Kommunikation und den schnellen Datentransfer benutzerfreundlich zu bewerkstelligen. Dazu werden alle Arbeitsplätze miteinander vernetzt. Über dieses Datennetz wird der effektive Zugriff auf aktuelle Fertigungsdaten gewährleistet. Von großer Bedeutung ist die Vermeidung redundanter Datenhaltung. Dies kann durch den Einsatz eines zentralen Fertigungsdatenservers unterstützt werden. Allerdings benötigen beispielsweise CNC-Steuerungen die aktuellen Korrekturwerte der Werkzeuge im Speicher, solange sich das Werkzeug in der Maschine befindet. Diese Form der Redundanz ist kaum zu vermeiden. Bei einem Ausfall des zentralen Servers ist dadurch allerdings sichergestellt, daß die Maschinen weiterarbeiten können. Wesentliche Voraussetzung für den Erfolg des vorgestellten Konzeptes ist allerdings die Kommunikationsbereitschaft der Mitarbeiter untereinander.

## 4.2 Konzeption der Steuerungssoftware

Ziel des Konzeptes einer **Benutzerorientierten Steuerungssoftware** in der **flexiblen** Werkstattfertigung (BOSIFLEX) ist die Unterstützung einer Gruppe von Facharbeitern bei der Planung, der Informations- und Ressourcenbeschaffung, sowie bei der Auftragsdurchsetzung. Das vorgestellte Konzept ist primär für den Einsatz an Werkzeugmaschinen in der spanenden Fertigung zugeschnitten, die mit einer offenen CNC-Steuerung ausgerüstet sind. Die Anbindung von konventionellen CNC-Steuerungen erfolgt, ebenso wie die Einbindung von Handarbeitsplätzen durch die Bereitstellung eines Computers in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes.

Der Aufbau von BOSIFLEX ist dreistufig (Bild 34). In einer zentralen Fertigungsdatenbank werden Auftragsdaten, Werkzeugdaten und NC-Programme verwaltet. Über eine Nahtstelle erfolgt die Anbindung an überlagerte Systeme, wie beispielsweise ein PPS-System oder ein CAD-System, zur Übernahme von Planungs- und Zeichnungsdaten. Die Rückmeldungen aus der Fertigung werden zentral erfaßt und

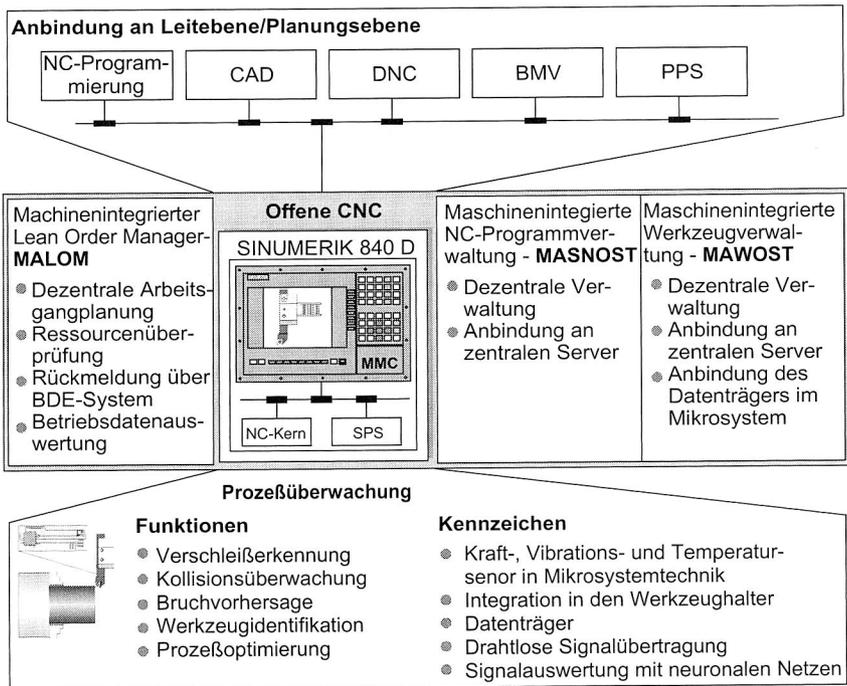


Bild 34: Komponenten einer benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung

für weitere Auswertungen bereitgestellt. Die Verbindung zu den Arbeitsplätzen in der Fertigung erfolgt durch die Integration der Funktionen NC-Programmierung und -verteilung, Betriebsmitteldatenhaltung und -bereitstellung, Auftragsplanung, sowie der Rückmeldung von Personal- und Fertigungsdaten durch ein MDE/BDE-System.

Ein Prozeßüberwachungssystem für die Technologie Drehen unterstützt den Facharbeiter bei der Optimierung der Produktion. Zusätzlich schützt es Maschine, Mitarbeiter und Werkzeuge vor den Folgen von Fehlbedienungen und Werkzeugbruch.

Aus der Integration der beschriebenen Funktionen in den Betriebsablauf ergeben sich für den Anwender des Systems Vorteile durch die Benutzerorientierung, die Verbesserung der Kommunikation in der Produktion und eine zentralen Datenhaltung.

Die Bereitstellung graphischer Informationen trägt zur frühzeitigen Erkennung von Fehlern und zur Reduzierung von Verwechslungen bei. So kann der Facharbeiter an einer Werkzeugmaschine beispielsweise anhand einer Detailgraphik eines Werkzeuges erkennen, ob das gelieferte Werkzeug mit dem für die Bearbeitung vorgesehenen übereinstimmt. Dadurch kann die Gefahr einer Kollision in der Maschine vermindert werden, die zu erheblichen Folgeschäden an der Maschine sowie der Zerstörung von Werkstück und Werkzeug führen kann. Der Einsatz einer graphischen Benutzeroberfläche erleichtert die Bedienung des Systems. Automatische Abläufe, beispielsweise in der Planung, können zwar den Menschen bei Routinetätigkeiten entlasten, zwingen ihm aber auf der anderen Seite Strategien und Vorgehensweisen auf, die im bereitgestellten System vorgesehen sind. Dies macht adaptierte Lösungen gegenüber Veränderungen im Fertigungsablauf unflexibel und kann die Akzeptanz durch das Personal in der Produktion behindern. Der Facharbeiter an der Maschine entscheidet letztendlich über den Erfolg bei der Einführung neuer Konzepte in allen Gewerbebetrieben.

Durch die Vernetzung aller Arbeitsplätze wird einerseits die Basis einer papierlosen Fertigung geschaffen, andererseits kann durch die schnelle Reaktion auf Störungen die Dauer von Stillständen reduziert werden. Hohe Datenübertragungsgeschwindigkeiten verringern die Wartezeiten auf aktuelle Informationen und tragen zu einer Leistungssteigerung bei. Insgesamt wird durch die konsequente Nutzung zusätzlicher Daten und die Schaffung schneller Kommunikationsverbindungen die Zahl der Fehler abnehmen [2]. Voraussetzung dafür ist allerdings die Bereitschaft aller Mitarbeiter, zusammen an der Verbesserung aller Geschäftsprozesse eines Unternehmens mitzuwirken.

Die Bereitstellung ständig aktueller Fertigungsdaten und die Vermeidung von Redundanzen durch eine zentrale Datenhaltung erleichtert die Anbindung rechnergestützter Systeme, da Nahtstellen nur an einer Stelle implementiert werden müssen. Von mindestens ebenso großer Bedeutung ist die Sicherstellung einer einheit-

lichen Bezeichnungswelt in allen Bereichen eines Unternehmens, die durch die zentrale Datenverwaltung und die Anbindung aller Bereiche sichergestellt wird.

Um eine Beschleunigung der Fertigungsabläufe, insbesondere für den Fall zufällig auftretender Störungen zu gewährleisten, ist die Schaffung einer Kommunikationsmöglichkeit zwischen den Arbeitsplätzen, sowie die Online-Verbindung zu der zentralen Fertigungsdatenbank erforderlich. Neben der Bereitstellung aktueller Fertigungsdaten, kann sich der Facharbeiter an der Maschine über den Zustand vorgelagerter Arbeitsgänge informieren und die Auftragsreihenfolge an seinem Arbeitsplatz darauf abstimmen. Negative Auswirkungen von Störungen lassen sich dadurch reduzieren. Zur Verbesserung der Notlaufeigenschaften des Gesamtsystems, die beispielsweise bei einem Ausfall der zentralen Fertigungsdatenbank zum Tragen kommen, ist es sinnvoll, einen lokalen Datenbestand auf der Festplatte eines Arbeitsplatzrechners in unmittelbarer Nähe des Fertigungsortes zu puffern.

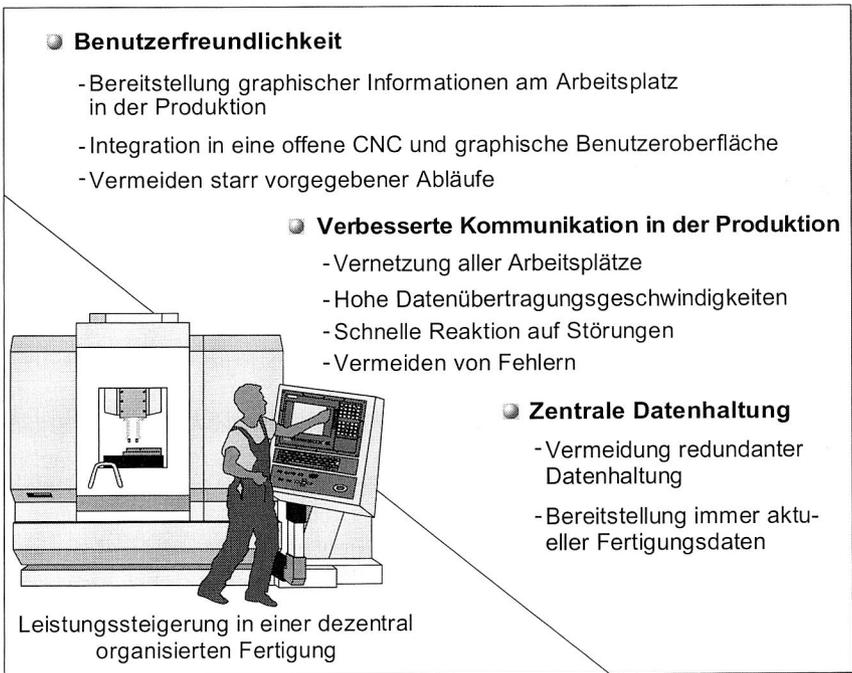


Bild 35: Ziele der benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung BOSIFLEX

### 4.3 Funktionen des benutzerorientierten Ansatzes in der flexiblen Werkstattfertigung

Die wesentlichen Funktionen der benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung lassen sich in zwei Gruppen gliedern. Die integrierte Auftragsverwaltung und -planung deckt in Verbindung mit der Rückmeldung aktueller Fertigungsdaten durch ein MDE-/BDE-System die Aufgaben der Werkstattsteuerung ab. Ein System zur NC-Programmierung und -verteilung auf der Basis einer zentralen NC-Programm- und Werkzeugverwaltung ermöglicht die Vermeidung von Fehlern bei der Auswahl von Werkzeugen und beim Einfahren neuer NC-Programme. Die Bereitstellung immer aktueller NC-Programme an der Maschine reduziert den Suchaufwand und schließt Fehlermöglichkeiten durch den Einsatz falscher Programmversionen aus.

#### 4.3.1 Auftragsdatenfluß

Die integrierte Auftragskomponente stellt die Kernfunktion im BOSIFLEX-Konzept dar. Die Aufgabe der Feinplanung kann von bestehenden PPS-Systemen nicht optimal erfüllt werden [57]. Aus diesem Grund erfolgt eine Teilung der Planungsaufgabe.

Die Auftragsdaten werden zentral durch ein PPS-System erzeugt und verwaltet. Die zeitliche Abfolge der Aufträge kann beispielsweise durch Vorwärts-, Rückwärts- oder Mittelwertsterminierung erfolgen [85]. Daraus ergibt sich die Festlegung von Eckterminen für den frühesten Start- und den spätesten Fertigstellungszeitpunkt jedes Arbeitspaketes und der Durchlauf eines Auftrages durch verschiedene Produktionssegmente wird vom PPS-System gesteuert. Der Auflösung nach einzelnen Arbeitsgängen folgt die Verteilung der Aufträge auf die verschiedenen Fertigungsbereiche.

Über eine Dateischnittstelle werden die Ecktermine und die Auftragsdaten, nach Arbeitsgängen aufgelöst, an die zentrale Auftragsdatenbank des jeweiligen Fertigungssegments übertragen. Innerhalb einer produktorientierten Fertigungsgruppe werden die Aufträge auf die einzelnen Arbeitsplätze verteilt. Die Festlegung der endgültigen Fertigungsreihenfolge trifft der Facharbeiter am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der vorhandenen Fertigungsressourcen. Dazu zählen Rohteile, Werkzeuge und Betriebsmittel, sowie notwendige Fertigungsinformationen. Durch diese dezentrale Feindisposition der Arbeitsgänge wird eine schnelle Reaktionsmöglichkeit bei Störungen im Fertigungsablauf geschaffen. Beispielsweise können beim Ausfall einer Werkzeugmaschine dringende Arbeitsgänge auf eine andere Maschine verlagert werden.

Durch WINBDE, ein System zur Erfassung von Maschinen- und Betriebsdaten, erfolgt die Rückmeldung des aktuellen Fertigungsfortschrittes, sowie von Personal-

und Maschinendaten. Dazu gehört auch der Acquisitionserver, der an einer zentralen Stelle die zurückgemeldeten Informationen speichert und an das PPS-System weiterleitet. Um einen auftragsabhängigen Fertigungsfortschritt erfassen zu können, benötigt das MDE-/BDE-System die eingeplanten Auftragsdaten. Diese werden von der zentralen Auftragsdatenbank über eine Dateischnittstelle an den Acquisition-Server übergeben.

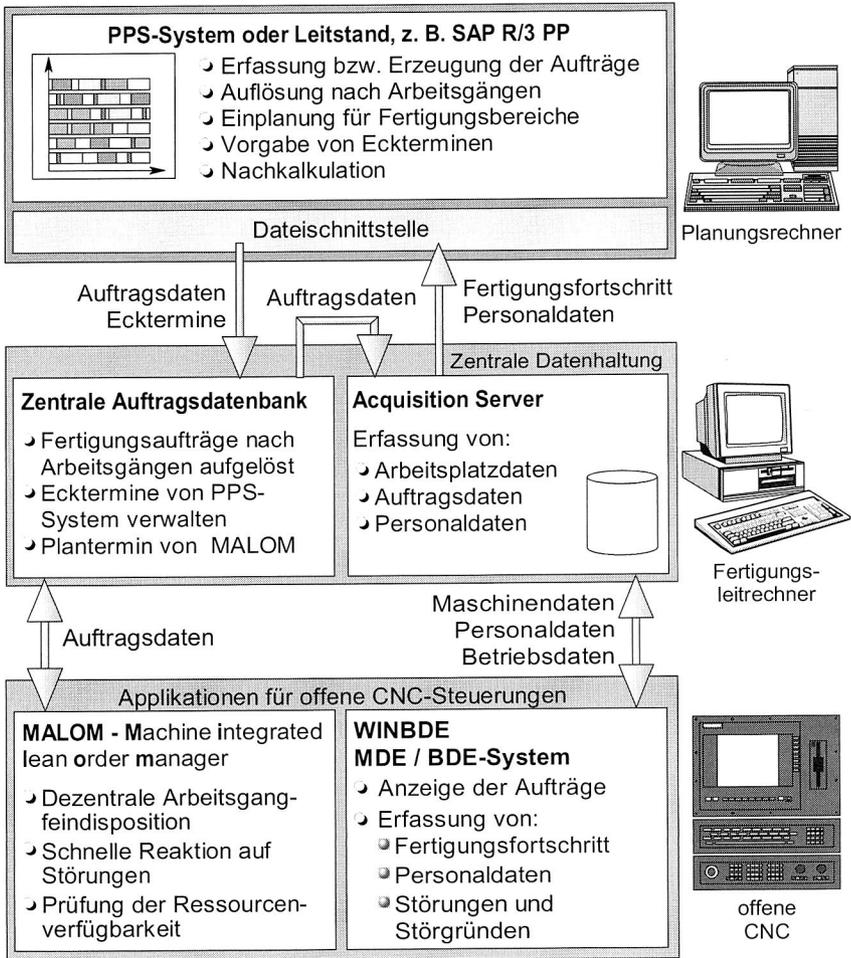


Bild 36: Integrierte Auftragsverwaltung und -planung mit Rückmeldung der Daten



### 4.3.2 NC-Programm- und Werkzeugdatenhaltung

Die maschinenunabhängige, durch graphische Simulation der Bearbeitung unterstützte Erstellung von NC-Programmen bietet im Gegensatz zur manuellen Eingabe des Codes nach DIN 66025 an der NC-Steuerung Vorteile bei Werkstücken mit komplexen Konturen. Herkömmliche maschinelle NC-Programmiersysteme weisen häufig Defizite in der Unterstützung des Benutzers bei der Auswahl der Werkzeuge für die Planung der Bearbeitung auf. Bezüglich eines gesteigerten Bedienkomforts und der Verhinderung einer redundanten Datenhaltung ist die Verbindung der NC-Programmierung mit einem zentralen Betriebsmittelverwaltungssystem angezeigt [25]. Dies führt zu einer Leistungssteigerung in der Produktion durch die Optimierung der Programme und zu einer Einsparung von Programmierzeit. Ein Nebeneffekt ist die Einsparung von Eingabefehlern, indem nach der Auswahl eines Werkzeuges aus der Betriebsmitteldatenbank die Identifikation einfach in das entsprechende Feld im NC-Programmiersystem eingefügt wird.

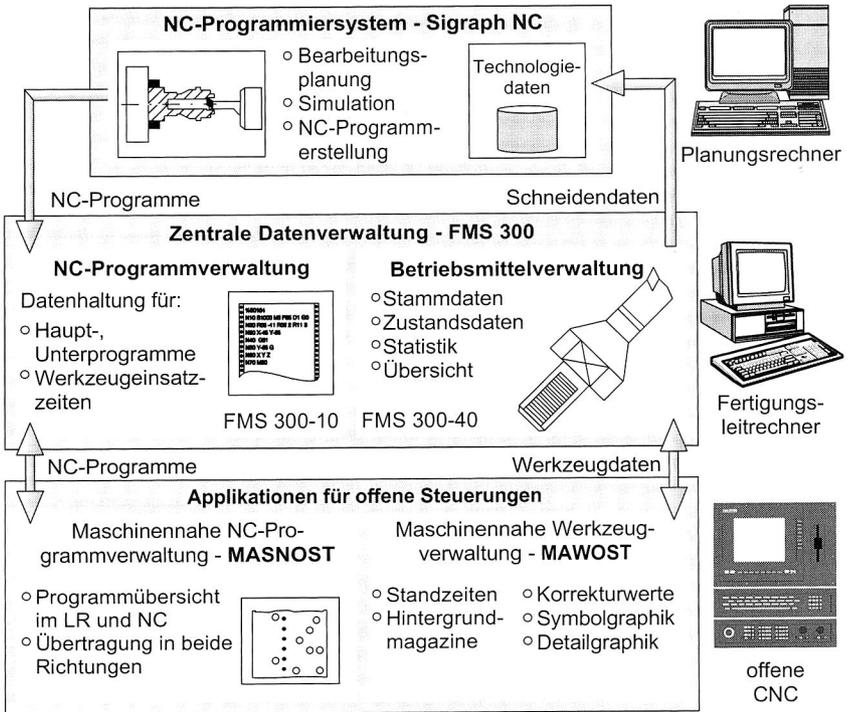


Bild 38: Konzept der NC-Programm- und Werkzeugdatenhandhabung in BOSIFLEX

Einen weiteren Beitrag zur Reduzierung der Betriebsmittelvielfalt liefert die Erweiterung eines zentralen Betriebsmittelverwaltungssystems um eine Statistikfunktion. Sie liefert dem NC-Programmierer zu ausgewählten Werkzeugen die Anzahl der NC-Programme, in denen diese bereits eingesetzt werden. Damit wird die Möglichkeit erschlossen, bei der Programmierung die Anzahl der Rüstvorgänge zu beeinflussen.

Simulationsuntersuchungen haben gezeigt, daß die Anzahl der unterschiedlichen Werkzeugtypen, die zur Fertigung des aktuellen Auftragspektrums in einer Werkstatt benötigt werden, die Anforderungen an den Werkzeugfluß maßgeblich bestimmen [79]. Im günstigsten Fall wird für aufeinanderfolgende Aufträge an einer Maschine derselbe Werkzeugsatz verwendet. Der Rüstvorgang zwischen den Aufträgen verkürzt sich dadurch deutlich. Die Produktivität der Maschine steigt. Die Werkzeuge müssen erst nach Ablauf ihrer Standzeit ausgetauscht werden.

In einer Fertigung, in der weder ein Betriebsmittelverwaltungssystem noch ein Werkzeugidentifikationssystem eingesetzt wird, kann bei diesem Austauschvorgang die verfügbare Reststandzeit nicht genutzt werden. Der Austausch der Schneidplatte ist die logische Konsequenz. Die mangelhafte Nutzung der Standzeit verursacht höhere Kosten durch die Beschaffung von Schneidplatten und die manuellen Eingriffe zur Aufrechterhaltung des Werkzeugkreislaufes. Diese Überlegungen machen den Nutzen einer NC-Programmierstellung, die auf die Zwänge und Gegebenheiten in der Fertigung Rücksicht nimmt, transparent.

Nach der Auswahl der geeigneten Werkzeuge und dem Abschluß der Bearbeitungsplanung wird ein NC-Programm erzeugt. Um eine schnelle Verfügbarkeit des Programms an einer Werkzeugmaschine zu gewährleisten, bietet sich der Einsatz einer zentralen NC-Programmverwaltung an. Viele NC-Programmiersysteme erzeugen zusätzlich zu dem eigentlichen Programm einen Verwaltungsdatenkopf, einen Werkzeugplan, der die Identifikation aller verwendeten Werkzeuge und deren Eingriffszeiten enthält, sowie Einstellunterweisungen, in denen auf die erforderlichen Spannmittel und deren Einstellwerte verwiesen wird.

Die Aufgabe einer flexiblen Nahtstelle des NC-Programmverwaltungssystems ist das Zerlegen der vom Programmiersystem gelieferten Informationen in einzelne Files, die in einem definierten Verzeichnis auf der Festplatte abgelegt werden. Die Verwaltungsdaten und die Querverweise auf die zugehörigen Datenfiles werden in der zentralen Fertigungsdatenbank abgelegt.

Die Programme, Werkzeugpläne und Einstellunterweisungen sind nach dem Einlesen sofort fertigungsweit verfügbar. Mittels einer schnellen Datenverbindung können die Informationen von den Arbeitsplätzen aufgerufen und dorthin übertragen werden. Auf dem selben Weg ist die Übertragung in der Fertigung optimierter NC-Programme an den Datenserver und die Freigabe für alle Arbeitsplätze möglich.

### 4.3.3 Online-Kommunikation zwischen den Arbeitsplätzen

Ein breites Angebot nützlicher Softwarewerkzeuge steht zu einem sehr günstigen Preis-/Leistungsverhältnis unter dem Betriebssystem DOS/Windows für Workgroups, Version 3.11, zur Verfügung. Die Verwendung dieser Standardtools illustriert den Vorteil weitverbreiteter Betriebssysteme. Das Einbinden der Telefonfunktion führt aufwandsneutral zu einer weiteren Verbesserung der Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den Arbeitsplätzen. Der Einsatz ist insbesondere dann von großem Nutzen, wenn Arbeitsplätze eng zusammenarbeiten, aber räumlich voneinander getrennt sind.

Als Beispiel kann hier der manuelle Arbeitsplatz an einer Säge, die Stangenmaterial zu Futterteilen für eine Drehmaschine verarbeitet, betrachtet werden. Aufgrund der Lärmbelästigung und der Staubentstehung ist die Säge in der Regel in einem separaten Raum aufgestellt. Um einen reibungslosen Fertigungsablauf zu gewährleisten kann es erforderlich werden, die Reihenfolge der Arbeitsgänge an der Säge kurzfristig umzustellen. Die Möglichkeit der direkten Kommunikation via Ethernet erspart Wege und Zeit. Dadurch steigt die Produktivität kooperierender Arbeitsplätze.

Alternativ ist die Schaffung einer Telefonverbindung denkbar. Dies würde allerdings zusätzlich Verdrahtungsaufwand, die Beschaffung von Endgeräten und das Entstehen weiterer Störquellen bedeuten. In unmittelbarer Nähe einer Säge ist das Telefonieren aufgrund der akustischen Störungen nur eingeschränkt möglich.

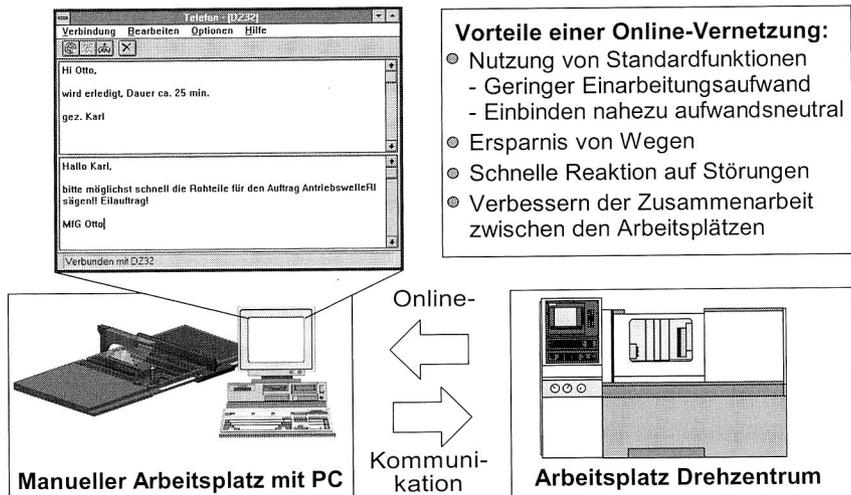


Bild 39: Nutzen der Direktkommunikation zwischen räumlich getrennten, kooperierenden Arbeitsplätzen in einer Werkstattfertigung

#### 4.4 Hierarchische Gliederung

Neben der beschriebenen funktionalen Einteilung kann das BOSIFLEX-Konzept auch hierarchisch gegliedert werden. Im wesentlichen ist eine Einteilung nach der Planungs-, Gruppen- und Maschinenebene vorgesehen.

Ein zentraler Fertigungsdatenserver unter dem Betriebssystem UNIX, sowie ein Gruppenrechner und mehrere Maschinenrechner, die alle über das Betriebssystem Microsoft DOS/Windows verfügen, repräsentieren die unterschiedlichen Hierarchie-

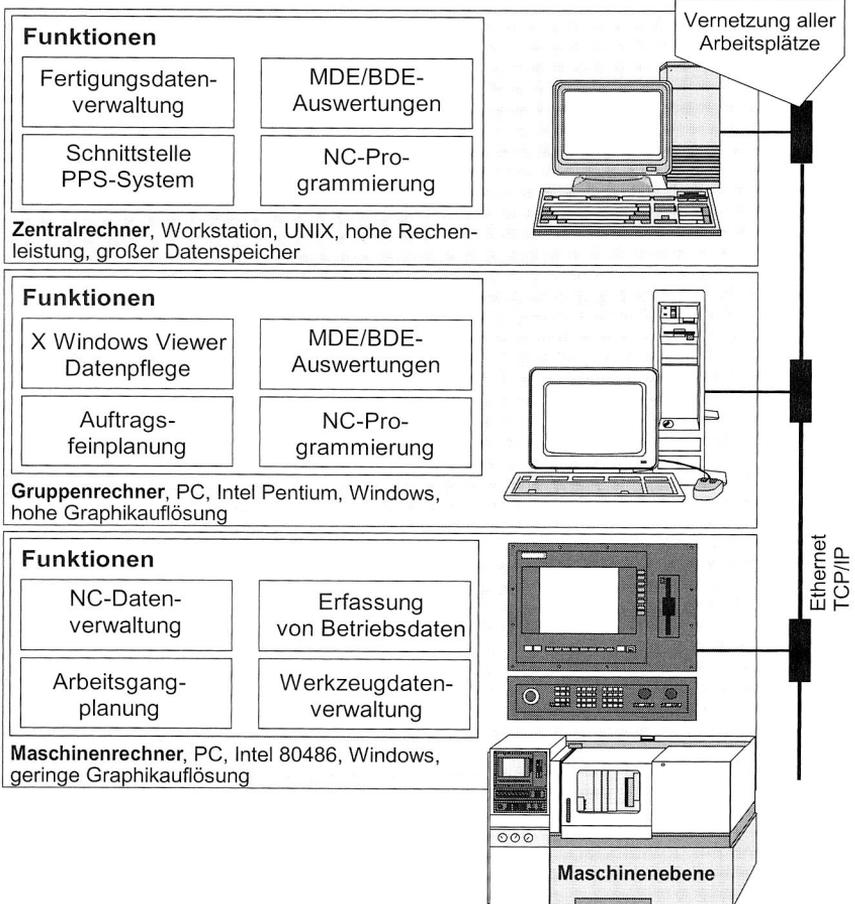


Bild 40: Konzept eines benutzerorientierten Steuerungspakets für die flexible Werkstattfertigung BOSIFLEX

stufen. In Abhängigkeit von den Anforderungen bezüglich Ergonomie, Absturz-sicherheit und den benötigten Fertigungsdaten sind die Funktionen auf diese Ebenen verteilt. Als wesentliches Kennzeichen des benutzerorientierten Konzeptes haben alle Arbeitsplätze Zugriff auf die Daten aller Rechnebenen.

#### 4.4.1 Zentralrechner

Durch die Verwendung einer zentralen Datenbasis, die fertigungsweit für alle Arbeitsplätze die benötigten Daten zur Verfügung stellt, wird eine redundante Datenhaltung eingedämmt. Die Nachteile einer redundanten Datenhaltung sind:

- Mehraufwand und höhere Fehlerwahrscheinlichkeit durch mehrfache Eingabe
- Gefahr der Schaffung verschiedener Identifikationen für dasselbe Objekt mit der Folge von Schnittstellen- und Bezeichnungsproblemen
- Mehraufwand für die Pflege der Daten
- Erhöhter Speicher- und Hardwareaufwand für rechnergestützte Systeme
- Reduzierte Zugriffsgeschwindigkeit auf die Daten
- Gefahr mit nicht aktuellen Daten zu arbeiten
- Erhöhter Schnittstellenaufwand bei der datentechnischen Integration

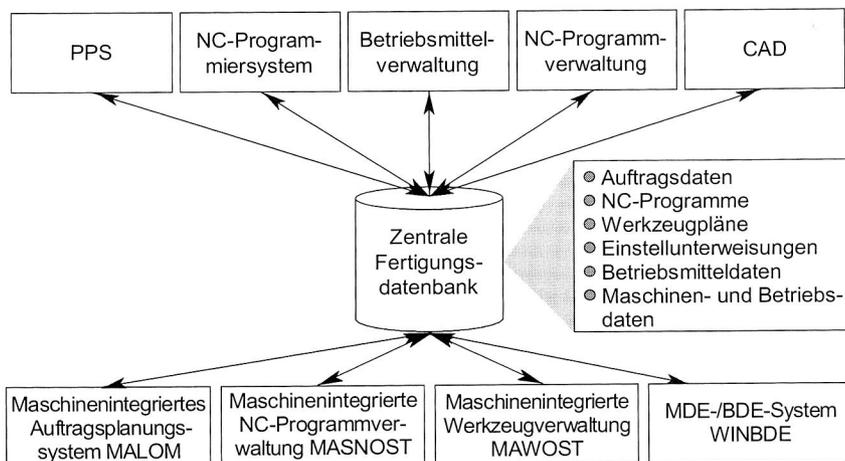


Bild 41: Anbindung der Module an den zentralen Fertigungsdatenserver

Der zentrale Fertigungsdatenserver enthält in der vorgestellten Ausprägung Auftrags-, NC-, Betriebsmittel- und Graphikdaten. Daran angebunden sind ein PPS-, CAD-, NC-Programmier-, NC-Programmverwaltungs- und ein Betriebsmittelver-

waltungssystem. Auf der Maschinenebene sind dezentrale Module zur Feindisposition von Arbeitsgängen, der NC-Programmübertragung und dezentralen Verwaltung, sowie der Betriebsmittelverwaltung mit der Datenbasis gekoppelt.

Der wesentliche Vorteil eines zentralen Fertigungsdatenservers der als Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen den Softwareapplikationen eines Unternehmens dient, ist die Reduzierung des Anpassungsaufwandes bei der Inbetriebnahme und bei der Anpassung an sich ändernde Abläufe in der Fertigungsumgebung.

In einer zentralen Datenbasis werden alle Informationen zu einem Objekt bereitgestellt. Die einzelnen Bereiche greifen nur auf einen Teil dieser Daten zu. Jeder Bereich verfügt über ein Sichtfenster, in dem alle von ihm benötigten Daten enthalten sind.

Ein weiterer Vorteil der zentralen Datenhaltung ist die vereinfachte Einbindung anderer Applikationen über die Datenbank. Die Implementierung einer Schnittstelle reicht aus, um ein externes Softwarepaket mit allen BOSIFLEX-Modulen kommunizieren zu lassen.

Die wesentlichen Funktionen des Zentralrechners sind folglich die Verwaltung von Fertigungs- und MDE-/BDE-Daten, die Bereitstellung eines auf allen Ebenen verfügbaren NC-Programmiersystems und die Herstellung der Verbindung zu überlagerten Systemen.

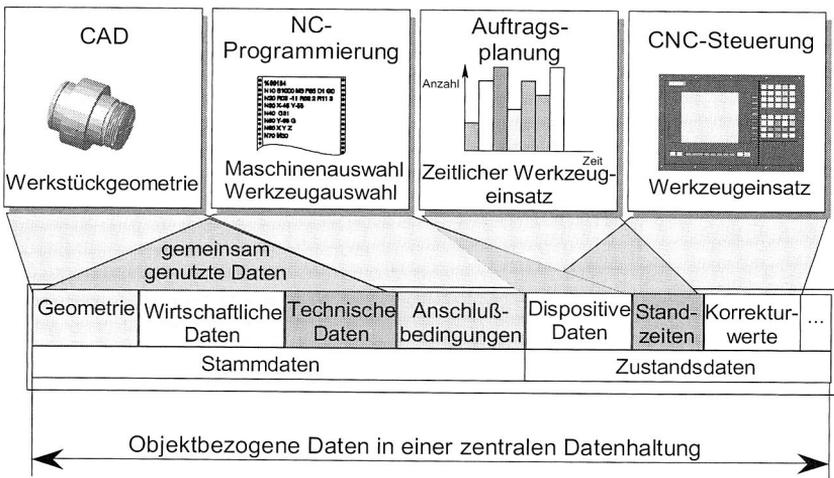


Bild 42: Sichten verschiedener Applikationen auf die objektbezogenen Daten eines zentralen Datenservers

Die wichtigsten Forderungen, die dieser zentrale Fertigungsdatenserver erfüllen muß, sind die Sicherheit gegen Systemabstürze und eine hohe Rechenleistung, um in allen angeschlossenen Bereichen schnell und zuverlässig die benötigten Informationen bereitstellen zu können. Zusätzlich ist eine Benutzerverwaltung und die zentrale Sicherung der Anwenderdaten zu realisieren. Eine Workstation unter dem Betriebssystem UNIX genügt diesen Anforderungen.

Als zentraler Datenserver für die exemplarische Implementierung dient eine Workstation vom Typ HP 9000/710 mit dem Betriebssystem UNIX. Das relationale Datenbanksystem Ingres kommt aufgrund seiner weiten Verbreitung zum Einsatz. Von elementarer Bedeutung für einen zentralen Datenserver ist die Verfügbarkeit der Fertigungsinformationen zu jedem Zeitpunkt. UNIX zeichnet sich insbesondere durch seine geringe Neigung zu Systemabstürzen aus, während der Systempflegeaufwand, der bei Investitionsentscheidungen häufig nicht ausreichend berücksichtigt wird, erheblich ist.

#### **4.4.2 Arbeitsplatzrechner**

Die unmittelbare Nähe der Produktionseinrichtungen ist durch die rauen Umgebungsbedingungen, wie Verschmutzung, Lärm und Vibrationen gekennzeichnet. Dieser Ort ist für konzentriertes Arbeiten an einem Computer nicht gerade prädestiniert. Die primäre Aufgabe des Facharbeiters an einer Werkzeugmaschine bleibt die Produktion. Zudem sind in der Regel Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die die Integration eines ergonomisch gestalteten Rechnerarbeitsplatzes in die Produktionseinrichtungen erschweren. Eingabeintensive EDV-Vorgänge sollten daher nicht an einem Arbeitsplatzrechner erfolgen. Der maschinennahe Computer muß nur geringe Anforderungen bezüglich der Rechenleistung und Auflösung der Anzeige erfüllen. Die Eingabegeräte sollten an die Umgebung angepaßt sein. Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzung, mechanischen Belastungen und elektromagnetischen Störungen ist gefordert.

Die wesentlichen Funktionen des Arbeitsplatzrechners sind die Feindisposition der Arbeitsgänge, der Zugriff auf NC-Programme und Werkzeugdaten und deren lokale Verwaltung. Die direkte Kommunikation mit anderen Arbeitsplätzen und die Erfassung von Maschinen-, Betriebs- und Personaldaten ermöglichen die Rückmeldung des Fertigungsfortschrittes und die Abstimmung von Auftragsreihenfolge und Materialfluß.

Die Funktionen des Maschinenrechners sind exemplarisch sowohl für eine offene CNC-Steuerung, ein BDE-Terminal als auch auf einem IBM-kompatiblen Personal Computer realisiert. Als offene Steuerung kommt eine SINUMERIK 840 D zum Einsatz.

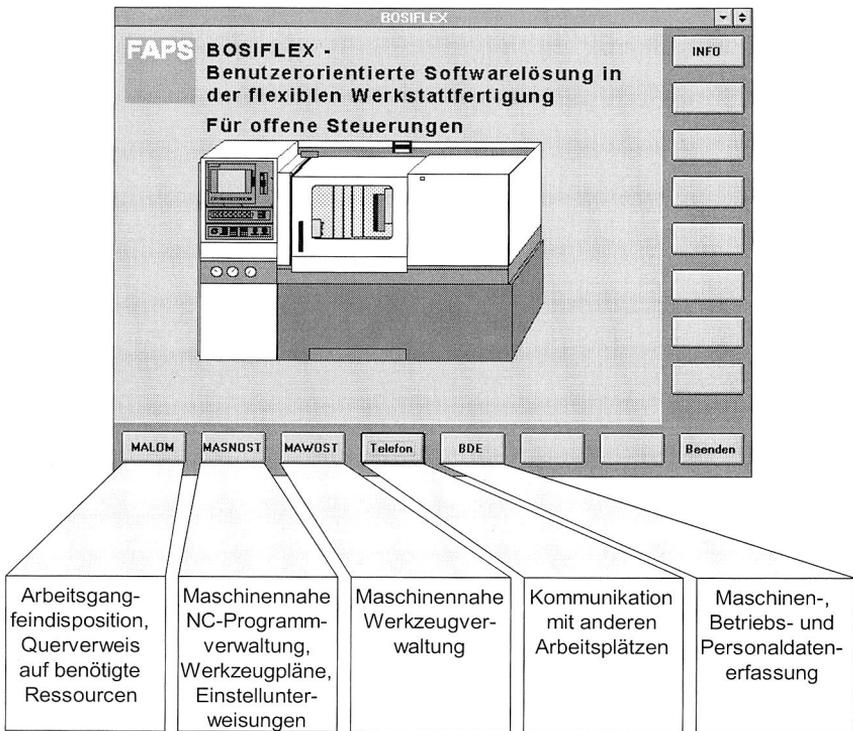


Bild 43: Benutzeroberfläche am Maschinenarbeitsplatz

#### 4.4.3 Gruppenrechner

Aus diesem Grund wird ein Gruppenrechner in einer Büroumgebung nahe der Produktion bereitgestellt, der ein ausreichendes Maß an Abschirmung gegen die genannten Störfaktoren bietet. Er dient der Auftragsplanung und -verteilung auf die einzelnen Arbeitsplätze einer zusammenhängenden Fertigungsgruppe. Die maschinelle NC-Programmierung steht auf dem Gruppenrechner ebenso, wie die MDE-/BDE-Auswertungsfunktionen zur Verfügung. Alle zeitintensiven Eingabevorgänge können an diesem Rechner ausgeführt werden.

Dabei ist von großer Bedeutung, daß der Gruppenrechner allen Mitgliedern einer Fertigungsgruppe gleichberechtigt zur Verfügung steht. Gegenüber den Arbeitsplatzrechnern hebt sich der Gruppenrechner durch eine höhere Rechenleistung und Auflösung des Graphikdisplays ab. Seine Umgebung ist nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet.

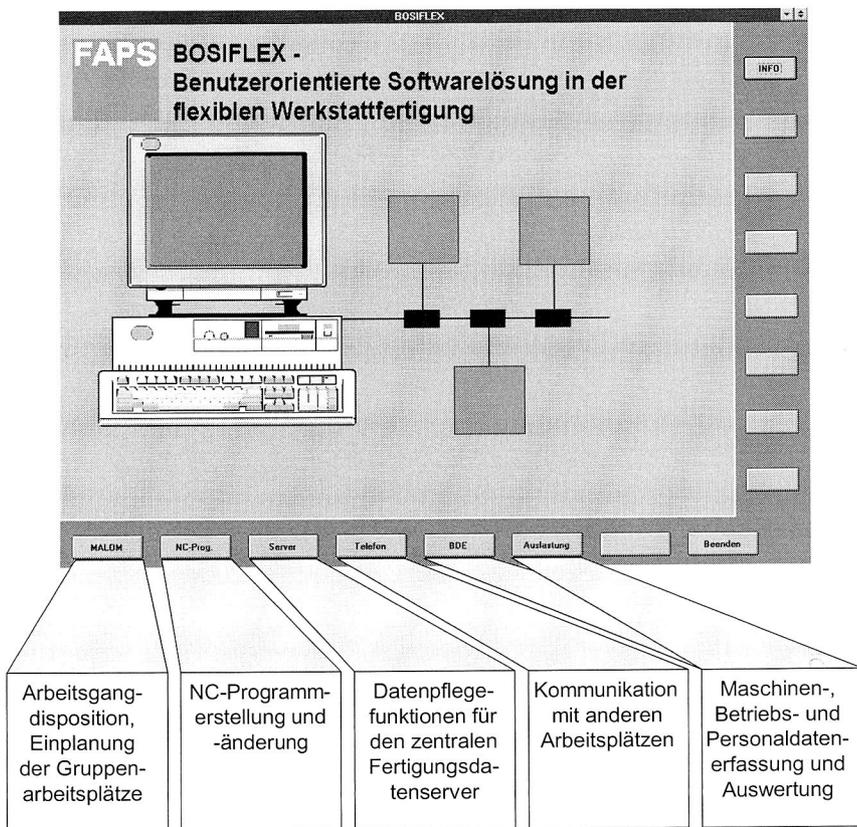


Bild 44: Benutzeroberfläche des Gruppenrechners

## 4.5 Offene CNC-Steuerung als primäre Hardwareplattform für BOSIFLEX

Die Funktionen eines benutzerorientierten Steuerungssoftwarepaketes für die gruppenorientierte Fertigung werden in eine SINUMERIK 840 D integriert. Bei dieser Steuerung wird ein IBM-kompatibler PC für die Abwicklung der Kommunikation zwischen dem NC-Kern und dem Benutzer, der Man Machine Communication

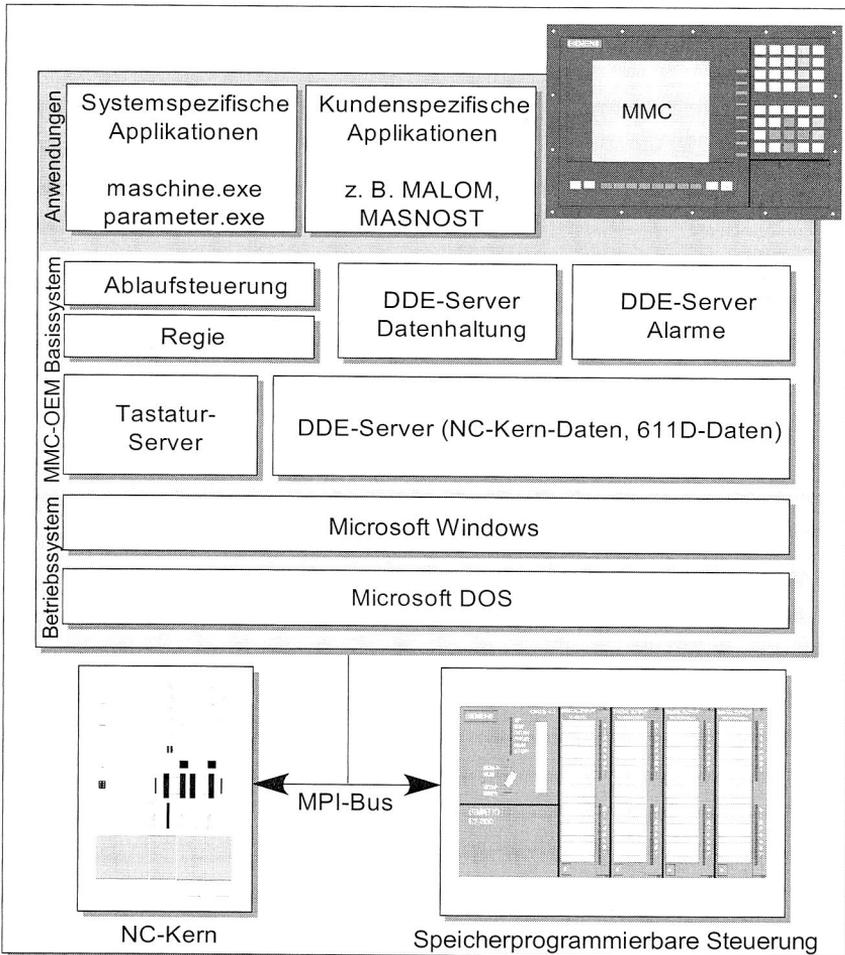


Bild 45: Softwaremodule des „OEM-Paketes“ für die SINUMERIK 840 D [92]

(MMC), eingesetzt. Dieser PC verfügt über einen Intel 80486 DX 33-Prozessor, 8 MB RAM und standardmäßig über eine Festplatte mit einer Kapazität von 170 MB. Das Betriebssystem dieser Baugruppe ist Microsoft DOS 6.2 und Windows for Workgroups 3.11.

Über sogenannte OEM-Pakete besteht die Möglichkeit auf der Basis dokumentierter Schnittstellen sowohl im Bereich der Benutzerführung, als auch im Steuerungskern Modifikationen vorzunehmen, beziehungsweise eigene Applikationen in die Steuerung zu integrieren. Sie genügt damit den in Bild 19 erläuterten Kriterien „offene Bedienung“ und eingeschränkt „offener NC-Kern“.

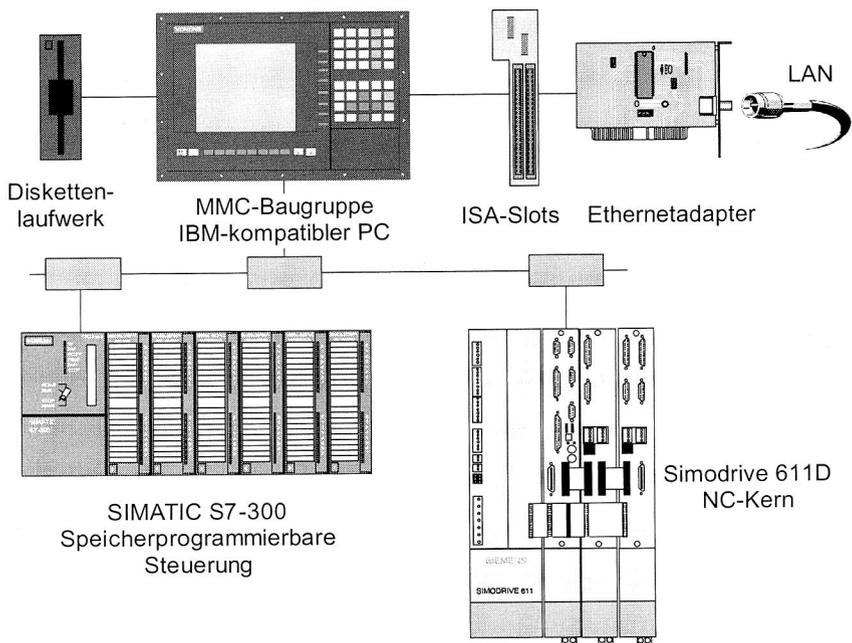


Bild 46: Aufbau der CNC-Steuerung SINUMERIK 840 D

Der wesentliche Vorteil der SINUMERIK 840 D für den Anwender gegenüber bisherigen Steuerungskonzepten ergibt sich aus der kostengünstigen Erweiterbarkeit der Hardware durch PC-Standardkomponenten und der graphischen Benutzeroberfläche. Der integrierte PC ist aufgrund des preiswerten Hauptspeichers, der Festplatte und der Möglichkeit, Datensicherungsmedien anzubinden, besser für die Aufgabe der maschinennahen Datenhaltung geeignet, als konventionelle CNC-Steuerungen.

Für das im folgenden vorgestellte benutzerorientierte Steuerungspackage für die Werkstattfertigung wird eine SINUMERIK 840 D eingesetzt, die durch eine ISA-Box erweitert ist. Mit Hilfe dieser ISA-Box lassen sich handelsübliche Erweiterungskarten für Personal Computer in die Steuerung einsetzen. Für die Anbindung an ein Fabriknetzwerk wurde ein PC-Ethernet-Adapter eingebaut (Bild 46).

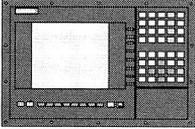
Zeigegerät	Vorteile	Nachteile
 <p><b>Maus</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sehr preiswert</li> <li>- Standardzeigegerät am PC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinationsprobleme für Ungeübte</li> <li>- Verschmutzungsgefahr</li> <li>- großer Platzbedarf (Mauspad 19,5 x 24 cm horizont. Auflagefläche)</li> </ul>
 <p><b>Trackball</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringer zusätzlicher Platzbedarf</li> <li>- schräge Einbaumögl.</li> <li>- preiswert</li> <li>- weit verbreitet bei Laptop-PC's</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verschmutzungsgefahr</li> <li>- Reinigungsprobleme</li> <li>- Koordinationsprobleme für Ungeübte</li> </ul>
 <p><b>Touchpad</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beliebiger Einbau</li> <li>- preiswert</li> <li>- rel. unempfindlich</li> <li>- zunehmende Verbreitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinationsprobleme für Ungeübte</li> </ul>
 <p><b>Touchscreen</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sehr einfach zu bedienen</li> <li>- rel. unempfindlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bildschirm nicht in ergonomischer Lage</li> <li>- teuer</li> </ul>

Bild 47: Bewertung verschiedener Zeigegerätkonzepte für den Einsatz an einer CNC-Steuerung

Einen wesentlichen Beitrag zur Benutzerfreundlichkeit liefert die Integration der erweiterten Funktionalität eines Maschinenrechners in eine offene CNC-Steuerung.

Der Fremdkörpercharakter im Umfeld einer Werkzeugmaschine wird dadurch vermieden. Zusätzlich fallen durch diese Maßnahme einerseits die Kosten für die Beschaffung eines PC's weg, andererseits kann der Maschinenbenutzer den Fertigungsprozeß parallel zur Benutzung der neuen Funktionen im Auge behalten. Um die vollen Möglichkeiten des Maschinenrechners ausschöpfen zu können, ist die Integration eines Zeigegerätes in die Steuerung erforderlich. Dies kann entweder in Form einer Maus, eines Touch-Pad's, eines Trackballs oder eines Touch-Screens erfolgen.

Das Standardzeigegerät an stationären PC-Arbeitsplätzen, die nach ergonomischen Gesichtspunkten optimiert sind, ist die Maus. Um bei der Integration einer graphischen Benutzeroberfläche in die MMC-Baugruppe der Steuerung alle Möglichkeiten ausschöpfen zu können, wird ebenfalls ein Zeigegerät benötigt.

Bei einem Einsatz an einer CNC-Steuerung hat die Maus den Nachteil, daß eine ebene und vergleichsweise große Auflagefläche vorhanden sein muß. Zusätzlich neigt die Mechanik zu verschmutzungsbedingten Fehlfunktionen.

An Laptop-Computern haben sich als Zeigegerät insbesondere Trackballs etabliert. Der Trackball kommt mit einer erheblich geringeren Auflagefläche aus und bleibt in verschiedenen Winkeln bis maximal 75° gegenüber der Horizontalen benutzbar. Aus Gründen der Ergonomie ist jedoch darauf zu achten, daß der Winkel unterhalb von 30° bleibt und eine Auflagefläche für die Hand vorgesehen wird. Die Verschmutzungsgefahr bei einem Trackball ist erheblich, während die Reinigung mit einem höheren Aufwand verbunden ist, als bei einer Maus.

In jüngster Vergangenheit haben sich auch im Bereich der Laptop-Computer immer mehr Touchpads durchgesetzt. Sie zeichnen sich durch relativ weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen und eine beliebige Einbaulage aus. Unter Berücksichtigung von Ergonomiegründen sollte ein Einbauwinkel von 30° gegenüber der Horizontalen auch hier nicht überschritten werden.

Für Sonderanwendungen wie z. B. Geldautomaten haben sich in der Praxis Touchscreens bewährt. Insbesondere für ungeübte Benutzer ist der Umgang mit einem Touchscreen problemlos. Aufgrund der oft ungünstigen Einbaulage ist ein längeres Arbeiten mit Bedienvorgängen auf der Oberfläche des Bildschirms ergonomisch nicht optimal. Zusätzlich sind Touchscreens erheblich teurer, als Touchpads.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß aus Gründen der einheitlichen Bedienung derselben Software an offenen CNC-Steuerungen und an Arbeitsplatzrechnern ein Zeigegerät an der numerischen Steuerung erforderlich ist. Die Benutzung eines Touchpads als Zeigegerät an Maschinenarbeitsplätzen hat sich hier als guter Kompromiß erwiesen.

## 4.6 Migrationskonzept für nicht offene CNC-Steuerungen und Handarbeitsplätze

Im Konzept einer benutzerorientierten Lösung für die flexible Werkstattfertigung ist neben dem Einsatz an offenen Steuerungen auch die Einbindung von Handarbeitsplätzen und konventionellen CNC-Steuerungen, die nicht über einen integrierten PC verfügen, berücksichtigt. An diesen Arbeitsplätzen in der Fertigung werden IBM-kompatible PC's oder ein Multifunktionsterminal mit integriertem PC bereitgestellt. Auf beiden muß das Betriebssystem DOS/Windows for Workgroups, Version 3.11 lauffähig sein. Alle Arbeitsplätze sind miteinander vernetzt und werden in einem Local Area Network gleich behandelt.

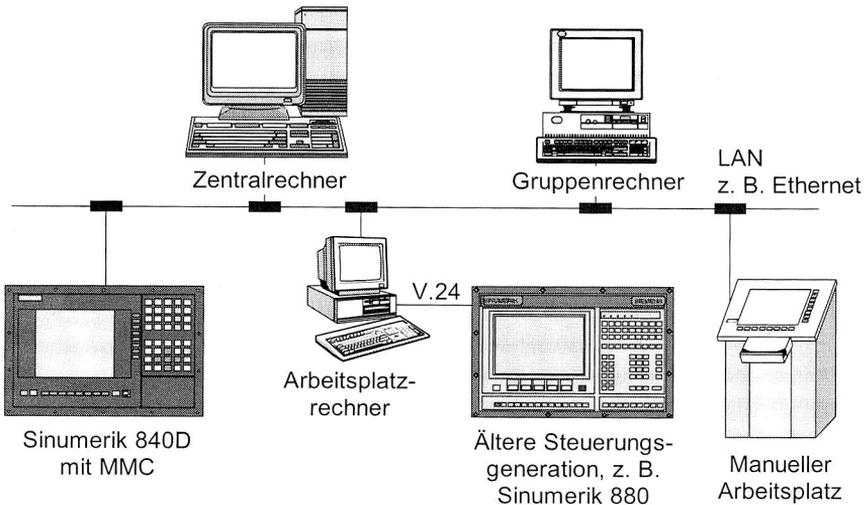


Bild 48: Migration zu vorhandenen NC-Steuerungen und Handarbeitsplätzen

Aufgrund der vorhandenen kompatiblen Hardwareplattform und derselben Betriebssystemumgebung können an allen Arbeitsplätzen dieselben Softwaremodule mit derselben Benutzeroberfläche eingesetzt werden. Dies erleichtert die Einarbeitung und den flexiblen Wechsel einzelner Mitarbeiter zwischen den Arbeitsplätzen. Die bereitgestellte Funktionalität der Steuerungssoftware unterscheidet sich je nach den Anforderungen der einzelnen Arbeitsplätze geringfügig.

Die Anbindung konventioneller CNC-Steuerungen erfolgt durch einen Arbeitsplatzrechner, der in unmittelbarer Nähe einer Werkzeugmaschine angeordnet ist. Ein Schnittstellenmodul ersetzt die Übertragungsfunktionen der Werkzeugdaten und NC-Programme in den Steuerungskern. Es konvertiert beispielsweise die Daten eines

Werkzeugsatzes in ein für die Steuerung lesbares Format und transferiert sie über die V.24-Schnittstelle zur CNC-Steuerung. NC-Programme werden analog behandelt. Zur Initiierung der Übertragung müssen sowohl an der numerischen Steuerung als auch am Arbeitsplatzrechner Benutzereingriffe vorgenommen werden.

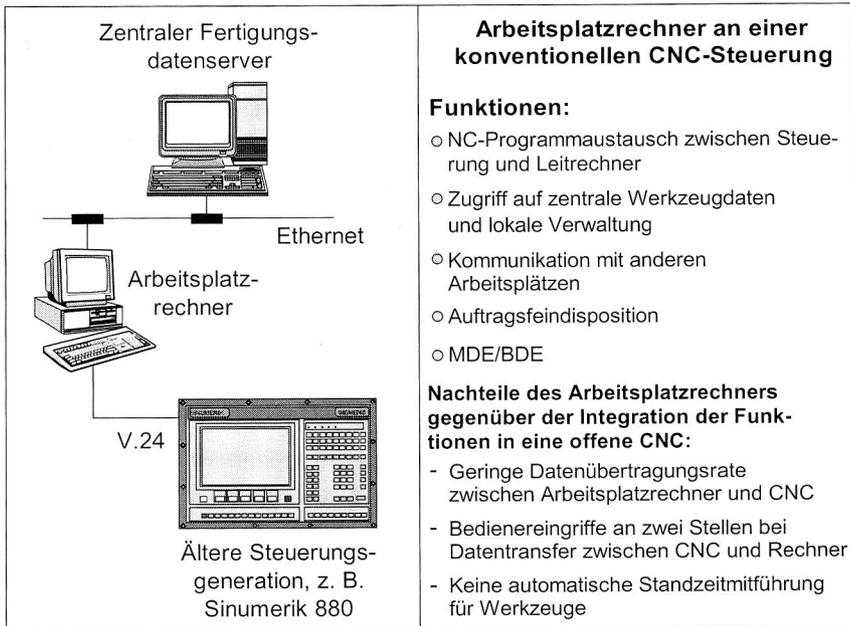


Bild 49: Einbindung älterer CNC-Steuerungen mittels eines maschinennahen Arbeitsplatzrechners

Nachteilig wirkt sich gegenüber der direkten Anbindung einer offenen CNC an das LAN die geringe Datentransferrate bei einer seriellen Übertragung aus. Der Arbeitsplatzrechner verursacht zusätzliche Investitionskosten und kann nicht optimal in die Arbeitsplatzumgebung einer Werkzeugmaschine integriert werden. Dadurch steigt in der Regel auch der Flächenbedarf in der Fertigung.

Die fehlende automatische Mitführung der Standzeit stellt eine funktionale Einschränkung gegenüber der Verwendung einer offenen CNC-Steuerung dar. Falls die konventionelle Steuerung über eine Standzeiterfassung verfügt, kann der Facharbeiter beim Werkzeugaustausch manuell die Übertragung der aktualisierten Werkzeugdaten aus der Steuerung in den Arbeitsplatzrechner auslösen. Anschließend kann analog zu den Funktionen einer offenen Steuerung verfahren werden.

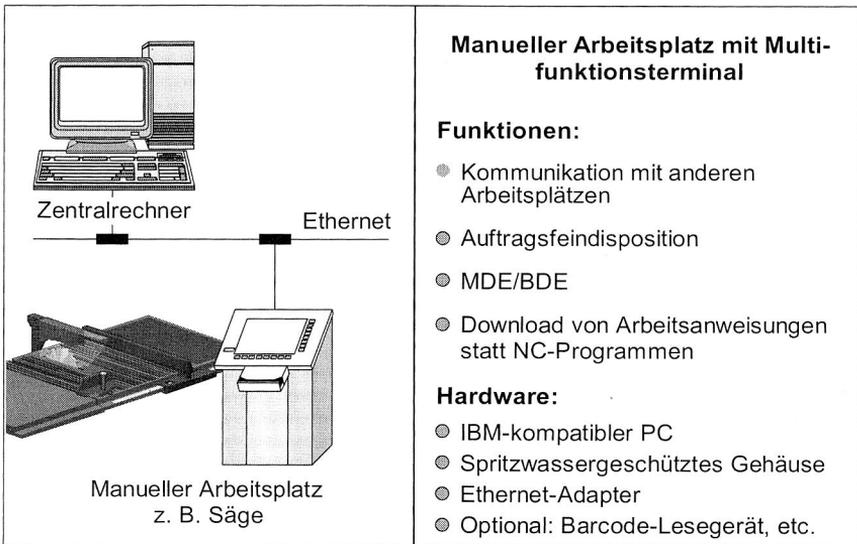


Bild 50: Einbindung von Handarbeitsplätzen in das BOSIFLEX-Konzept

Durch das universelle Konzept des Maschinenrechners können auch Handarbeitsplätze problemlos eingebunden werden. Statt der NC-Programme werden dann Arbeitsanweisungen im zentralen Datenserver archiviert und an die Handarbeitsplätze übertragen. Die Einplanung der Arbeitsgänge und die Feindisposition kann analog zu Maschinenarbeitsplätzen erfolgen. Die Einbindung des Werkzeugverwaltungsmoduls MAWOST kann beispielsweise bei einer Säge entfallen.

Ein Werkzeugvoreinstellgerät dient zur Beschleunigung der Werkzeugbereitstellung und ist in der Nähe der Maschinenarbeitsplätze anzuordnen. Der Markt bietet mittlerweile Werkzeugvoreinstellgeräte, die mit einem IBM-kompatiblen Personal Computer ausgerüstet sind und mittels einer integrierten CCD-Kamera sehr schnell die genaue Schneidenlage bestimmen können. Das Betriebssystem Microsoft DOS/Windows for Workgroups, Version 3.11 kommt bei mehreren marktgängigen Systemen zum Einsatz.

Ein in dieser Art aufgebautes Gerät kann in das vorgestellte Konzept einer benutzerorientierten dezentralen Werkstattfertigung sehr leicht integriert werden. Es wird dabei ähnlich wie ein manueller Arbeitsplatz behandelt. Lediglich die werkzeugflußspezifischen Funktionen müssen zusätzlich bereitgestellt werden.

## 5 Auftragssteuerung und Betriebsdatenerfassung

Basierend auf den Anforderungen nach einer Berücksichtigung aktueller Fertigungszustände bei der Planung der Auftragsreihenfolge und der Schaffung einer schnellen Reaktionsmöglichkeit auf Störungen im Produktionsablauf wurde der **Machine integrated Lean Order Manager** für die flexible Fertigung (MALOM) konzipiert und implementiert. Er besteht zum einen aus einer zentralen Auftragsdatenbank und zum anderen aus einer dezentral einsetzbaren Benutzeroberfläche. Dabei arbeitet MALOM streng arbeitsgangorientiert.

Die datentechnische Erfassung der aktuellen Fertigungszustände und des Fertigungsfortschrittes erfolgt über das Maschinen- und Betriebsdatenerfassungssystem WINBDE. Es besteht aus einem Acquisition-Server, der die Daten aller Aufträge übernimmt, die sich aktuell in der Fertigung befinden, alle Rückmeldungen aus der Fertigung sammelt und an ein überlagertes PPS-System weiterleitet. Erweitert wurde WINBDE um die Auswertung und Visualisierung der gesammelten Informationen am Maschinenarbeitsplatz.

Die in Module untergliederten Funktionen und die Benutzung der Gruppensteuerungen an Gruppenrechnern und Maschinenarbeitsplätzen werden erläutert.

### 5.1 Zentraler Auftragsdatenserver

Die wesentliche Funktion des zentralen Auftragsdatenservers ist die Verwaltung und Bereitstellung der Stammdaten für Fertigungsgruppen und Maschinen, sowie der Arbeitsgangdaten. Er verfügt über eine Dateischnittstelle, die den Datenaustausch mit einem PPS-System ermöglicht. Die verwendeten Datenformate sind dabei an diejenigen des PPS-Systems SAP R/3 PP angelehnt.

Zusätzlich wird eine eigene Datenbanktabelle für die Erzeugung von Musterarbeitsgängen geführt. Als Muster-Arbeitsgänge können alle Arbeitsgänge gespeichert werden, die nicht für die aktuelle Fertigung erforderlich sind, aber in der Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit wiederkehren. Dies ist insbesondere dann interessant, wenn MALOM eigenständig, ohne den Anschluß an ein übergreifendes PPS-System arbeitet.

Die Hardwareplattform für den zentralen Auftragsdatenserver ist eine UNIX-Workstation vom Typ HP 9000/710. Die Arbeitsplätze werden mittels einer Microsoft-Windows Benutzeroberfläche und einer ODBC-Schnittstelle an die Ingres-Datenbank

angeschlossen. Aus Performancegründen ist an den Arbeitsplatzrechnern die Haltung der Datenstrukturen im Hauptspeicher realisiert. Um die Datenaktualität und Datensicherheit zu gewährleisten, werden alle Änderungen der Auftragsdaten sofort in der Datenbank des Zentralrechners aktualisiert.

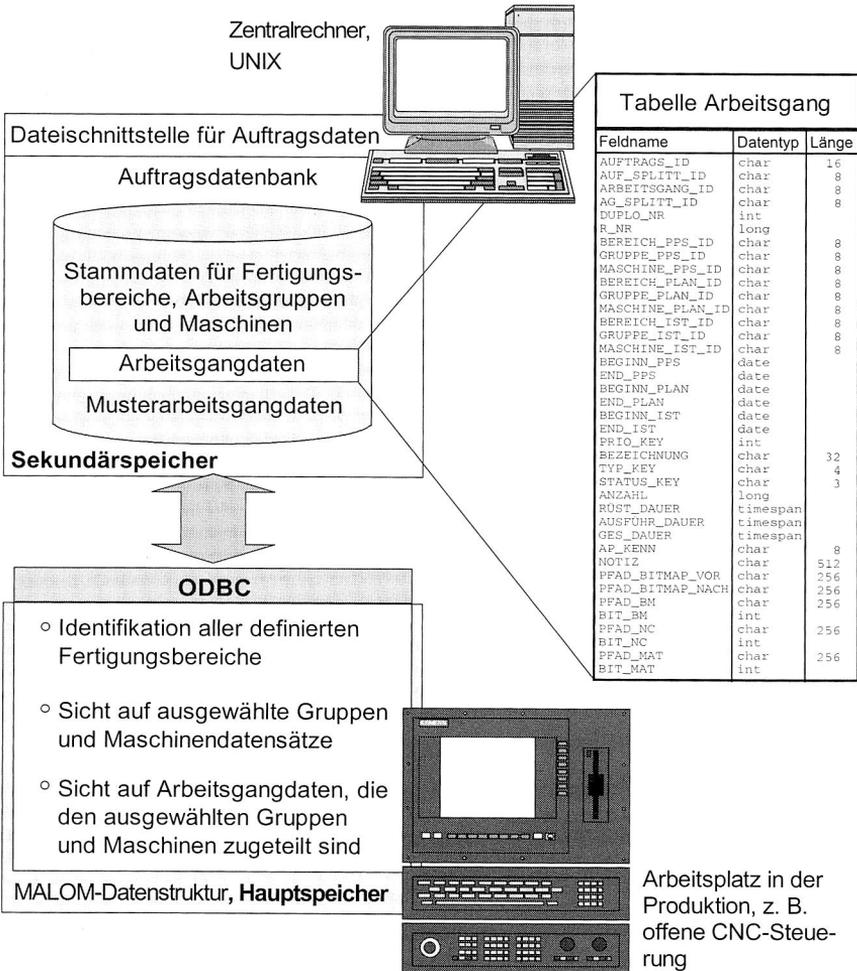


Bild 51: Speicherstruktur des zentralen Auftragsdatenservers

## 5.2 Dezentrale Arbeitsgangplanung

Durch die dezentrale Organisation, die sich in den Fertigungsbetrieben immer mehr durchsetzt, kommt dem Facharbeiter eine erheblich höhere Verantwortung zu. Der Machine Integrated Lean Order Managers für die flexible Fertigung MALOM ist ein Werkzeug um Produktionsmitarbeiter bei der Auftragsdurchsetzung zu unterstützen und ihm zu helfen, den gesteigerten Anforderungen gerecht zu werden.

Mit Hilfe von MALOM wird der Benutzer einer Werkzeugmaschine in die Lage versetzt, die Reihenfolgeplanung der für seinen Arbeitsplatz vorgesehen Arbeitsgänge in Abhängigkeit von den verfügbaren Ressourcen durchzuführen. Darüber hinaus kann er Aufträge an andere Arbeitsplätze absetzen. Weiterhin nimmt die Planungssicherheit durch die Möglichkeit von MALOM zu, die Auftragsreihenfolge aller Arbeitsplätze und den aktuellen Zustand eines vorgeschalteten Arbeitsganges einzusehen.

Der Schwerpunkt bei der Konzeption von MALOM liegt auf der Bereitstellung einer sofortigen Reaktionsmöglichkeit bei Störungen. Ein schneller Austausch der Auftragsdaten und die Anzeige eines immer aktuellen Planungsstandes für alle Arbeitsplätze eines Segmentes an einer Maschine in der Produktion tragen dazu bei. Mit der Suchfunktion nach allen Arbeitsgängen, die zu einem Auftrag gehören, kann sich der Facharbeiter einen Überblick zum aktuellen Fertigungszustand der Arbeitsschritte verschaffen, die vor dem, von ihm auszuführenden, abgeschlossen sein müssen.

Zur Sicherstellung der Akzeptanz in der Fertigung soll die Benutzung von MALOM möglichst einfach erlernbar sein. Um dies zu erreichen wird die Nachbildung des Karteikastens, der bei einer konventionellen Fertigung zur Ablage der Auftragszettel Verwendung findet, als Darstellungsform auf dem Bildschirm eingesetzt. Die Visualisierung der Auftragsdaten erfolgt in Form von Karteikarten. Der weitgehende Verzicht auf automatische Abläufe verhindert, daß der Benutzer den Eindruck gewinnen kann, daß ihm das System Verfahrensabläufe aufzwingt, die aus seiner Sicht nicht sinnvoll sind. In konkreten Fällen kann die Einführung von Leitstandssystemen an diesem Punkt scheitern. Werkstückdetailgraphiken veranschaulichen den durchzuführenden Arbeitsschritt und tragen zur Vermeidung von Fehlern in der Fertigung bei. Die optische Kennzeichnung von Arbeitsgangzuständen steigert die Übersicht und erleichtert das Auffinden von Eilaufträgen. Dadurch können Störungen im Fertigungsablauf verhindert werden. Die Querverweise auf Ressourcen, wie Werkzeuge oder Fertigungsinformationen, ermöglichen in einfacher Weise deren Überprüfung und Beschaffung.

Zusätzlich stehen Funktionen zur Datenhaltung, sowie zur Bearbeitung der Arbeitsgangdaten und der Maschinenkarteien zur Verfügung. Die Datenhaltung erfolgt auf einem zentralen Server in einem Segment, der über eine Schnittstelle an ein PPS-System angeschlossen ist.

Durch ausreichende Schulungsmaßnahmen ist jedoch sicherzustellen, daß das Produktionspersonal seine Aufgabe und seine Möglichkeiten versteht.

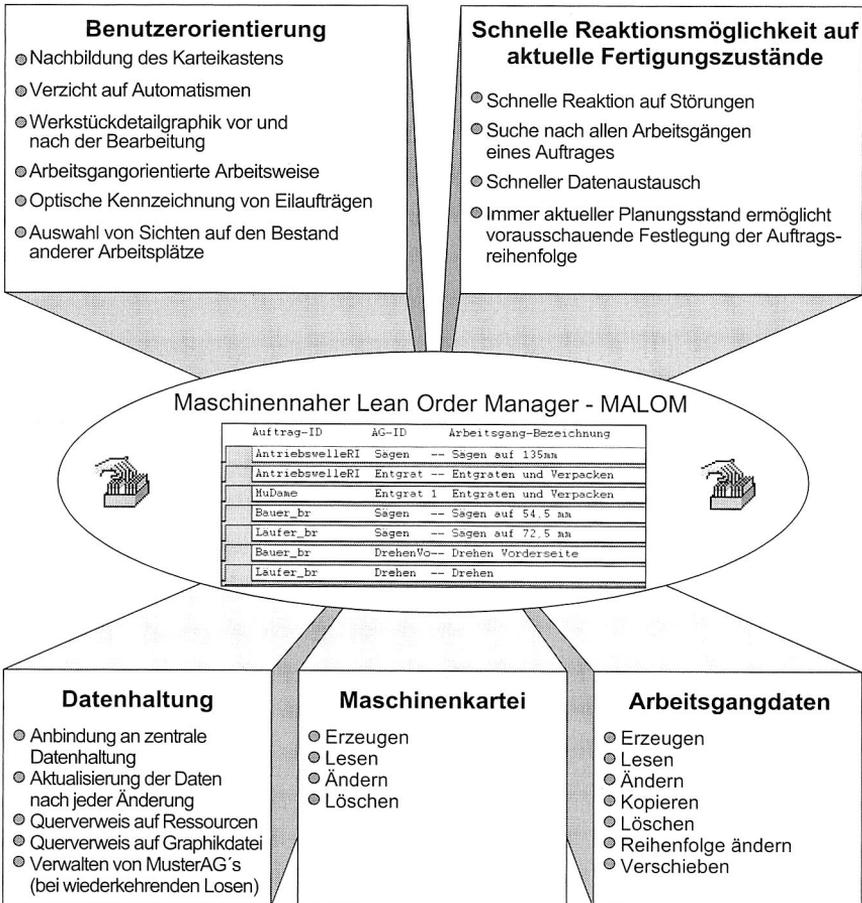


Bild 52: Funktionen des dezentralen Arbeitsgangplanungssystem MALOM

### 5.2.1 Funktionen der dezentralen Arbeitsgangplanung

Die wesentliche Funktion der dezentralen Arbeitsgangplanung ist die Visualisierung der von einem überlagerten Steuerungssystem vorgegebenen Aufträge, inklusive deren frühesten Start- und spätesten Endtermin. Innerhalb dieses Zeitfensters kann der Auftrag in der Produktion abgewickelt werden. Zunächst erfolgt eine Zuordnung der einzelnen Arbeitsgänge zu den Arbeitsplätzen. Dazu stehen dem Verantwortlichen die Kenngrößen aller Arbeitsplätze in einem Produktionsbereich zur Verfügung. Dieser Vorgang kann abhängig von der Anzahl der zu verteilenden Arbeitsgänge zeintensiv sein. Die Verteilung der Arbeitsgänge erfolgt daher in der Regel an einem ergonomisch optimierten Rechnerarbeitsplatz, dem Gruppenrechner. Dort werden auch eingabe- und datenintensivere Vorgänge, wie die Auftragsverfolgung und die Datenpflege ausgeführt.

Zu jedem Arbeitsgang werden Querverweise auf Datensätze mitgeliefert, in denen die für die Bearbeitung des jeweiligen Arbeitsganges benötigten Ressourcen enthalten sind. Mit Hilfe dieser Querverweise ist der Facharbeiter an der Maschine in der Lage zu überprüfen, ob die benötigten Werkzeuge, die Werkstücke und die Arbeitsanweisungen am Arbeitsplatz vorhanden sind. Nach einer Überprüfung bezüglich der benötigten Ressourcen erfolgt die Feindisposition der Arbeitsgänge an der Maschine durch das Umsortieren der Arbeitsgangreihenfolge. Um eine verbesserte Planungssicherheit zu erreichen, kann sich der Facharbeiter den Stand der Arbeitsgangplanung an anderen Arbeitsplätzen in der Fertigung anzeigen lassen. Damit erkennt er, ob der Abschluß eines vorgelagerten Arbeitsganges in nächster Zeit zu erwarten ist. Gegebenenfalls kann er eine Teillieferung von Werkstücken veranlassen, die an einem vorgeschalteten Arbeitsplatz bereits fertiggestellt wurden.

Falls unvorhersehbare Störungen auftreten, wie z. B. ein Werkzeugbruch, der das Werkstück so stark beschädigt, daß dieses nicht mehr verwendet werden kann, muß zur Sicherstellung der Termintreue bei kundenspezifischen Aufträgen möglichst schnell das Werkstück inklusive aller vorgelagerten Arbeitsgänge nachbestellt werden. Dazu existiert für den Maschinenbenutzer die Möglichkeit neue Arbeitsgänge zu erzeugen und in den Auftragspool anderer Arbeitsplätze zu verschieben. Die Durchlaufzeit der Einplanung eines Ersatzwerkstücks kann durch die direkte Erzeugung und Weitergabe des Auftrages an die vorgeschalteten Arbeitsplätze auf ein Minimum reduziert werden. Falls der späteste Endtermin, der von einem PPS-System vorgegeben wurde bereits erreicht ist, können die so erzeugten neuen Aufträge mit der Eilauftragskennung versehen werden. Die Termintreue der Produktion steigt.

Voraussetzung ist allerdings, daß der Maschinenbenutzer abschätzen kann, ob die Materialverfügbarkeit gegeben ist. Bei einer überschaubaren produktorientierten Fertigung kann dies der Fall sein.

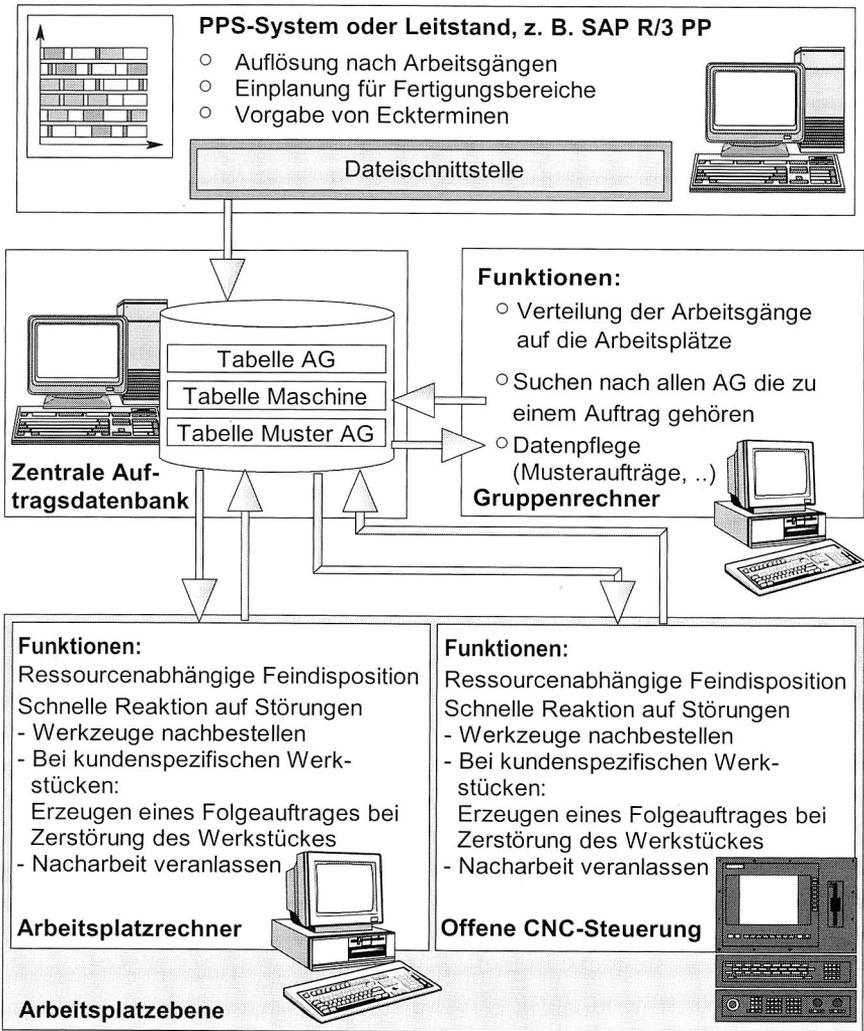


Bild 53: Der Einsatz von MALOM auf Arbeitsplatz- und Gruppenebene

In jedem Fall ist die Störung möglichst schnell über das BDE-System an die überlagerte Produktionsplanung und -steuerung zu melden. Der Ausschuß wird dort verbucht und in der Materialbedarfsrechnung berücksichtigt. Der nachfolgende Auftrag wird, falls dies noch nicht erfolgt ist, vom PPS-System erzeugt und grob terminiert.

Bei einer Lagerfertigung entsteht durch die Zerstörung eines Werkstückes im Los kein unmittelbarer Handlungsbedarf.

Für jeden Arbeitsplatz wird eine Arbeitsplatzkartei und eine Arbeitsplatzpoolkartei verwaltet. Alle neuen Aufträge werden vom Gruppenrechner oder von anderen Arbeitsplätzen aus zunächst in die Auftragspoolkartei geschoben. Die Einplanung der Arbeitsgänge in die Arbeitsplatzkartei darf nur der Facharbeiter vor Ort durchführen. Auf die eingeplanten Arbeitsgänge an einer Maschine hat ausschließlich der verantwortliche Mitarbeiter Zugriff. Dadurch kann verhindert werden, daß Arbeitsgänge, für die an einem Arbeitsplatz Ressourcen bereitgestellt wurden, plötzlich von einem anderen Mitarbeiter reserviert werden. Tritt ein Störfall auf, oder bittet ein Mitglied der Fertigungsgruppe um die Herausgabe eines eingeplanten Arbeitsschrittes, so kann dieser vom zuständigen Arbeitnehmer an der Maschine in eine der Poolkarteien transferiert und damit freigegeben werden.

Jedes Gruppenmitglied ist berechtigt, Aufträge aus dem Auftragspool eines anderen Arbeitsplatzes oder aus dem Gruppenarbeitspool in seinen Auftragspool zu transferieren, entsprechend einzuplanen und zu erledigen.

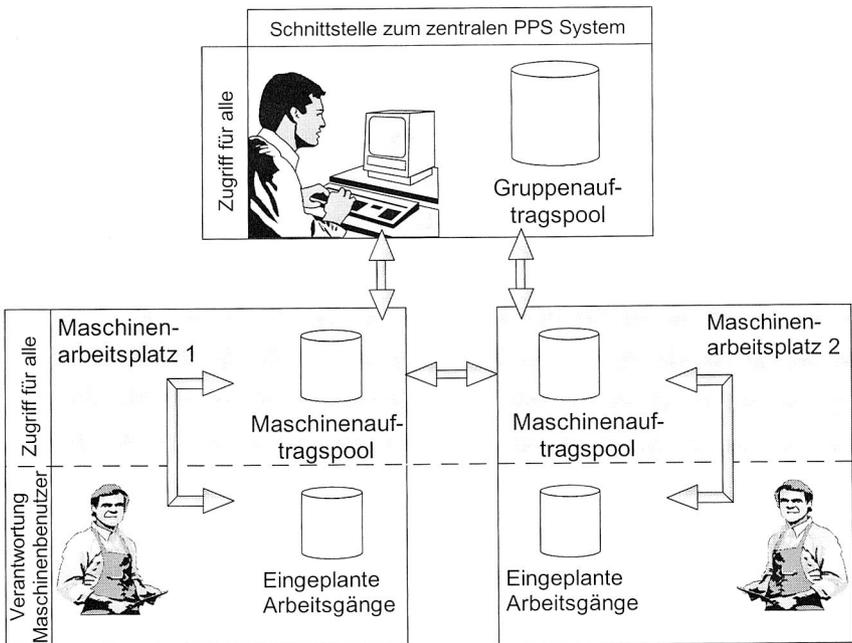


Bild 54: Regelung der Zugriffsrechte durch arbeitsplatzspezifische Poolkarteien

## 5.2.2 Visualisierung der Arbeitsgangreihenfolge

Plantafeln eignen sich vorwiegend für die graphische Darstellung einer Auftragsreihenfolge in Planungsbereichen mit vielen Arbeitsplätzen. Als Darstellungsform für die Reihenfolge der Fertigungsaufträge in MALOM wurde daher bewußt auf die Darstellung der Auftragsreihenfolge in Form einer Plantafel verzichtet. Statt dessen wird an den Arbeitsplätzen vorherrschende Karteikasten, der die Auftragszettel enthält, nachgebildet.

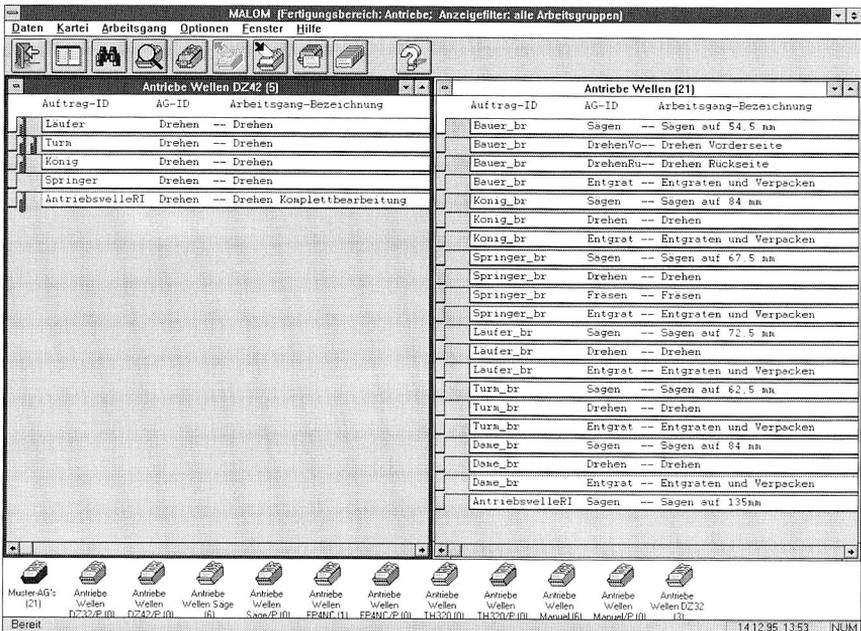


Bild 55: Benutzeroberfläche von MALOM

Im Hauptmenü werden alle derzeit geladenen Auftragskarteien dargestellt. Die in Klammern gesetzte Zahl hinter der Bezeichnung der jeweiligen Auftragskartei steht für die Anzahl der Arbeitsgänge, die sich zum Zeitpunkt der letzten Aktualisierung des Datenbestandes in dieser Kartei befinden. Durch das Anwählen eines Arbeitsganges können detaillierte Informationen über die Art und die terminlichen Rahmenbedingungen angezeigt werden.

Neben den im Karteikartenkopf sichtbaren Arbeitsgangdaten und der Zuordnung zu einem Fertigungsauftrag werden auch der gegenwärtige Status und die Dringlichkeit

eines jeden, im AG-Warteschlangen-Fenster enthaltenen Fertigungsschrittes angezeigt. Dies geschieht mittels verschiedenfarbiger Büroklammersymbole, die am Rand einer Karteikarte eingeblendet werden. Dabei sind Kennzeichnungen für Eilaufträge, vollständig verfügbare Ressourcen, AG in Bearbeitung und AG beendet verfügbar.

Eine Karteikarte, die durch ein farbiges Symbol als ausführbar gekennzeichnet ist, kann gleichzeitig auch eine Dringend-Kennzeichnung (rote Symbol) besitzen. Dagegen können Arbeitsgänge mit dem Status 'beendet' oder 'in Bearbeitung' nicht mit dieser zusätzlichen roten Klammer versehen werden.

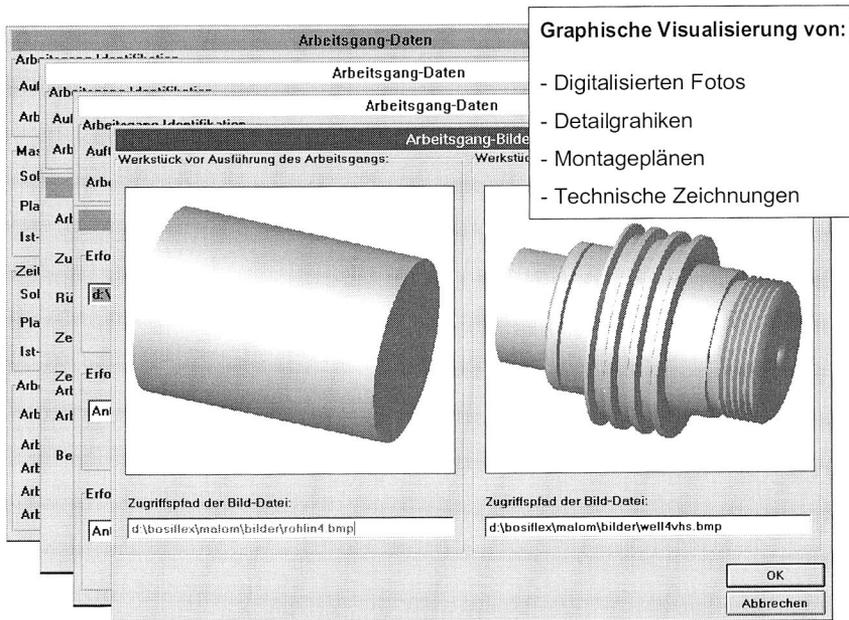


Bild 56: Graphische Informationen zu einem Arbeitsgang

Zu jedem Arbeitsgang können detaillierte Informationen durch Anwählen dargestellt werden. Dabei stehen Daten bezüglich der Identifikation eines Arbeitsganges, der Zuordnung des Arbeitsganges zu einem Fertigungsauftrag, der Losgröße, der Termine, der benötigten Ressourcen und zusätzlich graphische Informationen zur Verfügung. In zwei Bildern, die beispielsweise den Zustand des Werkstücks vor und nach der Ausführung des Arbeitsganges darstellen, ist die Bereitstellung anschaulicher Arbeitsanweisungen möglich. Dazu können sowohl digitalisierte Fotos, als auch mit einem CAD-System erzeugte Bilder eingesetzt werden. Insbesondere bei

einer flexiblen Fertigung mit häufigen Rüstvorgängen trägt dies zu einer Reduzierung der Fehler bei. Alternativ ist die Abbildung von Montageanweisungen oder von Stücklisten möglich. Die Identifizierung des Graphikfiles erfolgt durch Eingabe des Pfades und des Filenamens.

### 5.2.3 Überprüfen der Ressourcenverfügbarkeit

Die wesentlichen Kriterien für die Ausführbarkeit eines Arbeitsganges in der Teilefertigung sind neben der Verfügbarkeit einer Werkzeugmaschine, das Vorhandensein der zu bearbeitenden Werkstücke, der Werkzeuge und der Fertigungsinformationen.

Arbeitsgang-Daten

Arbeitsgang-Identifikation

Auftrag-ID: AntriebswelleRI Auftrag-Splitt

Arbeitsgang-ID: Drehen Duplo-Nummer: .. Arbeitsgang-S

Arbeitsgang-Ressourcen

Erforderliche Betriebsmittel:  OK

d:\bosiflex\malom\bilder\antriRI.txt

Erforderliche NC-Programme:  OK

AntriebswelleRI NC

Erforderliche Rohteile:  OK

AntriebswelleRI AG Sägen

OK

Ressourcenprüfung für:

- NC-Programme
- Werkzeuge
- Werkzeugdaten
- Spannmittel
- Rohteile

Bild 57: Visualisierung der Querverweise auf die Ressourcendaten

Als Hilfestellung für die Überprüfung der Ressourcen werden dem Anwender Zeichenketten als Querverweise zur Verfügung gestellt. Dabei werden Betriebsmittel, NC-Programme und Material unterschieden. Durch Markieren eines Querverweises und kopieren über die Windows-Zwischenablage können diese Zeichenketten in andere Applikationen, wie beispielsweise ein NC-Programmverwaltungssystem einge-

fügt werden. In diesem kann dann sehr komfortabel und ohne die Gefahr von Fehleingaben das zur Ausführung des Arbeitsganges benötigte NC-Programm identifiziert werden. Stehen die einzelnen Ressourcen am Arbeitsplatz bereit, kann der Benutzer von MALOM dies in der Maske bestätigen. Wurden alle Ressourcen bestätigt, ist der Arbeitsgang „ausführbar“. In der Übersicht erscheint eine mit einem grünen Klammersymbol gekennzeichnete Karteikarte.

#### **5.2.4 Softwarestabilität und Notlaufeigenschaften**

Erfahrungen haben gezeigt, daß sich bei der Benutzung des Betriebssystems Microsoft Windows gelegentlich Abstürze in Verbindung mit dem Verlust der im Hauptspeicher befindlichen Daten ereignen können. Die Akzeptanz, die ein Produktionsmitarbeiter einer Steuerungssoftware gegenüber aufbringt, wird nicht zuletzt von deren Zuverlässigkeit bestimmt. Um der möglichen Ablehnung zu begegnen und die Aktualität der Datenbasis für andere Arbeitsplätze sicherzustellen, werden nach jeder Änderung der Auftragsdaten diese in der Datenbank aktualisiert. Zusätzlich beinhaltet das Auftragsplanungssystem MALOM eine zyklisch ablaufende Datensicherungs- und Aktualisierungskomponente. In einem einstellbaren Zeitraster greift sie auf die Datenbank zu und aktualisiert die angezeigten Informationen. Zusätzlich wird ein Abbild des Speichers zyklisch auf die Festplatte des Maschinenrechners geschrieben. Für den Fall, daß die Verbindung zum zentralen Auftragsdatenserver abreißt, werden die modifizierten Daten lokal zwischengespeichert. Zu einem späteren Zeitpunkt kann die Datenbank aktualisiert werden. Dazu müssen allerdings einige Überprüfungen, die den Fortschritt der Fertigung berücksichtigen, durchgeführt werden.

Wird MALOM ordnungsgemäß beendet und sind alle modifizierten Datensätze in der Datenbank gespeichert, so wird als letzter Schritt die Sicherungsdatei auf dem Maschinenrechner gelöscht.

### **5.3 Rückmeldung der Maschinen- und Betriebsdaten**

In Verbindung mit der Feinplanung der Fertigungsaufträge für den eigenen Arbeitsplatz benötigt der Facharbeiter an der Maschine Informationen, welchen Fertigungsstand Zulieferteile erreicht haben, beziehungsweise, ob Arbeitsgänge aufgrund von Maschinenstörungen nicht ausgeführt werden können. Für die Informationsrückführung aus der Fertigung wird mit WINBDE<sup>6</sup> ein am Markt verfügbares Softwarepaket eingesetzt. Voraussetzung für diese Funktion ist eine vollständige Vernetzung

---

<sup>6</sup> WINBDE ist ein Produkt der Fa. Siemens AG

aller Arbeitsplätze und die durchgängige Erfassung von Maschinen- und Betriebsdaten.

Ein zentraler Acquisition-Server sammelt die zurückgemeldeten Daten und stellt sie für weitere Auswertungen zur Verfügung. Der Server verfügt über eine Dateischnittstelle, die den aktuellen Planungsstand von einem PPS-System übernimmt. Die Formate der Auftragsdaten sind an die von SAP R/3 PP angelehnt. Über diese Schnittstelle kann sehr einfach die Verbindung zu dem maschinennahen Lean Order Manager realisiert werden. Dies stellt den entscheidenden Grund für die Auswahl von WINBDE dar. Nach der Feindisposition durch MALOM werden WINBDE die Auftragsdaten zur Verfügung gestellt.

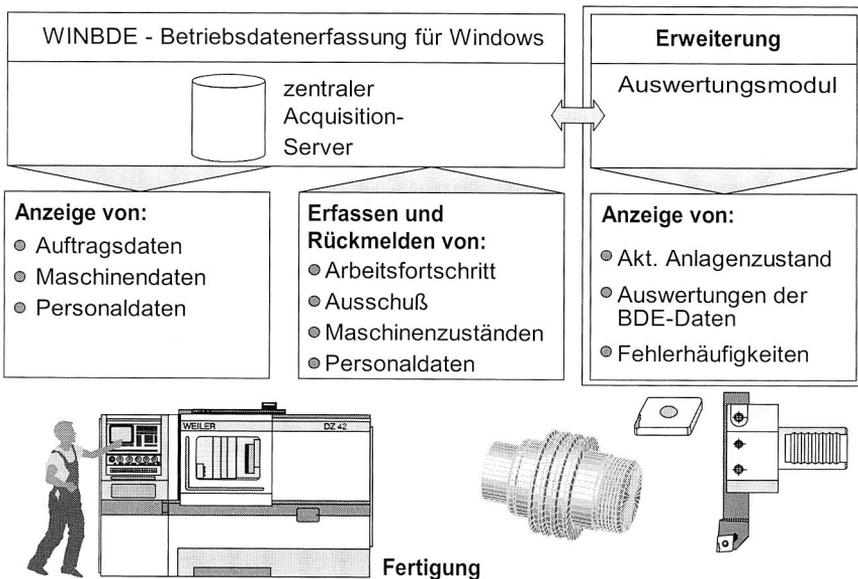


Bild 58: Funktionen von WINBDE

Am Maschinenarbeitsplatz erfolgt zuerst die Identifikation des Benutzers von WINBDE über eine Loginprozedur mit Paßwortabfrage oder über die Anbindung eines Magnetkartenlesegerätes. Die Anzeige der Auftragsdaten, sowie einer Maschinen- und Personalliste liefert den Überblick zu allen verfügbaren Informationen.

Danach können Aufträge an Maschinen angemeldet, Rüstvorgänge ausgelöst oder eine Maschinenstörung zurückgemeldet werden. Ebenso kann der Mitarbeiter den Beginn und das Ende eines Dienstganges melden, oder das Ende seiner Tätigkeit

für die aktuelle Schicht anzeigen. Der Arbeitsfortschritt und die Anzahl fehlerhafter Teile werden durch einen Benutzerdialog erfaßt und dem zentralen Server gemeldet.

Auf Basis der mit WINBDE erfaßten Informationen aus der Produktion bieten BDE-Auswertungsmodule die Möglichkeit den aktuellen Zustand der Produktion an einer höheren Ebene zu visualisieren und Trends der Produktion über einen längeren Zeitraum zu ermitteln. In der Regel stehen diese Auswertungen nur auf der Fertigungsleitebene zur Verfügung. Im Rahmen des BOSIFLEX-Konzeptes ist ein Auswertungstool entstanden, das unter dem Betriebssystem Windows auch auf dem Gruppenrechner und den Arbeitsplatzrechner ablauffähig ist. Damit ist einerseits der Vergleich zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen bezüglich deren Leistungsfähigkeit möglich, andererseits kann die Auswertung und die Berechnung der mittleren Auslastung in einer Arbeitsgruppe dazu verwendet werden, den sportlichen Ehrgeiz der Mitarbeiter zu wecken und sie zum Erreichen niedriger Stillstandszeiten der Maschinen zu motivieren. Exemplarisch dafür steht die Komponente Zustandsanalyse, die den Anteil der Arbeitsplätze einer Arbeitsgruppe an der mittleren Verfügbarkeit der mittleren Auslastung über den Zeitraum von einer Woche auswertet (Bild 60).

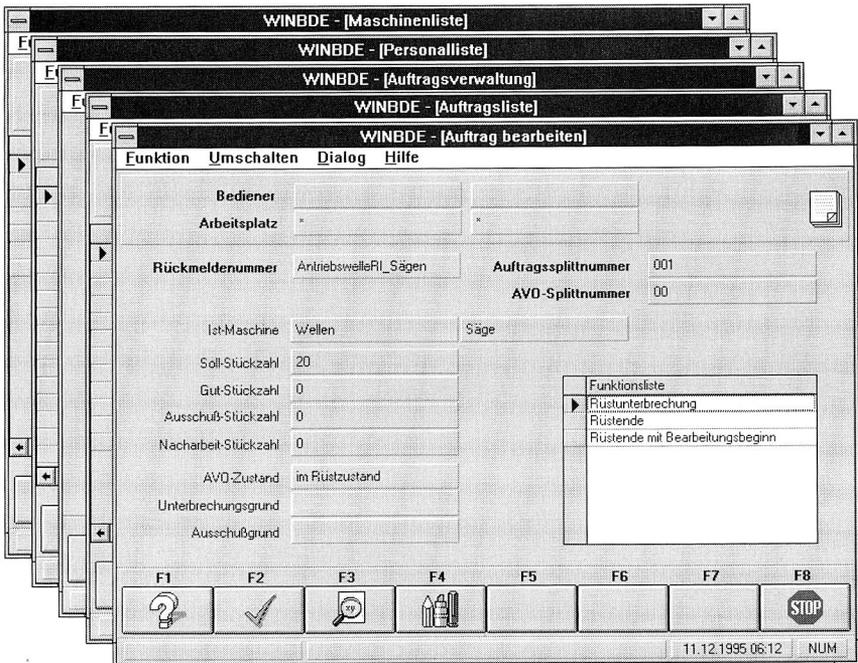


Bild 59: Benutzeroberfläche von WINBDE

Darüber hinaus können Analysen über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Voraussetzung für eine sinnvolle Vergleichbarkeit der Daten ist allerdings ein Fertigungsspektrum, das in definierten Zeitabständen in einer ähnlichen Ausprägung wiederkehrt. Bei einer hochflexiblen Fertigung ist dies nicht gegeben.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß der Aufwand für die manuelle Erfassung von Maschinen- und Betriebsdaten erhebliche Ausmaße annehmen kann. Von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Daten ist die Disziplin der Mitarbeiter bei deren Eingabe. Die Sammlung der Daten macht vor allem dann Sinn, wenn die Informationen aus der Produktion konsequent bei der Fertigmeldung der Aufträge an das PPS-System und bei der Nachkalkulation genutzt werden. Ebenso dürfen die zusätzlichen Motivierungsmöglichkeiten, die die Auswertungen erschließen, nicht vernachlässigt werden. Der optimale Nutzen einer Betriebsdatenauswertung ergibt sich, wenn, Ansätzen in der Halbleiterindustrie folgend [34], nicht nur die Maschinenlaufzeiten, sondern auch der Durchsatz und die Qualität der Werkstücke betrachtet werden.

#### Nutzen der Anzeige der Auswertungen am Arbeitsplatz in der Fertigung:

- Transparenzverbesserung
- Akzeptanzsteigerung
- => Bessere Qualität der eingegebenen Daten
- Datenbasis für Optimierung

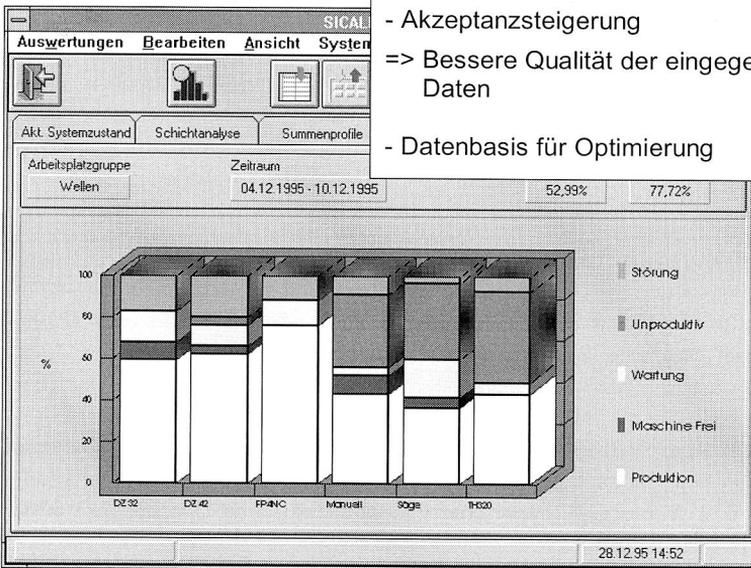


Bild 60: Visualisierung der Maschinenauslastung für einen Fertigungsbereich

## **6 Integrierte NC-Programm- und Betriebsmitteldatenhandhabung**

Wesentlicher Bestandteil einer effizienten und flexiblen Werkstattfertigung ist die schnelle Verfügbarkeit aller aktuellen Informationen, die in der Produktion benötigt werden. Beim Einsatz von CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen gehört dazu insbesondere der Zugriff auf die NC-Programme und die Werkzeugdaten. Im Falle einer werkzeugbedingten Störung der Produktion entscheidet die Geschwindigkeit, mit der ein Werkzeug inklusive seiner Daten nachgeliefert werden kann, über die Stillstandszeit der Werkzeugmaschine. Darüber hinaus erschließt die Integration der NC-Programmerstellung in die Abläufe einer Werkstattfertigung große wirtschaftliche Vorteile durch die Vermeidung von Fehlern und durch die Einsparung von Zeit, die zum Einfahren neuer Programme benötigt wird.

### **6.1 Zentrale Datenhaltung von NC-Programmen und Betriebsmittelinformationen**

Die Basis einer schnellen und effektiven Bereitstellung von Fertigungsdaten ist die Einrichtung eines zentralen Datenservers, auf den von jedem Arbeitsplatz über einen schnellen Datenübertragungskanal zugegriffen werden kann. Die Aktualität der Informationen wird durch eine redundanzfreie Datenhaltung gewährleistet. Bestehende Fertigungsleitsysteme, wie beispielsweise das FMS 300<sup>7</sup>, verfügen in der Regel über eine zentrale Datenhaltungskomponente für Werkzeuginformationen und NC-Programme.

FMS 300 ist ein modular aufgebautes Fertigungsleitsystem, das auf den Standards UNIX, X Windows und der Datenbank Ingres aufsetzt. Als Komplettpaket für die Fertigung umfaßt es Module zur Handhabung von Betriebsmitteldaten und NC-Programmen, ein MDE/BDE-System, ein Auftragsplanungssystem mit Leitstandfunktionalität sowie eine Zellen- und Materialflußsteuerung. FMS 300 verfügt über definierte Schnittstellen zu MDE-/BDE-Terminals und NC-Steuerungen. Die Bereitstellung eines Ausschnittes der auf der Fertigungsleitebene verfügbaren Daten an DNC-Terminals mit alphanumerischer Anzeige wird von FMS 300 standardmäßig unterstützt. Die Übertragung graphischer Informationen an die Arbeitsplätze in der Produktion ist nicht vorgesehen.

---

<sup>7</sup> FMS 300 ist ein Produkt der Firma Siemens AG

Alle Module dieses Systems kommunizieren über den SIPAX Message Manager<sup>8</sup> miteinander. Der Message Manager ist ein Softwarebus, der es Clients ermöglicht, unter dem Betriebssystem UNIX auf Server zuzugreifen. Diese Verbindung ist sowohl für die lokale Verwendung auf einer Workstation als auch für den Einsatz in einem LAN vorgesehen. Der Message Manager unterstützt Ethernet und das Protokoll TCP/IP. Eine Message Manager DDE-Schnittstelle unter Microsoft Windows bietet eine sehr komfortable Möglichkeit Clients an einen UNIX-Datenserver anzubinden.

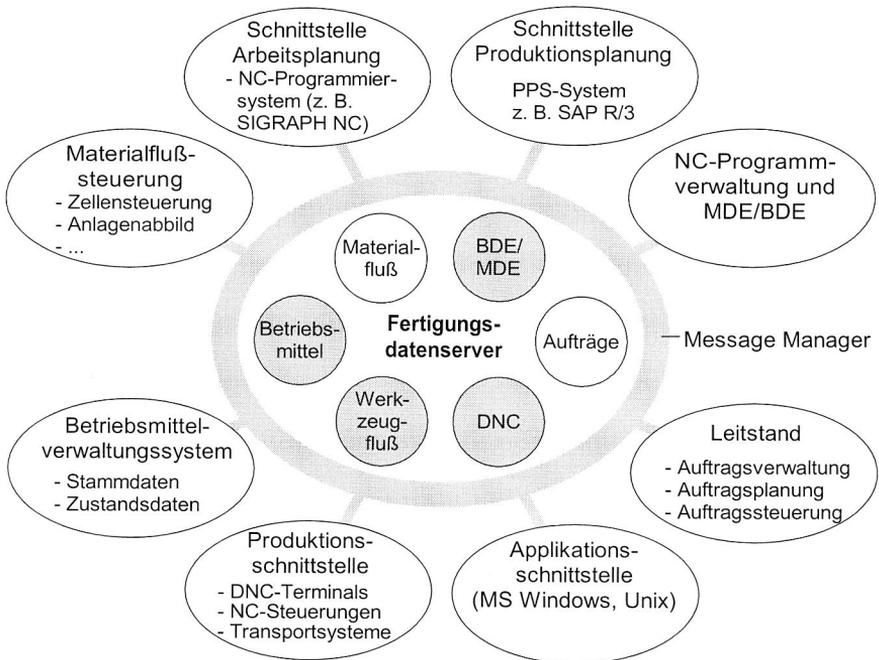


Bild 61: Gesamtstruktur des Fertigungsleitsystems FMS 300

In dem eingesetzten Fertigungsleitsystem, dessen NC-Programm- und Betriebsmittelverwaltungskomponente genutzt wird, stehen definierte Nahtstellenformate für die Server zur Verfügung, um einen bidirektionalen Datenaustausch zwischen den Servern und externen Applikationen zu ermöglichen. Eine projektspezifische Konvertierung der zu transferierenden Daten ist erforderlich.

<sup>8</sup> SIPAX Message Manager ist ein Produkt der Fa. Siemens AG

### 6.1.1 NC-Programmverwaltung

Das NC-Programmverwaltungssystem FMS 300-10 arbeitet dateiorientiert, d. h., daß zu jeder Datei, deren Verwaltung das System übernimmt, zunächst ein Verwaltungsdatenkopf erzeugt und in einer Datenbank abgelegt wird. Der Verwaltungsdatenkopf enthält als Kriterien zur Identifikation einer Datei eine 32-stellige Bezeichnung, eine Datenartkennung und eine Versionsnummer.

Als mögliche Datenarten stehen programmspezifische Werkzeugpläne Einstellunterweisungen, NC-Haupt- und -unterprogramme zur Verfügung. Darüber hinaus sind allgemeine Informationen bezüglich des Loginnamens und der Daten des letzten Zugriffes, sowie eine Freigabekennung, die Maschinengruppe, für die das Programm bestimmt ist, und frei definierbare Kommentarfelder in diesem Kopf enthalten. Die Nettodaten werden jeweils als File in einem definierten Segment der Festplatte unter dem Betriebssystem UNIX gespeichert. Der Querverweis zu diesem File ist für den Benutzer nicht sichtbar.

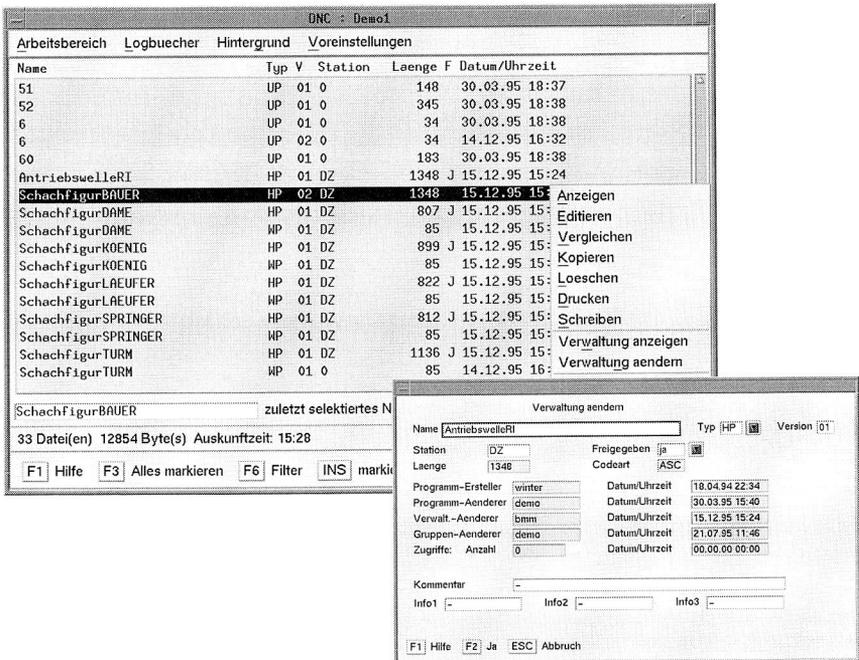


Bild 62: Übersicht zu den zentral verwalteten NC-Programmen in FMS 300-10

Um eine gute Übersicht bei größeren Datenmengen zu gewährleisten, steht eine Filterfunktion zur Verfügung, mit deren Hilfe nur die Programme angezeigt werden, die den im Filter definierten Kriterien genügen. Als Filterkriterien können alle Verwaltungsdaten verwendet werden. Beispielsweise kann die angezeigte Treffermenge auf diejenigen Programme beschränkt werden, die nach einem bestimmten Zeitpunkt erstellt wurden und für eine Maschinengruppe freigegeben sind.

### 6.1.2 Betriebsmittelverwaltung

Das Betriebsmittelverwaltungsmodul des FMS 300-Paketes arbeitet datenbankorientiert. Für die Stammdaten und die Zustandsdaten stehen jeweils eigene Datenbankserver zur Verfügung. Die eindeutige Identifikation der Stammdaten eines Betriebsmittels erfolgt durch die Identnummer, die der Zustandsdaten durch eine Ident- und eine Duplonummer.

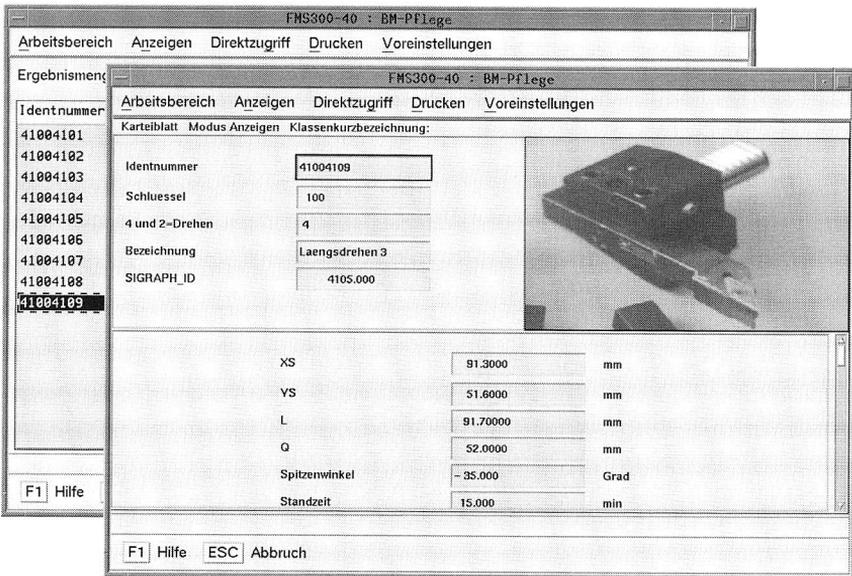


Bild 63: Karteibblatt eines Drehwerkzeuges in der zentralen Verwaltung

Im Karteibblatt eines Betriebsmittels sind neben der Identnummer eine Typbezeichnung im Klartext und die entsprechenden Nutzdaten enthalten. Die Anzeige einer Werkzeugdetailgraphik unterstützt den Benutzer bei der Verwendung der Betriebsmitteldaten. Einfache Zeichnungen haben sich als Graphiken im Gegensatz zu digi-

talisierten Photographien, z. B. aus Katalogen oder Aufnahmen mit einer CCD-Kamera bewährt, da sie zum einen Bezeichnungen enthalten können, die sich in den Nutzdatenfeldern wiederfinden und zum anderen wesentlich weniger Speicherkapazität und Rechenleistung verbrauchen.

### **Klassifikation der Betriebsmittelinformationen**

Zur Verbesserung der Übersicht und um einen schnelleren Zugriff auf die Daten zu gewährleisten werden die Betriebsmittelinformationen klassifiziert. Die Identifikation aller Betriebsmittel und der Klassifizierungsbaum sollte möglichst einfach und intuitiv nachvollziehbar aufgebaut sein. So kann beispielsweise nach Komplettwerkzeugen und Komponenten unterschieden werden. Ebenso sinnvoll ist eine Trennung zwischen Dreh-, Bohr-, Fräs- und Schleifwerkzeugen.

## **6.2 NC-Programmerstellung**

Die maschinenunabhängige, durch graphische Simulation der Bearbeitung unterstützte Erstellung von NC-Programmen bietet, im Gegensatz zur Eingabe eines Programms in dem nach DIN 66025 [16] genormten Code an der NC-Steuerung, Vorteile bei Werkstücken mit komplexen Konturen. Die zu diesem Zweck eingesetzten maschinellen Programmiersysteme benötigen geometrische, technologische und organisatorische Daten für die Berechnung der Verfahrswege und der Zerspanungsparameter. Der Auswahl des richtigen Werkzeuges kommt bei der Planung der Bearbeitung eine besondere Bedeutung zu. Sie stellt einen wirtschaftlichen und störungsarmen Fertigungsablauf sicher.

Herkömmliche NC-Programmiersysteme weisen häufig Defizite in der Unterstützung des Benutzers bei der Auswahl der Werkzeuge für die Planung der Bearbeitung auf. Bezüglich eines gesteigerten Bedienkomforts und der Verhinderung einer redundanten Werkzeugdatenhaltung ist die Verbindung der NC-Programmierung mit einem zentralen Werkzeugverwaltungssystem angezeigt. Insbesondere der Einarbeitungsaufwand für ungeübte Benutzer kann durch eine graphische Unterstützung der Werkzeugauswahl deutlich reduziert werden.

Das zum Einsatz kommende System muß der Anforderung der Verfügbarkeit an allen Arbeitsplätzen in einem Fertigungsbetrieb genügen. Für die Umsetzung des benutzerorientierten Konzeptes wurde das, unter dem Betriebssystem UNIX arbeitende Programmierpaket SIGRAPH NC<sup>9</sup> ausgewählt. Die Übernahme der Werkstückkontur

---

<sup>9</sup> SIGRAPH NC ist ein Produkt der Fa. Siemens AG



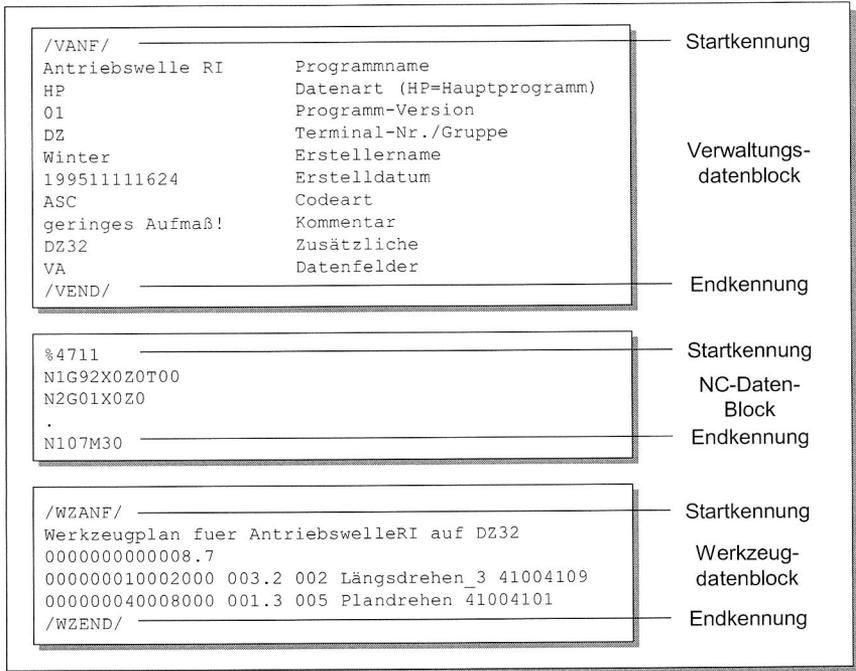


Bild 65: Struktur Ausgabedatei von SIGRAPH NC nach dem Postprocessing

### 6.3 Integration der NC-Programmerstellung in den Datenfluß einer Werkstattfertigung

Einer der Kernpunkte der vorliegenden Arbeit ist der Nachweis des Nutzens der datentechnischen Integration eines zentralen Fertigungsdatenservers. Die exemplarische Kopplung des maschinelle NC-Programmiersystem SIGRAPH NC mit der NC-Programm- und Betriebsmittelverwaltungskomponente des Fertigungsleitsystems FMS 300 stellt dies unter Beweis. Um den Werkzeugfluß auf Werkstattebene zu entlasten, ist die Verwendung einer möglichst geringen Typenvielfalt anzustreben. Die NC-Programmerstellung beeinflusst diese maßgeblich.

Eine Erkenntnis dieser Kopplung ist, daß ein leistungsfähiges Statistikmodul, das den NC-Programmierer über die Anzahl der bisherigen Verwendungen verschiedener Werkzeugtypen informiert, einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung des Werkzeugflusses liefert. Darüber hinaus hilft es bei der Lokalisierung und Liquidierung überflüssiger Betriebsmittelkomponenten.

### 6.3.1 Erweiterung der Betriebsmittelverwaltung um ein Statistikmodul

Rechnergestützte Betriebsmittelverwaltungssysteme dienen dazu, die Übersicht zu den in der Fertigung eingesetzten Werkzeugen, Spann-, Prüf- und Meßmitteln zu verbessern. Beim Einsatz dieser Systeme besteht die Gefahr, daß auf Dauer große Datenmengen durch die Verwaltung von Betriebsmittelinformationen, die z. T. nicht mehr benötigt werden, entstehen. Dies wirkt der verbesserten Übersicht entgegen. Die Implementierung einer statistischen Auswertung gibt dem Benutzer ein Instrument an die Hand, mit dessen Hilfe er die Übersichtlichkeit der Daten erhöhen und bequem Querbeziehungen, wie beispielsweise die Verwendung bestimmter Betriebsmittel in freigegebenen NC-Programmen, transparent machen kann.

Anhand des Betriebsmittelstatistikmoduls werden die datentechnischen Abläufe, die im Hintergrund stattfinden, um dem Benutzer die benötigten Informationen zu liefern, exemplarisch dargestellt.

Die Funktion "Verwendung von Betriebsmitteltypen in NC-Programmen" zielt darauf, den Überblick bezüglich der Verwendungshäufigkeit von BM-Typen im NC-Pro-

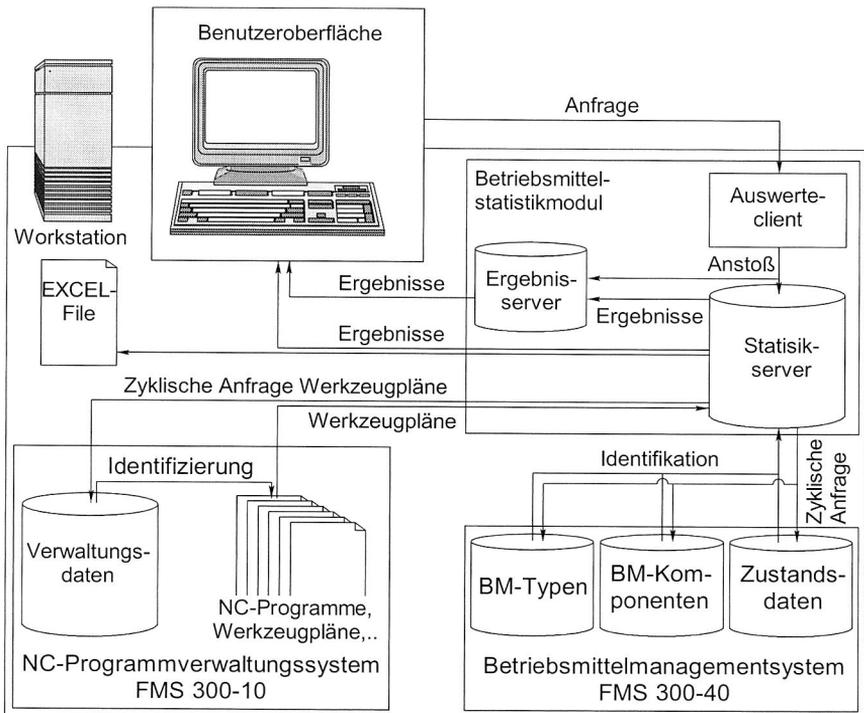


Bild 66: Funktionsweise des Betriebsmittelstatistikmoduls

gramm-Bestand, der zur Produktion freigegeben ist, zu liefern. Dadurch können BM aufgespürt werden, die zur Fertigung des aktuellen Auftragspektrums nicht mehr, bzw. selten benötigt werden. Die Datensätze von nicht mehr benötigten Betriebsmitteltypen sollten auf einem Sekundärspeicher gesichert und dann aus der aktiven Datenhaltung gelöscht werden.

Anschließend kann der Benutzer den Zustandsdatenserver nach montierten und im Kreislauf befindlichen Exemplaren, nicht mehr benötigter Betriebsmitteltypen, durchsuchen. Diese werden unter Nennung des Lagerortes in tabellarischer Form ausgegeben. Dem Anwender bleibt das weitere Vorgehen überlassen.

Die Funktion "Verwendungsnachweis für Betriebsmittelkomponenten" ermittelt aus dem Bestand der Betriebsmittelkomponenten diejenigen, die zur Montage des aktuellen Bestandes an Betriebsmitteltypen nicht erforderlich sind. Der Einsatz dieser Funktion empfiehlt sich im Anschluß an die Ausführung der zuvor beschriebenen Funktionen. Erst durch die Reduzierung des Bestandes von Betriebsmittelkomponenten können Lagerkosten und zusätzlich unnötige Kapitalbindung verringert werden. Der Umfang der nötigen Datenhaltung wird gesenkt.

Um diese Funktionen zu realisieren werden Informationen aus dem NC-Programmverwaltungs- und dem Betriebsmittelverwaltungssystem benötigt. Die Ergebnisse von Anfragen durch den Benutzer können in einem Ergebnisserver gespeichert, in

Identnummer	Bezeichnung	Anzahl
11001102	Zentrierer 10mm	3
11001103	Zentrierer 2,5mm R	9
11001104	Zentrierer 4mm	0
12001201	Kurzbohrer 5mm	1
12001202	Kurzbohrer 5mm R	7
12001203	Bohrer 16mm	2
15001501	Bohrstange 80	4
15001502	Innengewinde	2
16001601	Gewindebohrer M6	5
16001602	Gewindebohrer M6 R	7
53005301	Schaftfräser 10mm	3
53005302	Schaftfräser 2,5mm	1
53005303	NC-Anbohrer	1
54305431	Kugelkopf 8mm	1
41004101	Laengsdrehen -15	2
41004102	Laengsdrehen -45	9
41004103	Laengsdrehen 7	1
41004104	Laengsdrehen Lnk3	9
41004105	Laengsdrehen 3	7
41004106	Laengsdrehen -17,5	1

72 (72) Datensätze gefunden.

F1 Hilfe ESC Abbruch

Bild 67: Visualisierung der Verwendung von verwalteten Betriebsmitteltypen

ein für Microsoft Excel lesbares File ausgegeben oder an der Bedienoberfläche zur Anzeige gebracht werden.

Das Hauptziel des Statistikmodules für die Betriebsmittelverwaltung ist die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Fertigung. Im einzelnen kann dies erreicht werden durch die

- Reduzierung der Teilevielfalt bei Betriebsmitteln,
- Reduzierung der Bestände pro Typ,
- Reduzierung der Betriebsmitteltransportvorgänge,
- Reduzierung der Kapitalbindung,
- Reduzierung der Störungen,
- Reduzierung der notwendigen Betriebsmittellagerfläche,
- Steigerung der Fertigungsqualität und Erzeugen von Qualitätsdaten,
- Steigerung der Transparenz in der Fertigung,
- Steigerung der Zugriffsgeschwindigkeiten auf Betriebsmittel und deren Daten und
- Reduzierung der zu verwaltenden Datenmengen.

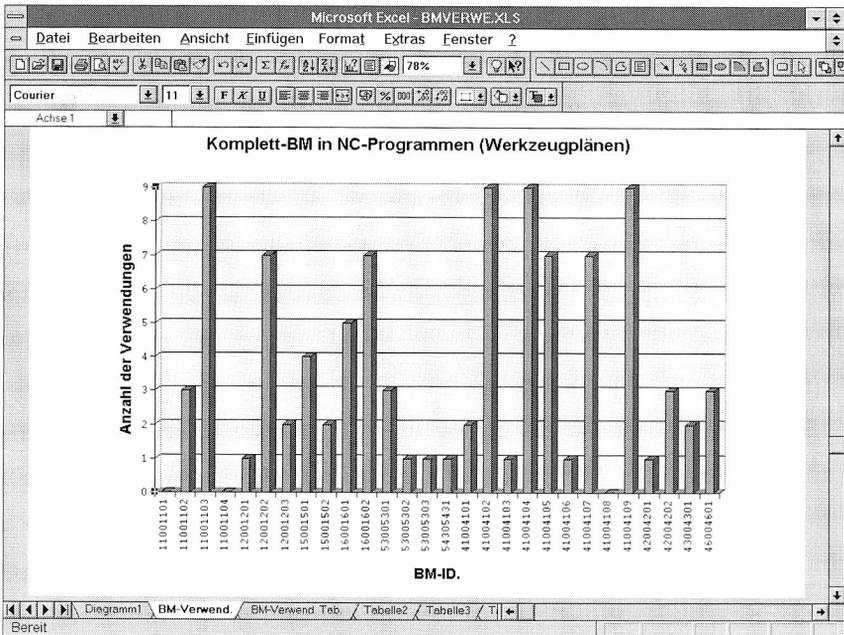


Bild 68: Graphische Veranschaulichung der Verwendungshäufigkeit von Betriebsmitteltypen in NC-Programmen mit Microsoft Excel

### 6.3.2 Kopplung eines NC-Programmiersystems und eines zentralen Betriebsmittelverwaltungssystems

Bei den am Markt verfügbaren maschinellen NC-Programmiersystemen steht die Verwaltung der Werkzeuge und der Betriebsmittel nicht im Brennpunkt des Interesses der Anbieter. Als Möglichkeit wird allenfalls eine Komponente angeboten, die eine Verwaltung von Werkzeuginformationen in einer möglichst einfachen Form in einem systemspezifischen Format ermöglicht.

Ein Beispiel für diesen Sachverhalt ist das NC-Programmiersystem SIGGRAPH NC. Während der Planung einer Bearbeitung benötigt es geometrische, technologische und organisatorische Informationen zu den Werkzeugen, die eingesetzt werden sollen. Standardmäßig können diese Daten in einer ASCII-Datei abgespeichert werden. Die einzige Möglichkeit, eine Übersicht bezüglich der vorhandenen Informationen zu erhalten, besteht im Editieren dieser Datei. In einem typischen Fertigungsbetrieb mittlerer Größe ist der Einsatz von 5000 verschiedenen Werkzeugtypen keine Seltenheit. Das Abspeichern von 5000 Werkzeugdatensätzen in einer ASCII-Datei erschwert die Übersicht und verlängert die Zugriffszeiten auf den einzelnen Datensatz so sehr, daß ein sinnvolles Arbeiten nicht mehr möglich ist.

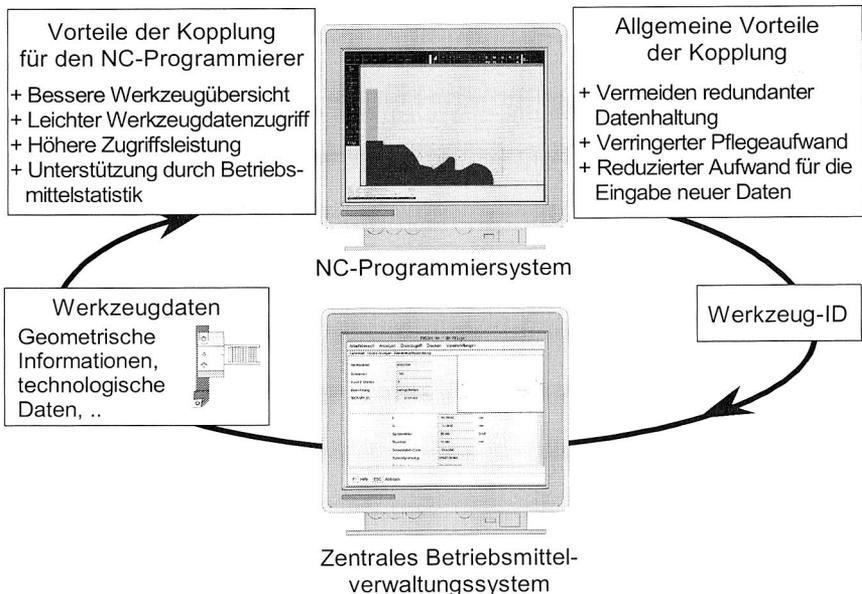


Bild 69: Kopplung des NC-Programmiersystems SIGGRAPH NC und des zentralen Betriebsmittelverwaltungssystems FMS 300-40

Als Abhilfe stellt ein Kopplungsclient im Hintergrund eine Online-Verbindung zwischen SIGGRAPH NC und dem Betriebsmittelmanagementsystem FMS 300-40 her. Der NC-Programmierer sucht mit Hilfe der komfortablen Benutzeroberflächen des BMM-Systems ein, für den zu planenden Arbeitsschritt geeignetes Werkzeug aus, markiert die Identifikationsnummer, springt zurück in das Programmiersystem und fügt sie durch das Betätigen der mittleren Maustaste ein. Nachdem der Programmierer die SIGGRAPH-Maske bestätigt hat, greift der Kopplungsclient auf die Datenbank zu und überträgt alle relevanten Daten an das Programmiersystem.

Insbesondere in Anbetracht der Tendenz einer zunehmenden Werkzeugtypenvielfalt erleichtert und beschleunigt die Anbindung eines NC-Programmiersystems an einen zentralen Betriebsmitteldatenserver sowohl die Auswahl des richtigen Werkzeuges, als auch den Zugriff auf die benötigten Werkzeugdaten. Ein positiver Nebeneffekt ist die Einsparung von Eingabeaufwand und von Eingabebefehlern durch das beschriebene Kopieren und Einfügen der Identifikationsnummer.

### **6.3.3 Kopplung der zentralen NC-Programmverwaltungskomponente mit einem NC-Programmiersystem**

Bei der Erstellung von NC-Programmen mit einem maschinellen NC-Programmiersystem werden in der Regel Verwaltungsinformationen wie beispielsweise der Name des Programmierers oder das Erstellungsdatum erfaßt. Diese Informationen sind für die Zuordnung der Verantwortlichkeiten in einer zentralen NC-Programmverwaltung von Bedeutung. Zusätzlich zum NC-Programm ist die Erzeugung von Werkzeugplänen und Einstellunterweisungen möglich.

Die Kernforderungen für die Realisierung der Nahtstelle sind die vollständige und fehlerfreie Übertragung der vom Programmiersystem gelieferten Informationen in die NC-Programmverwaltung und die leichte Anpaßbarkeit an verschiedene Formate. Das automatisierte Erzeugen des Verwaltungsdatenblockes und das Einlesen als Hintergrundprozeß stellen an die Performance des Vorganges geringe Ansprüche.

Eine als UNIX-Shellskript implementierte Nahtstelle genügt den skizzierten Anforderungen am besten. Der Systemverantwortliche kann ohne Eingriff in das Programmiersystem die notwendigen Anpassungen durchführen, die bei der Verwendung eines anderen NC-Programmverwaltungssystems oder beim Einspielen einer neuen Softwareversion erforderlich sind.

Das Programmiersystem SIGGRAPH NC liefert nach dem Postprozessorlauf ein File, in dem das NC-Programm nach DIN 66025, die Verwaltungsinformationen, der Werkzeugplan und die Einstellunterweisungen enthalten sind. Die Nahtstelle trennt dieses File in die vier Datenblöcke. Der Verwaltungsdatenblock wird konvertiert und

in die NC-Programmdatenbank eingelesen. Jeder der anderen drei Datenblöcke wird mit diesem Verwaltungskopf, der eine Identifikation enthält, in die NC-Programmverwaltung aufgenommen, wobei lediglich die Datenartkennung modifiziert wird. Dadurch ist sichergestellt, daß der Zusammenhang zwischen den zusammengehörenden Informationen nicht verloren geht.

Die Verbindung des NC-Programmiersystems mit der NC-Programmverwaltung leistet einen wesentlichen Beitrag zu einer effektiven zentralen Verwaltung aller NC-Daten.

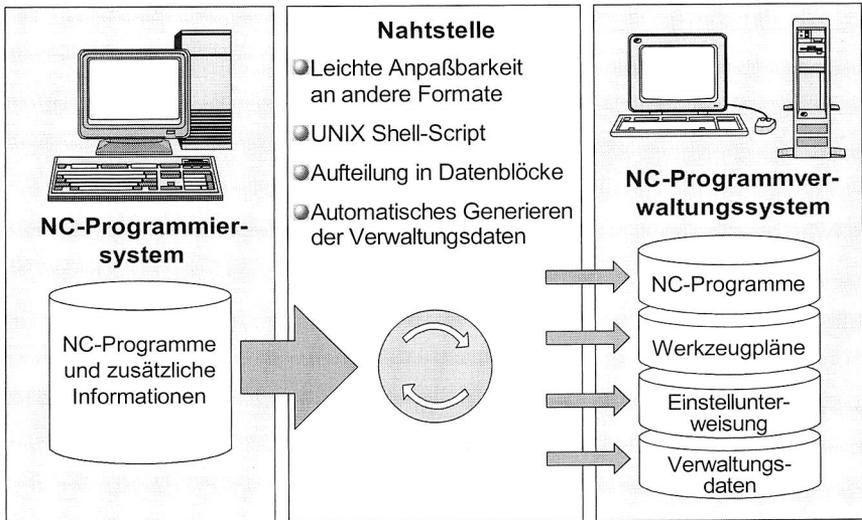


Bild 70: Kopplung der NC-Programmierung und der NC-Programmverwaltung

## 6.4 Bereitstellung zentral verfügbarer NC-Programme und Werkzeugpläne an einer offenen CNC-Steuerung

Die Tendenz zu einer steigenden Produktkomplexität bei einer größeren Variantenvielfalt läßt die Anzahl und die Größe der, in der Fertigung verwendeten NC-Programme deutlich ansteigen. Damit nimmt die Bedeutung einer zentralen NC-Programmverwaltung und die Schaffung schneller Datenübertragungsstrecken zu den CNC-Steuerungen deutlich zu.

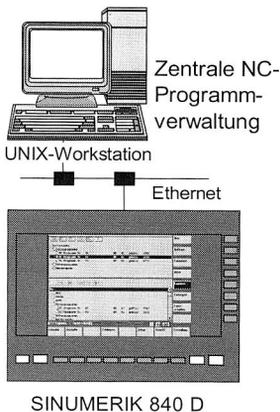
Die Anbindung konventioneller CNC-Steuerungen an einen zentralen Datenserver erfolgt heute meist durch ein zwischengeschaltetes DNC-Terminal. Der Facharbeiter an der Maschine kann durch das Auslösen eines Bedienvorganges am DNC-Terminal ein NC-Programm vom zentralen Datenserver in den Hauptspeicher des Ter-

minals übertragen. Anschließend muß er die Maschinensteuerung in Empfangsbereitschaft versetzen und nach der Eingabe eines weiteren Befehls am DNC-Terminal das Programm über eine V.24-Schnittstelle in den Hauptspeicher der Werkzeugmaschine transferieren. Die typische Datenübertragungsrate bei einer V.24-Verbindung beträgt nur 19200 Bit/s, während Ethernet üblicherweise 10 MBit/s zuläßt. Aufgrund der Tatsache, daß bei einer Ethernet-Verbindung meist mehrere Teilnehmer gleichzeitig Datenpakete senden ist die Datenübertragungsrate deutlich größer als bei seriellem Datentransfer, das theoretische Verhältnis von 500 wird in der Praxis jedoch nicht erreicht.

Der direkt Zugriff von einer CNC-Steuerung auf zentral verwaltete NC-Programme mittels Ethernet, der nur Bedienvorgänge am Bedienfeld der Werkzeugmaschine erfordert, stellt aus aktueller Sicht die optimale Lösung dar.

Die **Maschinennahe NC-Programmverwaltung für offene Steuerungssysteme (MASNOST)** ermöglicht dies. Die Speicherung eines lokalen Datenbestandes, die durch die Einbindung des Datenhaltungsservers der SINUMERIK 840 D gewährleistet ist, stellt sicher, daß auch bei einem kurzzeitigen Ausfall der Netzwerkverbindung oder des zentralen Datenservers die Produktion weiterläuft. Die Übertragung kann vollständig durch Aktionen am Bedienfeld der offenen Steuerung ausgelöst werden. Die Beschaffung eines zusätzlichen DNC-Terminals entfällt.

### Funktionen der maschinennahen NC-Programmverwaltung für offene Steuerungen MASNOST



- Direktverbindung mit dem Leitrechner über Ethernet
- Übertragung von Hauptprogrammen, Unterprogrammen, Werkzeugplänen und Einstellunterweisungen
- Bidirektionaler Datenaustausch
- Individuelle Suchfilter (Programmname, Arbeitsplatzbezeichnung, Programmierer, ...)
- Anbindung des Datenhaltungsservers der Sinumerik 840 D
- Klartextbezeichnung des NC-Programms

Bild 71: Hauptfunktionen der NC-Programmverwaltung für offene Steuerungssysteme

MASNOST ermöglicht durch die Konfiguration eines Filters bestimmte Sichten auf den Gesamtdatenbestand des Datenservers. Beispielsweise ist die Beschränkung der Anzeige auf alle NC-Programme möglich, die für einen Maschinentyp freigegeben sind. Dies verbessert die Übersicht. Grundsätzlich können NC-Programme, Werkzeugpläne und Einstellunterweisungen in die Steuerung einer Werkzeugmaschine übertragen werden. Die Rückübertragung der an einer CNC aktualisierten Daten erfolgt auf derselben Strecke. Das Überschreiben vorhandener Datensätze wird durch das Anlegen einer neuen Versionsnummer bei sonst gleichen Identifizierungskriterien verhindert. Zu einem Datensatz können maximal 99 Versionen verwaltet werden.

Gegenüber der Anbindung von konventionellen Steuerungen an einen zentralen Datenserver mittels eines zwischengeschalteten DNC-Terminals ist MASNOST in Verbindung mit einer offenen CNC überlegen. Der vereinfachte Bedienablauf, der Wegfall zusätzlicher Hardwareinvestitionen, die höhere Datentransfergeschwindigkeit, sowie der verbesserte Überblick durch die Bereitstellung eines Verwaltungsdatenkopfes und der Klartextbezeichnung zu jedem Programm stehen beispielhaft für die Vorteile.

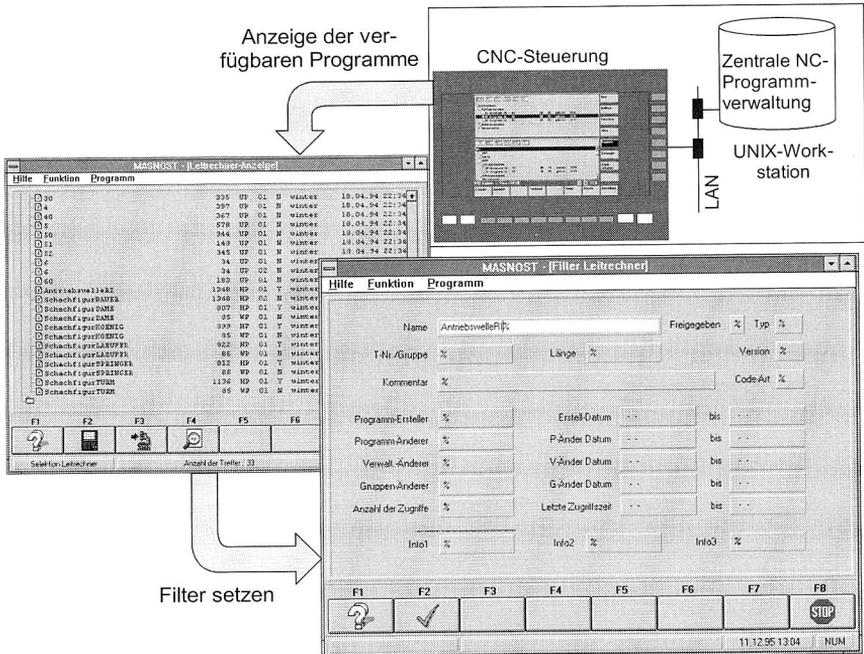


Bild 72: Auswahlfilter zur Selektion der NC-Programme

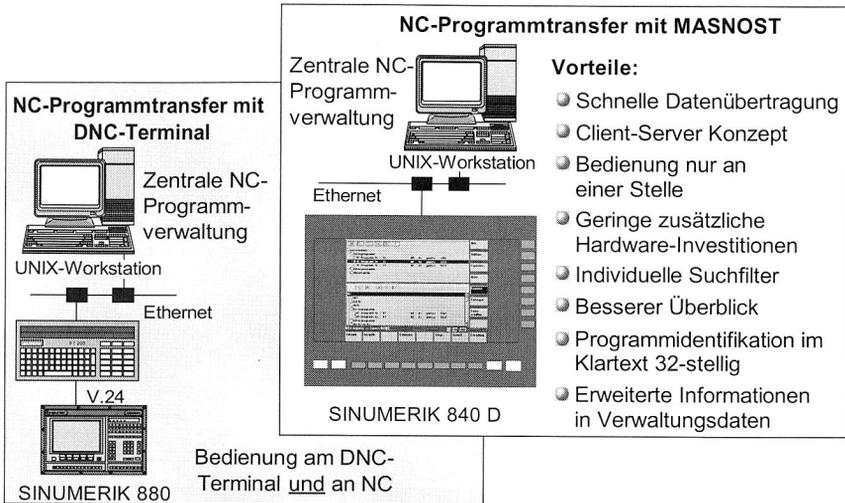


Bild 73: Nutzen der maschinennahen NC-Programmverwaltung für offene Steuerungssysteme (MASNOST)

## 6.5 Maschinennahe Werkzeugverwaltung für ein offenes Steuerungssystem

An CNC gesteuerten Werkzeugmaschinen werden geometrische Korrekturwerte für alle Werkzeuge, die sich im Magazin der Maschine befinden, verwaltet. Da jedes Werkzeug eine unterschiedliche Länge aufweist muß diese der Steuerung bekannt sein, um Kollisionen beim Anfahren eines Werkstückes zu vermeiden. Als einfachste Form einer Werkzeugüberwachung ist häufig eine Standzeitmitführung realisiert.

Die Zuordnung der Korrekturwerte und der Standzeiten zum Werkzeug erfolgt in der Regel über den Magazinplatz. Alternativ ist die Verwaltung einer Werkzeugtypenidentifikationsnummer in Verbindung mit einer Duplonummer möglich. Bei abgelaufener Standzeit kann damit auf das nächste baugleiche Werkzeug im Magazin einer Maschine zugegriffen werden.

Das maschinennahe Werkzeugverwaltungsmodul für offene Steuerungen (MA-WOST) bietet dem Anwender, im Gegensatz zu CNC-Steuerungen, die nicht über einen integrierten Personal Computer verfügen, zusätzlich eine umfangreiche graphische Unterstützung bei der Arbeit mit Werkzeuginformationen.

Die Übersicht bezüglich des lokalen Datenbestandes ist durch die Verwaltung von Klartextbezeichnungen mit 24 Stellen verbessert. Suchfilter, die die Position aller

Werkzeuge eines bestimmten Typs ermitteln oder Werkzeuge aufspüren, deren Standzeit abgelaufen ist, ermöglichen besonderes bei großen Kettenmagazinen an Bearbeitungszentren eine verbesserte Übersicht und die effektivere Handhabung durch den Benutzer.

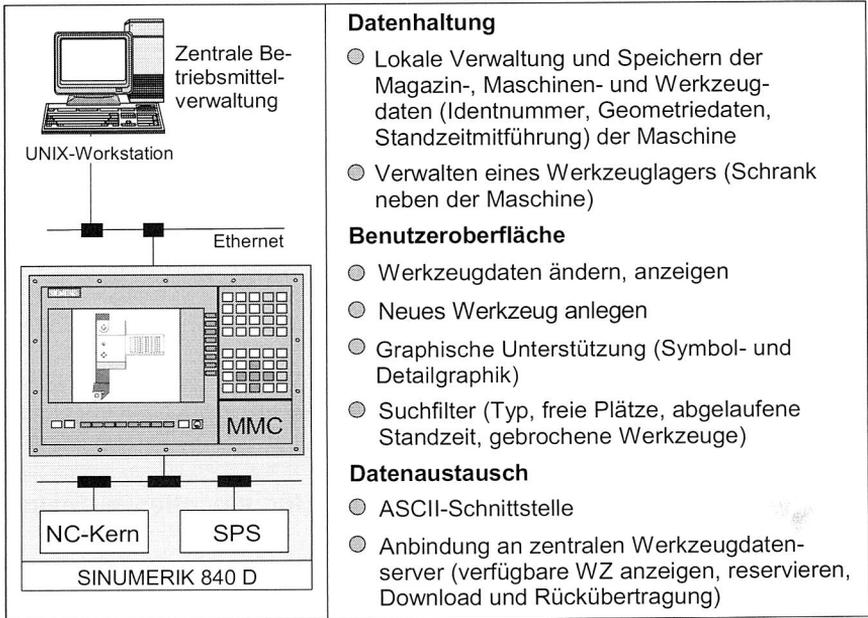


Bild 74: Funktionen des maschinennahen Werkzeugverwaltungssystems für offene Steuerungen - MAWOST

Die Aufgabe der integrierten ASCII-Schnittstelle ist die Abwicklung eines einfachen Austausches der Werkzeugdaten mit anderen Applikationen. Diese Funktion ist für den Einsatz von MAWOST auf dem Arbeitsplatzrechner zur Anbindung einer konventionellen CNC-Steuerung erforderlich.

Die Mitführung und ständige Aktualisierung der Standzeit ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Werkzeuge und trägt damit zu einer Senkung der Stückkosten bei. Aufgrund der starken Streuungen, die bei den Werkzeugstandzeiten in der Praxis auftreten, muß die vorgebene Zeit in einem sicheren Bereich liegen. Die optimale Ausnutzung des Potentials eines Werkzeuges kann nur mit einer sensorgestützten Schnittüberwachung erreicht werden.

Die Anbindung von MAWOST an die zentrale Verwaltung des Werkzeugflusses verbessert den Überblick des Facharbeiters an der Werkzeugmaschine bezüglich der

im gesamten Fertigungsbereich verfügbaren Werkzeuge. Aus dem zentralen Bestand können dann die benötigten Fertigungsmittel angefordert oder reserviert werden. Die Übertragung der zugehörigen Informationen in die Maschinensteuerung reduziert den Aufwand und vermeidet Fehler durch falsche Eingaben. Ein Überblick bezüglich aller einsatzbereiten Werkzeuge ermöglicht insbesondere eine schnellere Reaktion auf Störungen in der Produktion.

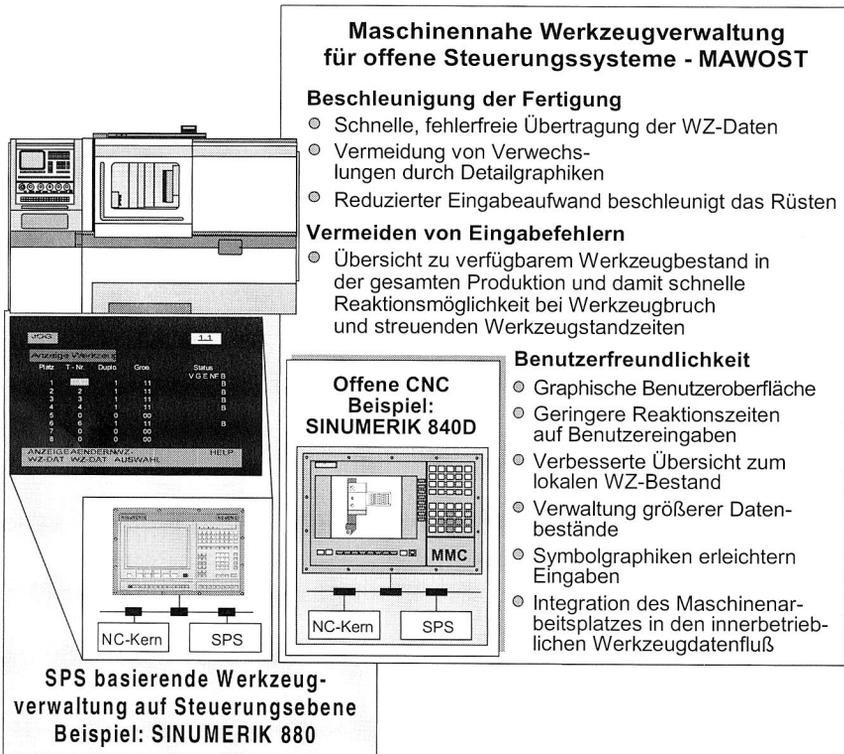


Bild 75: Nutzen einer maschinennahen Werkzeugverwaltung für offene Steuerungssysteme - MAWOST

Eine Symbolgraphik für die unterschiedlichen Werkzeugtypen unterstützt den Anwender bei der Eingabe oder Änderung der notwendigen Werkzeugkorrekturwerte. Damit kann insbesondere in einer Einarbeitungsphase des Mitarbeiters der Zeitaufwand für das Rüsten der Maschine und die Gefahr von Fehleingaben, die im schlimmsten Fall zu einer Kollision führen können, reduziert werden.

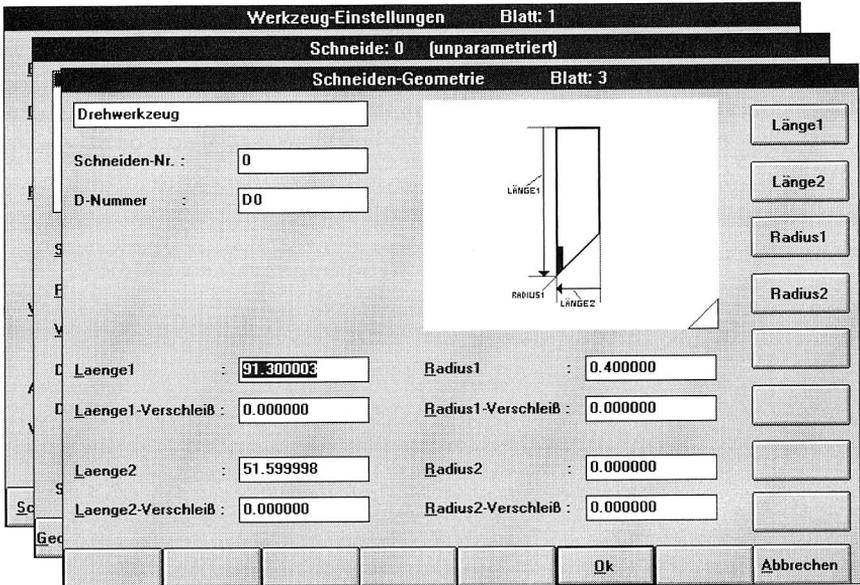


Bild 76: Unterstützung des Maschinenbenutzers bei der Eingabe der Werkzeugkorrekturwerte durch eine Symbolgraphik

Als Detailgraphik können gescannte Katalogunterlagen oder Fotos ebenso wie Werkzeugskizzen dienen. Die Bereitstellung einer Werkzeugdetailgraphik leistet einen Beitrag zur Verhinderung von Verwechslungen und damit zur Reduzierung der Fehler in der Fertigung. Der Maschinenbenutzer kann sich einen besseren Überblick bezüglich neuer Programme und deren Abläufe verschaffen, auch wenn die notwendigen Werkzeuge noch nicht an seinem Arbeitsplatz angeliefert worden sind.

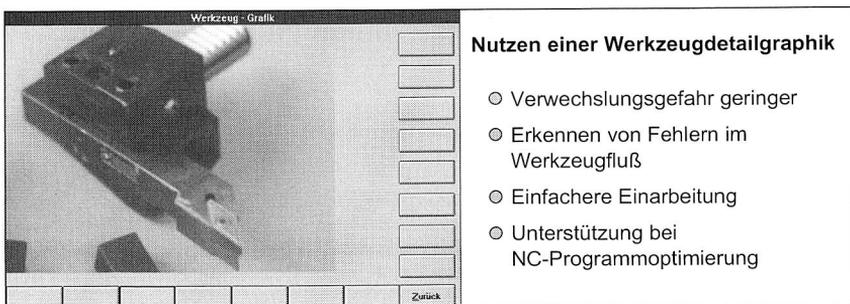


Bild 77: Darstellung von Werkzeugdetailgraphiken

MAWOST unterstützt den Maschinenbenutzer zusätzlich durch die Verwaltung eines maschinennahen Lagerbereichs. Dieser repräsentiert einen Werkzeugschrank, der in unmittelbarer Nähe der Maschine angeordnet ist. Damit kann sichergestellt werden, daß die aktuellen Zustandsdaten der Werkzeuge, die in naher Zukunft wieder an einer Maschine zum Einsatz kommen, nicht an den Leitrechner zurückübertragen, in der Steuerung gelöscht und anschließend bei Bedarf wieder angefordert werden müssen. Die Graphiken verringern die Verwechslungsgefahr beim Wiedereinbau des Werkzeugs. Zusätzlich verhindert die lokale Reservierung, daß ein anderer Benutzer auf ein Werkzeug in diesem maschinennahen Lager zugreift.

Diese Funktion kann allerdings für die Verwaltung von größeren unerwünschten Werkzeuglagern im Umfeld der Arbeitsplätze mißbraucht werden. Dem wird Rechnung getragen, indem die Visualisierung von festen Platznummern in diesem Lagerbereich unterbleibt. Die Werkzeuge im Werkzeuglager werden mit laufenden Nummern gekennzeichnet, wobei die Nummer 1 für den Austausch mit Magazinwerkzeugen reserviert ist. Damit erhält der Benutzer, der größerer Bestände an der Maschine hortet, bei der Suche nach dem Ablageort eines Werkzeuges keine Hilfestellung.

**Werkzeug-Platzwechsel**

<p><b>Magazin 1:</b></p> <p><input type="button" value="Aktive"/> <input type="button" value="Hintergrund"/></p> <p><input type="button" value="Werkzeuglager"/></p> <p>Nr. Magazin</p> <p>0 Scheibenrevolver VDI30</p>	<p><b>Magazin 2:</b></p> <p><input type="button" value="Aktive"/> <input type="button" value="Hintergrund"/></p> <p><input type="button" value="Werkzeuglager"/></p> <p>Nr. Magazin</p>	<input type="button" value="Magazin 1"/> <input type="button" value="Magazin 2"/> <input type="button" value="Belegung 1"/> <input type="button" value="Belegung 2"/> <input type="button" value="Auswahl 1"/> <input type="button" value="Auswahl 2"/>
<p><b>Belegung 1:</b></p> <p>Nr. Bezeichnung</p> <p>1 Bohrer 17.5</p> <p>2 Laengs 3/35 C</p> <p>3</p> <p>4 Laengsdrehen 3</p> <p>5</p> <p>6 Einstechen 2.5mm</p> <p>7</p> <p>8</p>	<p><b>Belegung 2:</b></p> <p>Nr. Bezeichnung</p> <p>1</p> <p>2 Planfräser 45°</p> <p>3 Eckfräser 90°</p> <p>4 Bohrsenker 3.5</p> <p>5 SE-Drill 16.5</p>	
<input type="button" value="← Verlegen"/> <input type="button" value="← Tauschen →"/> <input type="button" value="Verlegen →"/>		<input type="button" value="Zurück"/>

Bild 78: Verwalten eines maschinennahen Lagerbereiches

## **7 Konzept einer Prozeßüberwachung für ein offenes Steuerungssystem**

Die in den vorhergehenden Kapiteln nachgewiesene Notwendigkeit einer datentechnischen Integration des Maschinenarbeitsplatzes in den Fertigungsinformationsfluß kann in Verbindung mit einer Dezentralisierung der Verantwortung nur dann ein optimales Ergebnis erzielen, wenn die Sicherung des Fertigungsprozesses in die Betrachtungen einbezogen wird. Dies gilt um so mehr in Anbetracht der steigenden Qualitäts- und Terminanforderungen in Verbindung mit einer erhöhten Teilekomplexität [17].

Einen Beitrag dazu liefert die Absicherung der, den Prozeß beeinflussenden Größen, wie beispielsweise die fehlerfreie Übertragung aktueller NC-Programme, sowie die schnelle Bereitstellung der Werkzeuge und der Werkzeugdaten. Durch den Einsatz eines Datenträgers, der an das Werkzeug gebunden ist, kann eine zusätzliche Verwechslungssicherheit und damit das Vermeiden von Störungen in der Produktion gewährleistet werden. Der Maschinenbenutzer wird von Routinetätigkeiten entlastet. Den Schutz des Maschinenbaus vor Kollisionen und den Folgen eines Werkzeugbruches stellt die Verwendung eines Prozeßüberwachungssystems sicher.

In der spanenden Fertigungstechnik zeichnet sich die beschriebene Tendenz hin zu automatisierungsfreundlichen Maschinenbaukonzepten ab [7]. Vertikaldrehmaschinen mit einer mobilen Motorspindel, die bei der Bearbeitung von Futterteilen zusätzlich die Aufgabe der Werkstückhandhabung übernimmt, stehen für diese Entwicklung. Die automatisierte Produktion in die Pausen oder in eine mannlose dritte Schicht hinein gewinnt in der Praxis immer mehr an Bedeutung. Allerdings kann bei einer unbeaufsichtigten Fertigung ohne den Einsatz einer sensorgestützten Schnittüberwachung die Qualität der Werkstücke nicht gewährleistet werden. Darüber hinaus besteht das nicht unerhebliche Risiko der Beschädigung der Werkzeugmaschine durch die Folgen eines Werkzeugbruches oder einer Kollision.

Bei einer Werkzeugmaschine mit automatisiertem Werkstückwechsel ist häufig die verfügbare Einsatzzeit der Werkzeuge im Magazin der Maschine der begrenzende Faktor für die Laufzeit im unbeaufsichtigten Betrieb. Selbst bei der Gewährleistung konstanter Zerspanungsparameter unterliegt diese Standzeit einer starken Streuung.

Die Beanspruchung der Werkzeuge steigt deutlich bei einem vollständigen Verzicht auf die Verwendung von Kühlschmierstoffen während der Bearbeitung. Der Einsatz von Werkzeugen, die sich durch eine hohe Warmfestigkeit und geringen Verschleiß

auszeichnen, wirkt dem entgegen. Da diese Werkzeuge in der Regel erheblich höhere Kosten verursachen, kommt der optimalen Nutzung der verfügbaren Standzeit eine deutlich größere Bedeutung zu. Zusätzlich tritt durch die thermischen Beeinflussungen des Werkzeugsystems bei der Trockenbearbeitung ein Versatz der Schneidenlage auf. Dies gefährdet die Einhaltung der Fertigungstoleranzen.

Aufgrund des erhöhten Verschleißes der Schneiden bei der Trockenbearbeitung ist der schnelle und effiziente Austausch der Werkzeuge und damit eine Beschleunigung aller anderen Komponenten des Werkzeugflusses in der spanenden Fertigung erheblich wichtiger als in der Vergangenheit. Insbesondere das zeitaufwendige und fehlerträchtige Rüsten mit Werkzeugen ist bei Drehmaschinen in der Regel nicht parallel zur Hauptzeit möglich. Fehler beim Rüsten können schwere Schäden an Werkzeug, Werkstück und Maschine nach sich ziehen. Eine Beschleunigung des Rüstvorganges steigert die Produktivität des Arbeitsplatzes.

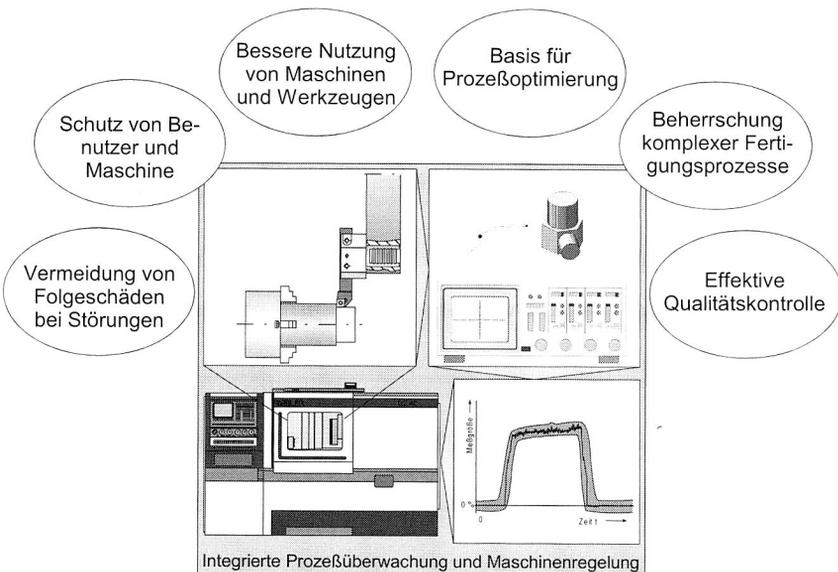


Bild 79: Primäre Ziele beim Einsatz von Prozeßüberwachungssystemen (nach [9, 17, 37])

Die hauptsächliche Anforderung, die heute an ein leistungsfähiges Prozeßüberwachungssystem gestellt wird ist das Erreichen einer verbesserten Wirtschaftlichkeit. Dies ist durch das Vermeiden von Fehlern bzw. deren kosten- und zeitintensiven

Folgen ebenso wie durch eine dadurch bedingte gesteigerte Planungssicherheit und daraus resultierende höhere Termintreue erreichbar. Die Interpretation der Meßwerte, die in die Maschine integrierte Sensoren liefern, stellt die Basis für eine Optimierung der Fertigungsprozesse, im Sinne einer Leistungssteigerung und einer Stabilisierung, dar. Bei sich ändernden Haftungsbestimmungen für die Erzeugnisse von Maschinenbaubetrieben bietet der Einsatz von Prozeßüberwachungssystemen und die Archivierung der Meßwerte eine Dokumentation der Prozesse.

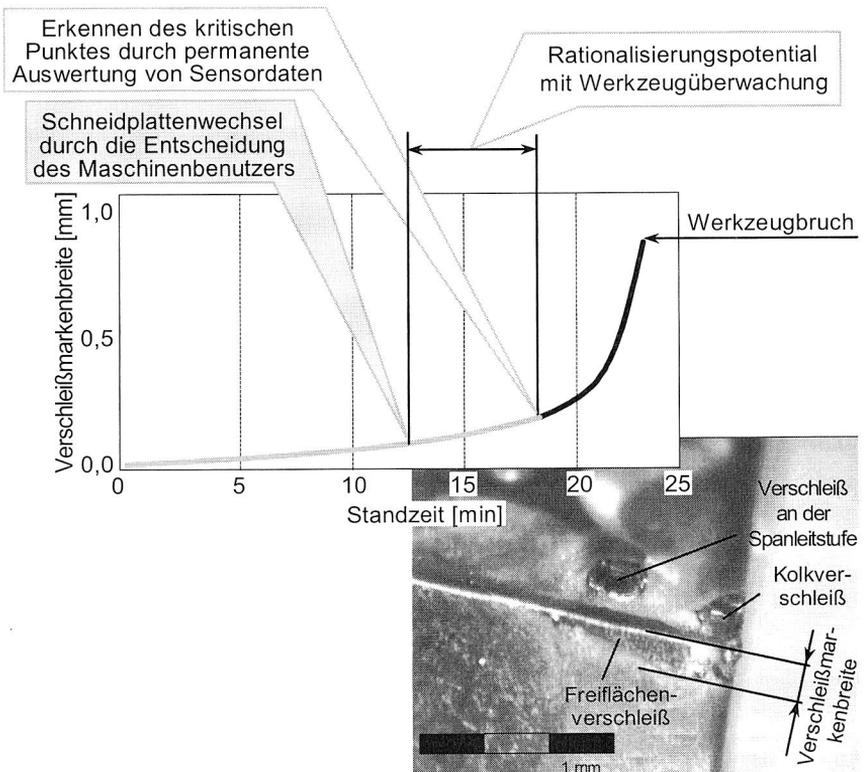


Bild 80: Rationalisierungspotential einer Werkzeugverschleißüberwachung

Zur optimalen Ausnutzung der Standzeiten eines Werkzeuges ist der Aufbau einer leistungsfähigen Verschleißüberwachung zwingend erforderlich. Zum einen reduzieren sich dadurch die direkten Kosten, die der Werkzeugkreislauf für die Beschaf-

fung und Handhabung erzeugt, zum anderen kann sich in Sonderfällen die Laufzeit der Werkzeugmaschine erhöhen.

Die auf der Basis der im Bild 81 dargestellten thermischen Beeinflussung der Schneide und des Klemmhalters bei der Trockenbearbeitung kann durch einen modellbasierten Ansatz bei dem dargestellten Werkzeug eine Schneidenverlagerung von maximal 0,03 mm berechnet werden. Diese Verlagerung geht in den Werkstückdurchmesser mit dem Faktor 2 ein. Die thermischen Verlagerungen der Werkzeugschneide sind nur durch den Einsatz eines Temperatursensors im Werkzeug mit einer ausreichenden zeitlichen und quantitativen Qualität bestimmbar. Dabei kann eine Nachregelung des Schneidensversatzes umso besser realisiert werden, je geringer der Abstand zwischen dem Temperatursensor und der Schneide ist.

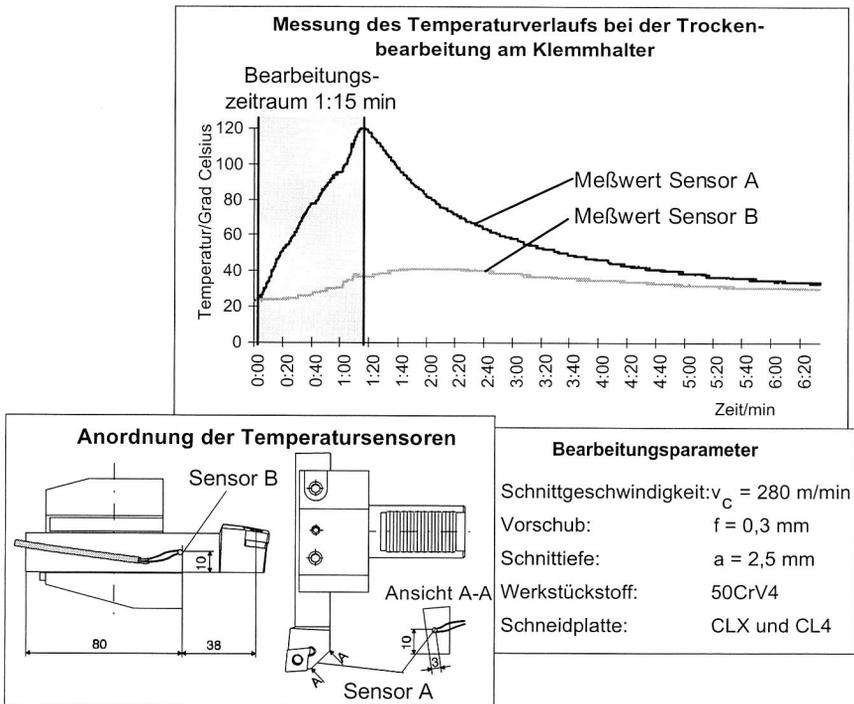


Bild 81: Temperatureintrag in den Klemmhalter eines Drehwerkzeugs bei der Trockenbearbeitung

## 7.1 Konventionelle Systeme zur Werkzeugüberwachung

Zur Werkzeugüberwachung werden die intermittierende Technik, bei der der Zustand des Werkzeugs nach Abschluß eines Bearbeitungsprozesses untersucht wird, und das kontinuierliche Verfahren unterschieden [30]. Vorteil des kontinuierlichen Verfahrens ist die ständige Erfassung der aktuellen Prozeßgrößen. Damit kann auf einen Werkzeugbruch oder eine Kollision unmittelbar reagiert und Folgeschäden vermieden werden.

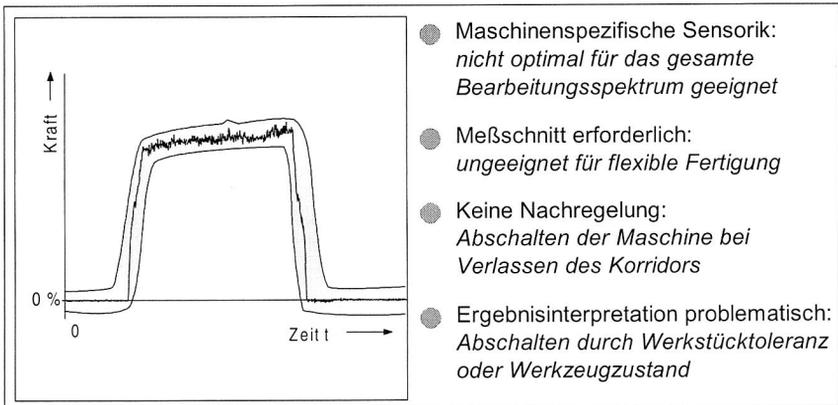


Bild 82: Defizite konventioneller Systeme zur Werkzeugüberwachung

Die Anforderungen der Anwender konzentrierten sich in der Vergangenheit auf die Erkennung von Werkzeugbrüchen [8, 114]. Zur Überwachung des spanenden Fertigungsprozesses werden die unterschiedlichsten Signale, wie Körperschall, Kräfte, Motorstrom oder Drehmoment gemessen [116, 108]. In der Regel beschränkt sich die Meßwerterfassung auf ein Signal. Die Sensorik ist hierbei maschinenspezifisch ausgelegt. Dies ist der wesentliche Nachteil der bestehenden Systeme, da nicht bei allen Bearbeitungsaufgaben zufriedenstellende Signale geliefert werden können. Zusätzlich muß bei einem Wechsel der Bearbeitungsaufgaben ein neuer Meßschnitt durchgeführt werden. Dies schränkt ihre Verwendbarkeit in einer flexiblen Fertigung ein. Der Funktionsumfang der Schnittstelle zur NC-Steuerung ist in der Regel begrenzt. Eine adaptive Nachregelung der Maschine, beispielsweise zur Korrektur eines thermisch- oder verschleißbedingten Schneidenversatzes, ist daher mit wirtschaftlichem Aufwand nicht möglich [4].

## 7.2 Anforderungen an ein Prozeßüberwachungssystem

Im Rahmen einer CIRP Arbeitsgruppe definierte ein Kreis, der sich aus Anwendern von Werkzeugüberwachungssystemen, unter anderem Vertretern der Firmen BMW, Bosch, Daimler-Benz, DASA, INA, MTU und Volkswagen, zusammensetzt, Anforderungen an ein zeitgemäßes Prozeßüberwachungssystem [37, 38].

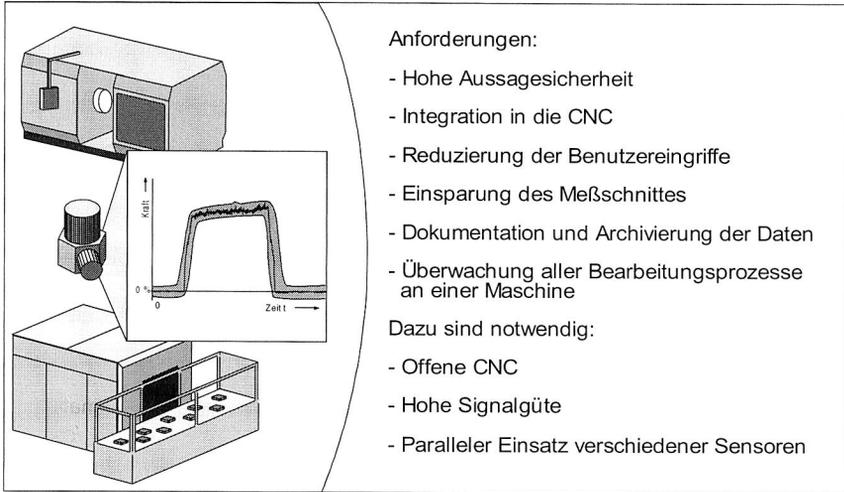


Bild 83: Anforderungen an eine zeitgemäße Werkzeugüberwachung

Als die wichtigsten Anforderungen wurden eine hohe Aussagesicherheit bei einer geringen Anzahl von Fehlalarmen, die Reduzierung des Benutzeraufwandes, die Überwachung aller Prozeßschritte an einer Maschine und nicht zuletzt die Integration der Überwachungsfunktionen in die CNC-Steuerung der Werkzeugmaschine genannt.

Eine hohe Signalgüte ist die Basis einer zuverlässigen Schnittüberwachung. Umfangreiche Versuche haben gezeigt, daß die Auswirkung von Störungen im aufgenommenen Signal um so größer sind, je weiter ein Sensor vom Ort des eigentlichen Prozesses entfernt ist. Der parallele Einsatz verschiedener Sensoren in unmittelbarer Nähe des Prozesses verbessert die Aussagesicherheit [102]. Die Integration der Werkzeugüberwachungsfunktionen in die Maschinensteuerung ist nur durch den Einsatz einer offenen CNC-Steuerung wirtschaftlich realisierbar.

### 7.3 Struktur eines miniaturisierten Multisensorsystems zur Prozeßüberwachung beim Drehen

Die Konzeption des Multisensorsystems zur kontinuierlichen Überwachung des Fertigungsprozesses an CNC-Drehmaschinen berücksichtigt die Anforderungen der Anwender. Eine Multisensoreinheit bildet in Verbindung mit einer Schaltung zur Aufbereitung der Meßsignale das Kernstück einer werkzeugspezifischen Prozeßüberwachung. Die Sensoren und die elektronische Schaltung sind mit den Methoden der Mikrosystemtechnik miniaturisiert aufgebaut und in den Klemmhalter eines Drehwerkzeuges integriert. Eine drahtlose Energieversorgung und Datenübertragung stellt die Einsetzbarkeit des Systems im rauen Fertigungsalltag sicher. Ein digitaler Signalprozessor zur Kollisionserkennung in Echtzeit und die Auswertung von Verschleißdaten in einer offenen CNC-Steuerung runden das Konzept ab.

Ein wesentliches Kriterium für die Praxisrelevanz eines werkzeugspezifischen Prozeßüberwachungssystems ist der kostengünstige Aufbau. Der Verschleiß während der Bearbeitung betrifft die Wendeschneidplatte und nur in geringem Maße den Klemmhalter. Die Vermeidung einer Verbindung von Sensorik und Verschleißteilen ist die Basis für die Wirtschaftlichkeit des Systems. Durch die Verwendung der Methoden zur Herstellung elektronischer Schaltungen ist die Realisierung eines preiswerten Multisensors für den Fall hoher Stückzahlen sichergestellt.

- ⇒ Erfassen von Kenngrößen möglichst nahe am Prozeß
- ⇒ Geringes Gewicht und geringe Baugröße (Steifigkeit des Halters)
- ⇒ Draht- und kontaktlose Datenübertragung zur Maschine
- ⇒ Unempfindlichkeit gegen Umwelteinflüsse
- ⇒ Speichern von werkzeugspezifischen Informationen
- ⇒ Multisensorsystem zur Steigerung der Aussagesicherheit
- ⇒ Leichte Austauschbarkeit und geringe Ausfallrate

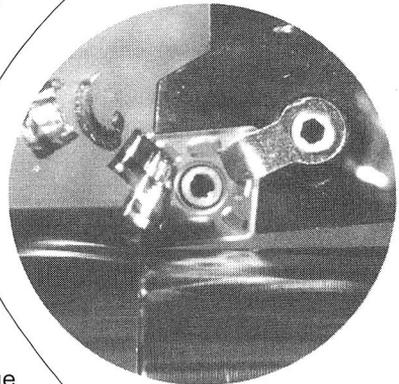


Bild 84: Anforderungen an ein Mikrosystem zur Prozeßüberwachung (Foto: Kennametal Hertel AG)

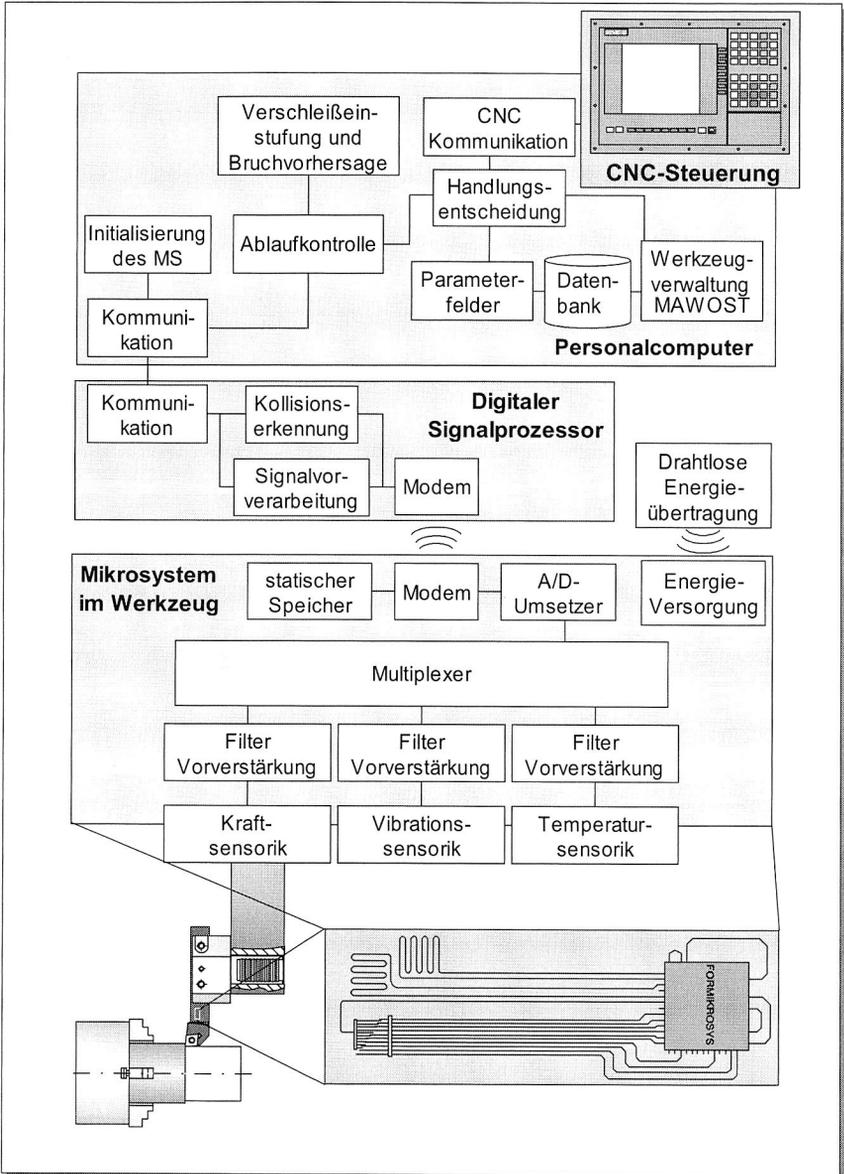


Bild 85: Funktionsstruktur der Prozeßüberwachung mit einem Mikrosystem

Das werkzeugspezifische Mikrosystem umfaßt Sensoren für die Zerspankkräfte in allen drei Raumrichtungen (Schnitt-, Vorschub- und Passivkraft), einen Vibrations-sensor und einen Temperatursensor. Zusätzlich sind Module für die Vorverstärkung und Filterung, ein Analogmultiplexer, sowie ein A/D-Umsetzer integriert. Ein Speicherbaustein mit einer Kapazität von 1 KByte ist für die Bereitstellung einer eindeutigen Identifizierung des Werkzeugs, der geometrischen Korrekturdaten, sowie zusätzlicher Kalibrierwerte für die Sensoren notwendig. Die Übertragung der Daten und der Energie erfolgt drahtlos [4].

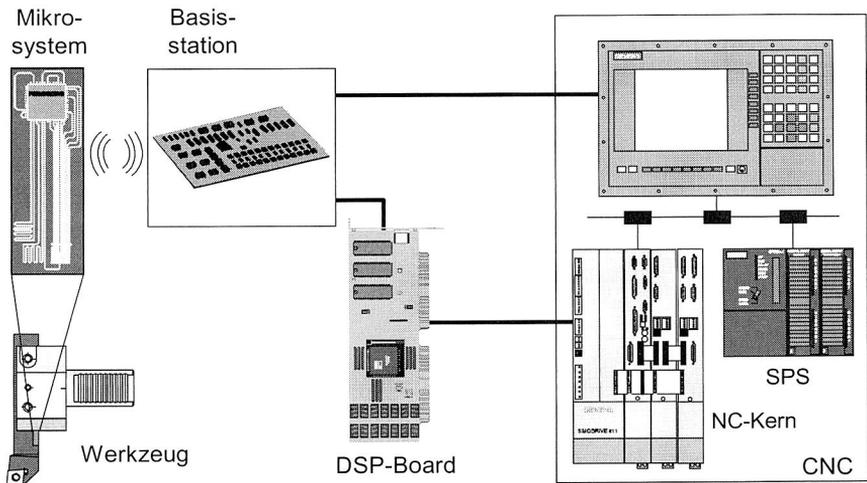


Bild 86: Hardwarestruktur des Mikrosystems zur Prozeßüberwachung (nach [4, 36])

Die Signalverarbeitung in Echtzeit zur Kollisionserkennung und die Signalvorverarbeitung zur Vorbereitung der Verschleißstufung sind auf einem separaten digitalen Signalprozessor implementiert, der nur einmal in jeder Werkzeugmaschine benötigt wird. Damit reduziert sich der Energie- und Platzverbrauch des Mikrosystems entscheidend. Der Aufwand für die Datenübertragung steigt zwar an, insgesamt ergibt sich jedoch die kostengünstigste Variante.

Als CNC-Steuerung findet die SINUMERIK 840 D Verwendung. Die vom DSP vorverarbeiteten Sensorsignale werden in einen, in die Steuerung integrierten IBM-kompatiblen PC übertragen, der die Aufgaben der Verschleißstufung mit Bruchvorhersage und der Datenverwaltung übernimmt.

## 7.4 Integrierter Datenträger

Der Datenträger des Mikrosystems ist als EEPROM ausgeführt und bietet eine Speicherkapazität von 1 Kbyte. Die abgespeicherte Datenstruktur ist mit der Datenstruktur in MAWOST identisch. Insgesamt werden zu jedem Werkzeug 396 Byte Nutzdaten abgelegt. EEPROM-Speicher sind kostengünstig, verfügen aber nur über eine begrenzte Lebensdauer von typischerweise 10000 Schreibzyklen. Die Aktualisierung der Daten im Mikrosystem erfolgt daher nur beim Austausch eines Werkzeuges.

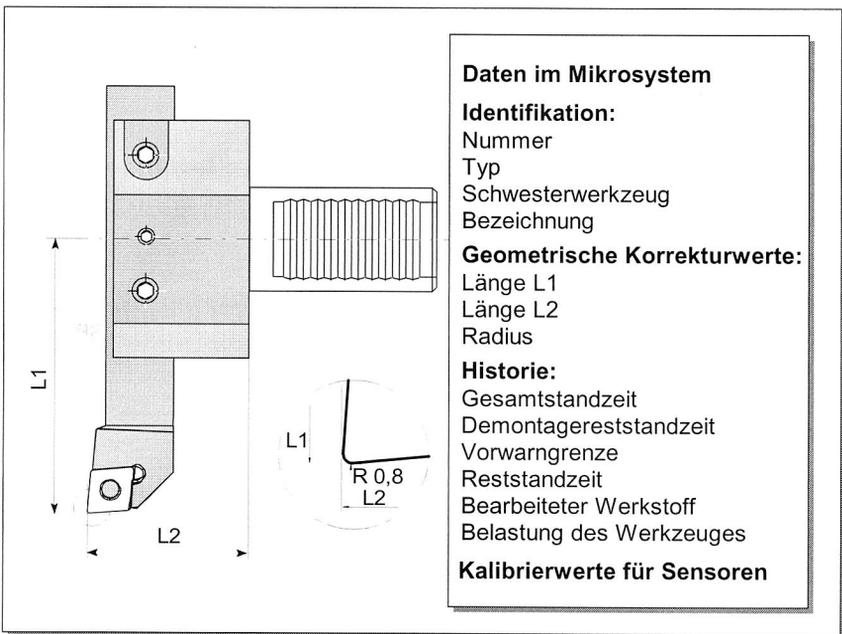


Bild 87: Im Mikrosystem gespeicherte Datenarten

An einem Werkzeugvoreinstellgerät wird die Schneidenlage vermessen. Durch die Anbindung der Drehmaschine und des Werkzeugvoreinstellgerätes an eine zentrale Betriebsmitteldatenbank ist darüber hinaus die Verfügbarkeit der Einsatzdaten, Initialisierungs- und Kalibrierwerte des Werkzeuges mit integriertem Mikrosystem sichergestellt. Der Benutzer kann am Werkzeugvoreinstellgerät das Schreiben der Informationen in den EEPROM-Speicher des Mikrosystems auslösen. Anschließend wird das Werkzeug zu einem Drehzentrum transportiert. Nach dem Einsetzen in die

Maschine gewährleistet die automatische Übertragung der Werte aus dem Datenträger in die Werkzeugverwaltungskomponente der offenen Steuerung die fehlerfreie Zuordnung der Korrekturwerte zum Werkzeug. Durch das Senden der Identifikationsnummer an den Leitrechner erfolgt die Bereitstellung zusätzlicher graphischer Informationen an der Maschine.

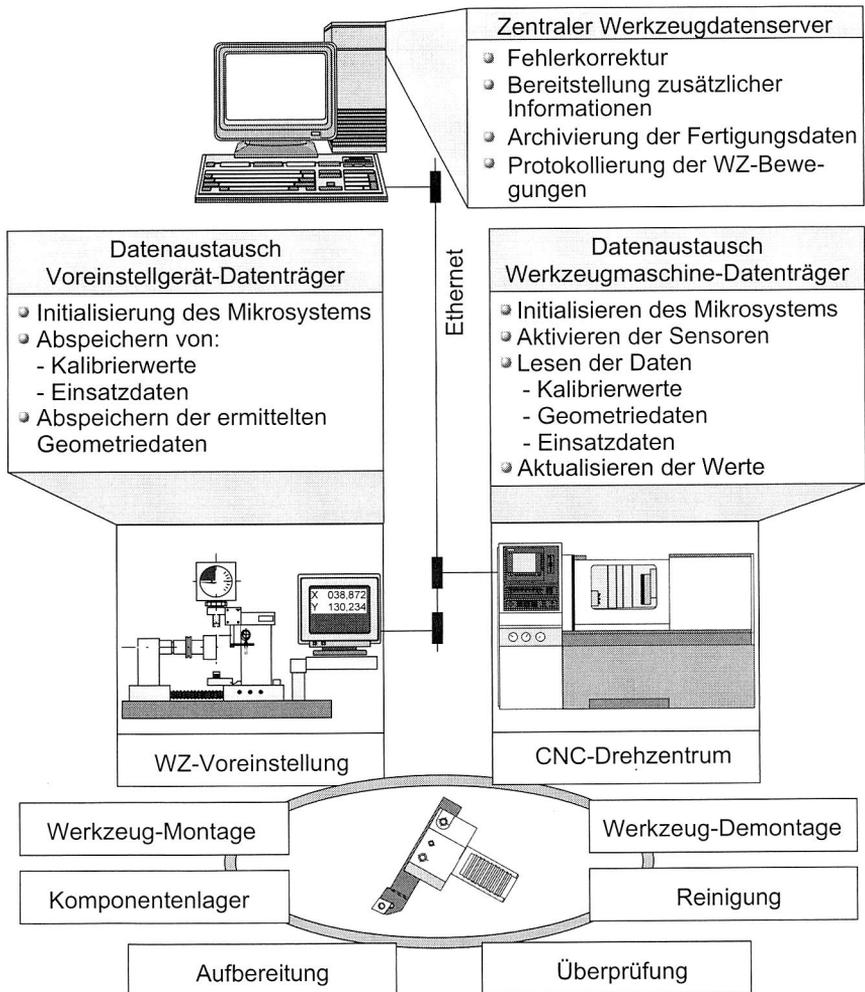


Bild 88: Zugriffe auf den Datenträger des Mikrosystems im Werkzeugkreislauf

## 7.5 Umsetzung des Konzeptes

Basierend auf den vorgestellten konzeptionellen Überlegungen und umfangreichen Versuchen mit unterschiedlichen Sensorarten und Einbauorten wird derzeit ein Prototyp des Mikrosystems erstellt, das Kraft-, Vibrations- und Temperatursensorik enthält. Nach dem Aufschweißen auf den Klemmhalter eines Drehwerkzeuges erfolgt ein Test unter Praxisbedingungen. Die monolithische Integration sowie der Endaufbau und die abschließende Funktionsüberprüfung sollen die Vorteile eines werkzeugspezifischen Multisensorsystems in Verbindung mit einer offenen numerischen Steuerung gegenüber bestehenden Lösungen nachweisen. Das Modell zeigt den Einbauort des Mikrosystems in den Klemmhalter und die räumliche Anordnung der Daten- und Energieübertragungsstrecken auf der Rückseite des Werkzeugrevolvers. Von dort werden die Sensorsignale drahtgebunden über den Kabelschlepp der Maschine zur Steuerung und zum digitalen Signalprozessor weitergeleitet.

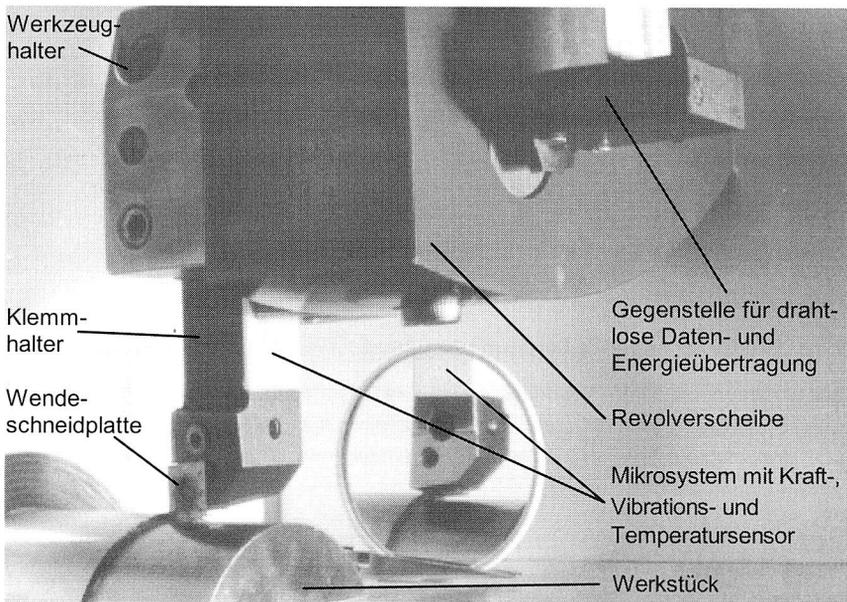


Bild 89: Modell des Multisensorsystems zur Überwachung von CNC-gesteuerten Drehzentren [24]

## 8 Diskussion des realisierten Systems

Anhand einer beispielhaften Fertigungsgruppe werden Abläufe und Reaktionsmöglichkeiten mit den benutzerorientierten Softwarefunktionen in der flexiblen Werkstattfertigung transparent gemacht. Zur Einordnung und Bewertung des Konzeptes wird zunächst die Funktionalität der, in eine offene CNC-Steuerung integrierte, benutzerorientierte Steuerungssoftware mit den Möglichkeiten eines am Markt verfügbaren Multifunktionsterminals verglichen. Abgeschlossen wird dies durch die Bewertung der Wirtschaftlichkeit und der Akzeptanz des Konzeptes in der Praxis.

Der Einsatz eines Multisensorsystems mit integriertem Datenträger in Mikrosystemtechnik ist als Beitrag zur Steigerung der Maschinenlaufzeiten bei CNC-Drehzentren mit einem automatisierten Austausch der Werkstücke und zur Steigerung der Betriebssicherheit von großer Bedeutung.

### 8.1 Exemplarische Umsetzung

Die vorgestellte Lösung ist in einer Laborumgebung umgesetzt. Die integrierten Fertigungseinrichtungen eignen sich zur Herstellung von Antriebskomponenten. Dabei handelt es sich in erster Linie um rotationssymmetrische Werkstücke, in die teilweise Nuten oder Bohrungen eingebracht werden müssen.

#### 8.1.1 Produktorientiertes Fertigungssegment

Zur Untersuchung der Anwendbarkeit ist eine Testumgebung, bestehend aus einer CNC-Bohr-/Fräsmaschine, zwei CNC-Drehzentren für die Bearbeitung von Futter- und Wellenteilen, zwei manuellen Arbeitsplätzen und einem Werkzeugvoreinstellgerät entstanden.

Die uneinheitliche Steuerungslandschaft, die in fast allen Fertigungsbetrieben vorherrscht, spiegelt sich in diesem System wider. In dem analysierten Beispiel besteht sie aus einer offenen CNC-Steuerung, zwei konventionellen Maschinensteuerungen unterschiedlichen Baujahres und drei Personal Computern an Handarbeitsplätzen. Die Installation zusätzlicher Rechner an ergonomisch günstiger Stelle ermöglicht die Anbindung der Maschinen mit konventionellen CNC-Steuerungen über eine V.24-Schnittstelle. Ein Gruppenrechner in der Nähe der Fertigungsmaschinen ergänzt das System.

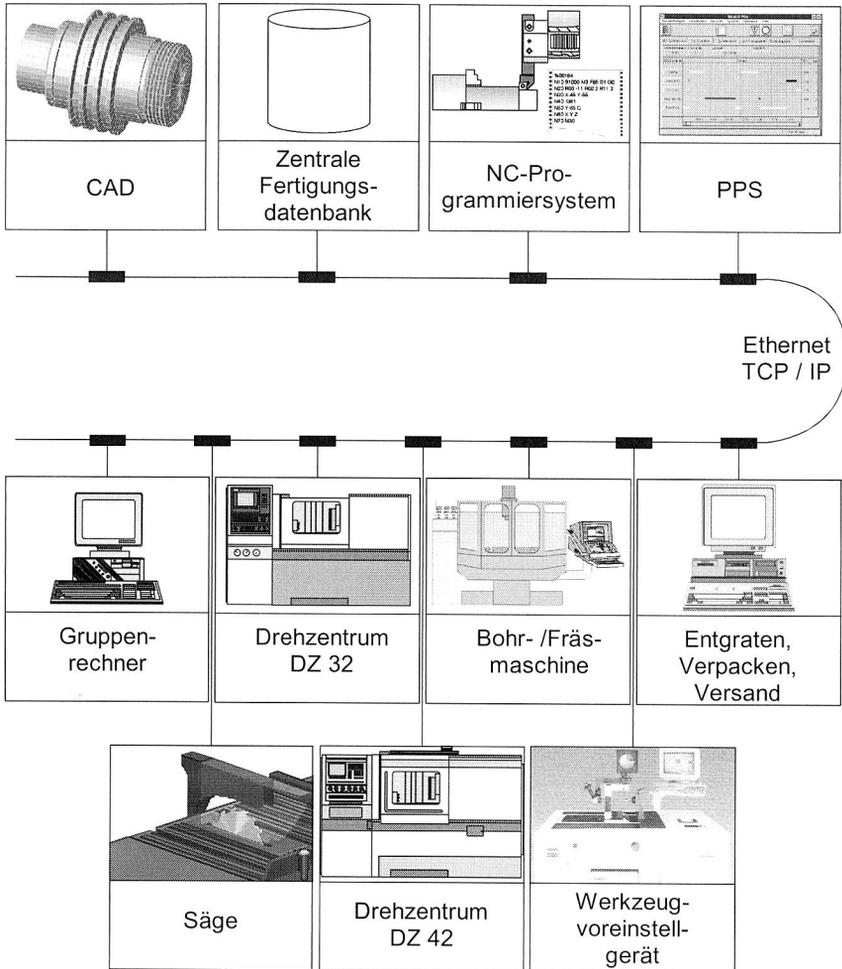


Bild 90: Exemplarische produktorientierte Fertigungsgruppe für Wellenteile

Alle Arbeitsplätze sind mit einem Lokal Area Network (LAN) verbunden. Auf diesem Weg kann von jedem Arbeitsplatz auf die zentrale Fertigungsdatenbank zugegriffen und eine direkte Kommunikation mit anderen Arbeitsplätzen aufgenommen werden. Die Benutzung des CAD-Systems und aller anderen Applikationen der Fertigungsleitebene ist grundsätzlich von allen Arbeitsplätzen aus möglich, aber aus Ergonomiegründen nicht sinnvoll. Für diese Aufgabe bietet sich der Gruppenrechner aufgrund seiner höheren Rechenleistung, des besseren Graphikdisplays und der ergonomischer gestalteten Umgebung an.

Die Art der Einbindung verfügbarer Bearbeitungsmaschinen in das Konzept von BOSIFLEX wird durch die Steuerung, den Maschinenbau und das Werkzeugsystem bestimmt. Die Steuerung entscheidet über die Verbindung mit dem fertigungsübergreifenden Datenfluß. Der Aufbau der Maschinen bezüglich der Achsen und Spindeln ist bei der Einplanung von Arbeitsgängen zu berücksichtigen. Die Anzahl der Schnittstellen des Werkzeugsystems ist von entscheidender Bedeutung für die erforderliche Flexibilität des Werkzeugflusses. Für jede Werkzeugschnittstelle im System muß beispielsweise am Voreinstellgerät ein Adapter bereitgehalten werden.

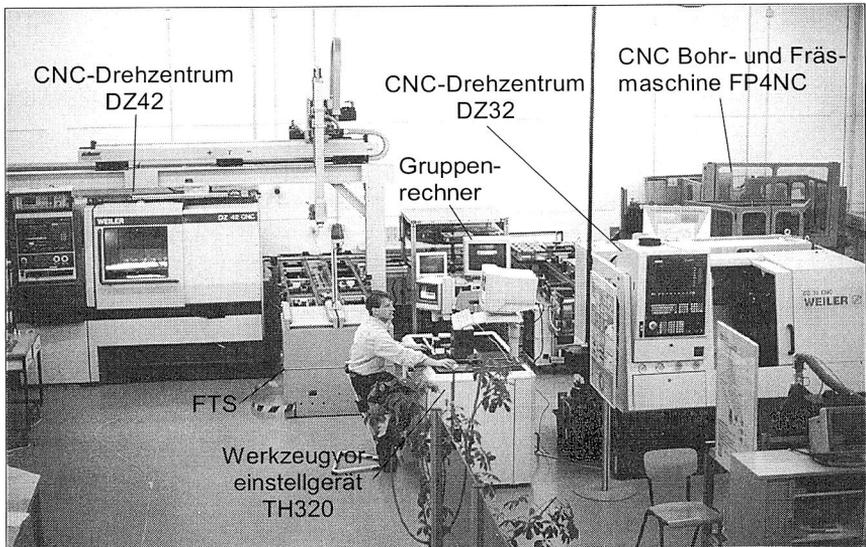


Bild 91: Realisiertes Modellsystem

Für die Bearbeitung der Werkstücke stehen zwei CNC-Drehzentren zur Verfügung. Das DZ 42 verfügt über einen Stangendurchlaß von 42 mm, eine Haupt- und eine Gegenspindel sowie einem Scheibenrevolver mit 16 Positionen für die Aufnahme von Werkzeughaltern mit Zylinderschaft nach DIN 69880 - 20 x 40 AK [13]. Alle Werkzeugpositionen können angetrieben werden. Die Steuerung der Maschine übernimmt eine SINUMERIK 880 T. Damit ist das DZ 42 für die Komplettbearbeitung von Wellenteilen ausgerüstet. Das zweite Drehzentrum DZ 32 verfügt über einen Stangendurchlaß von 32 mm und einen Scheibenrevolver mit 8 Positionen für die Aufnahme von Werkzeughaltern mit Zylinderschaft nach DIN 69880 - 30 x 55 [12]. Eine Gegenspindel und angetriebene Werkzeugpositionen fehlen. Die Maschine ist mit einer offenen CNC-Steuerung vom Typ SINUMERIK 840 D ausgerüstet.

Die CNC-Bohr-/Fräsmaschine FP4 NC ist mit einer Werkzeugaufnahme für Steilkegelschäfte nach DIN 69871 - A 40 [10], einem Tellermagazin für 20 Werkzeuge und einem Palettenwechsler ausgestattet. Die Steuerung der Maschine übernimmt eine SINUMERIK 3M.

Eine manuelle Arbeitsstation dient dem Sägen der Werkstücke. Sie ist aufgrund der an dieser Stelle erzeugten Geräuschemissionen und des Schmutzes in einem separaten Fertigungsraum untergebracht, der ca. 50 m von den anderen Arbeitsplätzen der Fertigungsgruppe entfernt ist. Der zweite manuelle Arbeitsplatz besteht aus einer Werkbank. Aufgabe des Mitarbeiters ist hier das Reinigen, Entgraten und Verpacken der bearbeiteten Werkstücke. Zusätzlich ist dieser Mitarbeiter für die Ausführung von Transporttätigkeiten verantwortlich. Beide manuellen Arbeitsplätze sind mit einem Personal Computer ausgerüstet.

Die Konfiguration wird durch ein Werkzeugvoreinstellgerät ergänzt, das standardmäßig mit einem IBM-kompatiblen PC ausgestattet ist. Als Betriebssystem kommt Microsoft DOS/Windows zum Einsatz. Die Schneidenlage wird mit einer CCD-Kamera und angeschlossener Bildverarbeitungssoftware ermittelt. Andere Softwareapplikationen können auf alle Meßwerte über eine Windows DDE-Schnittstelle oder über die Zwischenablage zugreifen. Die Aufgabe des Facharbeiters am Voreinstellgerät ist die schnelle Montage, sowie die Vermessung der Werkzeuge für die Drehzentren und die Bohr-/Fräsmaschine.

### **8.1.2 Dezentrale Disposition und Abwicklung eines Arbeitsganges**

Die Aufgabe eines PPS-Systems ist die Erzeugung der Fertigungsaufträge. Es löst die Aufträge nach Arbeitsgängen auf und ordnet diese den Gruppen in den Fertigungssegmenten zu. Die zeitliche Steuerung der Produktion erfolgt durch die Vorgabe eines frühesten Start- und eines Endtermins für den Arbeitsumfang jeder Gruppe.

Inklusive dieser vorgegebenen Ecktermine werden die Arbeitsgangdaten in den zentralen Auftragsserver übertragen. Innerhalb des vorgegebenen Terminfensters verfügen die Fertigungsgruppen über einen Dispositionsspielraum. Alle Arbeitsgänge für kooperierende Arbeitsplätze erscheinen zunächst in der Gruppenpoolkartei von MALOM. Von dort werden sie den einzelnen Arbeitsplätzen zugeordnet und in den Arbeitsplatzpoolkarteien abgelegt. Dies kann sowohl auf Initiative des Maschinenbenutzers, als auch durch den Gruppenverantwortlichen erfolgen.

Aus der Arbeitsplatzpoolkartei von MALOM entnimmt der Maschinenbenutzer die für ihn vorgesehenen Arbeitsgänge, verschiebt sie in die Arbeitsplatzkartei und ordnet die Fertigungsreihenfolge. Er ist für die Beschaffung der Ressourcen an seinem Arbeitsplatz verantwortlich.

Die Querverweise auf NC-Programme, das benötigte Material und den Werkzeugplan unterstützen ihn dabei. Der Maschinenbenutzer kopiert die Verweise auf das benötigte NC-Programm und den Werkzeugplan einzeln in die Zwischenablage, startet MASNOST, fügt aus der Zwischenablage den Querverweis ein und überträgt die Informationen in die Datenhaltung der Maschine. Der Vorteil dieses Vorgehens ist die Einsparung des Eingabeaufwandes und die fehlerfreie Übertragung des Identifizierungsschlüssels von einer Softwareapplikation auf eine andere.

MASNOST verfügt über eine Funktion zum Aufblenden des Werkzeugplanes, in dem die Identnummern aller benötigten Werkzeuge enthalten sind. Die Identnummern können ebenfalls einzeln in die Zwischenablage kopiert und im Suchfilter von MAWOST eingefügt werden. So erhält der Benutzer Informationen zum Aufenthaltsort und der aktuell verfügbaren Reststandzeit aller Werkzeuge eines gesuchten Typs. Sind keine geeigneten Werkzeuge verfügbar, kann ein Montage- und Voreinstellauftrag an den Mitarbeiter des Werkzeugflusses abgesetzt werden.

Das Material ist in der Regel die letzte Ressource, die für die Durchführung eines Arbeitsganges bereitgestellt wird, da insbesondere die Durchlaufzeitreduzierung des Fertigungsauftrages anzustreben ist. Ein Querverweis in MALOM identifiziert das Rohmaterial oder den vorgeschalteten Arbeitsgang. Durch das Kopieren dieser Identifikation in die Zwischenablage und das Einfügen in WINBDE kann der aktuelle Fertigungszustand dieses Arbeitsganges visualisiert werden.

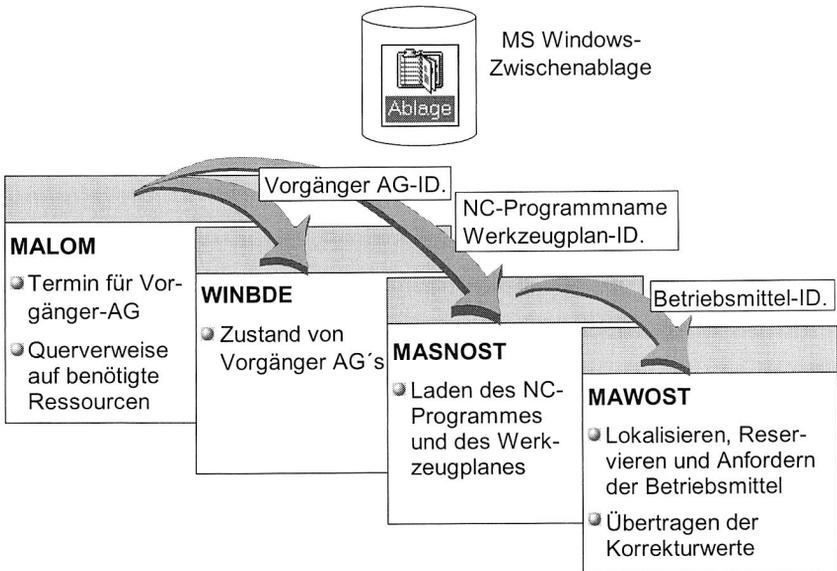


Bild 92: Lose datentechnische Verknüpfung der Module über die Zwischenablage

## 8.2 Bewertung des BOSIFLEX-Konzeptes

Die wesentlichen Vorteile der benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung werden anhand einer Gegenüberstellung mit einem bestehenden Multifunktionsterminal herausgearbeitet.

Die konventionelle Lösung besteht aus einem separaten Terminal, das einerseits mit einem zentralen Datenserver via Ethernet und andererseits mit der CNC-Steuerung durch eine V.24-Schnittstelle verbunden ist. Diese Schnittstelle ermöglicht in der Regel eine Datenübertragungsrate von 19200 Bit pro Sekunde, während über das weit verbreitete Ethernet typischerweise 10 Megabit pro Sekunde transportiert werden können. Als Funktionen sind NC-Programmtransfers und die Rückübertragung von Maschinen- und Betriebsdaten in dem konventionellen Multifunktionsterminal implementiert.

Die Funktionen des BOSIFLEX-Konzeptes sind in den IBM-kompatiblen Personal Computer einer offenen Steuerung integriert. Die Anbindung an einen zentralen Fertigungsdatenserver erfolgt ausschließlich via Ethernet. Als Funktionen stehen dezentrale Auftragsfeindisposition, DNC, Werkzeugdatentransfer, sowie die Rückübertragung von Maschinen- und Betriebsdaten zur Verfügung. Zusätzlich werden dem Maschinenbenutzer Werkzeug- und Werkstückdetailgraphiken geliefert, die zur Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit in der Fertigung beitragen sollen.

Die Bewertung erfolgt nach den Kriterien Benutzerfreundlichkeit, Leistungsfähigkeit, Offenheit und Wirtschaftlichkeit (Bild 93). Dabei ist die Benutzerfreundlichkeit gegliedert in Benutzerschnittstelle, Ergonomie des Arbeitsplatzes, Bedienaufwand, Einarbeitungsaufwand und Ausfallsicherheit. Diese Punkte tragen wesentlich zur Akzeptanz des Systems durch den Facharbeiter in der Fertigung bei. Die Einstufung der Leistungsfähigkeit ist differenziert nach Umfang und Geschwindigkeit der Datenbereitstellung, dem Aufwand für die Datenpflege, den angebotenen Funktionen sowie der Rückmeldung der Fertigungszustände durch die Maschinen- und Betriebsdatenerfassung.

### Ergonomie

Durch die Integration der Funktionen in den Bedienteil einer offenen Steuerung wird die Ergonomie bei der Benutzung gegenüber einem externen Terminal deutlich verbessert. Aufgrund der Platz- und Umgebungsbedingungen muß auf den Einsatz einer Maus verzichtet werden. Die Benutzung eines Touch-Pads als alternatives Zeigergerät ist anfänglich gewöhnungsbedürftig, ermöglicht aber nach einer kurzen Einarbeitung annähernd denselben Bedienkomfort, den die Benutzung einer Maus bietet.

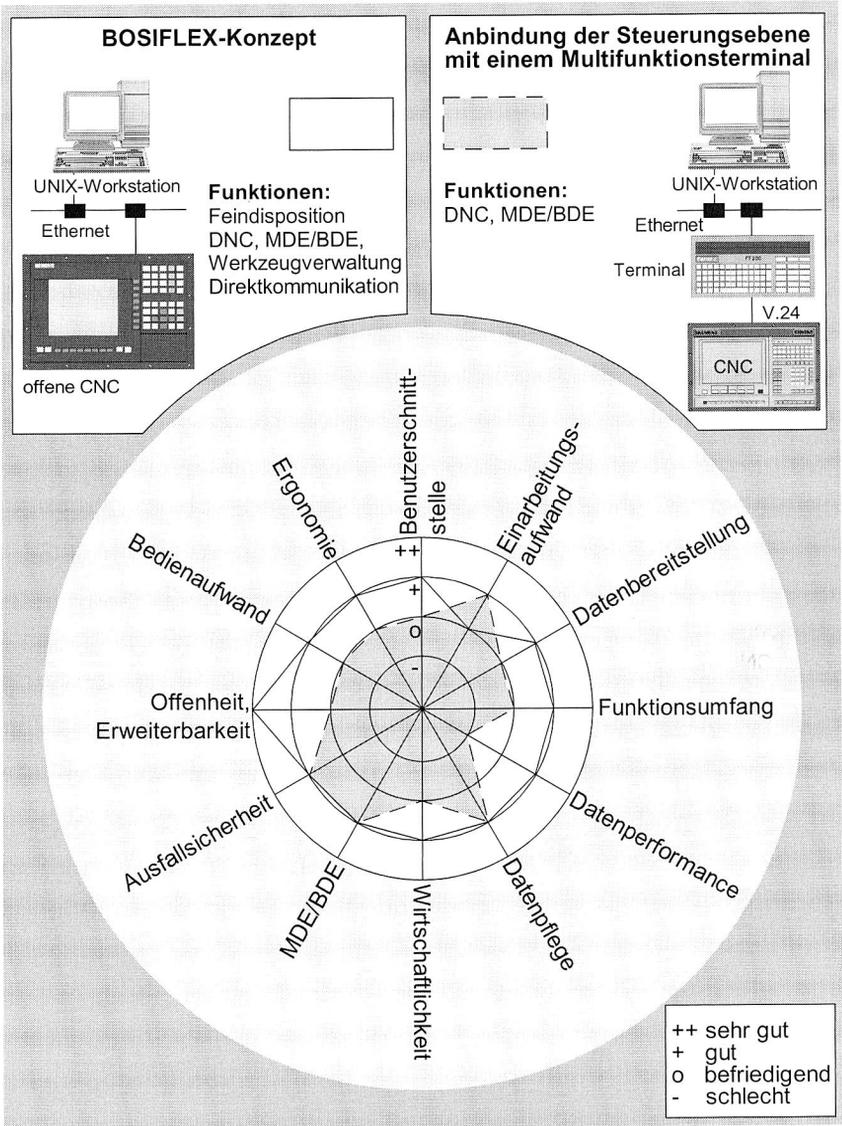


Bild 93: Bewertung des BOSIFLEX-Konzeptes gegenüber der Anbindung der Steuerungsebene durch ein konventionelles Multifunktionsterminal

## **Benutzerschnittstelle**

Die graphische Benutzeroberfläche, die integrierte Online-Hilfe, die klar strukturierten Bedienabläufe, sowie die Verfügbarkeit zusätzlicher Betriebsmittel- und Werkstückgraphiken tragen in BOSIFLEX zu einer hohen Benutzerfreundlichkeit bei. In konventionellen Multifunktionsterminals sind diese Funktionen nicht implementiert.

## **Einarbeitungsaufwand**

Gegenüber einfachen DNC- und MDE-/BDE-Terminals ergibt sich aufgrund der erheblich größeren Funktionalität der benutzerorientierten Steuerungssoftware auch ein gesteigerter Einarbeitungsaufwand. Der weitgehende Verzicht auf Automatismen und fest vorgegebene Abläufe in der Software, sowie die integrierte Online-Hilfe erleichtern dem Facharbeiter zwar die Einarbeitung, eine ausreichende Schulung muß jedoch sicherstellen, daß er sich nicht überfordert fühlt und aus diesem Grund das System ablehnt.

## **Bedienaufwand**

Beim NC-Programmtransfer zwischen dem Multifunktionsterminal und einer konventionellen CNC-Steuerung müssen Benutzereingriffe an beiden Geräten vorgenommen werden. Dies fällt durch die Integration der BOSIFLEX-Funktionen in die offene CNC-Steuerung weg. Der Aufwand für die Bedienung ist bei der vorgestellten benutzerorientierten Lösung insbesondere im Bereich der NC-Programmübertragung geringer.

## **Offenheit und Erweiterbarkeit**

Die eingesetzten IBM-kompatiblen Personal Computer haben sich ebenso, wie das Betriebssystem Microsoft DOS/Windows als Standard sowohl im industriellen, als auch im privaten Bereich durchgesetzt. Dadurch sind effektive Programmierwerkzeuge zu einem sehr guten Preis-/Leistungsverhältnis verfügbar. Am Markt werden günstige Hardwareerweiterungen, wie Barcodeleser, inklusive der erforderlichen Treiber angeboten. Einen weiteren Beitrag zur einfachen Adaptierbarkeit der Softwaremodule liefert die eingesetzte objektorientierte Programmierertechnik. Bestehende Multifunktionsterminals basieren z. T. auf einer eigens angepaßten Hardware und sind nur begrenzt erweiterbar.

## **Datenbereitstellung**

Der an einer CNC-Steuerung bereitgestellte Datenumfang ist bei BOSIFLEX um die Auftragsdaten und graphischen Informationen erweitert.

### **Funktionsumfang**

Die zusätzliche Auftragsfeindisposition und die direkte Kommunikationsmöglichkeit mit anderen Arbeitsplätzen erweitern den Funktionsumfang gegenüber einer Terminallösung.

### **Datenperformance**

Die schnelle Verbindung zwischen dem Maschinenarbeitsplatz und einem zentralen Datenserver via Ethernet, die Datenübertragungsraten bis zu 10 Megabit pro Sekunde erlaubt, trägt zu einer schnellen Verfügbarkeit des erweiterten Datenumfanges bei.

### **Datenpflege**

Die Funktion der Datenpflege ist bei den diskutierten Lösungsansätzen nahezu identisch, da beide auf einer zentralen Datenhaltung basieren. Die dezentral verfügbaren permanenten Massenspeicher des BOSIFLEX-Konzeptes können zu einer unkontrollierbaren Datenredundanz in der Fertigung führen. Durch die Aufstellung und Durchsetzung eines klaren Regelwerkes muß dem entgegengewirkt werden.

### **Wirtschaftlichkeit**

Der konsequente Einsatz von Standards und die Nutzung der in offenen CNC-Steuerungen integrierten IBM-kompatiblen PC's erfordert erheblich verringerte Investitionen in Hardware und reduziert den Aufwand für die Erstellung von Softwareapplikationen. Dies stellt eine gute Wirtschaftlichkeit sicher. Die konsequente Umsetzung des BOSIFLEX-Konzeptes führt zu einer deutlichen Reduzierung des zentralen Planungs- und Steuerungsaufwandes.

### **MDE/BDE**

Die Rückmeldung der Maschinen- und Betriebsdaten von der Werkzeugmaschine an eine zentrale Datenerfassung basiert auf denselben Modulen und ist für beide Lösungen als gut einzustufen.

### **Ausfallsicherheit**

Die Ausfallsicherheit eines zentralen UNIX-Datenservers ist ebenso wie die einer Ethernet-Verbindung als gut zu betrachten. Die Erfahrung hat gezeigt, daß das Betriebssystem Microsoft DOS/Windows für Workgroups 3.11 hier als anfälliger einzustufen ist. Durch konzeptionelle Maßnahmen kann dieses Risiko weitgehend begrenzt werden. Die Haltung eines dezentralen Fertigungsdatenbestandes stellt die Autonomie eines Arbeitsplatzes bei kurzen Störungen der Datenverbindung oder einem Absturz der zentralen Datenbasis sicher.

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung der alternativen Lösungskonzepte für den Datenfluß zwischen einem Arbeitsplatz in der Fertigung und einer überlagerten Planungs- und Steuerungsebene bietet das BOSIFLEX-Konzept erhebliche Vorteile gegenüber der herkömmlichen Anbindung durch Multifunktionsterminals in den Bereichen Benutzerfreundlichkeit, Offenheit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit. Insbesondere die Bereitstellung zusätzlicher Informationen die auf der Fertigungsleitebene verfügbar sind, aber mit bestehenden Systemen nicht zur Maschinenebene transferiert werden können, tragen in dezentral organisierten Fertigungsstrukturen zu einer verbesserten Transparenz der Produktionsabläufe bei. Diese versetzt den Facharbeiter in die Lage an seinem Arbeitsplatz die richtigen Entscheidungen zu treffen. Die Funktionen zur Rückmeldung der Informationen aus der Fertigung sind durch bestehende BDE-Systeme ausreichend gelöst.

### **8.3 Maßnahmen zur Einführung neuer Organisationskonzepte**

Eine der wesentlichsten Voraussetzungen für den Erfolg jeder Veränderung in einer bestehenden Fertigung ist die Akzeptanz durch das Personal. Die Basis dafür ist die Erschließung eines erkennbaren persönlichen Vorteils für einen Maschinenbenutzer durch die Veränderung. Dies kann sowohl eine Vereinfachung der Arbeit, als auch die Steigerung der Produktivität und eine damit verbundene höhere Entlohnung des Personals sein.

Bei der reibungslosen Einführung eines computergestützten Systems zur Unterstützung des Benutzers einer Werkzeugmaschine trägt der Einsatz einer einfach zu bedienenden graphischen Oberfläche und die Bereitstellung einer Online-Hilfe bei. Das Arbeiten mit dem System darf nur einen geringen zusätzlichen Aufwand verursachen und das Fertigungspersonal nicht von seiner eigentlichen Produktionstätigkeit abhalten. Die Integration in eine offene CNC-Steuerung stellt sicher, daß der Facharbeiter während eines Eingabevorganges den Fertigungsprozeß im Auge behalten kann. Zusätzlich verliert die vorgestellte Lösung den Fremdkörpercharakter, der einem DNC- oder Multifunktionsterminal neben der Maschine immer anhaftet. Die Inbetriebnahme der Lösung muß schnell erfolgen. Experimente und eine mangelhafte Betriebsicherheit gefährden die Bereitschaft der Mitarbeiter neue Lösungen anzunehmen und verursachen hohe Kosten durch eventuell auftretende Blockierungen von Fertigungsmitteln zu Testzwecken.

Um eine Überforderung des Werkstattpersonals zu vermeiden, sind einerseits ausreichende Schulungsmaßnahmen vorzusehen, andererseits ist es zwingend erforderlich ein Betreuersteam einzurichten, das bei auftretenden Problemen sofort unterstützend eingreift. Die Kosten, die durch dieses Team verursacht werden, können durch die gesteigerte Produktion und eine geringere Fehlerhäufigkeit ausgeglichen werden.

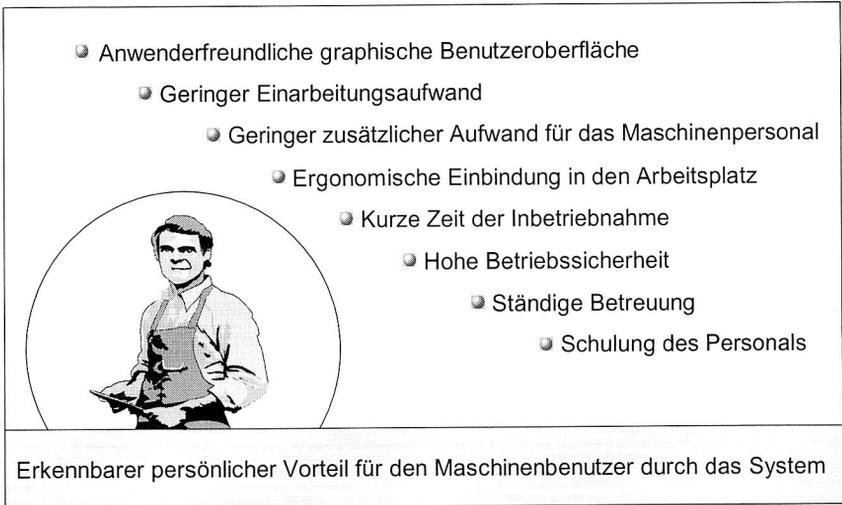


Bild 94: Akzeptanz eines neuen computergestützten Steuerungssystems durch den Maschinenbenutzer

## 8.4 Wirtschaftlichkeit

Bei der Umstellung der Fertigungsorganisation sind zunächst Investitionen für die Planung, Anpassung, Inbetriebnahme, Vernetzung aller Arbeitsplätze, Hardwareerweiterung und Schulung der Mitarbeiter zu tätigen.

Dem stehen verkürzte Durchlaufzeiten und eine verbesserte Termintreue gegenüber, die durch eine zweistufige und damit transparentere Auftragsplanung erreichbar sind. Der Steuerungsaufwand in der Fertigung kann damit reduziert werden. Ein vereinfachter Materialfluß wird insbesondere durch die Zusammenfassung der Fertigungseinrichtungen nach Produktgruppen gewährleistet. Der Einsatz qualifizierter und hochmotivierter Mitarbeiter führt zu einer verbesserten Fertigungsqualität, zur Vermeidung von Fehlern und zur schnellen Reaktion auf Störungen. Die Wartung und einfache Ausfälle der Maschinen werden vom Facharbeiter vor Ort erledigt. Dieses Vorgehen spart Zeit und ermöglicht eine gesteigerte Produktion von Werkstücken in der geforderten Qualität. Dazu trägt auch die Optimierung der Prozesse durch den Maschinenbenutzer bei. Er kann bei auftretenden Problemen die Unterstützung der Betreuer in Anspruch nehmen. Insbesondere bei der Verbesserung störanfälliger Fertigungsschritte und dem Test neuer Werkzeuge stellt dies sicher, daß das lokal erarbeitete Know-how für andere Arbeitsplätze verfügbar wird. Dabei muß allerdings das Entlohnungssystem Kriterien, wie die Einhaltung der Termine, der Qualität und die Produktivität der Arbeitsplätze berücksichtigen.

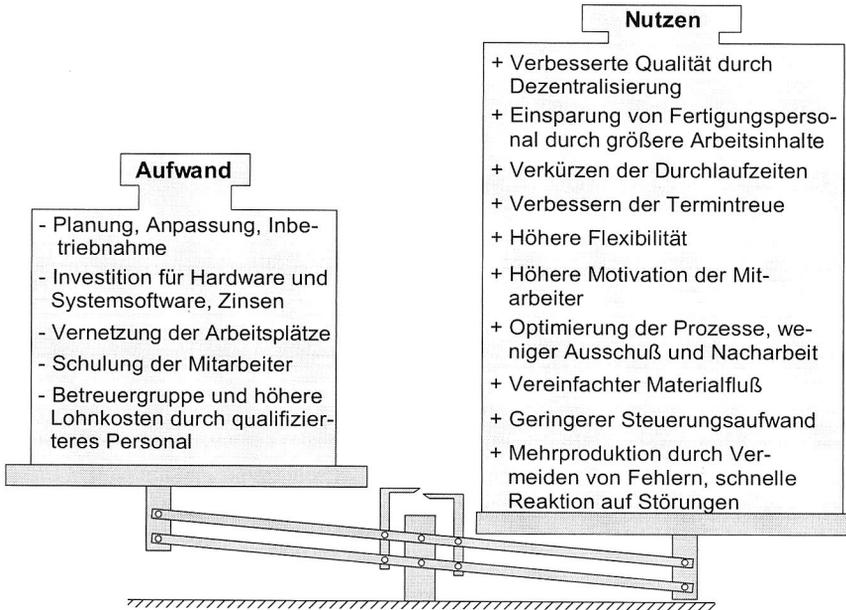


Bild 95: Wirtschaftlichkeit des BOSIFLEX-Konzeptes

Durch die Integration mehrerer Arbeitsschritte, sowie den Wegfall der Maschineneinsteller und des Wartungsbediensteten reduzieren sich auf der einen Seite die laufenden Kosten. Die permanente Installation einer Betreuergruppe und gesteigerte Lohnkosten für das benötigte qualifizierte Fertigungspersonal verursachen höhere laufende Personalaufwendungen.

Die Aufwand/Nutzen-Bilanz muß für jeden Anwendungsfall neu erstellt werden. Dabei ist zu überprüfen, inwieweit beispielsweise eine verbesserte Nutzung der Werkzeugmaschine aufgrund der Ablauforganisation der Fertigung in einen wirtschaftlichen Vorteil umgesetzt werden kann. Für den erzielbaren Effekt ist neben den dargestellten Einsparungspotentialen auch der Auftragslage des Unternehmens und der Auslastung der Produktion Beachtung zu schenken.

## 8.5 Integrierte Werkzeugüberwachung auf der Basis eines Mikrosystems

Von größter Wichtigkeit für die erfolgreiche Einführung von Werkzeugüberwachungssystemen ist die Definition des Nutzens, der von dessen Einführung erwartet wird, die Auswahl des richtigen Überwachungskonzeptes sowie die Akzeptanz durch das Personal an der Maschine. Um letzteres zu erreichen müssen sowohl ausreichende Schulungsmaßnahmen, eine schnelle Einführung, als auch eine ständige Betreuung des Maschinenbenutzers gewährleistet sein. Eine ansprechende Benutzeroberfläche besitzt dabei einen ebenso großen Stellenwert, wie die Zuverlässigkeit und die Aussagesicherheit des Systems.

Gegenüber konventionellen Überwachungssystemen steht dem Anwender beim Einsatz des Mikrosystems zur Prozeßüberwachung ein in das Werkzeug integrierter Datenträger, die höhere Zuverlässigkeit der Meßaussage, die Integration der Überwachungsfunktionen in die Werkzeugmaschinensteuerung und eine benutzerorientierte Oberfläche zur Verfügung. Die Gewährleistung der Verschleißerkennung trägt zu einer verbesserten Nutzung der Werkzeugstandzeiten bei. Für den Fall eines automatisierten Werkstückflusses kann dadurch eine längere Maschienlaufzeit erreicht werden. Die Nachregelung des thermisch bedingten Schneidenversatzes, der durch die Trockenbearbeitung hervorgerufen wird, ermöglicht die Vermeidung von Abkühlphasen zwischen einer Vor- und einer Endbearbeitung. Das vorgestellte System erschließt damit erhebliche Rationalisierungspotentiale in der Drehbearbeitung. Bei der Beschaffung des vorgestellten Werkzeugüberwachungssystems, das in den Klemmhalter eines Drehwerkzeuges integriert ist, muß der Gesamtpreis für die Umrüstung der Steuerung, die Software und der Mehrpreis für die Werkzeugkomponenten berücksichtigt werden.

Eine exakte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Investition in ein Werkzeugüberwachungssystem wird durch den Einfluß von nur ungenau quantifizierbaren Größen, wie der Prozeßoptimierung, die durch den intelligenten Einsatz erzielt werden kann, oder dem Gegenwert, den der Schutz der Maschine und des Maschinenbenutzers durch die Vermeidung von Kollisionen und Werkzeugbrüchen darstellen, erschwert. Bei der Entscheidung für ein Werkzeugüberwachungssystem sollte ein positives Kosten- zu Nutzenverhältnis jedoch immer im Mittelpunkt der Überlegungen stehen.

Bei dem vorgestellten Konzept ist die Bestückung aller Klemmhalter, die in die Prozeßüberwachung einbezogen werden sollen, mit einem Multisensorsystem zwingend. Dies erfordert, abhängig von der Anzahl der Werkzeuge, einen nicht unerheblichen finanziellen Mehraufwand gegenüber konventionellen Überwachungssystemen, die lediglich über einen Sensor in der Maschine verfügen. In der aktuellen Umsetzungsphase des Konzeptes ist ein abschließendes Urteil nicht möglich.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Steigende Anforderungen wie kurze Lieferzeiten für kundenspezifische Werkstücke bei hoher Termintreue und Qualität gewinnen in der Praxis immer mehr an Bedeutung. Die zentrale Planung und Terminierung der Prozesse hat sich in der Vergangenheit aufgrund mangelhafter Rückmeldungen von der Prozeßebene und einer zu unflexiblen Reaktion auf Störungen als unzureichend erwiesen. Derzeit wird versucht, diesem Mißstand mit einer Dezentralisierung von Planungsaufgaben zu begegnen. Die Verantwortung der Facharbeiter nimmt durch die Erweiterung des Aufgabenumfanges zu. Um den Anforderungen gerecht werden zu können, benötigt der Mitarbeiter in der Fertigung zusätzliche Informationen, die von den gegenwärtigen Systemlösungen nur auf der Fertigungsleitebene angeboten werden. Der schnelle Zugriff vom Maschinenarbeitsplatz auf aktuelle Fertigungsdaten gewinnt in der spannenden Fertigung eine immer höhere Bedeutung.

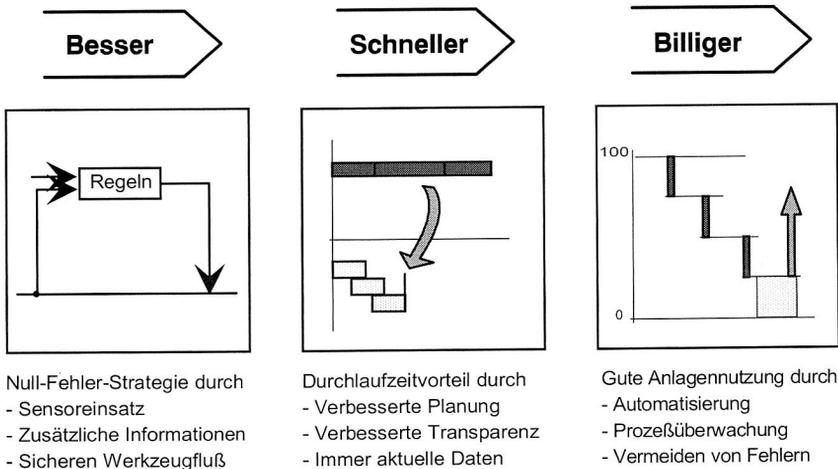
Der Erfolg und Mißerfolg bei der Einführung neuer Konzepte in der Fertigung wird wesentlich von der Akzeptanz durch die Benutzer bestimmt. Eine graphische Bedienoberfläche und der weitgehende Verzicht auf starr vorgegebene Abläufe, die dem Anwender Vorgehensweisen aufzwingen, wirkt sich in diesem Zusammenhang positiv aus. Jede Lösung für die Fertigung sollte daher dem Arbeiter an der Maschine eine Unterstützung bei der Bewältigung seiner Aufgaben und einen für ihn sichtbaren persönlichen Nutzen bieten.

Mit der benutzerorientierten Steuerungssoftware in der flexiblen Werkstattfertigung **BOSIFLEX** können benötigte aktuelle Fertigungsinformationen schnell abgerufen werden. Dies gilt auch für die Maschinenarbeitsplätze. Basis für das System ist die Vernetzung aller Arbeitsplätze mit einem Local Area Network. Die Verwendung eines zentralen Datenservers stellt sicher, daß alle Bereiche eines Betriebes mit denselben Informationen arbeiten. Die Nachteile der redundanten Datenhaltung fallen weg. Die exemplarische Anbindung eines NC-Programmiersystems an die zentralen Werkzeugdatenbestände und die zentrale NC-Programmverwaltung dokumentiert das Einsparungspotential durch die übergreifende Nutzung aller in einem Betrieb verfügbaren Informationen.

Bei dem Einsatz von BOSIFLEX in einer dezentral organisierten Gruppenfertigung ist eine zweistufige Verwendung der Module auf einem Gruppenrechner und auf einem Maschinenrechner, der im optimalen Fall in eine offene CNC-Steuerung integriert ist, vorgesehen. Der leistungsfähigere Gruppenrechner wird für die NC-Programmierung, die Datenpflege und die Verteilung der Arbeitsgänge auf die einzelnen Arbeitsplätze verwendet. Der Maschinenrechner hilft dem Benutzer bei der Fein-

disposition der Arbeitsgänge und der Beschaffung aller für die Fertigung erforderlichen Daten.

Der maschinennahe Lean Order Manager **MALOM** unterstützt den Mitarbeiter an einer Werkzeugmaschine ebenso wie den Verantwortlichen einer Fertigungsgruppe bei der dezentralen Feindisposition und Ressourcenbeschaffung. Dabei arbeitet MALOM arbeitgangorientiert. Zu jedem Fertigungsschritt werden dem Facharbeiter graphische Informationen zum Rohteil und dem fertig bearbeiteten Werkstück an die Hand gegeben. Mit den Querverweisen, die von MALOM bereitgestellt werden, kann der Benutzer die NC-Haupt- und -Unterprogramme, sowie die Einstell- und Arbeitsanweisungen mit dem maschinennahen NC-Programmverwaltungssystem für offene Steuerungen **MASNOST** von einem zentralen Fertigungsdatenserver an den Arbeitsplatz transferieren.



... sowie Qualifikation und Motivation

Bild 96: Nutzen der benutzerorientierten Lösung [nach 22]

Das maschinennahe Werkzeugverwaltungssystem für offene Steuerungen **MAWOST** bietet die Möglichkeit, von der CNC Steuerung aus, auf alle für die Produktion notwendigen Werkzeuginformationen schnell und redundanzfrei zuzugreifen. Alle Daten sind auf den zentralen Werkzeugdatenserver abgelegt. Damit ist die Lokalisierung und Reservierung aller montierten Werkzeuge, die in der Fertigung verfügbar sind, möglich. Die Anlieferung der reservierten Werkzeuge erfolgt unmittelbar nach dem Ende des aktuellen Einsatzes an einer anderen Maschine oder der Vermessung an einem Werkzeugvoreinstellgerät. Die für das Objekt Werkzeug in einer numerischen Steuerung benötigten Daten werden über das Lokal Area Network von

dem zentralen Datenserver, einschließlich einer Detailgraphik geliefert. Nach dem Einsatz des Werkzeuges an der Maschine, der durch das Herausnehmen aus dem Magazin beendet ist, folgt die automatische Aktualisierung des zugehörigen Datensatzes am Leitrechner.

Zur Steigerung der Effizienz in der spanenden Fertigung ist die vorgestellte Verbesserung der Einbindung von Maschinenarbeitsplätzen in den Datenfluß eines Unternehmens von ebenso großer Bedeutung wie die verbesserte Rückmeldung der Prozeßdaten an den Facharbeiter. Werkzeugüberwachungssysteme haben die Aufgabe, die Maschine und den Benutzer vor den Folgen von Kollisionen und einem Werkzeugbruch zu schützen. Darüber hinaus tragen sie zu einer verbesserten Ausnutzung der Standzeitpotentiale der Werkzeuge bei und können den Facharbeiter bei der Optimierung des Fertigungsprozesses unterstützen.

Aus der Sicht des Anwenders besitzt in der Zukunft die Integration der Werkzeugüberwachung in die CNC-Steuerung die höchste Priorität [37]. Das Konzept eines Werkzeugüberwachungssystems für die Technologie Drehen, das in eine offene CNC-Steuerung integriert ist, trägt diesen Anforderungen Rechnung. Ein Mikrosystem, das in den Klemmhalter eines Drehwerkzeuges eingelassen ist, nimmt die Kräfte in drei Richtungen, die Vibrationen und die Temperatur auf. Eine nachgeschaltete Vorverarbeitung der Daten stellt einem digitalen Signalprozessor die Meßwerte auf drahtlosem Weg zur Verfügung. Zusätzlich ist ein Datenträger im Mikrosystem enthalten, der einerseits Kalibrierwerte für die Sensoren speichert und andererseits das Aufgabenspektrum eines freiprogrammierbaren Werkzeugidentifikationssystems abdeckt. Der digitale Signalprozessor übernimmt die Kollisionserkennung in Echtzeit, das daraus resultierende Stillsetzen der Maschine und eine Verdichtung der Daten. Auf einem IBM-kompatiblen Personal Computer, der Teil einer offenen Steuerung ist, wird die Verschleißerkennung implementiert.

Das vorgestellte System ist für den Einsatz in einer SINUMERIK 840 D konzipiert. Die realisierten Schnittstellen zum NC-Kern sind auf diese Steuerung abgestimmt. Bei einer Portierung auf ein anderes Steuerungssystem ist ein nicht unerheblicher Anpassungsaufwand zu leisten. Zur Gewährleistung eines universelleren Einsatzes, kann in der Zukunft eine Adaption des gesamten Systems an einen offenen Steueringkern nach dem OSACA-Prinzip ins Auge gefaßt werden.

## Literatur

- [1] Banaszak, W., Biewald, R.: Werkstattgerechte Umfeldorganisation und Toolmanagement für wirtschaftliches Fertigen, in Werkstatt und Betrieb 128 (1995) Nr. 5, 394-399.
- [2] Beckendorf, U.: Reaktive Belegungsplanung für die Werkstattfertigung, VDI-Verlag Düsseldorf 1991.
- [3] Blöchl, W.: Rationalisierungspotentiale durch die Integration zentraler und dezentraler Datenhaltungskonzepte für Werkzeug- und NC-Daten, in: Tagungsband zum Technologietransferseminar „Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen“ am 17.11.1995.
- [4] Blöchl, W.; Herbst, M.: Mikrosystem zur Werkzeugüberwachung an CNC-Drehzentren, in: Tagungsband zur 2. Chemnitzer Fachtagung Mikrosystemtechnik, 16.10.-17.10.1995.
- [5] Böhmer, R.: Industriemeister - Die Lean-Welle erfaßt den Kern des deutschen Wirtschaftssystems, in: Wirtschaftswoche Nr. 23 / 1.6.1995, S. 74-79.
- [6] Braun, H.-J.; Kristof, R.; Leisner, J.: Das fraktale Unternehmen - Aufbruch zu neuen Ufern, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 10, S. 26-30.
- [7] Bühler, W.: Integration der Werkstückhandhabung und Steigerung der Bearbeitungsqualität bei Vertikaldrehmaschinen, in: Tagungsband des FAPS-Technologietransferseminars „Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen“ am 17.11.1995.
- [8] Byrne, G.: The Status of Research and Development in Tool Condition Monitoring, in: VDI-Berichte 1179, VDI-Verlag 1995, S. 17 ff.
- [9] Conrady, H.-G.: Von der Werkzeugüberwachung zur Prozeßüberwachung, in: VDI-Berichte 1179 „Überwachung von Zerspan- und Umformprozessen“, VDI-Verlag 1995, S. 211- 221.
- [10] DIN 69871: Steilkegelschäfte für automatischen Werkzeugwechsel, Beuth-Verlag Berlin 1982.
- [11] DIN 69873: Datenträger für Werkzeuge und Spannzeuge - Maße für Datenträger und deren Einbauraum, Beuth-Verlag Berlin 1993.
- [12] DIN 69880 Teil 1: Werkzeughalter mit Zylinderschaft - Zylinderschaft, Aufnahmebohrungen, Technische Lieferbedingungen, Beuth-Verlag Berlin 1972.

- 
- [13] DIN 69880, Teil 10: Werkzeughalter mit Zylinderschaft - Axial kuppelbarer Antrieb, Beuth-Verlag Berlin 1992.
- [14] DIN-Fachbericht 15: Normung von Schnittstellen für die rechnerintegrierte Produktion. Beuth Verlag 1987.
- [15] DIN-Taschenbuch 14: Werkzeugspanner, Beuth-Verlag Berlin 1990.
- [16] DIN-Taschenbuch 200: NC-Maschinen - Numerische Steuerungen, Beuth-Verlag Berlin 1992.
- [17] Dornfeld, D.: Monitoring technologies for intelligent machining, in: VDI-Berichte 1179, VDI-Verlag 1995, S. 71 ff.
- [18] Ehmann, B.: Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung, Carl Hanser Verlag München Wien 1993.
- [19] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik - Band 3: Arbeitsvorbereitung, VDI-Verlag Düsseldorf 1989.
- [20] Eversheim, W.; Bochtler, W.; Humburger, R.; Lehnhart, M.: Die Arbeitsplanung im geänderten Produktionstechnischen Umfeld, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 3 / 4 - März/April, S. 88-91.
- [21] Fabry, J.; Kurth, J.; Heisel, U.: Entwicklungstrends bei Zerspanwerkzeugen, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 3 / 4 - März/April, S. 58-61.
- [22] Feldmann, K.; Blöchl, W.: Integrated tool data processing in flexible manufacturing cells. Production Engineering - Research and Development in Germany, Annals of the GSP, I/1, Sept. 1993, S. 99 ff.
- [23] Feldmann, K.; Blöchl, W.; Göhringer, J.; Pitter, F.: Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen durch neue Sensorlösungen und optimierten Werkstück- und Werkzeugfluß, in: Tagungsband des FAPS-Technologietransferseminars „Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen“ am 17.11.1995.
- [24] Feldmann, K.; Blöchl, W.; Herbst, M.; Multisensorielles Mikrosystem zur Werkzeugüberwachung beim Drehen, in VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Special Werkzeuge, September 1995, S. 52-54.
- [25] Feldmann, K.; Blöchl, W.; Solvie, M.: Computer based manufacturing cells - optimizing the triad: machine unit, control system and software, in: Preprint for the 25th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems FMS - Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 289 ff.

- [26] Feldmann, K.; Blöchl, W.; Solvie, M.: Die Integration von flexiblen Drehzellen. PA, 4/93, S. 24 ff.
- [27] Feldmann, K.; Blöchl, W.; Solvie, M.: Optimizing of Interaction between machine unit, control system and software in computer based manufacturing cells. Proceedings of the CIRP-Seminars - manufacturing systems, Vol. 23, No. 3, 1994, S. 225 ff.
- [28] Feldmann, K.; Krug, S.: Verkürzte Prozeßketten durch flexible Komplettmontage, in: Tagungsband zum VDI-Seminar: „Auslegung und Betrieb modularer Montagesysteme“, Erlangen, 31.5./1.6.1995.
- [29] Foerst, J. u. a.: CIM-AG - Arbeitskreis 2.1 Betriebsmittelmodell - Abschlußbericht 1990, unveröffentlichter Bericht der CIM-AG im DIN.
- [30] Föhse, M.: Untersuchungen zur Bruchüberwachung vielschneidiger keramischer Stirnfräser, VDI-Verlag Düsseldorf 1990.
- [31] Franke, J.: Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumlich spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID), Carl Hanser Verlag München Wien 1995.
- [32] Gates, W.: Die 500-Millionen-Dollar-Wette - Bill Gates über die Zukunft der Informationsgesellschaft, in: Der Spiegel 1995, Nr. 48, S. 112-134.
- [33] Gerischer, H.: Qualitätsprobleme von tschechischen Partnern, in: Tagungsband zum Symposium Deutsch-tschechischer Fertigungsverbund, OTTI Regensburg, 22.09.1994, S. 67-79.
- [34] Gililland, J.: Overall Equipment effectiveness (OEE) Guidebook Revision 1.0, Sematech 1995
- [35] Globus, Superhirn im Computer, in: Erlanger Nachrichten vom 06.12.1995.
- [36] Göhringer, J: Werkzeugüberwachung für das Drehen mit einem prozeßnahen Sensor, in: Tagungsband des FAPS-Technolgietransferseminars „Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen“ am 17.11.1995.
- [37] Golz, H. U.: Bewertung von Werkzeugüberwachungssystemen aus der Sicht der Anwender, in Mikrosystemtechnik - Entwicklung und Optionen der Realisierung (Mentor) Arbeitspapier II „Mikrosystemtechnik für Überwachungs- und Diagnosesysteme in Werkzeugmaschinen“, Veranstaltung am 28.03.1995 in Ulm.
- [38] Golz, H.-U.; Wolf, A.; Schillo, E.; Kaufeld, M.; Johannsen, P.; Sprengel, P.; Heinek, A.: Bewertung von Werkzeugüberwachungssystemen aus der Sicht der Anwender, in: VDI Berichte 1179 - Überwachung von Zerspan- und Um-

- formprozessen, Konferenz Düsseldorf 30./31.03.1995, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, VDI-Verlag 1995.
- [39] Hagen, T.: Wirtschaftliche Automobilfertigung durch Gruppenarbeit, in Werkstatt und Betrieb 127 (1994) 3, S. 121-124.
- [40] Holtschneider, H.: Von Pipelines und Strohhalmen - Der Aufbau des Internet in Deutschland, c't Januar 1996, S. 114-122.
- [41] Imai, M.: Kaizen - der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb, Wirtschaftsverlag Langen Müller Herbig, München 1992.
- [42] Jorissen, H. D.; Schulte, H; Malle, K.; Jannsen, B.: Metav 94: Qualität statt Quantität, in: VDI-Z Integrierte Produktion 136 (1994), Nr. 7/8 - Juli/August, S. 24-42.
- [43] Junghans, G.: Offene Steuerungsplattform - Eine Einführung in die Systemarchitektur von OSACA, Elektronik plus, 2/1994 S. 19-23.
- [44] Kahlenberg, R.: Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen, Forschungsberichte iwB, Band 82, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1994.
- [45] Kief, H.: NC/CNC Handbuch '93/94, Carl Hanser Verlag München Wien 1993.
- [46] Klocke, F.; König, W.; Lung, D.; Gerschwiler, K.: Trocken zerspanen, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 3 / 4, S. 38-42.
- [47] König, W. u. a.: Kühlschmierstoff - Eine ökologische Herausforderung an die Fertigungstechnik, in: Tagungsband zum Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium 1993.
- [48] König, W.; Severt, W.; Berktold, A.: Zerspanen ohne Kühlschmierstoffe, in: pa 4/1993, S. 31-34.
- [49] Krallmann, H.: CIM-Expertenwissen für die Praxis, Oldenbourg-Verlag, München, Wien 1990.
- [50] Kuhlmann, H.: Parallelen in Japan, in: Werkstatt und Betrieb 128 (1995) 3, S. 116.
- [51] Kumara, S.R.T.; Ham, I.: Computing Applications in Flexible Manufacturing Systems - Past, Present and the Future, in: Peklenik, J. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 163 ff.
- [52] Kunerth, W.: Neue Produktionsstrukturen und Produktinnovation - Das Beispiel eines Elektrokonzerns, in: Zwf 90 (1995) Nr. 10, S. 470-473.

- [53] Malle, K.: 11. EMO Mailand: Produktionstechnik im Zeichen der Konjunkturwende, in VDI-Z Integrierte Produktion 7/8 1995, S. 16-22.
- [54] Malle, K.: Feuer und Wasser, VDI-Z Integrierte Produktion Special Werkzeuge, Aug. 1994, S. 3.
- [55] Martens, R.: Konzeption eines Informationssystems für das Werkzeugwesen, VDI-Verlag Düsseldorf 1992.
- [56] Martens, R.; Dittmer, H.: Zuordnung von Werkzeug und Werkzeugdaten, VDI-Z Integrierte Produktion 133 (1991), Nr. 4, S. 90-96.
- [57] Maßberg, W.; Habich, M.; Kath, H.: Dezentrale Dispositionsentscheidungen synchronisieren, in AV 29 (1992), Nr. 1, S. 36-40.
- [58] Meissner, R: Wege in den Stau - Was leisten die großen Internet-Anbieter?, in: c't Januar 1996, S. 124-127.
- [59] Merchant, M. E.: A Personal Perspective on the Evolution of Manufacturing Systems, in: Peklenik, J. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 21 ff.
- [60] Mertins, K.; Albrecht, R.; Steinberger, V.: Werkstattsteuerung - Werkstattmanagement, Carl Hanser Verlag München Wien 1992.
- [61] Micheletti, G. F.: The Role of the CIRP Seminars on Transfer of Advanced Knowledge on Manufacturing Systems into Industry, in: Peklenik, J. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 15 ff.
- [62] Momper, F.: Neue Entwicklungen bei Schneidwerkzeugen für die Trockenbearbeitung, in: Tagungsband des FAPS-Technolgietransferseminars „Leistungssteigerung an CNC-Drehmaschinen“ am 17.11.1995.
- [63] Müller, J.: Verkehrs- und Lagerlogistik im grenzüberschreitenden Fertigungsverbund, in: Tagungsband zum Symposium Deutsch-tschechischer Fertigungsverbund, OTTI Regensburg, 22.09.1994, S. 81-87.
- [64] N. N.: Auslandsinvestitionen erreichen eine Rekordmarke, in: Süddeutsche Zeitung, Ausgabe: 30.09.1995.
- [65] N. N.: Das stille Sterben, in: Der Spiegel, 1995, Nr. 39, S. 126-130.
- [66] N. N.: Die Jobs wandern aus, in: Der Spiegel, 1995, Nr. 37, S. 42-53.
- [67] N. N.: Hartmetall bleibt weiter vorn, in: Werkzeuge, Dezember 1995, S. 56-58.
- [68] N. N.: Manufacturing Automation Protocol, Version 3.0, Final Release, General Motors 1988.

- [69] N. N.: Wunschzettel an Steuerungshersteller - Ergebnis einer Leserumfrage, Fertigung Oktober 1995, S. 8.
- [70] Nedeljkovic-Groha, V.; Zipper, B.: Objektnahe Datenhaltung im Fertigungsbereich, *ZwF* 88 (1993), Nr. 1, S. 20-23.
- [71] Niefer, H.: Planung, Einführung und Optimierung von Gruppenarbeit in der Teilefertigung, Produktionstechnik - Berlin, Band 123, Hanser-Verlag München, Wien 1993.
- [72] Olfert, K.: Kostenrechnung, Kiehl Verlag, Ludwigshafen (Rhein) 1985.
- [73] Parsons, J. T.: The Driving Forces Leading to the First Numerical Control Machine, in: Peklenik, J. (Hrsg.): *Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future*, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 33 ff.
- [74] Peter, W.: *Internationale Wirtschaftszahlen 1995*, Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln 1995.
- [75] Pritschow, G.; Daniel, Ch; Junghans, G.; Soperling, W.: Open System Controllers - A Challenge for the future of the Machine Tool Industrie, in: *CIRP Annals 1993 Manufacturing Technologie*, Volume 42/1/1993, Verlag technische Rundschau, Bern, Stuttgart 1993.
- [76] Pritschow, G.; Krebsler, G.; Daniel, Ch.; Kugler, W.: Merkmale eines offenen Steuerungskonzeptes, in: *Tagungsunterlagen zur Fachtagung „Offene Steuerungen“ am 30.09. und 01.10.1992 in Böblingen*.
- [77] Pritschow, G.; Sperling, W.: NC-Technology-Milestones on the Way to the „Open Control System“ of the future, in: Peklenik, J. (Hrsg.): *Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future*, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 129 ff.
- [78] Proske, R.: Erfahrungen mit der deutsch-tschechischen Kooperation in der Kunststoffverarbeitung, in: *Tagungsband zum Symposium Deutsch-tschechischer Fertigungsverbund, OTTI Regensburg, 22.09.1994*, S. 53-63.
- [79] Reichel, H.: Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung, Carl Hanser Verlag München Wien 1991.
- [80] Roschmann, K.: *Fertigungssteuerung - Einführung und Überblick*, Hanser Verlag München Wien 1980.
- [81] Sata, T.: Development of Advanced Flexible Manufacturing Systems in Japan, in: Peklenik, J. (Hrsg.): *Flexible Manufacturing Systems, Past - Present - Future*, Faculty of mechanical engineering, Ljubljana 1993, S. 43 ff.

- [82] Scharf, A.: Leistungsschub durch Pentium-Pro, in VDI-Nachrichten Nr 47 vom 24.11.1995, S. 23.
- [83] Scharf, P.; Neuhäuser, W.: Produktionsdatenverarbeitung - Ergebnisse einer Befragung von Industrieunternehmen, in: VDI-Z Integrierte Produktion 135 (1993), Nr. 8, S. 61-65.
- [84] Scheer, A.-W.: CIM - Computer Integrated Manufacturing - Der computergesteuerte Industriebetrieb, Berlin 1990.
- [85] Scheer, A.W.: Fertigungssteuerung - Expertenwissen für die Praxis, Oldenbourg-Verlag München Wien 1991.
- [86] Schieb, J.: Das große AT-Buch, DATA BECKER Düsseldorf 1990.
- [87] Schütte, C.; Marschall, B.; Siems, D.: Ausländer rein, in: Wirtschaftswoche Nr. 23 vom 01.06.1995, S. 14-21.
- [88] Sieger, H.; Schwartz, S.; Viehöver, U.: Industriestandort Deutschland - Reif fürs Museum? in: Focus 1995, Nr. 45, S. 298-304.
- [89] Siemens AG, top Inform 94/95 - Die top-Bewegung gewinnt an Dynamik, Siemens AG, Stand: Februar 1995.
- [90] Siemens AG: CIM-Glossar, Siemens AG, München 1990.
- [91] Siemens AG: Sinumerik-Entwicklung, Siemens AG Erlangen 1991.
- [92] Siemens AG: Trainingsunterlagen SINUMERIK 840 D OEM-MMC, Siemens AG, Stand 10/1995.
- [93] Spath, D.; Burghardt, J.; Walter, W.: Aus Erfahrung gut - Die Rückführung von Erfahrungsdaten verbessert die NC-Programmerstellung, in: AV 32 (1995), Nr. 4, S. 267-271.
- [94] Sprung, M.: Werkzeugdaten - Kundenservice durch internationale Kooperation, in: pa 4/94, S. 32-35.
- [95] Spur, G.: Erfolgsfaktoren im weltweiten Wettbewerb, in: ZwF 90 (1995), Heft 10, S. 464-465.
- [96] Spur, G.: Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine, Carl Hanser Verlag, München 1972.
- [97] Storr, A.; Ordenewitz, R.: Werkzeugdatenübernahme vom Hersteller zum Anwender - Problemstellung, Anforderungen, Lösungsansätze, in: VDI-Z Integrierte Produktion 135 (1993), Nr. 4 - April, S. 58-60.

- [98] Sünneemann, F.: Beitrag zur Gestaltung und Lenkung von Produktionsabläufen - Eine exemplarische Umsetzung einer leittechnischen Konzeption für eine manuelle Großmontage, Cuvillier Verlag, Göttingen 1994.
- [99] Thon, H.-J.: Netzwerke zur industriellen Kommunikation, in: Tagungsband „Systemtechnik - ein Instrument zur Unternehmensführung“, 10.10. und 24.10.1991, Bayerischer Forschungsverbund Systemtechnik 1991.
- [100] Tönshoff, H. K.; Erhan, A., Pudig, C.: Marktübersicht Werkzeugidentifikationssysteme, VDI-Z Integrierte Produktion 135 (1993), Nr. 6, S. 53-57.
- [101] Tönshoff, H. K.; Jürging, C.-P.: Rechnergestützte Auftragssteuerung in gruppenorientierten Fertigungsstrukturen, in: Zwf 89 (1994), Nr. 5, S. 251-254.
- [102] Varma, A.; Kline, A.: Multi Sensor Tool Monitoring-Applications Experience and Future Trends in Industry and Education, in: VDI-Berichte 1179, VDI-Verlag 1995, S. 223 ff.
- [103] VDI-Richtlinie 2815, Blatt 5: Begriffe für die Produktionsplanung und Steuerung - Betriebsmittel, VDI-Verlag Düsseldorf 1978.
- [104] VDMA: Übersicht Produktion, Export, Import von Präzisionswerkzeugen 1987-1994, VDMA, Fachgemeinschaft Präzisionswerkzeuge (DPV) Frankfurt/Main 1996.
- [105] VDW: Werkzeugmaschinenmarkt Deutschland, Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V., Frankfurt/Main 1995.
- [106] Walker, T.: Das Ende der „Kurvengesteuerten“, in: Maschine und Werkzeug, November 1994.
- [107] Warnecke, H.-J.: Revolution der Unternehmenskultur - Das Fraktale Unternehmen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.
- [108] Weis, W.: Optical tool wear measurement and estimation of tool life travel for milling, Dissertation Universität Karlsruhe 1995.
- [109] Westkämper, E, Jeschke, K.: Maßnahmen zur Null-Fehler-Produktion im Maschinenbau, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 3/ 4, S. 84-87.
- [110] Westkämper, E: „Intelligente“ Werkzeugmaschinen für die Produktion 2000, in: VDI-Z Integrierte Produktion 135 (1993), Nr. 9 , S. 14-18.
- [111] Westkämper, E; Unger, U. J.: Durchlaufzeitreduzierung durch Kommunikation unterhalb der PPS-Ebene, in: Zwf 90 (1995) Nr. 3, S. 90-94.
- [112] Wiehdahl, H.-P., Scholtissek, P., Mittwollen, N.: Potentiale der Fertigungssegmentierung, in: VDI-Z Integrierte Produktion 137 (1995), Nr. 5, S. 48-53.

- [113] Witte, K. W.; Rieth, S.; Oberthür, S.: Betriebskommunikations- und Leit-systeme, in: VDI-Z Integrierte Produktion 135 (1993), Nr. 8, S. 66-72.
- [114] Wolf, A.; Schillo, E.; Kaufeld, M.; Golz, H.-U.; Johannsen, P.; Sprengel, P.; Heinek, A.: Praxiserfahrungen beim Einsatz von Werkzeugüberwachungs-systemen in der zerspanenden Fertigung, in: VDI Berichte 1179 „Überwachung von Zerspan- und Umformprozessen“, Konferenz Düsseldorf 30./31.03.1995, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, VDI-Verlag 1995, S. 283-308.
- [115] Yamaguchi, H.: Irrweg in Billiglohnländer, in: Werkstatt und Betrieb 127 (1994) Nr. 1-2, S. 3.
- [116] Zeppelin, W. v.: Fortschritt in der Werkzeugüberwachung, in: Werkstatt und Betrieb 125 (1992) Nr. 5, S. 359-362.
- [117] Zipper, B.: Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer flexiblen Fertigung, Forschungsberichte iwv, Band 76, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1994.

## Lebenslauf

Wolfgang Blöchl

geb. am 07.06.1964 in Erlangen

- 1970-1974      Grundschule in Erlangen
- 1974-1983      Ohm-Gymnasium in Erlangen  
Abschluß: Abitur
- 1981            Zweiter Preis in der ersten Runde des Bundeswettbewerbs für Mathematik
- 1983-1984      Grundwehrdienst bei der Bundeswehr
- 1984-1990      Studium der Fertigungstechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Abschluß: Dipl.-Ing. (Univ.)
- 1991            Auszeichnung mit dem Studienpreis des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V.
- 1990-1996      Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe für Handhabungs- und Montagetechnik am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Von 1990 bis 1995 Mitarbeit im Projekt für flexibel automatisierte Produktionsanlagen (PAP), seit März 1992 Leitung des Teilprojektes „Zellentechnik Mechanik“
- ab 1994 fachliche Leitung des Teilprojektes 3: „Werkzeugzustandsüberwachung und Maschinenregelung“ im bayerischen Forschungsverbund Mikrosystemtechnik
- seit 1996        Mitarbeiter der Siemens AG

Erlangen, den 07.07.1996



# Reihe Fertigungstechnik Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montage-systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

**Projektierung von Montagesystemen**

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989. Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

**Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern**

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem

Laserstrahlschneiden

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

**Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion**

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

**Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik**

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

- Band 11  
Herbert Fischer  
**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung**  
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 12  
Gerhard Kleineidam  
**CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung**  
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 13  
Frank Vollertsen  
**Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls**  
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.
- Band 14  
Stephan Biermann  
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern**  
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 15  
Uwe Geißler  
**Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**  
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 16  
Frank Oswald Hake  
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen**  
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 17  
Herbert Reichel  
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**  
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 18  
Josef Scheller  
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen**  
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 19  
Arnold vom Ende  
**Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize**  
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 20  
Joachim Schmid  
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern**  
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 21  
Egon Sommer  
**Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen**  
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 22  
Georg Geyer  
**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage**  
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 23

Rainer Flohr

**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)**

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 24

Alfons Rief

**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen in der Rohkarosseriefertigung**

VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 25

Christoph Thim

**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation**

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 26

Roland Müller

**CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**

141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 27

Günther Schäfer

**Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung**

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 28

Martin Hoffmann

**Entwicklung einer CAD/CAM-Prozeßkette für die Herstellung von Blechbiegeteilen**

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 29

Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**

186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 30

Olaf Schrödel

**Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen**

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 31

Hubert Reinisch

**Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**

XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32

Brigitte Bärnreuther

**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**

XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33

Joachim Hutfless

**Laserstrahlregelung und Optikiagnostik in der Strahlführung einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**

175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34

Uwe Günzel

**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und –steuerung**

XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35  
Bertram Ehmann  
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener  
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**  
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36  
Harald Kolléra  
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems  
für das Laserstrahlschneiden**  
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37  
Stephanie Abels  
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen  
in einem integrierten Simulationssystem**  
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38  
Robert Schmidt-Hebbel  
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender  
Durchgangslöcher**  
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39  
Norbert Lutz  
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit  
XeCl-Excimerlaserstrahlung**  
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40  
Konrad Grapp  
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an  
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**  
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41  
Martin Koch  
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung  
in der Investitionsgüterindustrie**  
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42  
Armin Gropp  
**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem  
gepulsten Nd:YAG-Laser**  
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43  
Werner Heckel  
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung  
mit dem Lichtschnittverfahren**  
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44  
Armin Rothhaupt  
**Modulares Planungssystem zur Optimierung  
der Elektronikfertigung**  
180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45  
Bernd Zöllner  
**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion**  
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46  
Bodo Vormann  
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung  
komplexer Blechbiegeteile**  
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47  
Peter Schnepf  
**Zielkostenorientierte Montageplanung**  
144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48  
Rainer Klotzbücher  
**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung  
in flexiblen Fertigungssystemen**  
156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49  
Wolfgang Greska  
**Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen**  
144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50  
Jörg Franke  
**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien  
für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**  
196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51  
Franz-Josef Zeller  
**Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter**  
190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52  
Michael Solvie  
**Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen**  
200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53  
Robert Hopperdietzel  
**Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie**  
180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert.

Band 54  
Thomas Rebhahn  
**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern -  
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**  
148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 55  
Henning Hanebuth  
**Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik**  
157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 56  
Uwe Schönherr  
**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen  
mit kooperierenden Robotern**  
188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 57  
Stefan Holzer  
**Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung**  
162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 58  
Markus Schultz  
**Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen von Blechformteilen**  
165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 59  
Thomas Krebs  
**Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-Produktmodell**  
198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 60  
Jürgen Sturm  
**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung  
in der Elektronikproduktion**  
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 61  
Andreas Brand  
**Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher  
elektronischer Baugruppen (3D-MID)**  
182 Seiten, 100 Bilder. 1997. Kartoniert

Band 62  
Michael Kauf  
**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer  
CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**  
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert

Band 63  
Peter Steinwasser  
**Modulares Informationsmanagement in der integrierten  
Produkt- und Prozeßplanung**  
190 Seiten, 87 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 64  
Georg Liedl  
**Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion**  
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 65  
Andreas Otto  
**Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen**  
132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997. Kartoniert

Band 66  
Wolfgang Blöchl  
**Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen  
zur Prozeß- und Programmoptimierung**  
168 Seiten, 96 Bilder. 1997. Kartoniert.