

# CNC-Steuerungen

*Herausgeber:* «Technische Rundschau»  
**Das Schweizer Industriemagazin**  
Hallwag AG  
Hannes Gysling, dipl. Ing. ETH (Chefredaktor)

*Redaktion:* Dr. Hans-Henning Herzog

*Layout:* Rudolf Tschanz

*Vertrieb:* «Technische Rundschau»  
Redaktionssekretariat  
Nordring 4  
CH-3001 Bern  
Tel. 031 42 31 31  
Fax 031 41 41 33  
ab 25. 9. 1993:  
Tel. 031 332 31 31  
Fax 031 331 41 33  
Preis: Fr. 20.-

Alle Rechte vorbehalten – © 1993 Hallwag AG, Bern

ISBN 3-444-10420-0

# Europäer brauchen sich nicht zu verstecken!

Die CNC-Steuerung ist zur Schlüsselkomponente der Werkzeugmaschine geworden. Aber gerade in dieser Technologie haben die Steuerungshersteller aus Japan die Nase vorn. Längst sind sie dabei, uns Europäern in der Werkzeugmaschinenindustrie, unserer Paradebranche, das Wasser abzugraben — so wie es ihnen bereits in den USA, dem Mutterland der NC-Technik, gelungen ist. Wenn stimmt, was Insider prophezeien, werden sie vielleicht schon auf der EMO '93, spätestens aber in ein oder zwei Jahren eine Steuerung anbieten, die alle Intelligenzfunktionen zusammenzieht und vom Preis her konkurrenzlos ist.

Doch die Europäer müssen nicht wie das Kaninchen vor der Schlange kapitulieren. Denn Hardwarekomponenten wie der echtzeitfähige Mikrokern, aber auch integrierende Antriebssysteme, die zu einer solchen Steuerung gehören, liegen bei uns entwickelt und ausgetestet vor. Dem Wildwuchs auf der Steuerungsseite bieten längst homogene und offene Systeme Paroli, und zwar über den engen CNC-Bereich hinaus. Und vor allem in der Softwarearchitektur liegen alle Trümpfe in Europa — wenn wir nur die «Zeichen der Zeit» erkennen. Davon ist in diesem «TR»-Sonderband die Rede.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie in Bonn (BMFT) spielt dabei — wie vor einigen Jahren mit dem Verbundprojekt «WOP» — eine Initialrolle. Heute reklamieren alle Hersteller diesen Benutzerstandard für sich, auch die Japaner. Doch die Entwicklung ist längst weiter, die Richtung eindeutig: Qualifizierte Facharbeit und die Werkzeugmaschine sollen wieder zu einer produktiven Einheit werden. Zwischen «konventionell» und «CNC» werden Brücken gebaut, was nicht nur Klein- und Mittelbetrieben zugute kommt. Das heißt, die Stärken europäischer Industriearbeit, die von drei Jahrzehnten NC-Geschichte in Frage gestellt wurden und heute noch aus einem falschen Fortschrittsglauben heraus mißachtet werden, sollen wieder zum Tragen kommen — jetzt freilich unterstützt von hochintelligenten Steuerungen. Nichts kann diese Neubesinnung besser umschreiben als die Symbiose von Handrad und CNC.



Hans-Henning Herzog

# Inhalt

## 1. Projekt: «Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit»

Fritz Böhle, Helmuth Rose Erfahrung als Leistungsfaktor der flexiblen Produktion	6
Robert Mertens, Helmuth Rose, Peter Ligner Fräsen mit Kopfhörer und Joystick	10
Uschi Carus, Hartmut Schulze, Roland Ruppel Der Drehprozeß zum Greifen nahe	15
Annegret Bolte, Uwe Metzler, Sören Striepe Overrideprotokollierung unterstützt die schrittweise Programmierung	19
Peter Ligner Frei positionierbare «elektronische Handsteuerung» mit Prozeßrückkopplung	25
Martin Carbon, Peter Heisig Bessere Sicht in den Bearbeitungsraum	26
Matthias Klimmer Mehr Prozeßtransparenz zahlt sich aus	27
Peter Golinski Arbeiten und Lernen werden eine Einheit	28
Jürgen Fleig, Peter Rundel, Robert Schneider CeAFIS – von unten und arbeitsplatzbezogen Aufträge steuern	29

## 2. Das NUM/KELLER-Konzept

Ernst A. Hartmann, Paul Fuchs Von Menschen und Handrädern	33
Siegfried Keller, Wolfgang Reuter CNCplus – High-Tech für den Facharbeiter	39

## 3. Hersteller-Trends

Grundig electronics: Manual plus Arbeiten wie an einer Handbedienten	43
NC-DATA: sicos/2 Einfach und werkstattnah programmieren	44
Heidenhain: TNC 116 und 123 Dem Facharbeiter ein Werkzeug geben	46
NUM Göttinger: 1060G Offen für das Know-how der Hersteller	48

Siemens AG: Sinumerik 840 C Offene Steuerung mit neuer Bedienphilosophie	50
Grossenbacher: CNC-Steuerungsserie 1800 Steuerung mit offener Architektur	54
Grundig Atek Systems: CNC-6000 HS Offen und mit digitaler Antriebskopplung	55
GE Fanuc Automation: Serie 20 CNC Mit Teach-in und Playback	56
Mitsubishi Electric: MELDAS 500 und C3S Neue CNC-Systeme mit Gestaltungsfreiheit	57

## 4. Offen und einheitlich

Rolf Strothmann PXROS – Größere Homogenität ist keine Utopie mehr	58
Ulrich Richter Bosch/Typ 3 – Offene Steuerungen sind nicht nur offen	61
Gerd Junghans OSACA – auf dem Weg zur gemeinsamen Systemarchitektur	64
AMKASYN von AMK Volldigitales Antriebssystem mit integrierbarer Steuerung	66
Technica Transflex: ausgerüstet mit AMKASYN CNC-Transfer-Bearbeitungsmaschinen	67
Hannes W. Politsch MOSAIC 4M – auf den Werkstattbedarf zugeschnitten	68

## 5. Arbeitsbezogene Nachrüstkonzepte

Manfred Hoppe, Reiner Schlausch Kein Widerspruch zwischen «konventionell» und «CNC»	71
Manfred Hoppe, Reiner Schlausch Ein neuer Weg der CNC-Ausbildung	75

## 6. Handlungsbedarf

Udo Blum Die Chance liegt in europäischen Techniklösungen	77
--	----

CeA: Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Technik

## Erfahrung als Leistungsfaktor der flexiblen Produktion

Von Fritz Böhle und Helmuth Rose

**D**ie noch Anfang der 80er Jahre weitverbreitete Annahme, daß durch den Einsatz der CNC-Technik und deren Integration in CIM-Strukturen der Bedarf an qualifizierten Fachkräften in der Produktion verringert werden könnte, hat sich bis heute nicht bestätigt. Im Gegenteil. Überall da, wo CNC-Maschinen eingesetzt werden, kam es in der Betriebspraxis – und zwar ganz gleichgültig, ob in der Werkstatt oder im Büro programmiert wird – nicht zu einem vermehrten Einsatz von un- und angelernten Arbeitskräften, sondern von qualifizierten Fachkräften.

### Konventionell dominiert noch immer

Des weiteren konnten sich auch nicht – wie zunächst erwartet – CNC-Maschinen in der Praxis breit durchsetzen. Wie das Investitionsverhalten von Fertigungsbetrieben zeigt, wird bei Standardmaschinen nach wie vor die konventionelle Technik bevorzugt. So sank von 1990 auf 1991 die Nachfrage nach CNC-Maschinen. Auch wenn konventionelle Maschinen preisgünstiger als vergleichbare CNC-Maschinen sind, ist dies nicht der alleinige Grund. Konventionelle Maschinen entsprechen in mehrfacher Hinsicht dem Bedarf der Praxis. Sie sind leichter handhabbar, lassen eine aufgabenangemessene schrittweise Bearbeitung zu und haben keine Schnittstellenprobleme. Gegenwärtig eingesetzte CNC-Maschinen weisen zwar gegenüber konventionellen Maschinen ein größeres Leistungsspektrum auf, bedürfen aber einer Programmierung, die von qualifizierten Fachkräften häufig als umständlich und wenig aufgabenangemessen eingeschätzt wird. Außerdem bedürfen sie der Integration in rechnergestützte Produktionsstrukturen und ziehen dadurch Schnittstellenprobleme nach sich. Diese Anwenderprobleme sind zumeist

Die Nutzung des Erfahrungswissens der Mitarbeiter stellt für die flexible und qualitätsgerechte Fertigung einen betriebswirtschaftlich bedeutsamen Leistungsfaktor dar. Das zeigen empirische Untersuchungen des Forschungsverbundes «Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit» (CeA). Um das Leistungspotential voll ausschöpfen zu können, sind neue Formen der Arbeitsorganisation, aber auch neue technische Optionen an den Werkzeugmaschinen erforderlich – zur prozeßnahen Regulierung der Bearbeitung und zur direkten manuellen Steuerung.

PD Dr. rer. pol. FRITZ BÖHLE, Dr. rer. soc., Dipl. Psych. Dipl. Volksw. HELMUTH ROSE, Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V. (ISF München), D-80796 München.

Gift für eine Flexibilisierung der Produktion mit hohen Qualitätsstandards, und sie erschweren die Fertigung in Gruppenarbeit und Fertigungsinseln. In diesen Fällen müssen verschiedenste Bearbeitungsprozesse sowohl auf konventionellen als auch auf CNC-Maschinen mit unterschiedlichen Steuerungen, im Büro wie in der Werkstatt programmiert, parallel durchgeführt werden.

### «Überflüssige» Fachkräfte werden gebraucht

Eine zentrale Schwachstelle der bisherigen technischen Entwicklung ist: CNC-Werkzeugmaschinen sind sehr stark durch das technische Konzept eines «Automaten» geprägt, der eingerichtet, programmiert sowie in Gang gesetzt wird und ansonsten ohne weiteres menschliches Zutun das gewünschte Produktionsergebnis erstellt. Die Verkapselung der Maschinen bringt dies zum Ausdruck: die Abschottung gegenüber menschlichen Eingriffen und des Zugangs zu den Bearbeitungsvorgängen. Menschliche Arbeit konzentriert sich bei dieser Sichtweise primär auf das Erstellen eines Programms und nicht (mehr) auf den praktischen Umgang mit den Maschinen selbst. Dies setzt voraus, daß bei der Erstellung eines Programms die Bearbeitungsvorgänge im voraus exakt festgelegt werden können und die relevanten Prozeßparameter systematisch erfaßt und bekannt sind. Doch gerade dies ist in weiten Bereichen der betrieblichen Praxis nicht der Fall. Tabellenwerte und Angaben von Herstellern (etwa für die Nutzung von Werkzeugen) sowie allgemeine Regeln (wie für die Erstellung von Programmen) usw. erlauben zwar, Zerspanungsprozesse automatisch vorzuplanen, führen aber häufig nicht zu optimalen Bearbeitungsverläufen. In dieser Tatsache

## Technik als Werkzeug

Der Forschungsverbund «Computergestützte erfahrungsgelieferte Arbeit in der Produktion» (CeA) wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) gefördert. Untersucht wird, wie der Produktionsfaktor Arbeit durch technische Komponenten und organisatorische Lösungen sein Leistungspotential besser zur Entfaltung bringen kann. Konkret geht es darum, den Fachkräften an Werkzeugmaschinen wieder mehr Einblick in die Bearbeitung und Möglichkeiten des Eingriffs in den laufenden Bearbeitungsprozess zu geben. Dazu wurden verschiedene technische Komponenten wie zum Beispiel

- eine neue Körperschallsensorik
- ein kraftrückgekoppelter Joystick
- eine Override-Protokollierung
- ein kraftrückgekoppelter Override oder
- ein Facharbeiter-Informationssystem zur Dispositionsunterstützung

entwickelt. Neben Labortests wurden einzelne Komponenten bereits im betrieblichen Alltag mit vielversprechendem Erfolg erprobt. CeA-Projektpartner sind 13 Hochschulinstitute und freie Institute aus den Bereichen Produktionstechnik und Werkzeugmaschinenbau, Arbeitswissenschaft, Arbeitspsychologie, Arbeitssoziologie und Innovationsforschung. Als Industriepartner wirken Gildemeister, Heidenhain, Siemens, Kodak, Niles und Siefert mit.

Ansprechpartner:  
Prof. Dr.-Ing. Hans Martin  
Gesamthochschule Kassel  
Institut für Arbeitswissenschaft  
Heinrich-Plett-Straße 40  
D-34109 Kassel  
Tel. 0561/804-4555

Dr. Gunter Lay  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik  
und Innovationsforschung  
Breslauer Straße 48  
D-76139 Karlsruhe  
Tel. 0721/6809-0

arbeitung, Farbveränderungen beim Spanfluß. Unregelmäßigkeiten bei Materialoberflächen usw.). Des Weiteren sind die Planung und Ausführung von Arbeitsvollzügen nicht getrennt, sondern miteinander verbunden. Die Durchführung einer Bearbeitung erfolgt schrittweise explorativ, wobei das jeweils erzielte Ergebnis eines Bearbeitungsschrittes das weitere Vorgehen beeinflusst. Wenn mehrere Arbeits-

schritte vorweggeplant werden, stellen sich qualifizierte Fachkräfte mental die Bearbeitungsvorgänge an den Maschinen vor und können auf diese Weise auch Probleme bei der Bearbeitung antizipieren. Ferner werden einzelne Parameter, wie insbesondere Technologiedaten, nicht bei der Programmerstellung, sondern erst beim Einfahren endgültig bestimmt. Das Einfahren dient auch zur Korrektur eines Programms (etwa hinsichtlich der Verfahrenswege, Werkzeuglängen usw.); es kann daher nicht durch eine noch so anschauliche Simulation ersetzt werden.

## Schwachstellen der CNC-Technik

Berücksichtigt man den in der Praxis bestehenden Bedarf nach erfahrungsgelieferter Arbeit und deren Leistungen, ergeben sich neue Anforderungen an die Technik. Die Entwicklung werkstattorientierter Programmierverfahren (WOP) mit leicht handhabbaren Benutzungsoberflächen ist ein Schritt in diese Richtung. Es sind jedoch zusätzliche technische Lösungen notwendig, mit denen insbesondere die - nach wie vor - bestehenden Schwachstellen der CNC-Entwicklung korrigiert und überwunden werden können. Es sind dies:

### *Die Trennung von Planen und Ausführen der Arbeit durch die Notwendigkeit der Programmerstellung*

Nicht nur bei externer Programmierung, sondern auch bei werkstattorientierten Programmierverfahren (WOP) wird davon ausgegangen, daß im voraus ein Programm möglichst vollständig und detailliert festgelegt und weitgehend durch Simulation überprüft werden kann. Doch ist es in der Praxis oft nur durch das direkte praktische Herstellen eines Werkstücks möglich, optimale Technologiedaten wie auch Bearbeitungsstrategien zu ermitteln. Ferner sind - trotz Erleichterung und Verbesserung von Programmierverfahren - nach wie vor handlungsbezogene Vorgehensweisen zur Programmerstellung, die auf der direkten Durchführung einer Bearbeitung beruhen, nicht oder nur sehr begrenzt möglich.

Obwohl bei den gegenwärtigen Steuerungen die Option für ein Record-playback-Verfahren besteht, fehlen wichtige Voraussetzungen für ihre praxisgerechte Anwendung. Und schließlich stellt sich - speziell bei Einzelfertigung oder einzelnen Bearbeitungsschritten für vorbearbeitete Teile - auch die Frage, ob hier das Erstellen eines Programms überhaupt eine effiziente und praktikable Vorgehensweise ist.

liegt ein wichtiger Grund für den Bedarf an qualifizierten Fachkräften in der Werkstatt. Es fällt ihnen die Aufgabe zu, Technologiedaten in Abhängigkeit nicht nur von Material und Werkzeugen, sondern auch von Bearbeitungsvorgängen, Maschineneigenschaften sowie Qualitätsanforderungen zu ermitteln und zu optimieren. Darüber hinaus entwickeln qualifizierte Fachkräfte beim Programmieren in der Werkstatt auch effizientere Bearbeitungsstrategien als «externe» Programmierer, da sie die besonderen Gegebenheiten an den Maschinen, die Einsetzbarkeit von Werkzeugen und den konkreten Bearbeitungsablauf besser kennen und berücksichtigen können. Und schließlich ist es auch notwendig, wenn die Bearbeitungsvorgänge programmgesteuert ablaufen, Unregelmäßigkeiten im Prozessverlauf frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren, um den Qualitätsmaßstäben zu genügen.

## Erfahrungswissen ist unverzichtbar

Die genannten Leistungen qualifizierter Fachkräfte beruhen zu einem Großteil auf ihrem «Erfahrungswissen». Dieses umfaßt jedoch weit mehr als bloße Routine oder in der Vergangenheit erworbene Fertigkeiten. Eine wichtige Rolle spielt das «Erfahrungsmachen» als eine Arbeitsmethode, um vor allem neuartige Anforderungen, die sich durch spezielle Materialien, Werkzeuge, Oberflächenkonturen usw. ergeben, praktisch zu beherrschen.

Wie in Untersuchungen nachgewiesen wurde, unterscheidet sich erfahrungsgelieferte Arbeit von einem planmäßig-analytisch geleiteten Vorgehen. Sie nutzt die Möglichkeiten komplexer sinnlicher Wahrnehmung (Sehen, Hören, Greifen), mit der auch nicht präzise erfassbare Prozeßäußerungen erfahrbar gemacht werden (Geräusche bei der Be-

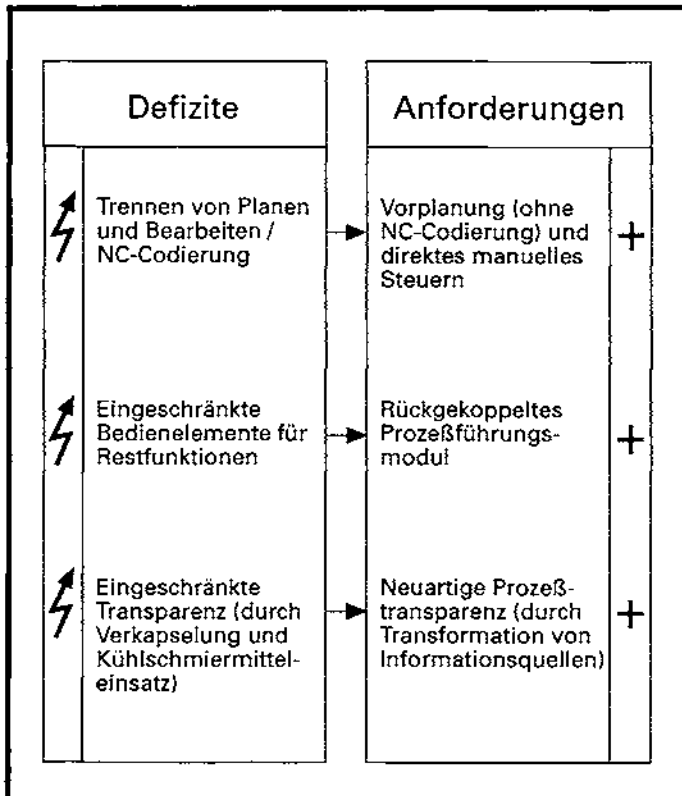
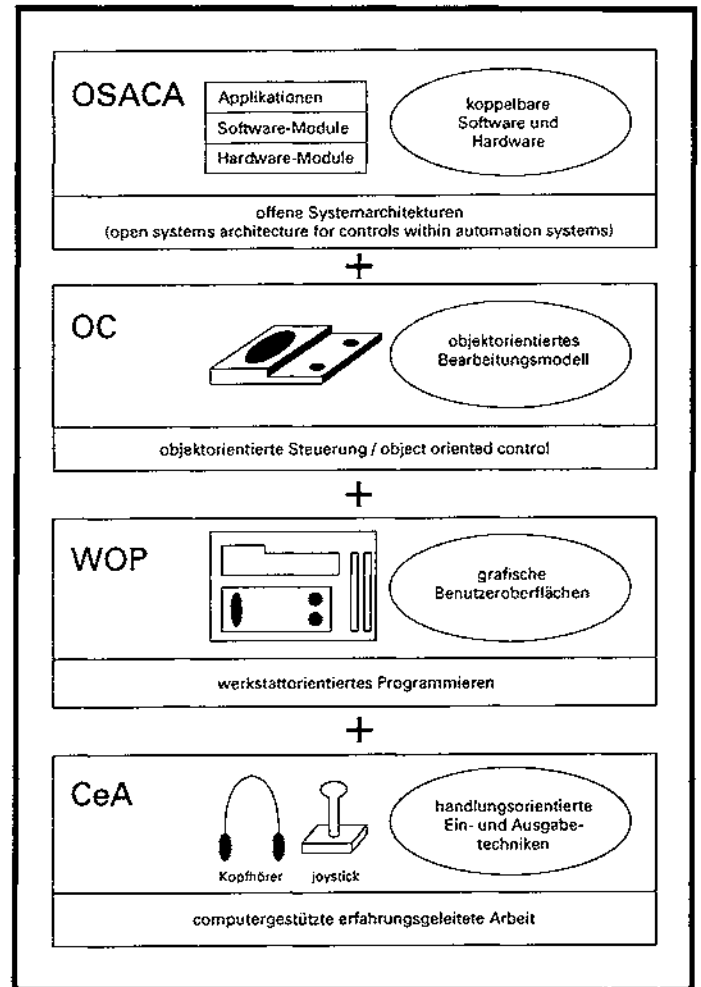


Bild 1. Hinderliche und förderliche Faktoren für erfahrungsgelaitetes Arbeiten.



► Bild 2. Gesamtkonzept für Werkzeugmaschinen CNC+ + +.

### Fehlende Prozeßtransparenz bei den Zerspanungsabläufen

Durch die Verkapselung wird zwischen den Bearbeitungsvorgängen und den Arbeitenden eine «Barriere» errichtet. Die Fähigkeit qualifizierter Fachkräfte, vielschichtige und nicht exakt meßbare Informationsquellen wie zum Beispiel Bearbeitungsgeräusche oder Schattierungen für die Bewertung von Prozeßzuständen zu nutzen, kann deshalb nicht optimal ausgeschöpft werden. In der Praxis wird daher speziell beim Einfahren von Programmen die Verkapselung geöffnet. Bereits schon gegenwärtig und zukünftig noch verstärkt ist dies aus sicherheitstechnischen Gründen jedoch nur mehr mit zeitaufwendigen Unterbrechungen der Bearbeitungsvorgänge möglich. Eine laufende Kontrolle der Bearbeitung ist auf diese Weise erheblich erschwert und letztlich nicht effektiv.

### Beschränkte direkte manuelle Steuerung der Maschinen

Die gegenwärtig verfügbare manuelle Steuerung ist überwiegend nach den

gleichen Prinzipien gestaltet wie die Programmerstellung. Maschinenfunktionen werden durch das «manuelle» Eingeben von Steuerungsbefehlen in Form von Symbolen und Tastaturen ausgelöst. Instrumente zur stufenlosen Regulierung wie insbesondere elektronische Handräder erlauben zwar eine direktere manuelle Regulierung; unbefriedigend sind aber die Belegung der Mehrfachfunktionen (Achsen, Override), die fehlende (Kraft-)Rückkopplung und die Beschränkung der Funktionsbereiche. So wird nur eine funktional beschränkte manuelle Steuerung angeboten, ohne daß hierdurch erfahrungsgelaitete Arbeit für zusammenhängende Arbeitsvollzüge effektiv unterstützt wird. Weder kann damit das «Gespür» in den Händen genutzt und eine Bearbeitung schrittweise durchgeführt werden, noch ist es möglich, auf dieser Basis ein Programm zu erstellen.

### CeA-Technik als Werkzeug für Arbeitskräfte

Das technische Konzept einer «computergestützten erfahrungsgelaiteten Ar-

beit» (CeA) richtet sich darauf, die genannten Defizite der bisherigen Entwicklung von CNC-Werkzeugmaschinen zu überwinden (Bild 1). Es beschreibt ein Steuerungs- und Maschinenkonzept, das drei Gestaltungsprinzipien einschließt:

#### Unmittelbare Prozeßtransparenz

Soll die Umgehung von Sicherheitsvorschriften durch Öffnung der Verkapselung bei laufender Bearbeitung vermieden und die Leistungsfähigkeit von CNC-Maschinen optimal ausgeschöpft werden, bedarf es neuer technischer Lösungen zur Herstellung von Prozeßtransparenz. Es sind technische Medien notwendig, durch die komplexe und vielschichtige Prozeßäußerungen während der Bearbeitung erfäßbar und zugänglich gemacht werden.

Prototypisch ist im Forschungsprojekt CeA die Nutzung des Körperschalls untersucht worden, der bei der Zerspanung in der Halterung von Werkzeugen abgenommen wird und als Informationsquelle für Bewertungen bei der Bearbeitung, Prozeßregulierung und Über-

wachung dienen kann. Mit Hilfe von Kopfhörern, die den Körperschall übertragen, wird die direkte Wahrnehmung von aussagekräftigen, ohne Medien nicht vermittelbaren Bearbeitungsgeräuschen möglich, und zwar in einer Weise, die denen an konventionellen Maschinen ähnlich ist (aber gleichwohl mehr die Charakteristik von CNC-Maschinen trifft). Wichtige Geräusche können von störenden getrennt werden, die Informationsquellen lassen sich auch kombinieren, so daß konzentriertes Arbeiten leichter ist.

Zu betonen ist, daß solche technische Lösungen Informationsquellen zugänglich machen, bei denen die Fachkraft selbst darüber entscheidet, was sie als relevante Information ansehen will. Der Informationsgehalt entsteht erst im Bewertungsprozeß aufgrund der Kompetenz der Arbeitskräfte. Im Unterschied zur Prozeßautomatisierung haben hier also Sensoren zur Erfassung von Prozeßäußerungen eine andere Funktion, Verwendung und technische Auslegung.

#### *Direkte manuelle Steuerung*

Auch an CNC-Maschinen ist für die manuelle Steuerung eine bewegungs- und handlungsbezogene Instrumentierung notwendig. Bewegungen der Maschinen müssen durch die direkte Übertragung manueller Bewegungen auslösbar und regulierbar sein, so daß es nicht notwendig ist, sie durch präzise definierte Informationen und Befehle zu beschreiben. Prototypisch hierfür ist der im Forschungsverbund entwickelte Joystick mit Kraftrückkopplung für die Fräsbearbeitung.

Ähnlich wie bei Handrädern an konventionellen Maschinen kann damit eine direkte Übertragung manueller Bewegungen auf die Achsen der Maschinen vorgenommen werden. Auch wird eine Regulierung mittels «Gespür» in der Hand ermöglicht. Im Unterschied zu mehreren Handrädern oder einem Handrad mit Mehrfachfunktion ermöglicht der Joystick eine größere Bewegungsfreiheit, da über mehrere Ebenen gefahren werden kann. Als Besonderheit können mit dem Joystick weitere Maschinenfunktionen gekoppelt werden, wie etwa die Regulierung von Antrieben, um die Geschwindigkeit zu variieren. Auf diese Weise können gleichzeitig sowohl Achsbewegungen als auch Geschwindigkeitsvariationen vorgenommen werden.

Es wird damit eine manuelle Prozeßregelung ermöglicht, die Funktionen konventioneller Technik enthält und zugleich eine neue CNC-gerechte Weiterentwicklung darstellt. Praktische Tests im Forschungsverbund zeigen, daß sol-

che bislang ungewohnten technischen Komponenten von den Facharbeitern sehr rasch akzeptiert werden, da sie offensichtlich erfahrungsgelitetes Arbeiten unterstützen.

#### *Verbindung von manueller und NC-Steuerung*

Aus CeA-Sicht muß an CNC-Maschinen grundsätzlich die Option bestehen, einzelne Bearbeitungsabschnitte wie auch ein Werkstück vollständig direktmanuell herzustellen. Ergänzend zu der hierfür erforderlichen Prozeßtransparenz und Instrumentierung sind hierfür neuartige Kopplungen zwischen manueller Steuerung und NC-Steuerung notwendig. Prototypisch für einen Einstieg in ein solches Konzept ist im CeA-For-

## **Perspektivwechsel**

In der gegenwärtigen Diskussion um innovative Produktionsstrukturen für Großbetriebe wird übereinstimmend festgestellt, daß eine hocharbeitsteilige Organisation der Produktion («Taylorismus») keineswegs den «only one best way» von Rationalisierung und Technisierung darstellt.

Bestrebungen zur Einführung von Gruppenarbeit bis hin zur umfassenden Reorganisation von Unternehmen in Produktionssegmente sind die gegenwärtig meistproklamierten Reaktionen auf die veränderten gesellschaftlichen Rahmendaten der Produktion und die turbulente Entwicklung auf den Absatzmärkten. Vor allem Klein- und Mittelbetriebe als Hauptanwender von Werkzeugmaschinen müssen flexibel produzieren können. Hier spielt von jeher die Herstellung von Serien (etwa als Zulieferer) neben kleineren Stückzahlen eine herausragende Rolle. Es müssen verschiedene Produktvarianten gefertigt werden. Die geforderten Qualitätsstandards sind hoch. Das Werkstattpersonal ist qualifiziert und flexibel einsetzbar.

Damit erfährt die Frage, wie künftig die Produktionsarbeit aussieht und welcher Typ von Arbeitskraft benötigt wird, eine neue Wende. Es reicht nicht aus, die Arbeitsorganisation und Qualifikation von Arbeitskräften an eine bestimmte Technik anzupassen; zentral wird vielmehr die Frage, ob die CNC-Technik den neuen Anforderungen einer flexiblen Produktion mit hohen Qualitätsstandards entspricht und ob sie es ermöglicht, die unverzichtbaren Leistungen qualifizierter Fachkräfte optimal zu nutzen und weiterzuentwickeln. Erfahrungen in der Praxis zeigen, daß dies nicht der Fall ist.

schungsverbund ein System für die Protokollierung von Override-Werten erarbeitet worden. Die handlungsorientierte, empirische Ermittlung von Technologiedaten kann damit unmittelbar für die Programmerstellung genutzt werden.

In Verbindung mit offenen Systemarchitekturen und objektorientierten Steuerungskonzepten (OC statt NC) sind darüber hinaus neue Optionen zwischen unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Durchführung von Bearbeitungen ebenso wie für die Programmerstellungen zu eröffnen. Dies betrifft insbesondere die direktmanuelle Steuerung der Maschinen, ohne oder mit einer Unterstützung durch Programmbausteine (zum Beispiel beim Verfahren komplizierter Geometrien), sowie die direkt handlungsbezogene Erstellung eines Programms oder Kombinationen zwischen einer beschreibenden und einer direkt handlungsbezogenen Programmerstellung. Die Trennung von Arbeitsplanung und Durchführung der Bearbeitung, wie sei für CNC-Steuerungen bisher üblich ist, kann auf diese Weise aufgelöst werden. Die Fachkraft kann je nach Erfordernissen der Produktion bei neuen Produkten, Einzelfertigung, kleineren Serien oder einzelnen Bearbeitungsschritten aufgrund technischer Optionen unterschiedliche Vorgehensweisen wählen.

## **Entwicklungsfähiger Baustein für die Zukunft**

Mit den hier nur ausschnitthaft wiedergegebenen Entwicklungen im CeA-Forschungsverbund wird der Raum für technische Innovationen im Bereich von Werkzeugmaschinen insgesamt erweitert (Bild 2). Die bislang entwickelten werkstatorientierten Programmierverfahren (WOP) werden mit dem CeA-Konzept durch die Betonung der notwendigen Prozeßtransparenz und manuellen Steuerung ergänzt. In Verbindung mit offenen Systemarchitekturen (mit denen Softwaremodule und Hardwaremodule für Antriebe und Achsbewegungen gekoppelt werden können) sowie in Verbindung mit objektorientierten Modellierungen für Steuerungen (die eine Kopplung von Bauteil- mit Bearbeitungsmodellen zulassen) ergeben sich neuartige, zukunftsweisende Gesamtkonzepte für Werkzeugmaschinen. Sie fördern schließlich auch die Integration der Werkzeugmaschine in übergreifende rechnergestützte Verfahrensketten (CAD/CAM) «bottom up» und erlauben gleichzeitig prozeßnahes Arbeiten, wie es gegenwärtig nur bei konventioneller Technik möglich ist. [2.1] [2.2] ©

Für eine Vielzahl von Aufgaben bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen wie Einrichten, Programoptimierung und Überwachung kann die Prozeßbeherrschung durch alternative, handlungsorientierte Ein- und Ausgabetechniken erleichtert und verbessert werden.

## Prozeßtransparenz und manuelle Prozeßführung

# Fräsen mit Kopfhörer und Joystick

Von Robert Mertens, Helmuth Rose und Peter Ligner

Facharbeiter orientieren sich vor allem an der unmittelbaren Wahrnehmung als Indikatoren für Prozeßzustände. Alle, die wir befragt haben, weisen zudem auf das Defizit an zu geringen manuellen Eingriffsmöglichkeiten bei gegenwärtig eingesetzten Maschinentypen hin. Außer den inzwischen üblichen, allerdings rein EDV-technisch orientierten Rich-

tungstasten gibt es über zusätzliche Override-Drehalter und elektronische Handräder hinaus bisher keine weiteren Bedienelemente, die geeignet wären, ein manuelles Steuern einfacher Bearbeitungsvorgänge systematisch zu unterstützen.

## Bedarf nach akustischen Indikatoren

Feldstudien im CeA-Forschungsverbund machen deutlich, daß die Facharbeiter neben visuellen Eindrücken vor allem die akustische Wahrnehmung für die Bewertung von Zerspanungsverläufen schätzen. Im Unterschied zur Ar-

beitssituation an konventionellen Werkzeugmaschinen werden jedoch aufgrund der unterschiedlichen Bearbeitungsbedingungen (höhere Geschwindigkeit bei gleichzeitig höherer Präzision) und der unterschiedlichen Bauform (Verkapselung) neben Geräuschen aus dem Arbeitsraum der Maschinen auch andere akustische Indikatoren benötigt, die sich nicht unmittelbar wahrnehmen lassen und doch für die Bearbeitungsvorgänge charakteristisch sind. Da es um direkte Wahrnehmung geht, liegt es nahe, sämtliche akustischen Informationsquellen, also Luftschall und Körperschall, mit Hilfe geeigneter Sensoren aus dem gekapselten Arbeitsraum der Maschine aufzubereiten. Entscheidend unter der CeA-Perspektive ist aber, daß die akustischen Informationsquellen authentisch vermittelt werden, damit der Facharbeiter sie so zur Bewertung einsetzen kann, wie es ihn seine Erfahrung lehrt. Seine Bewertung stützt sich auf relative Veränderungen in der Wahrnehmung. Dementsprechend können für die Erfassung der Informationsquellen auch einfache Sensoren – zum Beispiel ein Klopfsensor als Körperschallsignalaufnehmer oder ein Mikrofon zur Erfassung des Luftschalls – eingesetzt werden.

Im Hinblick auf die Vermittlung der Informationsquellen kann nach verschiedenen Arten differenziert werden. Einerseits besteht die Möglichkeit, diese Informationsquellen selektiv – das heißt unterschieden nach Luftschall oder Körperschall – darzustellen. Andererseits ist auch ein einfaches Mischen der Informationsquellen technisch möglich. Beide Formen der Vermittlung weisen jedoch spezifische Nachteile auf. Im Hinblick auf die selektive Darstellung ist es nicht möglich, eine geschlossene akustische Darstellung zu bieten. Beispielsweise würde bei der Darbietung des Körperschalls die als scheinbar wichtig zu erachtende Möglichkeit der diffusen Hintergrundwahrnehmung auf der Basis des Luftschalls ausgeblendet. Im Falle der gemischten Darbietung ist eine Differenzierung zwischen den einzelnen Informationsquellen durch das menschliche Ohr jedoch nur unzureichend möglich.

## Wahrnehmung stützende Informationsaufbereitung

Aus diesen Gründen wurde nach Möglichkeiten gesucht, eine gleichzeitige und darüber hinaus verständliche Form der Darbietung für Luft- und Körperschallsignale zu realisieren. Diesbezüglich ist eine Lösung – das sogenannte Richtungsmischpult – aus dem Bereich

Dipl.-Ing. ROBERT MERTENS, Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen, D-52074 Aachen; Dr. rer. soc. Dipl.-Psych. Dipl. Volksw. HELMUTH ROSE, Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V. (ISF München), D-80796 München; Dipl.-Ing. PETER LIGNER, Forschungsgruppe Arbeitssoziologie und Technikgestaltung GmbH (FGAT), D-12163 Berlin.

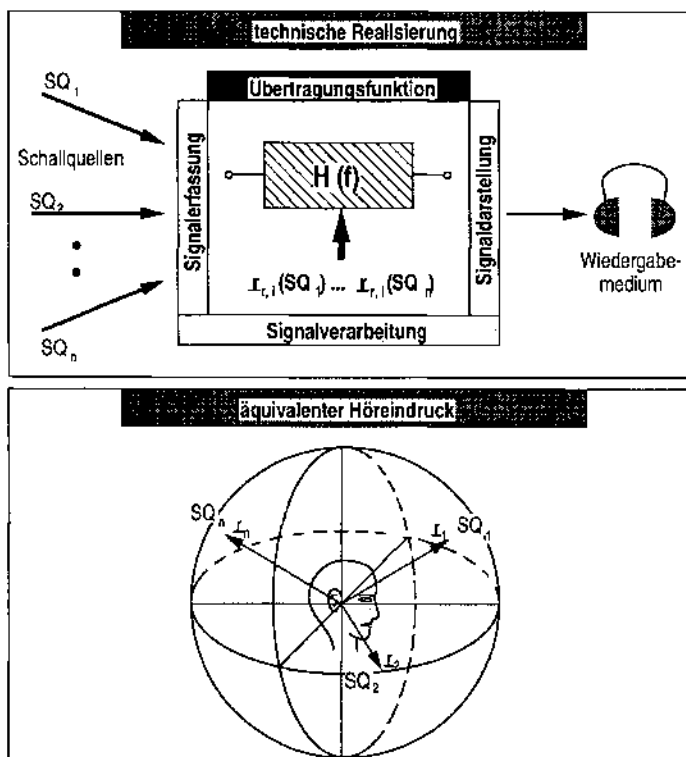


Bild 1. Prinzip des Richtungsmischpults.

Die Overridefunktionen sind die Komponenten, mit denen die Facharbeiter bei der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen direkt regulierend in den Bearbeitungsprozeß eingreifen können. Eine vom CeA-Verbund neu entwickelte Komponente erlaubt die komfortable Übernahme der protokollierten Overridewerte in ein Programm. Damit ist der Weg offen für die schrittweise Programmierung während des Bearbeitungsprozesses.

## Erfahrungsgeleitete Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen

# Overrideprotokollierung unterstützt die schrittweise Programmierung

Von Annegret Bolte, Uwe Metzler und Sören Striepe

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Arbeit mit konventionellen und der Arbeit mit CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen liegt in den unterschiedlichen Verhältnissen von Planung, Ausführung und Kontrolle begründet. Bei der Bearbeitung eines Werkstücks an konventionellen Werkzeugmaschinen sind diese Handlungen aufeinander bezogen und miteinander verknüpft:

Zur Bearbeitung eines Werkstücks benötigen die Facharbeiter keinen detaillierten Plan, sondern lediglich einen Grobplan, in dem die wichtigsten Bearbeitungsschritte und die Bearbeitungsreihenfolge festgelegt sind. Erst in der praktischen Ausführung wird diese Planung konkretisiert und im Detail festgelegt. Die Feinplanung kann aufgrund der sinnlichen Wahrnehmung der Folgen und Konsequenzen des eigenen Handelns unmittelbar modifiziert werden.

Das Modell für die Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen, das durch die Systemarchitektur vorgegeben ist, impliziert eine andere Form des Handelns: Unterstellt wird eine scharfe Trennung

von Planen, Ausführen und Wahrnehmen der Konsequenzen. Erst wird ein Programm erstellt, und zwar ein detailliertes, in dem jede einzelne Verfahrensbewegung und jeder Technologiewert festgelegt ist. Nach dem Modell soll dann anschließend das Werkstück unabhängig von menschlichen Eingriffen gefertigt werden, bevor es kontrolliert wird. Das *tatsächliche Handeln* der Facharbeiter jedoch weicht weit von diesem Modell ab. Wenn Facharbeiter selbst programmieren und einrichten, sind sie zwar aufgrund der Systemarchitektur gezwungen, vor Beginn der Bearbeitung ein Programm festzulegen. Allerdings begreifen sie dieses Programm als ein vorläufiges, das beim Einfahren an die konkrete Bearbeitungssituation angepaßt werden muß. Die Vervollständigung des Programms erfolgt in einem Prozeß, der durch Ausprobieren und Suchen gekennzeichnet ist. Erstellte Programme sind im Verständnis der Facharbeiter zunächst offen bezüglich der Technologiewerte und bei hochkomplexen Werkstücken auch hinsichtlich der Geometrie. Diese Parameter werden erst in der realen Bearbeitung endgültig festgelegt.

### Eingriffe sind nötig, aber zu umständlich

Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Overridefunktionen zur Regulierung der Vorschub- und Drehzahlgeschwindigkeiten zu. Sie sind die wesent-

lichen Komponenten, die den Facharbeitern zur unmittelbaren Prozeßregulation zur Verfügung stehen, und bieten ihnen die Möglichkeit zur situationsadäquaten Anpassung der geplanten und im Programm festgelegten Technologiewerte. Sie erlauben ihnen, ihre aktuelle Einschätzung des Zerspanungsprozesses durch einen unmittelbar regulierenden Eingriff direkt in eine Handlung umzusetzen und das Ergebnis dieses Eingriffs sofort zu beurteilen. Alle anderen Eingriffe (zum Beispiel Änderungen der Aufspannungen, der zugrundeliegenden Bearbeitungsstrategie, der Werkzeuge, der Verfahrenwege) können *nur im Anschluß an eine Unterbrechung* des programmgesteuerten Ablaufs durchgeführt werden.

Dabei sind *zwei* durch die Overridefunktion gegebene *Eingriffsmöglichkeiten* von besonderer Bedeutung: das Verfahren mit sehr geringen Geschwindigkeiten und das unmittelbare «Herunterregulieren» einerseits und das Optimieren des Bearbeitungsprozesses andererseits. Das langsame Verfahren wird vor allem zum Heranfahen an das Werkstück, zum Ankratzen und zum Anfahren der Programmsätze genutzt. Gerade beim Einfahren haben die meisten Facharbeiter «die Hand immer am Potentiometer». Durch die Möglichkeit des unmittelbaren Eingreifens wird ihr Sicherheitsgefühl erhöht.

Mit den Overridefunktionen können auch die Schnittwerte im Bearbeitungsprozeß verändert, an die spezifische Prozeßsituation angepaßt und optimiert werden. Damit bieten sie den Facharbeitern die Möglichkeit, neue Fertigungserfahrungen zu sammeln sowie Grenzen und Möglichkeiten auszutesten. Somit unterstützen die Overridefunktionen ein exploratives Vorgehen.

Allerdings ist die Übernahme von Overridewerten in ein Programm bei den meisten CNC-Steuerungen außerordentlich umständlich: Sie erfordert eine Unterbrechung des Bearbeitungsprozesses, um den Editor aufzurufen, dort Änderungen vorzunehmen und anschließend das Programm wieder neu zu starten. Eine andere Möglichkeit ist, sich die als optimal eingeschätzten Werte zu merken oder zu notieren und diese dann im Anschluß an den Einfahrvorgang ins Programm zu übernehmen. Beide Wege sind aufwendig und fehleranfällig. Abhilfe verspricht die neuentwickelte Komponente der Overrideprotokollierung, die sowohl eine Protokollierung der optimierten Schnittwerte als auch deren Übernahme ins Programm erlaubt und somit dem facharbeitertypischen Vorgehen bei der Festlegung und der Anpassung der Schnittwerte (siehe Kasten) wirksam entgegenkommt.

Dr. ANNEGRET BOLTE und Dipl.-Ing. SÖREN STRIEPE, Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel, D-34109 Kassel, Dipl.-Ing. UWE METZLER, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Berlin, D-10587 Berlin.

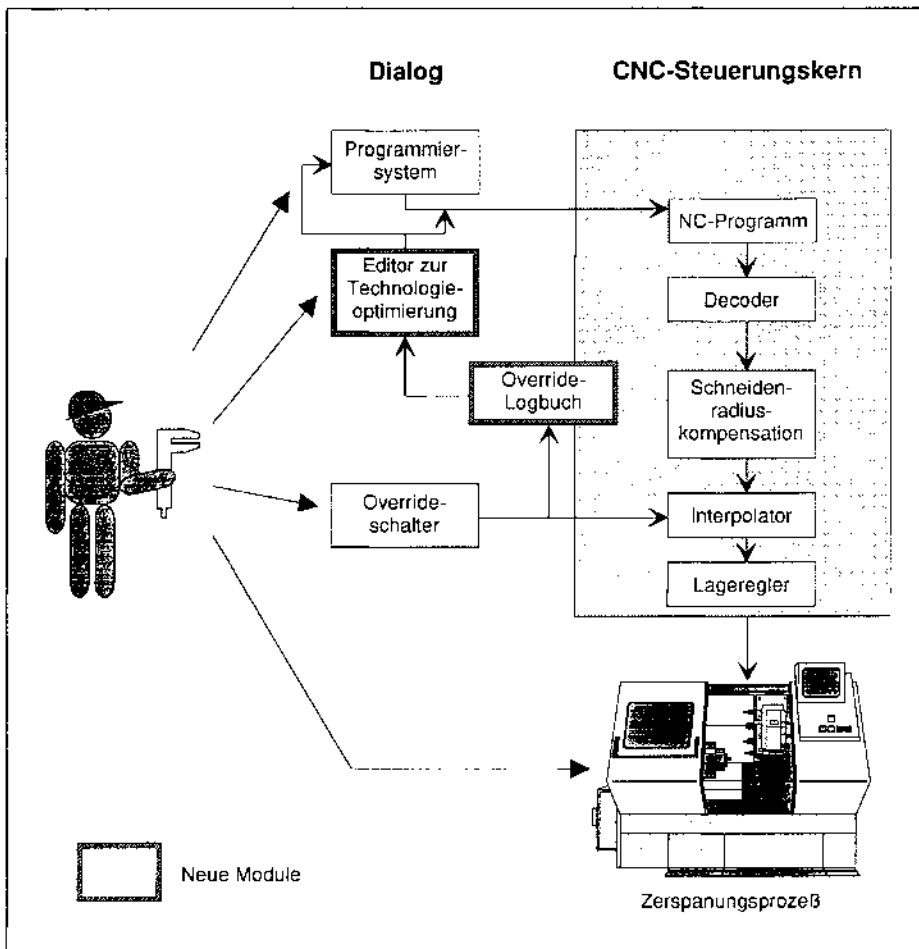


Bild 1. Neue Module einer CNC-Steuerung zur Realisierung der Overrideprotokollierfunktion.

## Handhabung herkömmlicher Overridefunktionen

Zwar verfügen fast alle derzeit angebotenen CNC-Steuerungen für die Fräs- und Drehbearbeitung über Overridefunktionen für Vorschubgeschwindigkeiten und Spindeldrehzahl. Allerdings wird die explorative Vorgehensweise der Facharbeiter von einigen Steuerungen nicht hinreichend unterstützt. So liegen die Regulierbereiche der angebotenen Steuerungen für den Vorschub meist zwischen 0 und 150 % und für die Drehzahl meist nur zwischen 50 und 150 %. Diese Regulierbereiche werden von den Facharbeitern als zu gering eingeschätzt. Oft müssen nämlich während des Einfahrens die Schnittwerte umständlich im Programmeditor – zunächst wiederum nur vorläufig – geändert werden. «Wenn der Overridebereich nicht ausreicht, muß ich aussteigen, ändern, neu anfahren.» Dies wird als sehr umständlich empfunden. «Eine Veränderung des Vorschubs kann an meiner Maschine nicht direkt angewählt werden. Es ist nötig, drei bis vier Tasten zu drücken.» Charakteristisch ist hierfür die Anwendung eines Tricks, bei dem im voraus ein viel größerer Schnittwert programmiert wird, damit dann auf dieser Basis, «bis runter zu 0 %», das gesamte Optimierungsspektrum als Spielraum zur Verfügung steht. Hieraus sind die Notwendigkeit von größeren Overrideregulierbereichen und der Vorteil einer möglichst einfachen Direktübernahmefähigkeit von Overrideschnittwerten ins Programm abzuleiten.

Bei den bisherigen Untersuchungen zur Overridehandhabung wurde deutlich, daß möglichst unmittelbare Rückmeldungen der Veränderungen aus dem Prozeß und zum Grad der Manipulation wichtig sind. Facharbeiter benennen als direkte Prozeßindikatoren zur Orientierung beim erfahrungsgeliteten Overrideinsatz Bearbeitungsgeräusche, Maschinenschwingungen, den direkten Blickkontakt zur Wirkstelle, Späneform und -flug sowie die Werkstückoberfläche. Wichtige Rückmeldungen erhält das Maschinenpersonal aber auch direkt über das Eingabeelement. So nehmen die Facharbeiter Verdrehungen des Handrades wahr, sie spüren Rasterungen und Schwingungen und – bei kraftrückgekoppelten Eingabeelementen – auch Widerstände. Diese werden von den Facharbeitern als sehr bedeutend für die Beurteilung des Zusammenhangs von intendiertem und «getätigtem» Grad des Prozeßeingriffs mit den real bewirkten Prozeßreaktionen eingeschätzt.

Die hier dargestellten sinnlich wahr-

## Die Festlegung von Schnittwerten ist «Erfahrungssache»

Facharbeiter bestimmen die Technologiewerte für Drehzahl und Vorschub aufgrund von Erfahrungswerten. Diese beruhen auf den Vorerfahrungen aus anderen Bearbeitungssituationen und auf einem Grundverständnis der auftretenden Kräfte, das aus der konventionellen Bearbeitung kommt: «Man muß auf jeden Fall gelernt haben, konventionell zu fräsen. Sonst habe ich gar keine Vorstellung davon, was der Fräser da eigentlich macht. Angenommen, ich hätte von Anfang an nur CNC-gefräst, dann würde ich gar nicht wissen, woraus ein unterschiedlicher Vorschub in Stahl, Titan, Messing oder Aluminium resultiert . . . Wenn ich das nicht anhand von Kräften, die auftreten, selbst mal erprobt habe, kann ich mir davon gar kein Bild machen . . . Man kann nicht jemandem sagen: «Schau in dein Tabellenbuch.» Die in Tabellen stehenden Werte können demnach nicht mehr als Anhaltspunkte sein, die der spezifischen Bearbeitungs-

situation (Aufspannungen, Materialqualität, zu erzielende Oberflächenqualitäten) angepaßt werden müssen. Denn die Tabellenwerte berücksichtigen den Werkzeugverschleiß nicht genügend. Zu hohe Technologiewerte verringern die Standzeiten der Werkzeuge unter Umständen so weit, daß sich der versprochene Zeitgewinn in sein Gegenteil verkehrt.

Zunächst setzen die Facharbeiter Technologiewerte in das Programm ein, die sich in ähnlichen Fertigungssituationen bewährt haben und die damit einen Anhaltspunkt bieten. Allerdings haben diese Werte für die Facharbeiter einen vorläufigen Charakter; sie müssen in der realen Bearbeitungssituation noch überprüft und gegebenenfalls angepaßt werden. «Man hat da so seine Standardwerte. Die nimmt man, und dann ändert man die, wenn man Späne sieht. Also entweder höher oder tiefer.»

Maschine	Programm	Simulation	Parameter	Dienste		
Maschine/Einfahren/Overrideprotokollierung						
NC-Programm: %1002		Protokoll				
N190 G01 X100 Z310 F750		Z603.086 S570				
N200 G01 G9 F250 X95		Z596.837 S600				
<del>N210 Z81</del>		Z593.420 F187				
N220 G01 X105 Z91 F750		Z581.283 F237				
N230 G01 Z310		<del>Z562.854 F235</del>				
		Z537.662 S630				
		Z523.114 S660 ↑				
		Z456.505 F300				
		Z442.384 F350 ↑				
Informationszeile						
Programm empfangen	↓	↑	Protokoll an / aus	Optimieren	Programm senden	Ende
S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7

Bild 2. Masken- und Dialoggestaltung des Editors zur Programmoptimierung.

## Programmoptimierung während der Bearbeitung

Wenn ein Programm dahingehend überprüft ist, ob mit ihm ein Werkstück entsprechend den qualitativen Anforderungen überhaupt gefertigt werden kann, können die Facharbeiter das Programm in einem nächsten Schritt optimieren. Dabei werden aus der Beobachtung der Fertigung neue Schnittwerte bestimmt. Die Facharbeiter testen aus, ob sich das Werkstück nicht auch schneller fertigen läßt oder ob sich die Oberflächen noch verbessern lassen. *«Wenn das Programm richtig steht und man sieht, bei den Werten sind die gut gelaufen, dann kann man mal sehen, ob wir da noch ein bißchen höher kommen oder die Werte da lieber stehen lassen.»* Die Entscheidung, ob an den Werten noch «herumexperimentiert» wird oder nicht, hängt von der spezifischen Situation und den Beobachtungen bei der Fertigung des ersten Teils ab. *«Wenn ich merke, das Material ist gut – das ist ja von Guß zu Guß verschieden –, ich könnte noch schneller werden, dann riskiere ich es einfach einmal.»* In der kon-

kreten Bearbeitungssituation wird erprobt, mit welchen maximalen Schnittwerten die Bearbeitung erfolgen kann und wann grenzwertige Situationen erreicht werden. *«Langsam höher drehen und an die Grenzen herantasten.»*

Die höchsten Werte sind aber nicht immer die optimalen Werte. Berücksichtigt werden muß auch, wie schnell die Werkzeuge stumpf werden und wie oft sie dementsprechend ausgetauscht werden müssen. *«Man sieht das schon an der Fläche, ob man noch schneller fahren kann. Man fängt zum Beispiel mit 100 % Vorschub an, macht das Teil und guckt sich das an. Wenn das in Ordnung ist, versucht man das nochmal mit 120 %. Es kommt ja auch immer darauf an, wie groß die Stückzahl ist, die man machen muß. Es nützt ja nichts, wenn nach 15 Teilen der Fräser stumpf ist. Dann macht man eben langsamer und bekommt 25 Teile heraus. Da muß man immer ein bißchen abwägen, wie es am besten geht.»*

nehmbaren Rückmeldungen werden von den Facharbeitern mit ihren mentalen Repräsentationen für einen «guten Prozeß» unter Berücksichtigung der im voraus geplanten und festgelegten Programminhalte (Bearbeitungsablauf, Schnittwerte, Programmherkunft) abgestimmt. Sie sollten dementsprechend im Hinblick auf die erfahrungsgelieferte Nutzung gestaltet sein.

## Den direkten sinnlichen Zugang schaffen

Für die Gestaltung der Override- und hier der Overrideprotokollierungsfunktionen ist die Berücksichtigung dessen, woran sich die Facharbeiter beim Einsatz dieser Funktionen orientieren, wichtig. Neben dem oben angesprochenen mittelbaren Orientierungsmedium der Eingabeelemente müssen die entsprechende Gestaltung der Informationen und vor allem die Möglichkeiten der direkten Wahrnehmung von relevanten Prozeßindikatoren bei der Entwicklung der Komponente Overrideprotokollierung berücksichtigt werden. Ein *möglichst direkter sinnlicher* Zugang zum Bearbeitungsprozeß ist hier anzustreben.

Die Eingabeelemente (taktile Wahrnehmbarkeit der Verdrehung der Handräder, taktile spürbare Inkremente, Auslenkung usw.) erfüllen eine wichtige Aufgabe für die Orientierung bei der Benutzung der Overridefunktionen zur Prozeßoptimierung. Durch die Gestaltung der Eingabeelemente kann dies aber noch in wesentlich größerem Maße, beispielsweise durch einen *kraft-rückgekoppelten Overrideschalter*, unterstützt werden. Bei den Untersuchungen hat sich bestätigt, daß Drehknöpfe und Handräder gegenüber Tastknöpfen als besser geeignet angesehen werden, da sie einerseits mehr «Gefühl» erlauben und andererseits der Grad der Overridebeeinflussung direkt im Handgelenk kinästhetisch gespürt werden kann.

Eine untergeordnete Rolle spielen bei der Prozeßoptimierung zunächst die Anzeige des Programms und die über zusätzliche Anzeigen am Bildschirm oder als grafische Rasterung direkt am Drehknopf visualisierte Darstellung für Soll- und Ist-Wert-Anzeigen. Sie werden *zumeist erst nach Beendigung* des Optimierungsvorgangs beachtet und dienen der Überprüfung der einregulierten Werte. *«Auf die Prozentanzeige gucke ich erst dann, wenn ich soweit fertig einreguliert habe, daß ich meine, es ist gut.»* Um diese Überprüfung zu ermöglichen, müssen diese Anzeigen jederzeit einsehbar sein und selbsterklärend ge-

staltet werden. Dies gilt insbesondere für die Programmdarstellung mit den hierin festgelegten Technologieparametern, welche für die Overrideprotokollierung von zentraler Bedeutung sind.

## Technischer Lösungsansatz

Basierend auf den durchgeführten Betriebserhebungen und Befragungen und den dargestellten Vorüberlegungen, wurde die Funktionalität der CNC-Overrideprotokollierung für folgende drei Benutzungsaspekte konzipiert:

*Das Optimieren einzelner satzorientiert festgelegter Schnittwerte:*

Das NC-Programm wird mit allen Schnittwerten wie bisher komplett im voraus erstellt. Beim Einfahren werden die veränderten Overridewerte vom System protokolliert. Anschließend kann der Facharbeiter auf komfortable Weise das Programm mit den programmierten Soll- und den tatsächlich «gefahrenen» Ist-Schnittwerten vergleichen und gegebenenfalls die protokollierten Werte übernehmen und bei Bedarf neue NC-Sätze hinzufügen.

*Das Programmieren mit einmalig für das gesamte NC-Programm festgelegten «Referenz»-Schnittwerten:*

Bei der Erstellung des NC-Programms gibt der Facharbeiter nur einmal zu Beginn eines Programms die beiden Werte für Vorschub und Spindeldrehzahl an. Während des Einfahrens reguliert er mit den Overridefunktionen für jeden Verfahrensweg die zu Programmbeginn festgelegten Schnittwerte. Diese sind somit eine Art vorläufige Referenz für die verfahrensspezifische Feinfestlegung in der Bearbeitung. Durch die Protokollierung dieser Werte besteht die Möglichkeit, die während der Zerspanung satzweise regulierten Werte in das NC-Programm zu übernehmen.

*Das Programmieren durch sinnliches «Erfahren» und Bearbeitungserinnerung:*

Die Protokollierfunktion für manuell regulierte und «gefahrene» Override-schnittwerte ermöglicht eine Aufzeichnung von sinnlich erfahrenen, optimierten Prozeßparametern. Durch die Vergleichsmöglichkeit zwischen den programmierten und tatsächlich gefahrenen Schnittwerten hat das Maschinenpersonal die Möglichkeit, auf Basis seines Erfahrungswissens den Bearbei-

tungsprozeß zu reflektieren und neue Erfahrungen zu machen.

Für die Protokollierung der Override-werte sind in der CNC-Steuerung zwei neue Funktionsbausteine zu realisieren: Der erste Baustein ist ein *Override-logbuch* zur Protokollierung der Vorschub- und Drehzahlwerte, der Satznummern und der Ist-Koordinaten. Sobald der Overrideschalter betätigt wird, werden die genannten Werte im Logbuch abgespeichert. Die Ist-Koordinaten sind wichtig, um zu ermitteln, an welcher Ist-Position der Overridewert verändert wurde.

Der zweite Baustein ist ein Editor, der die Handhabung der protokollierten Daten im Zusammenhang mit dem NC-Programm erlaubt. NC-Programm und Override-logbuch werden nebeneinander dargestellt, um eine optimale Bearbeitung und einen Vergleich der Daten durch die Facharbeiter zu gewährleisten. Der angewählte NC-Satz sowie die dazugehörigen protokollierten Schnittwerte werden farblich hervorgehoben und invers dargestellt, so daß eine leichte Zuordnung möglich ist. Das Maschinenpersonal kann dann entscheiden, ob und welche der gefahrenen

## Überprüfung der Schnittwerte beim Einfahren

Die Facharbeiter betrachten die in den Programmen festgelegten Technologie-werte als vorläufige, die sich im realen Bearbeitungsprozeß erst noch bewähren müssen. Wenngleich die aus anderen Fertigungssituationen gewonnenen Annahmen über den Wirkungszusammenhang von Werkzeug und Material in die Bestimmung der Technologie-werte mit einfließen, ist doch das tatsächliche Bearbeitungsverhalten nicht voraussehbar. Im Endeffekt können die Facharbeiter das Verhalten des Materials immer erst in der konkreten Fertigungssituation genau beurteilen.

Die Facharbeiter müssen bereits während des Einfahrprozesses beurteilen, ob die gewählten Technologie-werte geeignet sind, das erste und die weiteren Teile der Serie zu fertigen. Bei falsch gewählten Schnittwerten besteht die Gefahr, daß Werkzeuge brechen oder die Werkstücke nicht den Anforderungen an die Oberflächenqualität entsprechen. Deshalb *muß der Zerspanungsprozeß auch im Hinblick auf die gewählten Technologie-werte beobachtet werden*. Bei der Fertigung mit konventionellen Werkzeugmaschinen sind die Wirkkräfte und damit der Bearbeitungsprozeß unmittelbar «in den Händen» spürbar. Dieser direkte Bezug zum Bearbeitungsprozeß entfällt bei der CNC-Fertigung. Ebenso ist die visuelle

Kontrolle des Prozesses durch die Verkapselung der Maschinen und den Einsatz von Kühlschmiermitteln nur eingeschränkt möglich. Deshalb müssen sich die Facharbeiter zur Beurteilung der «richtigen» Schnittgeschwindigkeiten an *anderen Indikatoren* orientieren.

Die Facharbeiter hören statt dessen auf die Bearbeitungsgeräusche, sie achten auf Vibrationen des Werkstücks, der Werkzeugaufnahme oder der Aufspannung, sie beurteilen die Farben und Formen der Späne und versuchen, trotz der oben geschilderten Einschränkungen, die Oberfläche des Werkstücks zu beurteilen. Allerdings lassen sich weder die Merkmale der Indikatoren noch deren Bedeutung exakt und eindeutig «objektiv» bestimmen oder messen. Statt dessen vergleichen die Facharbeiter die konkret wahrnehmbaren Vorgänge mit den Beobachtungen, die sie in der Vergangenheit bei anderen Fertigungssituationen gemacht haben, und den daraus entstandenen Vorstellungen über das «richtige» Zusammenwirken von Werkzeug und Material.

Dabei kommt den wahrnehmbaren Geräuschen aus dem Arbeitsraum eine besondere Bedeutung zu. *«Ob die Schnittgeschwindigkeit richtig gewählt ist, das hört man dann halt, das ist eine Gefühlssa-*

*che . . . Ich höre, wie der Fräser da durch das Material fährt, ob er anfängt zu pfeifen, zu vibrieren, ob er anfängt zu qualmen, ob er stumpf wird.»* Vibrationen, Geräusche und Späne sind nicht als isolierte Indikatoren für die Bearbeitungssituation zu betrachten, da nur die *Gesamtheit der beobachteten Eindrücke* Aufschluß über die Bearbeitung gibt. Der eine Indikator weist auf eine eventuelle kritische Situation hin, die durch die Beobachtung eines anderen Indikators weiter abgeklärt werden muß. Bestimmte Geräusche und Vibrationen an der Verkapselung weisen darauf hin, daß an der Gesamtsituation etwas «nicht stimmt». Die Beurteilung der einzelnen Indikatoren erfolgt dabei in bezug auf den Gesamtkontext der Bearbeitungssituation. Ein Geräusch kann in einer Situation «richtig», in der anderen «falsch» sein. Erst im Zusammenhang mit anderen Parametern sind eine Interpretation und eine Bedeutungszuweisung möglich. Die Ursachen für ein «falsches» Geräusch oder ein Vibrieren der Teile müssen aus der Bearbeitungssituation heraus abgeklärt werden. Ist die Aufspannung nicht fest? Stimmt das Verhältnis von Drehzahl zu Vorschub nicht? Ist der Vorschub für dieses Material zu hoch? Die Vermutungen über die Ursachen müssen durch Eingriffe in den Prozeß bestätigt oder verworfen werden.

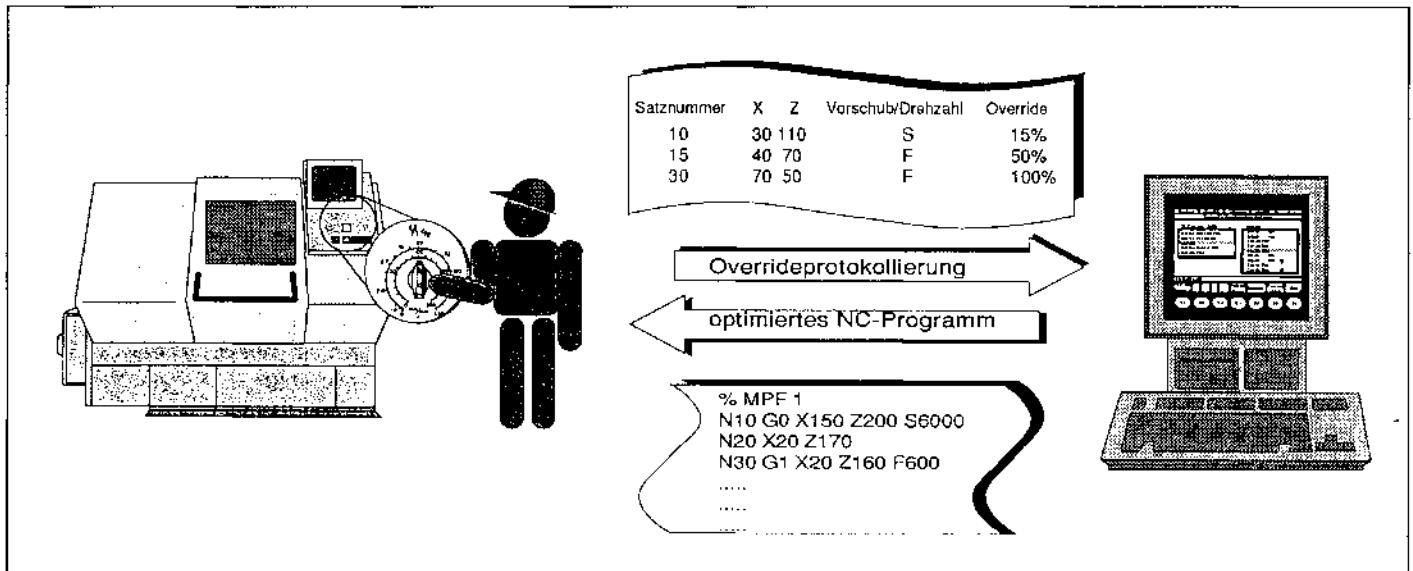


Bild 3. Overrideprotokollierung im Laboraufbau.

Werte in das NC-Programm übernommen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, alle Schnittwerte komplett für das gesamte NC-Programm zu übernehmen. Werden bei einem Verfahrensweg oder Zyklus des NC-Programms mehrere optimale Schnittwerte vom Facharbeiter ermittelt und einreguliert (etwa eine kontinuierliche Abnahme eines Vorschubwerts beim Bohren), so werden diesem Protokoll in Abhängigkeit von den Achskoordinaten mehrere Werte zugeordnet. Der Programmsatz wird «aufgesplittet».

### Prototypischer Laboraufbau

Die Funktion der Overrideprotokollierung ist prinzipiell für verschiedene Bearbeitungsverfahren (Drehen, Fräsen, Schleifen usw.) gleichermaßen geeignet. Zur Untersuchung wurde zunächst ein Laborprototyp für die Drehbearbeitung realisiert. Dieser besteht aus einer Böhlinger-Drehmaschine mit Sinumerik-880T-Steuerung und einem externen PC mit dem Betriebssystem Windows 3.1. Die CNC-Steuerung und der Rechner sind durch eine serielle Schnittstelle miteinander gekoppelt.

Die SPS der Sinumerik-Steuerung wurde um ein zusätzliches Programm erweitert. Damit ist es möglich, Änderungen des Overrideschalters festzustellen und den Overridewert, die aktuelle Satznummer und die Ist-Position (x, z) zu übertragen. Diese Konfiguration erwies sich für die Laborversuche als geeignet. Für die Weiterentwicklung wird aber eine steuerungintegrierte Lösung angestrebt, in der die Overrideprotokollierung auch hinsichtlich Eingabetechniken und Maskengestaltung in die Benutzungsoberfläche der CNC-Steuerung

integriert wird. Grundlage für diese Arbeiten wird ein Lastenheft sein, das gegenwärtig erstellt wird.

Auf dem externen Rechner befinden sich ein Programm zur Kommunikation mit der CNC-Steuerung, das Override-Logbuch und der Editor. In einem ersten Schritt wird das aktuelle NC-Programm auf den PC übertragen. Danach werden das NC-Programm in der Steuerung sowie das Override-Logbuch auf dem PC gestartet. Wird der Overrideschalter betätigt, überträgt die Maschine mit der seriellen Schnittstelle die oben genannten Daten an den PC. Am Ende des Bearbeitungsprozesses kann der Facharbeiter die Kopie des NC-Programms mit der dazugehörigen Logbuchdatei wie geschildert im Editor überarbeiten. Das überarbeitete NC-Programm wird an die CNC-Steuerung über die serielle Schnittstelle zurück übertragen und kann jetzt mit den übernommenen Werten abgefahren oder weiter optimiert werden.

Der Editor weist folgende Merkmale auf:

- Das NC-Programm mit den «Soll»-Schnittwerten und das Overrideprotokoll mit gefahrenen «Ist»-Schnittwerten werden nebeneinander dargestellt.
- Der aktuelle NC-Satz sowie die dazugehörigen Overridewerte werden farblich hervorgehoben und invers dargestellt.
- Die protokollierten Overridewerte können komfortabel einzeln oder gesamt in das NC-Programm übernommen werden.
- NC-Sätze können geteilt beziehungsweise neu eingegeben oder gelöst werden.

- Es gibt eine Undo-Funktion für alle vorgenommenen Änderungen.

### Im Praxistest: erste Einschätzungen durch die Facharbeiter

Der Prototyp der CNC-Overrideprotokollierung wurde unter den zuvor beschriebenen Laborbedingungen zusammen mit Facharbeitern bei der Bearbeitung ausgewählter Werkstücke getestet. Es wurden die Vorgehensweisen beim Umgang mit Maschine und Komponente beobachtet und strukturierte Interviews mit den Facharbeitern geführt. Hierbei konnte festgestellt werden, daß eine direkt beim Einfahren der Programme an der Maschine mit Hilfe der Overrideprotokollierung vereinfachte Optimierung von im NC-Programm festgelegten Schnittwerten Auswirkungen auf die Vorgehensweisen der Facharbeiter bei der Programmierung hat. Sie nutzen die Overridefunktion für den Vorschub sehr intensiv. Im Anschluß an die Einfahrvorgänge übernehmen die Facharbeiter die protokollierten Werte mittels der Komponente in das NC-Programm. Die so optimierten Programme erweisen sich in der Regel bei einem weiteren Einfahrvorgang als nicht mehr weiter optimierungsbedürftig.

Es ist zu erwarten, daß die Gewißheit über eine komfortablere und sichere Protokollier- und Übernahmemöglichkeit an der Maschine dazu führen wird, daß die A-priori-Festlegung der Schnittwerte weniger detailliert erfolgen muß. Verfahrensweg und Bearbeitungszyklen müssen nach diesem Konzept nur mit groben Schnittwerten festgelegt werden. Durch verbesserte Optimierungsoptio-

nen wird der Grad der Anforderungen an die Planungsgenauigkeit verringert. Die Facharbeiter müssen dann lediglich Rahmen- oder Grobprogramme im voraus schreiben. Diese dienen dann an der Maschine als Referenz und Grundlage für die Feinoptimierung mit Hilfe der Override-, Protokollier- und Übernahmefunktionen.

Facharbeiter erwarten beim Einfahren durch diese Komponente weniger Unterbrechungen für umständliche Programmänderungen im Editor und weniger Merk- beziehungsweise Notieraufwand: *«Die Idee, daß man den Vorschub vorläufig gewähren läßt, diese optimierten Werte festgehalten werden und dann nachträglich was ändert, ist prima. Da muß man nicht sofort ins Programm einsteigen, das Programm anhalten und ändern oder sich das alles erstmal irgendwo aufschreiben. Manchmal gibt es ja vieles zu ändern, man behält ja nicht alles im Kopf, in welchem Satz was zu ändern war.»*

Besondere Vorteile durch die Komponente Overrideprotokollierung sehen die Facharbeiter vor allem bei größeren Auftragslosen mit Werkstücken, bei de-

nen der häufige und intensive Overrideeinsatz erforderlich ist. Dies gilt beim Drehen besonders für Werkstücke mit einem ungünstigen Verhältnis von Länge und Materialstärke und beim Fräsen für die Bearbeitung dünnwandiger Teile.

### Prozeßnah programmieren

Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, daß eine Übernahmefähigkeit von Schnittwerten ins NC-Programm durch eine CNC-Overrideprotokollierung das sinnliche Erfahren der Bearbeitungsprozesse und das Erinnern und Einschätzen (ohne zu großen Gedächtnis- oder handschriftlichen Aufzeichnungsaufwand) von protokollierten Werten unterstützt. Auf diese Weise kann auch eine prozeßnähere – vom «Groben ins Detail» gehende – «Schritt-für-Schritt»-Programmierung unterstützt werden. «Es muss dann nicht immer 100 % im voraus geplant werden.» Somit stellt die Overrideprotokollierung einen ersten Schritt hin zu Systemkonzepten dar, die die Überwindung der Trennung von Pla-

nung und Ausführung auch bei der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen erlauben. [27] ®

Anm. Alle Zitate stammen aus den zahlreichen Interviews, die wir im Rahmen unserer empirischen Untersuchungen geführt haben.

#### Literatur

- Bolte A.: Planen durch Erfahrung. Arbeitsplanung und Programmerstellung als erfahrungsgelitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen. Kassel, 1993.
- Böhle F.: Einfahren und Optimieren. In: Erfahrungsgelitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung, Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hrsg.). Kassel, 1992.
- Hoffmann Th., Martin H.: CNC-Steuerungen im Vergleich. Eigenschaften von CNC-Steuerungen zur Dreh- und Fräsbearbeitung. In: Programmieren in der Werkstatt. Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen, Rose H. (Hrsg.). Frankfurt am Main, New York, 1990, S. 97–153.
- Martin H., Momberg B., Striepe S., Vollmer Th.: CNC-Steuerungen im Vergleich. Hard- und softwareergonomische Gestaltung von CNC-Drehmaschinensteuerungen (Teile 1 und 2). CIM-Praxis (1992), 5 und 6, S. 62–74 und 56–60.
- Bolte A., Carus U., Schulze H., Striepe S.: Erfahrungsförderlichkeit als Gestaltungsanforderung für Benutzungsoberflächen von CNC-Werkzeugmaschinen. In: Software-Ergonomie '93. Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung, Rödiger K.-H. (Hrsg.). Stuttgart, 1993, S. 215–226.