

Hrsg. Prof. Dr. sc. techn. Detlef Kochan,  
Dresden

## **Werkstattgerechte Nutzer- unterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung**

Ergebnisse des gleichnamigen Forschungs-  
verbundvorhabens

Bearbeitet vom

Institut für Fertigungsinformatik, Technische Universität Dresden

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Ferti-  
gungseinrichtungen, Universität Stuttgart

Institut für Arbeitswissenschaft, Gesamthochschule Kassel

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik  
Berlin

Institut für Arbeitsingenieurwesen, Technische Universität Dresden

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung München

Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **285**

**VDI** VERLAG



Kochan, Detlef, u. a.

## **Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung**

### **Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsverbundvorhabens**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 285. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.  
102 Seiten, 25 Bilder.

**Für die Dokumentation:** Arbeitsanreicherung – CAD/CAM-Freiformflächen – CNC-Funktionserweiterung – Computerunterstützte erfahrungsgelietete Arbeit – Freiformflächenbearbeitung – Fünf-Achs-Bearbeitung – NC-Maschinenführer – NC-Verfahrenskette – Werkstattgerechte CNC-Programmierung – Werkstattgerechte NC-Nutzerunterstützung

Die NC-Steuerprogramme für die fünfachsige Herstellung von Freiformflächen werden gegenwärtig in der Arbeitsvorbereitung (AV) geplant und generiert. Oft müssen sie situationsbedingt modifiziert werden, weil bei der Programmierung in der AV nicht alle Randbedingungen der späteren Herstellung bekannt sind. Zeitverzögerungen und wachsende Kosten sind die Folge. Bisher sind NC-Programmmodifizierungen in der Werkstatt für die betrachteten Bearbeitungsfälle nur sehr eingeschränkt möglich. Deshalb wurde untersucht, welche Anforderungen bei neuen Lösungsansätzen der Werkstattprogrammierung zu berücksichtigen sind. – In 11 Betrieben unterschiedlicher Größe und mit verschiedenem Produktionsspektrum wurden 29 Personen aus der NC-Verfahrenskette (Programmierer und Facharbeiter) befragt. – Die heute bestehenden Schwachstellen und vor Ort bekannte Arbeitsprobleme wurden ermittelt und aufbereitet.

#### **Die Reihen der FORTSCHRITT-BERICHTE VDI:**

- |  |   |
|--|---|
| 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente | 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik                                      |
| 2 Fertigungstechnik                      | 13 Fördertechnik  |
| 3 Verfahrenstechnik                      | 14 Landtechnik/Lebensmitteltechnik                                      |
| 4 Bauingenieurwesen                      | 15 Umwelttechnik  |
| 5 Grund- und Werkstoffe                  | 16 Technik und Wirtschaft   |
| 6 Energieerzeugung                       | 17 Biotechnik   |
| 7 Strömungstechnik                       | 18 Mechanik/Bruchmechanik   |
| 8 Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik | 19 Wärmetechnik/Kältetechnik  |
| 9 Elektronik                             | 20 Rechnerunterstützte Verfahren<br>(CAD, CAM, CAE, CAP, CAQ, CIM, ...) |
| 10 Informatik/Kommunikationstechnik      | 21 Elektrotechnik   |
| 11 Schwingungstechnik                    |   |

© VDI-Verlag GmbH · Düsseldorf 1993

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9406

ISBN 3-18-148502-0

## Inhalt

1.	Einleitung	5
2.	Zielsetzung	5
3.	Vorgehensweise	7
4.	Verallgemeinerungsfähige Ergebnisse aus den Erhebungen	9
4.1	Ergebnisse der Erhebungen unter besonderer Beachtung fertigungstechnischer Aspekte Detlef Kochan, Dieter Fichtner, Jörg Töpferwien Institut für Fertigungsinformatik, Technische Universität Dresden	9
4.2	Werkstattgerechte Nutzerunterstützung für die Freiformflächenbearbeitung Alfred Storr, Walter Kempf, Claus Itterheim Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart	22
4.3	Arbeitswissenschaftliche Anforderungen an die Gestaltung erfahrungsgeliteter Arbeit bei der Freiformflächenbearbeitung Sören Striepe, Detlef Bieker Institut für Arbeitswissenschaft, Gesamthochschule Kassel - Universität	35
4.4	Forderungen des Facharbeiters an die NC-Verfahrenskette zur Freiformflächenfertigung Bernd Oder Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik Berlin	55
4.5	Arbeitswissenschaftliche Anforderungen für die Werkstattorientierte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung Evelyn Reiser, Manfred Rentzsch Institut für Arbeitsingenieurwesen, Technische Universität Dresden	64
4.6	Erfahrungsgelitete Arbeit bei der mehrachsigen Bearbeitung von Freiformflächen Helmuth Rose Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung München	79
5.	Perspektiven für die werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung - Entwicklungstendenzen und Forschungsbedarf Helmuth Rose Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung München	94
6.	Liste der Partner im Forschungsvorhaben "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung"	101

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01 HR 631/0 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Betriebsführung und Industrial Engineering, 40(1991)4, S. 170-177

VON MILNER/VASILION 1989

von Milner, D. A.; Vasilion, V. C.: CAE/CAM - Computergestützte Fertigung, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1989

WÄTZIG/PFANSTIEL 1991

Wätzig, R.; Pfanstiel, J. (1991): Entwicklungstendenzen bei der Gestaltung und Realisierung von Bedien- und Anzeigesystemen für CNC. In: Fertigungstechnik und Betrieb, 41(1991)6, S. 360-362

WIENDAHL 1989

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, Carl Hanser Verlag München Wien, 1989

## 4.6 Erfahrungsgeleitete Arbeit bei der mehrachsigen Bearbeitung von Freiformflächen

Die folgenden Überlegungen über erfahrungsgeleitete Arbeit bei der Bearbeitung von Freiformflächen basieren auf empirischen Untersuchungen und der Auswertung von Erkenntnissen in anderen Forschungsvorhaben. Das ISF München führte (gemeinsam mit dem ISW Stuttgart und dem IPK Berlin) drei Erhebungen über die Arbeit mit fünfachsigen NC-Fräsmaschinen durch, und zwar im Gießwerkzeugbau, in der Laufradherstellung und in der Fertigung eines Unternehmens des Kompressorenbaus. Darüber hinaus konnte das ISF die Protokolle von weiteren empirischen Erhebungen der anderen beteiligten Institute auswerten. Ebenso wurde auf Zwischenergebnisse des Vorhabenverbundes "Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit" zurückgegriffen [11] wie auch auf Forschungsergebnisse von anderer Seite [9].

### 1. In der Werkstatt müssen NC-Programme zu 30% und mehr geändert werden.

Die Bearbeitung beliebig gekrümmter Werkstückoberflächen mit fünfachsigen NC-Fräsmaschinen erfolgt am Ende der NC-Verfahrenskette. Vorausgegangen sind: die Produktkonzeptionierung, die Geometrieerstellung, die Arbeitsplanung und die NC-Programmierung [7]. Produktkonzeptionierung und Geometrieerstellung werden im Arbeitsbereich der Konstruktion vorgenommen, Arbeitsplanung und NC-Programmierung im Arbeitsbereich Arbeitsvorbereitung bzw. Programmierabteilung.

Zwischen diesen Arbeitsbereichen und der Werkstatt werden Informationen übertragen. Die Übertragung vollzieht sich dabei über technische Systeme, über herkömmliche Kommunikationsmittel wie Ausdrucke, kommentierte Arbeitspapiere und Notizen, aber auch über natürliche interpersonelle Aussprachen. Diese drei Formen der Übertragung haben ihren eigenständigen Funktionswert. Die natürliche Aussprache (zwischen Programmierer und Facharbeiter, gelegentlich auch im Beisein von Konstrukteuren) wird immer dann gesucht, wenn "schwierige" Werkstückgeometrien und damit zusammenhängende "Ungewissheiten" z.B. über Schnittaufteilungen zu bewältigen sind. "Das fertige Produkt kann man nur in der Werkstatt sehen"; "nur in der Werkstatt läßt sich letztlich feststellen, ob etwas geht oder nicht", sind hierfür typische Bemerkungen.

In der Werkstatt werden demnach spezifische Erfahrungen gemacht, die für die NC-Verfahrenskette bedeutsam sind. Dieser Sachverhalt wird auch durch die Untersuchungsfunde bestätigt, daß 30% (mitunter bis zu 50%) Änderungen an Programmen nötig sind, die in die Werkstatt übertragen werden. Auch Untersuchungen an anderer Stelle kommen zu ähnlichen Ergebnissen [22].

## 2. Die Werkstatt erbringt einen spezifischen Leistungsbeitrag für die Effizienz der NC-Verfahrenskette.

Der spezifische Leistungsbeitrag der Werkstatt wird von Systemplanern und Führungskräften offenbar häufig unterschätzt und liegt in Kosten ausgedrückt bei ca. 5-10% einsparbaren Maschinenstillstandszeiten.

Systemplaner und Führungskräfte vertreten vorrangig die Auffassung, daß die Durchlaufzeiten in der NC-Verfahrenskette vor allem durch den Ausbau der CAD-CAM-Systeme verringert werden können. Durch Ausbau der CAD-CAM-Systeme, insbesondere durch verbesserte NC-Datensatzerstellung und grafische Simulation als Programmierunterstützung, sollen die Fehlerrate in den NC-Programmen und der Zeitaufwand für Programmtests an der Maschine reduziert werden [2]. Notwendige Erfahrungen aus der Werkstatt, so eine

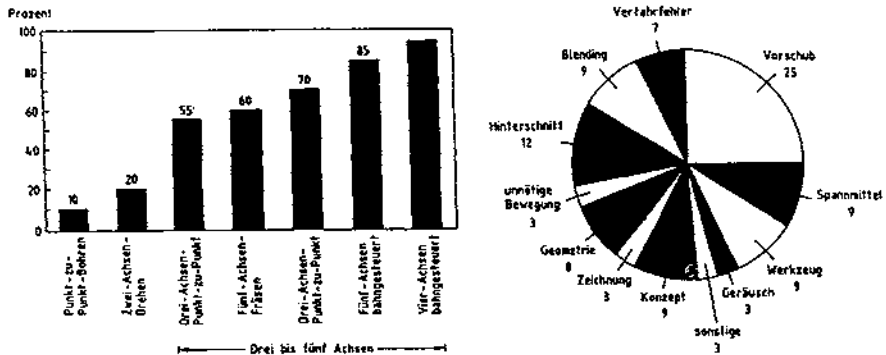


Bild 1: Fehlerrate bei NC-Programmen, bezogen auf die Anzahl der Bearbeitungsachsen (nach [22], Seite 29)

häufig nicht ausgesprochene Unterstellung, ließen sich außerdem von der Werkstatt abziehen und in die NC-Verfahrenskette technisch einbringen. Auf diese Weise würden auch die Voraussetzungen für eine dritte "mannlose" Schicht geschaffen. Diese Betrachtungsweise ist überall da verbreitet, wo Losgrößen über 10 gefahren werden.

Demgegenüber heben Führungskräfte aus kleinen und mittleren Betrieben, aber auch Betriebspraktiker aus Großbetrieben mit Einzelfertigung, z.B. im Werkzeug- und Formenbau hervor, daß auf die spezifischen Erfahrungen der Werkstatt nicht verzichtet werden könnte. Nach ihrer Auffassung bedarf es einer qualifizierten Fachkraft für die Arbeit mit fünfachsigen NC-Fräsmaschinen. Durch die Arbeit dieser qualifizierten Fachkräfte könnten

Kosteneinsparungen erzielt werden durch Reduzierung der Maschinenstillstandzeiten und der Laufzeiten für die Bearbeitung. Der heute noch notwendige zusätzliche Zeitaufwand in Höhe von 5-10% der Maschinenstundensätze könnte eingespart werden. Eine Unterstützung der Arbeit in der Werkstatt würde zudem den Vorteil nach sich ziehen, daß Streß, wie er heute durch diesen zusätzlichen Aufwand bedingt ist, abgebaut werden könnte.

Nach dieser Auffassung werden in der Werkstatt durch qualifizierte Facharbeiter spezifische Erfahrungen gemacht, die sich nicht in technische Systeme übertragen lassen. Sie entstehen in einem bestimmten Erfahrungszyklus, der in der Werkstatt abläuft. Diese Erfahrungen erlauben es, die "richtigen" Regeln und die "richtigen" Techniken an der "richtigen" Stelle zum "richtigen" Zeitpunkt anzuwenden. Dies gilt sowohl für die Arbeitsbereiche der Konstruktion wie auch für die Arbeitsbereiche Arbeitsvorbereitung bzw. Programmierung [12].

In allen Arbeitsbereichen der NC-Verfahrenskette werden aufgrund des darin ablaufenden Erfahrungszyklus eigenständige Erfahrungen gemacht. Die Erfahrungen entstehen bei der Planung, Herstellung, Prüfung und Dokumentierung von Arbeitsergebnissen, wie sie für einen Bereich typisch sind. Diese Arbeitsergebnisse oder Arbeitsobjekte sind in der Konstruktion die Zeichnung und die Geometriedatenerstellung, in der Arbeitsvorbereitung und in der Programmierung das NC-Programm und in der Werkstatt das Fertigteil.

So wie der Konstrukteur für seine Konzepte am Reißbrett oder mit CAD-Systemen spezielle Erfahrungen über Funktionszusammenhänge für Produkte und den Geometrieaufbau hat, hat der Programmierer Erfahrungen hinsichtlich Schnittaufteilungen und NC-Satzerstellung. Der qualifizierte Facharbeiter hat Erfahrungen über den Umgang mit Werkzeugen und für die Prüfung von Werkstückqualitäten. Der Erfahrungshorizont in den einzelnen Arbeitsbereichen der NC-Verfahrenskette ist offenbar unterschiedlich, je nachdem, welches Arbeitsobjekt bearbeitet wird. Im Betriebsalltag bauen sich aktuelle verfügbare Erfahrungen aus planenden, ausführenden und kontrollierenden Tätigkeiten um ein Arbeitsobjekt auf [20].

Soll die NC-Verfahrenskette effektiv funktionieren, so geht es darum, geeignete Möglichkeiten zu schaffen, daß die Erfahrungszyklen der Kette entsprechend den Methoden der Gewinnung und Nutzung von Erfahrungen nicht behindert oder eingeschränkt werden (also in jedem Bereich die Möglichkeit besteht, einen "Erfahrungsschatz" aufzubauen) und in der betrieblichen Kooperation dafür zu sorgen, daß nicht nur der technische Informationsfluß, sondern auch der interpersonelle Erfahrungsaustausch gesichert wird.

Bisherige technische Konzepte gehen zumeist - wenn auch unausgesprochen - davon aus, daß die Bedingungen in den verschiedenen Arbeitsbereichen ähnlich sind. Die technische Unterstützung konzentriert sich insbesondere auf die Bereiche Konstruktion und Programmerstellung, d.h. auf CAD-CAM-Systeme. Daß die Werkstatt besondere Bedingungen für ihre Erfahrungsbildung hat, wird weitgehend vernachlässigt [18].



**3. Erfahrungen über den Bearbeitungsprozeß (in bezug auf Werkzeugeinsatz und Werkstückqualität) bilden die Leistungsressource der Werkstatt. Auf dieser Grundlage kann ein Beitrag für Programmkorrekturen vorgenommen werden.**

Wie empirische Untersuchungen belegt haben, besteht die "eigentliche" Arbeitsaufgabe qualifizierter Facharbeiter darin, aus Werkstücken mit Hilfe verschiedener Werkzeuge ein bestimmtes Fertigteil durch prozeßnahe Arbeit zu erstellen. Muß er ein Programm korrigieren, so betrachtet er dies als eine, wenn auch notwendige, Nebenaufgabe, die er aber möglichst rasch hinter sich bringen will [5 und 6]. Die meiste Zeit seiner Arbeit ist der Facharbeiter mit dem Rüsten der Maschine, der Werkzeugvermessung, dem Prüfen von Maßgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, der Schnittwertoptimierung und dem Werkzeugwechsel als prozeßnahen Tätigkeiten beschäftigt [19; 23]. Das Können der Facharbeiter liegt

- in der Prüfung der Fertigungsunterlagen;
- in der Bereitstellung von Werkzeugen;
- im Rüsten von Maschinen;
- in der Optimierung von Programmen hinsichtlich dem Einsatz verfügbarer Werkzeuge und der Veränderung von Verfahrenwegen;
- in der Beurteilung von Prozeßzuständen und dem zeitkritischen Prozeßeingriff zur Sicherung von Rahmenbedingungen für die Bearbeitung, z.B. in bezug auf Schnittgeschwindigkeiten und Werkzeugverschleiß, und
- in der Vermeidung von Störungen sowie frühzeitiger Fehlererkennung, schließlich
- in der Unterstützung bei der Fehlerbeseitigung in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitskräften.

Bei fünfachsigen Fräsbearbeitungsprozessen müssen die Programme außerhalb der Werkstatt erstellt werden. Hier handelt es sich in der Regel um komplexe Programme mit NC-Datensätzen bis in die Größenordnung von Megabyte. Dafür ist ein Programmieraufwand von Wochen bis zu mehreren Monaten notwendig. Das gesamte Programm für einen fünfachsigen Fräsvorgang wird deshalb immer in der Arbeitsvorbereitung und in der Programmierabteilung erstellt werden müssen.

Was die in der Arbeitsvorbereitung bzw. im Programmierbereich erstellten Programme angeht, prüft der Facharbeiter, ob die Anfahrbedingungen aufgrund der Unterlagen gegeben sind, ob einzelne Programmabschnitte "machbar" sind (z.B. durch Abfahren einer Schaufel

bei der Herstellung von Laufrädern), ob einzelne Parameter, wie Verfahrenwege und Werkzeuge im Programm geändert werden müssen, insbesondere aber, ob Werkzeugkorrekturen erforderlich sind, weil die Maßhaltigkeit oder Oberflächenbeschaffenheit dies erfordern. Seine Entscheidungen beziehen sich somit auf die Werkstückbearbeitung und den Werkzeugeinsatz, und erst in zweiter Linie auf Programmveränderungen.

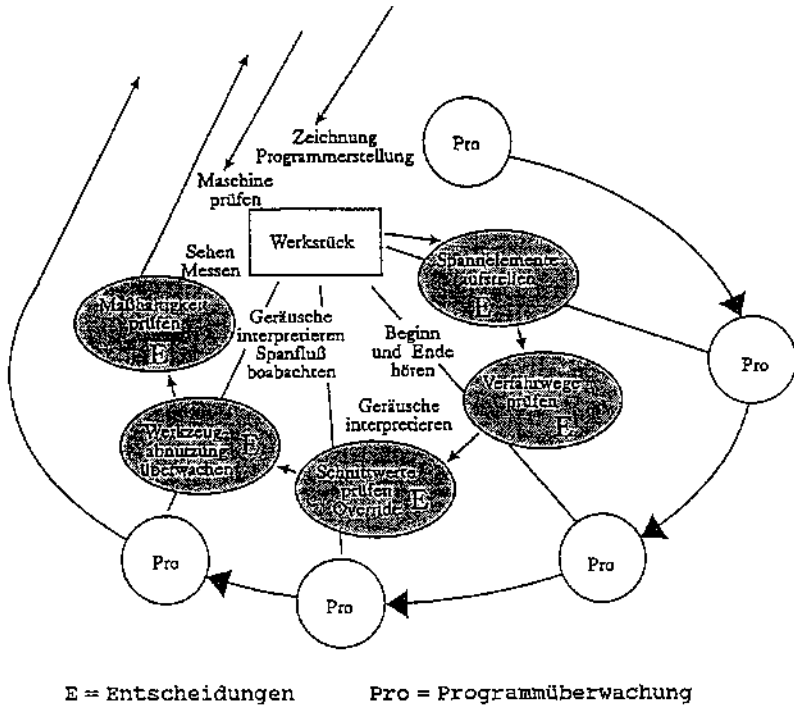


Bild 2: Erfahrungszyklus bei der Zerspanung (nach [12])

#### 4. Ein Großteil der Erfahrungen von Facharbeitern ist personen- und kontextabhängig. Derartige Individuelle Erfahrungen werden durch "subjektiverendes" Arbeitshandeln erworben.

Um Entscheidungen zur Technologie- und Prozeßbeherrschung an der Werkzeugmaschine fällen zu können, muß der qualifizierte Facharbeiter in der Werkstatt auf verschiedene Erfahrungen zurückgreifen können. Zum einen benötigt er Erfahrungen im Umgang mit

Plänen, Programmen und Vorgaben, die in der Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung entstanden sind, und Erfahrungen zur Bedienung von fünfschichtigen Werkzeugmaschinen.

Darüber hinaus brauchen die Facharbeiter aber auch Erfahrungen, die im Vollzug von selbst veranlaßten Handlungen und erlebten Konsequenzen "subjektivierend" erworben werden [3]. Diese Erfahrungen sind personen- und kontextabhängig. Sie werden vor allem durch die direkte Beobachtung von Bearbeitungsvorgängen, damit gekoppelten Zustandsbewertungen und darauf folgenden Schlußfolgerungen sowie korrigierenden Eingriffen, insbesondere beim Einfahren und Überwachen programmgesteuerter Maschinenläufe, erworben [6]. Der so erworbene "Erfahrungsschatz" stellt ein Wissen dar, das in eine Handlung eingebettet ist und deshalb auch als implizites Erfahrungswissen bezeichnet werden kann [13].

Je komplexer und kontextbezogener die Arbeitsereignisse sind, innerhalb deren Arbeitshandlungen vollzogen werden, und je mehr Sinne und auch Gefühle beteiligt sind, um so leichter lassen sich diese Ereignisse als Erfahrungsmuster behalten. Sie sind im Gedächtnis multimodal (entsprechend der gleichzeitigen Nutzung visueller, auditiver, haptischer und sensomotorischer Wahrnehmungskanäle) als ganzheitliche Erfahrungsmuster assoziativ hinterlegt. Das gesamte Muster kann dann in einer ähnlichen Arbeitssituation auch bei Aktivierung eines Wahrnehmungskanals verfügbar gemacht werden. Dadurch ist ein äußerst effektiver Zugang zu Erfahrungen möglich. So reicht die Durchführung einer Bewegung aus, um das gesamte Assoziationsnetz zu aktivieren [12].

Lassen die Arbeitsbedingungen die Bildung impliziter Erfahrungen zu, kann der Facharbeiter verschiedene Leistungspotentiale aufbauen und entsprechend Veränderungen aktualisieren. Zu diesen Leistungspotentialen gehören ein individuelles Vorstellungsvermögen ebenso wie ein individuelles Differenzierungsvermögen und Transformationsvermögen [17].

Arbeitshandlungen, die bei einem Arbeitsereignis durchgeführt worden sind, das zu einem befriedigenden Arbeitsergebnis (Produktqualität) geführt hat, können "wie im Film" von Facharbeitern in einer anderen ähnlichen Arbeitssituation aufgerufen werden [6]. Aufgrund dieser Aktivierung "weiß" der Facharbeiter, welche Bearbeitungsstrategie zu wählen ist, d.h. welche Werkzeuge zum Einsatz kommen müssen, um bei einem bestimmten Material einen bestimmten Bearbeitungsschritt zu vollziehen.

Anhand vor allem des Indikators "Geräusche aus dem Arbeitsraum der Maschine" zieht der Facharbeiter unmittelbar Rückschlüsse über die "Richtigkeit" gewählter Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten, ebenso wie auf den Werkzeugverschleiß [3].

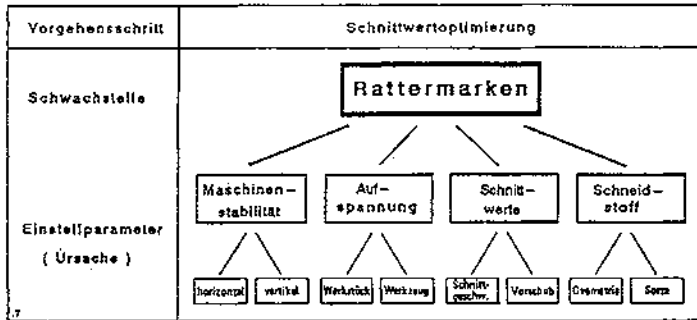


Bild 3: Geräusche als Indikatoren (nach [23])

Ein aktuelles Geräusch aus dem Arbeitsraum wird mit einem im Gedächtnis gespeicherten "richtigen" Geräusch verglichen, das bei der Herstellung eines qualitativen Produktes, also mit dem richtigen Ergebnis, entstanden ist [15].

Schließlich haben Facharbeiter auch ein Zeitgefühl dafür, zu welchen Zeitpunkten bei einem längeren Programm die Messungen vorzunehmen sind, um die Maßhaltigkeit und Oberflächengüte zu prüfen. Sie können gleichsam intransparente Zeitabfolgen (wie sie das NC-Programm strukturieren) übertragen in lebenszeitliche Zusammenhänge. Aufgrund dieses individuellen Transformationsvermögens "weiß man" den richtigen Zeitpunkt und den notwendigen Meßaufwand. Dies gilt auch für die Überwachung des Werkzeugeinsatzes, d.h. hinsichtlich des Verschleißes.

Setzt der qualifizierte Facharbeiter diese individuellen Leistungspotentiale bei der Arbeit ein, so wird seine Arbeit erfahrungsgeleitet.

**5. Wird erfahrungsgeleitete Arbeit in der Werkstatt durch die technisch-organisatorischen Arbeitsbedingungen behindert, kommt es zu Effizienzeinbußen (durch erhöhten Zeitaufwand) wie auch zu Stressauslösung.**

In den empirischen Erhebungen wurden mehrere erfahrungsgeleitete Arbeit hindernde neuralgische Punkte bei den technisch-organisatorischen Arbeitsbedingungen aufgedeckt:

- o Der Facharbeiter an der Fräsmaschine hat keine Programmübersicht über die Struktur und Abschnitte des aus tausenden von NC-Sätzen bestehenden Programms. Dies ist

zum Beispiel hinderlich, um im Falle von Reparaturen die Programmabschnitte segmentieren zu können und dann die Abschnitte abzufahren, mit denen die Reparatur vorgenommen werden könnte.

- o Ebenso ist es hinderlich, wenn Werkzeugkorrekturen nicht direkt an der Maschine vorgenommen werden können. Die Werkzeugkorrekturen müssen in die NC-Sätze an anderer Stelle eingegeben werden.
- o In der Werkstatt steht keine technische Unterstützung für Kollisionsprüfungen zur Verfügung. Aufgrund dieser Tatsache muß häufig ein Programm oder ein Programmabschnitt an der Maschine eingefahren werden.
- o Zwischen dem Facharbeiter in der Werkstatt und den Programmierern in der Programmierabteilung bestehen zumeist Vertrauensverhältnisse. Wenn der Programmierer in der Programmierabteilung ausfällt und ein anderer Programme schreibt, so ist für den Facharbeiter nicht immer klar, ob er sich auf das NC-Programm "verlassen" kann. Besteht Zeitdruck, so daß ein umfangreiches Einfahren nicht möglich ist, muß der Facharbeiter mit "mehr Unsicherheit" arbeiten, als ihm lieb ist. Das gilt auch für eine eingeschränkte Prozeßtransparenz, z.B. durch Verkapselung von Maschinen, so daß die Bewegungen im Arbeitsraum kaum nachvollzogen werden können und die Geräusche gedämpft werden. Der Facharbeiter kann dann nicht am Prozeß bleiben, er muß mit mehr "Unsicherheit" fahren, also riskanter handeln, als er eigentlich möchte. Muß der Facharbeiter "riskanter" handeln bzw. mehr Arbeitsaufwand vornehmen, als es ihm möglich wäre, entsteht, vor allem bei zusätzlichem Zeitdruck, Streß, der die Arbeit in der Werkstatt, aber auch ebenso die notwendige Kooperation zwischen Werkstatt und Arbeitsvorbereitung bzw. Programmierabteilung belastet.
- o Da Facharbeiter einen besonderen Bezug zu ihren Werkzeugen haben, wird von ihnen auch als hinderlich empfunden, wenn die Werkzeuge nicht von ihnen verwaltet werden. Ist dies der Fall, so können sie ihr Differenzierungsvermögen insbesondere für den Werkzeugeinsatz und Werkzeugverbrauch besonders entwickeln.
- o Als besonders belastend werden Arbeitssituationen empfunden, bei denen der Facharbeiter keinen Ansprechpartner in der Arbeitsvorbereitung oder Programmierabteilung hat, weil diese zu dem Zeitpunkt nicht verfügbar sind, z.B. in einer dritten Schicht. Als sicherster Kommunikationskanal gilt das gesprochene Wort und sicherheitserhöhend gelten auch Zeichnungen und direkte spezifische Kommentare auf Ausdrucken. Auf sonstige Ausdrücke und Listen, die dem Facharbeiter übertragen werden, muß er sich mehr oder weniger "blind" verlassen.

Diese ersten Befunde zeigen, daß es zu Fehlern kommen muß und eher die Unsicherheit

erhöht, wenn die Kommunikation ausschließlich auf technische Kommunikation beschränkt würde. Es muß auch bezweifelt werden, daß eine automatische Werkzeugüberwachung die gewünschten Erfolge nach sich zieht. Werden solche Systeme eingesetzt, wird es den Facharbeitern erschwert, hinsichtlich Einsatz und Verbrauch "Fingerspitzengefühl" zu entfalten. Genau dieses aber ist notwendig, um die "richtigen" Schnittgeschwindigkeiten fahren zu können und den Zeitpunkt zu bestimmen, um Werkzeuge auszuwechseln [19]. Genauso muß bezweifelt werden, daß Technologie-Dateien, die ausschließlich in der Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung gewartet werden, tatsächlich die aktuellen Erfahrungswerte beinhalten können [6]. Der Kontext an der Maschine variiert stark. Dementsprechend müssen auch Erfahrungswerte sich variieren lassen.

**6. Um die Effizienz der NC-Verfahrenskette zu erhöhen, bedarf es einer alle Erfahrungsbereiche, einschließlich der Werkstatt, integrierenden Betrachtungsweise, die das Prinzip der dynamischen Arbeits- und Funktionsteilung zum Zuge kommen läßt.**

Teilt man (aufgrund der hier kurz skizzierten Befunde) die Auffassung, daß der qualifizierte Facharbeiter aufgrund individueller Leistungspotentiale über einen Erfahrungsschatz verfügt, der einen spezifischen Beitrag zur Steigerung der Effizienz in der NC-Verfahrenskette erlaubt, kommt es darauf an, ihn bei seiner erfahrungsgelernten Arbeit technisch und organisatorisch zu unterstützen. Eine solche Perspektive schließt Vorstellungen aus, daß der in der Werkstatt tätige Facharbeiter aufgrund von Schulungen und Weiterbildung zu einem Programmierer gemacht wird. (Damit soll nicht gesagt werden, daß Facharbeiter nicht auch Programmierer im Arbeitsbereich Arbeitsvorbereitung und Programmieren werden können.) Die Perspektive schließt auch aus, daß aufgrund technischer Systemerweiterungen (in Richtung automatischer Werkzeugüberwachung und Technologie-Generierung) Erfahrungen, wie sie der Facharbeiter macht, aus der Werkstatt abgezogen und an anderer Stelle, z.B. der Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung, verfügbar gemacht werden können. Die Perspektive erfahrungsgelernter Arbeit zur Steigerung der Effizienz in der NC-Verfahrenskette setzt demgegenüber darauf, die Erfahrungsbildung in den einzelnen Arbeitsbereichen zu fördern und besser als bisher miteinander zu koppeln [14].

Im vom Bundesforschungsminister geförderten Forschungsverbund "Computergestützte erfahrungsgelernte Arbeit (CeA)" wurde eine neue Perspektive für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung herausgearbeitet, die sich auch für ein Konzept zur Effizienzsteigerung in der NC-Verfahrenskette bei der Freiformflächenbearbeitung eignet [11]. In diesem CeA-Konzept geht es darum, bei der Kooperation verschiedener Arbeitsbereiche das Prinzip der dynamischen Arbeitsverteilung und bei der Zuordnung der Funktionen zwischen Arbeitskraft und Maschine das Prinzip der dynamischen Funktionsteilung zum Zuge kommen zu lassen. Das bedeutet, von dem Gedanken wegzukommen, man könne für alle aktuell auftretenden Arbeitssituationen ex ante ein Prozeßmodell entwickeln, aufgrund dessen eine in

sich geschlossene Systemkette geplant werden kann. Es geht um die Planung offener Systeme, die es erlauben, daß eine Arbeitskraft beim Umgang mit einem System entsprechend der aktuellen Arbeitssituation die technische Option wählen kann, mit der sie sich den schnellsten Erfolg verspricht, darüber hinaus auch organisatorische Optionen gegeben sind, um die Arbeit zu erleichtern.

Durch die Wahl von technischen und organisatorischen Optionen wird eine kontextangemessene Variation in der Bearbeitung möglich, mit der sich Effizienzsteigerungen erzielen lassen. Darüber hinaus entsteht noch ein zusätzlicher Effekt, nämlich der, daß durch die Wahl der Optionen auch eine Bewältigung von streßauslösenden Momenten gewährleistet ist. Der Zusatzaufwand durch die technisch-organisatorischen Arbeitsbedingungen, um komplexe Situationen zu meistern, verringert sich. Die Arbeitskraft kann je nach dem Grad der Unbestimmtheit bis Ungewißheit selbst festlegen, wie riskant ihre Arbeitshandlungen sein sollen, d.h. sie kann bei einer derartigen Vorgehensweise selbst bestimmen, wie die Aufmerksamkeit und damit die Anstrengung verteilt werden soll. Das Konzept eignet sich, sowohl die Effizienz zu steigern wie auch die Qualität zu sichern und gleichzeitig zudem aktiven Arbeitsschutz zu gewährleisten.

Die Anwendung des CaA-Konzeptes für die Bearbeitung von Freiformflächen könnte einen besonderen Beitrag zur Untermauerung des Konzeptes beisteuern, da die Freiformflächenbearbeitung als besonders komplex gilt, und das ursprüngliche Konzept sich auf die Arbeit bei der Bearbeitung von geometrischen Regelflächen ausrichtet. Vor allem würden weitere Untersuchungen eine Klärung der Frage bringen, ob erfahrungsgeleitete Arbeit für den Einsatz komplexer Systemtechnik der "entscheidende" Leistungsfaktor ist, d.h. auf flexible Produktion ausgerichtete komplexe Systemtechnik neuer Arbeitsweisen bedarf, um diese vollends zu beherrschen. Es reicht nicht aus, bisheriges Erfahrungswissen auf neue Techniken hin zu transformieren. Es müssen vielmehr andere Erfahrungen gemacht werden, mit denen die Techniken effizient zur Anwendung gebracht werden können [14].

## **7. Dynamische Arbeitsteilung zur Effizienzsteigerung der NC-Verfahrenskette setzt auf Belbehaltung und Förderung der Interpersonellen Kooperation.**

Die bisherigen Überlegungen können nur Hinweise geben, wie das Feld der organisatorischen Optionen aussieht. Es fehlen noch weiterführende Untersuchungen, um hier eine vollständige Struktur erkennen zu können.

Es zeichnet sich aber ab, daß die interpersonelle Kommunikation zwischen Facharbeitern und anderen Fachkräften der Werkstatt mit den Arbeitsvorbereitern und Programmierern eine zentrale Stellung einnimmt. Der Programmierer wird sicherer, wenn er bei seinen Fragen hinsichtlich Technologie-Generierung auf einen kompetenten Ansprechpartner in der Werkstatt trifft, ebenso kann der Facharbeiter "sicherer" arbeiten, wenn er das Zustande-

kommen der Arbeitsergebnisse des Programmierers nachvollziehen kann. Dies führt zu einer integrierenden Betrachtungsweise hinsichtlich der notwendigen technischen Unterstützung und der Möglichkeit, diese organisatorisch unterschiedlich zu nutzen.

Ein gemeinsam durchgeführter Kollisionstest auf der Grundlage grafischer Simulation gäbe dem Facharbeiter die Möglichkeit, seine "Unsicherheiten" hinsichtlich der Arbeit des Programmierers abzubauen und dessen Ergebnisbildung nachzuvollziehen. Anders herum würde eine vom Facharbeiter und Programmierer gemeinsam betriebene Wartung von Technologie- und Werkzeugdateien die Möglichkeit eröffnen, daß die aktuell relevanten Erfahrungswerte in die NC-Programmierung einfließen können.

Sind die Informationsflüsse hinsichtlich Technologie- und Prozeßbeherrschung bidirektional ausgelegt, könnte der Facharbeiter sich in den Fällen, wo ihm der gewohnte Programmierer nicht als Ansprechpartner zur Verfügung steht, in gewissem Umfang Informationen beschaffen, wie er sie in einer Arbeitssituation braucht. Darüber hinaus würde eine weitere technische Option, werkzeugmaschinennah Programme korrigieren zu können, z.B. um Werkzeugkorrekturen vorzunehmen, ebenfalls geeignet sein, die Kooperation zwischen Werkstatt und Programmierabteilung zu verstärken und zusätzlichen Aufwand zu vermeiden. Insgesamt würden auf diese Weise auch Arbeitsgruppen aus den Programmierern und den Facharbeitern, die fünfachsige Werkzeugmaschinen bedienen, erhalten bzw. entstehen, die bereichsübergreifend tätig sind. Dieses Merkmal ist - wie Untersuchungen zeigen - vor allem typisch für die Prozeßindustrie [21]. Da die NC-Verfahrenskette einen gerichteten Prozeß darstellt, ist auch hier zu prüfen, ob das Prinzip bereichsübergreifender Arbeitsgruppen tragfähig ist.

Neben der gemeinsamen Arbeit an der NC-Verfahrenskette würde auch die Auftragsabwicklung Aufgabe derartiger Arbeitsgruppen sein [16]; [18]. Schließlich ist auf den Umstand hinzuweisen, daß gegenwärtig neben technischen Informationsträgern wie Datenfeldern an Bildschirmen auch andere Informationsträger, wie Zeichnungen, mit Kommentaren versehene Ausdrucke und Notizen für die Kooperation herangezogen werden. Je nach der Komplexität einer aktuellen Arbeitssituation greifen Arbeitskräfte "am liebsten" auf verschiedene Informationsträger zurück. Außerdem erfolgt durch parallelen Einsatz unterschiedlicher Informationsträger eine überlappende Prüfung von Informationsunterlagen.

Da insbesondere implizite Erfahrung sich durch Zeigen, Nachvollziehen und Aussprache vermitteln läßt, kommt es zur Behinderung des Erfahrungsaustausches, wenn ausschließlich Kanäle technischer Kommunikation genutzt werden müssen. Bereichsübergreifende Gruppenarbeit und Nutzung verschiedener Informationsträger sichert auch eine gegenseitige Prüfung von individuellen Erfahrungsbeständen, so daß Erfahrungen, in denen "fehlerhaft" Zusammenhänge erlebt wurden, ausfindig gemacht und verbessert werden können.



### **8. Dynamische Funktionstellung zur Effizienzsteigerung der NC-Verfahrenskette setzt auf den Aufbau offener Systeme.**

Die vorhergehenden Überlegungen im Hinblick auf technische Optionen, mit denen erfahrungsgelitete Arbeit bei der Freiformflächenbearbeitung unterstützt werden kann, können lediglich einige Ansatzpunkte aufzeigen, sind aber noch nicht geeignet, die Struktur des gesamten Feldes darzulegen. Hierzu sind weiterführende Forschungen notwendig, insbesondere auch die Erprobung von technischen Optionen.

Wie bereits bei der kurzen Darstellung organisatorischer Optionen angeführt, bedarf es einer technischen Unterstützung in der Programmierabteilung ebenso wie maschinennah in der Werkstatt und an der Werkzeugmaschine. Die technischen Optionen in der Programmierabteilung richten sich auf die Unterstützung des Programmierers durch Ausbau der Funktionen von Programmiersystemen. Einmal geht es hier darum, die Benutzerschnittstelle über bestehende Programmierunterstützungen durch Spezialmodule [10] und Berechnungshilfen hinaus noch benutzerfreundlicher zu machen, z.B. menügeführte Dialoge zu ermöglichen, mit denen flächenübergreifende Schnittaufteilungen und Prüfungen zum Konturschutz durchgeführt werden können [24]; [25]. Darüber hinaus ist auch eine Erleichterung zu erwarten, wenn Programmier- und Technologie-Datenbanken zur Verfügung stehen, auf die der Programmierer zugreifen kann, ebenso wie der Facharbeiter an der Maschine.

Inwieweit Expertensysteme zur Verarbeitung technologischer Daten geeignet sind, um z.B. Alternativen hinsichtlich Stirn-, Sturz- oder Umfangsfräsen hinsichtlich der Anschnittstrategie oder hinsichtlich der Fräserstellung bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen, läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilen. Hingegen läßt sich bereits heute sagen, daß eine Verbesserung der grafischen Simulation eine wertvolle Programmierunterstützung darstellt [2]. Dabei lassen sich drei Bereiche unterscheiden, in denen eine Grafikerunterstützung sinnvoll erscheint, und zwar hinsichtlich der Fräser-/Werkstückgeometrie, hinsichtlich der Fräserbewegungen auf der Werkstückoberfläche und hinsichtlich der Fräserbewegungen im Maschinenraum [8]. Weiter ist zu prüfen, ob derartige Simulationen auch maschinennah stattfinden können, so daß ein Facharbeiter darauf zurückgreifen kann, im Beisein eines Programmierers oder auch gegebenenfalls nach Übung ohne diesen.

Von besonderer Bedeutung ist eine technische Unterstützung werkzeugmaschinennah, um Programme zu visualisieren und Korrekturmöglichkeiten zu sichern, z.B. um Werkzeugkorrekturen vornehmen zu können. Dies würde erlauben, daß Bearbeitungsschritte an der Maschine selektiert werden können, so daß für Bearbeitungsschritte ein Programmabschnitt aufgerufen werden könnte, z.B. um Reparaturen durchzuführen. Darüber hinaus würde die Eingabe von Korrekturen an der Maschine, z.B. für Werkzeuge, einen rascheren Informationsfluß in der NC-Verfahrenskette erlauben.

Weiterhin wäre zu prüfen, ob Makros, die Programmierer in der Programmierabteilung entwickelt haben, auch maschinennah, ggf. auch selbständig durch Facharbeiter genutzt werden können.

Durch weitere Forschungsarbeit wäre auch zu klären, welchen Beitrag Facharbeiter bei einer gemeinsamen Wartung von Technologie- und Werkzeugdateien leisten könnten, so daß in der Programmierabteilung aktuelle Erfahrungswerte gegeben sind und in der Werkstatt der Umgang mit Werkzeugen selbst organisiert werden kann.

Schließlich geht es auch um eine technische Unterstützung hinsichtlich der Prozeßtransparenz für den Facharbeiter. Hier sind alle Formen, die einen direkten sinnlichen Wahrnehmungskanal eröffnen, gegenüber anderen technisch vermittelten Darstellungsformen über Prozeßzustände vorzuziehen. Zu prüfen ist, ob Maschinenkonstruktionen es bei Verkapselung erlauben, prozeßnah zu beobachten, durch Verbesserungen von Sichtfenstern beispielsweise oder Geräuschklitze, um Geräusche aus dem Arbeitsraum besser zu hören. Weiterhin ist zu prüfen, ob transformierte Sensordaten, z.B. von einem Beschleunigungsaufnehmer über Körperschallemissionen, zusätzlichen Aufschluß über Prozeßzustände liefern können und wie die Darstellung von solchen Sensordaten möglichst nach dem Prinzip analoger Repräsentation vorgenommen werden kann. Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß auch die Bedientfunktionen an fünfachsigen Maschinen für die Erleichterung der Arbeit von Facharbeitern noch weiter ausgestaltet werden könnten.

## Literaturliste

- [1] Babcock-Borsig: Fortschritt durch Forschung. Turboverdichter und Laufräder, Firmenprospekt, Berlin.
- [2] Becker, M.; Gehring, V. (1991): Rationalisierung im Werkzeug- und Formenbau. Verfahrensintegration als Methode zur Verkürzung der Durchlaufzeiten in Fertigungsplanung und Fertigung. In: VDI-Z 133, 6, S. 65-72.
- [3] Böhle, F.; Milkau, B. (1988): Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß, Frankfurt.
- [4] Böhle, F.; Milkau, B. (1989): Neue Technologien - neue Risiken. Neue Anforderungen an die Analyse von Arbeit. In: Zeitschrift für Soziologie, 4, S. 249-262.

- [5] Böhle, F.; Rose, H. (1990): Facharbeitergerechte Programmiersysteme; was nützt dem Facharbeiter beim Programmieren? In: Technische Rundschau, 19, S. 112-119.
- [6] Böhle, F.; Rose, H. (1990): Erfahrungsgel leitete Arbeit bei der Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: H. Rose (H.G.) Programmieren in der Werkstatt. Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen, Frankfurt, S. 11-96.
- [7] Eversheim, W.; Dahl, B.; Marczyński, G. (1991): NC-Verfahrenskette. In: VDI-Z, 133, 8, S. 54-57.
- [8] Feldermann, J. (1991): Fünffachsiges NC-Fräsen. Simulation und NC-Datensatzerstellung sind noch Schwächen heutiger CAD/CAM-Software. In: VDI-Z 133, 6, S. 75-87.
- [9] Gehring, V.; Becker, M.; Camacho, J.H. (1990): Entwicklungstendenzen im Werkzeug- und Formenbau. In: VDI-Z, 132, 8, S. 12-16.
- [10] Hupfer, H.; Potthast, A. und Wojcik, L. (1990): NC-Programmierung für die fünffachsig e Fräsbearbeitung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 85, 2, S. 75-80.
- [11] Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hrsg.) (1992): Erfahrungsgel eitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Ergebnisse 1991 aus dem Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" (CeA1), IFA, Kassel.
- [12] Lennartz, K.D.; Rose, H. (1992): Flexibel Fertigen auf der Basis erfahrungsgel eiteter Arbeit. Neue technische Optionen für mehr Effizienz in der NC-Verfahrenskette, erscheint in VDI-Z, 5.
- [13] Martin, H.; Rose, H. (1990): Computergestützte erfahrungsgel eitete Arbeit (CeA), Erfahrungswissen sichern statt ausschalten. In: Technische Rundschau, 12, S. 34-41.
- [14] Martin, H. (1990): Arbeitswissenschaftliche Anforderungen an die rechnergestützte Integration von betrieblichen Funktionen. In: M. Noack; K. Wegner; D. Gluch; U. Dienhardt (Hrsg.): CIM-Integration und Vernetzung, Berlin, S. 105-112.
- [15] Rose, H. (1990): Ressource Mensch in der Produktion. Die Wiederentdeckung der praktischen Erfahrung als notwendige Ergänzung theoretisch fundierten Wissens. In: VDI-Z, 12, S. 12-16.

- [16] Rose, H.; Schneider, R.; Lay, G. (1991): Erfahrungsgeleitete Arbeit in der computerintegrierten Fertigung. In: M. Frese; Ch. Kasten; C. Skarpelis; B. Zang-Scheucher (Hrsg.): Software für die Arbeit von morgen, Berlin, S. 303-310.
- [17] Rose, H. (1991): Bedeutung des Erfahrungswissens für die Bedienung von CNC-Maschinen. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 1, S. 45-48.
- [18] Rose, H. (1991): CeA. Ein neuer CIM-Baustein gewinnt an Konturen. In: CIM-Management, 1, S. 53-56.
- [19] Rose, H. (1991): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Maschinen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1, S. 20-27.
- [20] Rose, H. (1992): Erfahrungsgeleitete Arbeit als Focus für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 1, S. 22-27.
- [21] Rose, H. (1992): Dynamische Funktionsteilung der Mensch-Maschine-Schnittstelle als strategisches Konzept flexibler Prozeßautomatisierung. Erscheint demnächst in: Automatisierungstechnische Praxis.
- [22] Schade, B.; Schade, K. (1990): Simulation bei der NC-Programmierung. In: Maschinen- und Anlagenbau, CAD CAM CIM, März, S. 28-31.
- [23] Schmidt, J.; Kläiber, M.; Asteriadis, N. (1991): Einfahren von NC-Programmen. In: VDI-Z 133, 4, S. 115-118.
- [24] Spur, G.; Pothast, A. und Wojcik, L. (1991): Verkürzung der Fertigungszeiten bei der fünfsichtigen Fräsbearbeitung. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 86, 6, S. 273-277.
- [25] Zirbs, I. (1988): NC-Programmierung von Formeinsätzen an Tiefziehgesenken. In: Automobil-Industrie, 5, S. 541-549.

## **5. PERSPEKTIVEN FÜR WERKSTATTGERECHTE NUTZERUNTERSTÜTZUNG BEI DER FREIFORMFLÄCHENBEARBEITUNG**

### **ENTWICKLUNGSTENDENZEN UND FORSCHUNGSBEDARF**

(1) Die zunehmende Differenzierung von Kundenwünschen und die Verkürzung der Produktlebenszyklen verlangen von den Unternehmungen in Zukunft neue innovative Produktionsstrukturen. Um den Anforderungen, insbesondere im Hinblick auf Flexibilität und Qualitätssicherung im Produktionsprozeß zu genügen, müssen die bisherigen Fertigungskonzepte angepaßt und vor allem auch ergänzt werden. Zu den erfolgversprechenden Rationalisierungsstrategien gehören vor allem eine Dezentralisierung der Informationsverarbeitung, eine produktorientierte Reorganisation der Fertigung und eine werkstatorientierte Produktionsunterstützung.

Nach einer Studie des MIT sind japanische Unternehmen in der Realisierung derartiger Strategien fortgeschrittener als solche in anderen Industrieländern. Durch schlanke Produktionsstrukturen (lean production) kommt es zu einer höheren Effizienz (gegenüber herkömmlichen Produktionsstrukturen).

Eine Nachahmung der japanischen Entwicklung ist in Europa aufgrund anderer Voraussetzungen nicht möglich. Gleichwohl sollte die "japanische Herausforderung" Anlaß sein, über die Effizienz der gegenwärtigen Produktionssysteme nachzudenken, um diese zu verbessern.

(2) Die japanischen Beispiele für eine Effizienzsteigerung in der Produktion lehren, daß es vor allem auf 3 wesentliche Aspekte in der Fertigung ankommt. Zum einen geht es darum, den Prozeß- und Logistikaufwand zu reduzieren, um auf diese Weise kürzere Durchlaufzeiten zu erzielen. Zum zweiten ist es vorteilhaft, wenn benutzerfreundliche Steuerungstechnik und Maschinen zum Einsatz kommen (mit hoher Leistungsfähigkeit, großer Funktionalität und Anwendungsbreite und leichter Handhabung). Drittens ist eine Zusammenarbeit "vor Ort" besonders geeignet, den notwendigen Erfahrungsaustausch für "sichere" Entscheidungen zu steigern.

Für die Fertigung von Freiformflächen gelten die hier kurz für die Produktion allgemein genannten Aspekte ebenso. Die empirische Untersuchung des Forschungsverbundes Werkstattgerechte Nutzerunterstützung für die Freiformflächenbearbeitung (WNF) hat den Nachweis erbracht, daß es für die hier hervorgehobenen Aspekte aufgrund der charakteristischen Werkstattprobleme erheblichen praktischen Bedarf in der Praxis gibt wie auch wissenschaftlich begründete technisch-organisatorische Lösungsansätze.

(3) In der empirischen Untersuchung des Forschungsverbundes WNF wurden eine Vielzahl von Problemfeldern in der Werkstatt ermittelt. Zu den besonders häufigen und kostenwirksamen Problemfeldern in der Werkstatt gehören:

- Schwierigkeiten bei der Programmierung von Werkzeugkorrekturen,
- der Wiedereinstieg in den Prozeß nach Werkzeugwechsel (Sicherung der Maßhaltigkeit sowie der optischen Gleichmäßigkeit der Flächen und Schwierigkeiten bei der manuellen Bewegung oder Generierung der Sätze für die Anfahrbewegung),
- Zeitverschwendung beim Schruppen (Grobzerspanung) und bei Wegen ohne Werkzeugeingriff (werden nicht im Eilgang gefahren),
- keine einfache Möglichkeit der Speicherung von Technologiewerten nach Override-Nutzung,
- unflexible Wahl der Bearbeitungsart bei der Nutzung von CAD-Daten,
- unflexible Wahl der Bearbeitungsart bei der Nutzung von digitalisierten Daten,
- Probleme bei Abwesenheit der für NC-Programmierung zuständigen Programmierer und
- Sicherung überwachungsarmer Zeitabschnitte in der Bearbeitung.

Weitere Problemfelder in der Werkstatt sind:

- das Auftreten von Kollisionen (z.B. Spindel/Maschinentisch; Werkstück/Werkzeugaufnahme; Werkzeug/Werkstück),
- unbefriedigende Simulationsmöglichkeiten (z.B. mangelnde Übersichtlichkeit),
- unzureichende Fertigungsunterlagen (fehlende Maßangaben und zu wenig Kommentare zum Verständnis),
- notwendige Veränderungen an gefrästen Geometrien durch Nachbearbeitung und Anpassung an Anschlußgeometrien (manuell zu programmierende Schritte),
- unbearbeitete Restbereiche,
- unkomfortable Erstellung von 2D-Programmen (die vom Programmierer nicht erstellt wurden, z.B. für Nuten, Taschen, Anschlußflächen) und

- Zerstörungen der Soll-Form.

Die vorgenannten Problemfelder in der Werkstatt machen Änderungen in den von vorgelagerten Bereichen (Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung) erstellten NC-Programmen notwendig. Hierfür ist ein erheblicher Zeitaufwand erforderlich. Die gegenwärtigen technischen Möglichkeiten erlauben es den Facharbeitern nicht, diese Änderungen an der Maschine oder maschinennah durchführen zu können. Nach ihrer Auffassung könnten sie für verschiedene Änderungen aufgrund ihrer Erfahrungen mit der Werkzeugmaschine die Verantwortung übernehmen. Dazu gehören: Werkzeugkorrekturen, Veränderungen der Anfahr- und Abfahrbewegungen, Änderungen der programmierten Nullpunktverschiebung, Änderungen für Vorschübe und Drehzahl und das Entfernen von NC-Sätzen. Auch die Programmierer sehen hier erhebliche Möglichkeiten für eine Zeitreduzierung und Kosteneinsparung.

(4) In der empirischen Untersuchung des Forschungsverbundes WNF wurde auch nach den Bedarfsfeldern für neue technische Unterstützungen zur Bewältigung der Problemfelder gefragt. Vorrangige Bedarfsfelder aus der Sicht der Praxis sind:

- einfach zu programmierende Werkzeugkorrekturen,
- Auffinden der letzten Bahn bei Programmunterbrechungen und Festlegung einer günstigen Wiederanfahrbahn,
- Editieren von Anfahr- und Abfahrbewegungen,
- Möglichkeiten der einfachen Erstellung von Makros für bestimmte Bearbeitungen,
- Programmvisualisierung, um Programmtteile zu finden,
- automatische Erzeugung von Bearbeitungsbahnen nach Kippen der Frässpindel um einen konstanten Winkel,
- verbesserte Dialogtechnik für 2, 2 1/2D (Klartext und Grafik) und
- Grafikfunktionen, um den Arbeitsfortschritt beim Digitalisieren erkenntlich zu machen.

Weitere Bedarfsfelder aus der Praxis für technische Unterstützung sind:

- dynamische Simulation für Kollisionsprüfungen (insbesondere für Spezialfälle),
- Definition von Schutzzonen zur Vermeidung von Kollisionen,

- einfaches Editieren von NC-Programmen, z.B. zum Auslassen von bestimmten NC-Sätzen, etwa beim Radiusfräsen,
- Vereinfachung beim Herausfahren nach Werkzeugbruch,
- Nutzung von Meßtastern im Spindelkopf,
- Unterstützung bei der Standardisierung von Programmen und
- prozeßüberwachende Sensoren für überwachungsarme Zeitabschnitte.

Nach Auffassung der Programmierer und Facharbeiter könnten mit anderen Formen der technischen Unterstützung 10 bis 15 % Kosteneinsparungen erzielt werden (durch Verkürzung von Durchlaufzeiten, Verringerung von Werkzeugeinsatzzeiten und Verringerung von Nebenzeiten).

(5) Nach Auffassung der Programmierer haben die Facharbeiter in der Werkstatt spezielle Erfahrungen, die sie im Umgang mit den Werkzeugmaschinen gewinnen und einsetzen. Diese Erfahrungen beziehen sich auf:

- den Fertigungsablauf (z.B. hinsichtlich der Werkzeuge für Schnitte, hinsichtlich der Grobzerspannung für einen bestimmten Rohling, hinsichtlich Veränderungen durch die Notwendigkeit von Befestigungen, auf die Fertigung von Anschlußgeometrien usw.),
- die Schnittwerte (z.B. für die Grobzerspannung, aber auch für die Optimierung bei auftretenden Schwingungen, zu großer Winkelgeschwindigkeit der Schwenkachsen usw.),
- den Werkzeugeinsatz (Standzeiten) und
- die Kontrolle von Maßhaltigkeit und Oberflächengüte.

Um die Erfahrungen der Facharbeiter beim Programmieren nutzen zu können, halten sich Programmierer, nach ihrer eigenen Aussage, bis zu 20 % in der Werkstatt auf. Hierbei geht es um Nachfragen für die geeigneten Werkzeuge ebenso, wie eine Anwesenheit beim Einfahren, um z.B. Schnittaufteilungen zu überprüfen, insbesondere für die Behebung von Störfällen.

Umgekehrt ist die Anwesenheit der Facharbeiter in den vorgelagerten Bereichen (wie Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung) noch die Ausnahme. Solche Ausnahmen beziehen sich auf eine Anwesenheit beim Durchführen von Kollisionstests.



Der Facharbeiter muß davon ausgehen, daß die in den vorgelagerten Bereichen erstellten Programme "richtig" sind. Gleichzeitig macht er die Erfahrung, daß eine Vielzahl von Änderungen erforderlich werden. Auf diese Weise entsteht ein Spannungsfeld, das zu "Unsicherheiten" für den Facharbeiter führen kann. Die Unsicherheiten können aber am leichtesten abgebaut werden, wenn durch den Programmierer mündliche Anmerkungen bei der Übergabe von Daten zwischen Arbeitsvorbereitung (AV) und Werkstatt gemacht werden. Vorteilhaft ist auch die Übergabe von Unterlagen, die mit Kommentaren versehen sind, worauf es bei der Bearbeitung ankommt sowie wo die neuralgischen Punkte liegen. Ansonsten sind Fertigungsunterlagen, wie Zeichnungsplots, Einrichterplan, Werkzeugliste usw., zwar notwendig, aber häufig zu umfangreich. Werden Daten ausschließlich über ein Datennetz übertragen, ist die "Unsicherheit" am größten.

Die Zuverlässigkeit der Daten-Übergabe ist deshalb nicht nur unter dem Aspekt der technischen Kommunikation zu sehen. Die Zuverlässigkeit kann durch interpersonelle Kommunikation erheblich gefördert werden.

Diese Befunde weisen auf die Bedeutung der Kooperation hin. Sie gilt es in Zukunft systematischer zu unterstützen. Dazu gehören sowohl Simulationstests in der Programmierabteilung im Beisein des Facharbeiters, ebenso wie eine vereinfachte Programmeingabe für Werkzeugkorrekturen maschinennah durch den Facharbeiter. Auch der Aufruf von Makros in der Werkstatt, die der Programmierer hinterlegt hat, könnten die Arbeit erleichtern, z.B. hinsichtlich der Grobzerspanung. Umgekehrt würden Module in der Werkstatt zur Werkzeugverwaltung und Technologie-(Arbeits-)Wert-Bestimmung den Programmierern ermöglichen, auf die aktuellsten Erfahrungswerte zugreifen zu können. Darüber hinaus sollten kommentierte Fertigungsunterlagen sowie deren persönliche Übergabe die Norm werden.

Arbeitsorganisatorische Lösungen auf der Basis neuer derartiger technischer Optionen machen es dem Facharbeiter leichter, sich im Arbeitsprozeß zu qualifizieren (so daß es nicht umständlicher und aufwendiger Weiterbildungsmaßnahmen bedarf). Facharbeiter und Programmierer sind in solchen Konzepten auch eher ein Team, das jeweilig spezifische Aufgaben in vernetzten Abläufen übernimmt. Der Informationsfluß läuft nicht linear auf der NC-Verfahrenskette von oben nach unten, es gibt demgegenüber verschiedene Verzweigungen der Informationsflüsse, so daß insgesamt ein Aufgabennetz entsteht. Es werden nicht nur Durchlaufzeiten durch unnötige Rückkoppelungen gespart, sondern auch die Qualität im Prozeß gesichert.

(6) Um die Effizienz der NC-Verfahrenskette zu erhöhen, gibt es gegenwärtig drei besonders bedeutsame und drei weitere unterstützende Lösungsansätze, die es weiterzuverfolgen gilt.

Die drei besonders wichtigen Lösungsansätze sind:

Einmal handelt es sich um die Entwicklung einer neuen Datenschnittstelle, mit der die DIN-ISO-Schnittstelle, die der Übergabe von linearen NC-Sätzen dient, ergänzt werden soll. Diese neue Datenschnittstelle zielt auf die Übergabe flächenorientierter Geometrien im Sinne fertigungsgerechter Bearbeitungsobjekte ab. Während die DIN-ISO-Schnittstelle darstellungsorientiert ist, ist die neu zu entwickelnde Schnittstelle durch eine flächenorientierte bearbeitungsgerechte Werkstückbeschreibung gekennzeichnet.

Zum zweiten geht es um neue Formen der Modifikation und Erstellung von Bearbeitungsprogrammen.

Ein dritter Ansatzpunkt bezieht sich auf die Erweiterung der Funktionalität der Benutzungsoberfläche, und zwar sowohl für die Arbeitsvorbereitung und Programmierabteilung ebenso wie für die Werkstatt. Hier geht es um verbesserte grafische Unterstützung, einfache Erstellung von Makros und die Einrichtung und Nutzung von Datenbanken.

Zu den unterstützenden Lösungsansätzen zählen:

Unter dem Aspekt, dem Facharbeiter das prozēnahe Arbeiten zu erleichtern, geht es einmal um die Verbesserung der Prozeßtransparenz und der möglichen Prozeßeingriffe. Hier fehlt es an Optionen, die der Facharbeiter wählen kann.

Da alle Werkzeugmaschinen und Programmiersysteme zu integrieren sind, bedarf es der Entwicklung offener Systeme.

Um die organisatorische Flexibilität zu erhöhen, sind Systemarchitekturen mit bisektionaler Kommunikation zu schaffen, die Informationsflüsse zwischen Arbeitsvorbereitung, Meisterbüro und Werkzeugmaschinen zulassen, so daß dort, wo die Erfahrung am größten ist, gemeinsam entschieden werden kann.

An diesen Ansatzpunkten gilt es anzuknüpfen, um sie zu integrierten technisch-organisatorischen Systemlösungen auszubauen.

(7) Der Forschungsverbund "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung" (WNF) hat mit seiner ersten empirischen Untersuchung die Basis für die weitere, noch notwendige Forschung geschaffen. Nun gilt es, für den aufgedeckten Bedarf Systemkonzepte zu schaffen und nach Möglichkeit Prototyplösungen zu realisieren.

Der Forschungsverbund WNF beabsichtigt, die folgenden Fragestellungen weiterzuverfolgen:

- neue Schnittstellendefinition für den Datenfluß

- Erzeugung von bearbeitungsgerechten Werkstückbeschreibungen aus CAD- und Modelldaten
- Entwicklung von Konzepten für unterschiedlichen Datenaustausch aus analogen (Urmodell) und Digitalmodellen (CAD-Modell)
- Entwicklung angepasster Benutzungsoberflächen
- Entwicklung neuer Funktionalität (Kollision)
- Erweiterung der Steuerungsfunktionen auf die Beschreibung von Rohteilen, Auswahl und Platzierung von Spannmitteln usw.
- Übertragung der neuen Konzepte auf andere Technologien (z.B. Schweißen und Laserschneiden)
- ergonomische Gestaltung der Schnittstellen
- Entwicklung von Komponenten für eine verbesserte Prozeßtransparenz und Prozeßeingriffe an der Werkzeugmaschine
- Entwicklung eines Kooperationsmodells auf der Basis interpersoneller Kommunikation und neuer technischer Optionen in Programmierabteilung und Werkstatt
- Entwicklung eines Konzepts für Qualifizierungsprozesse im Arbeitsprozeß (insbesondere für unterschiedliche Nutzergruppen)

Da dem Verbund neben wissenschaftlichen Einrichtungen auch Maschinenhersteller, Steuerungshersteller und Softwarehäuser ebenso wie Anwender zugehören, sollen alle neu entwickelten Konzepte und Komponenten in Pilotstudien und durch Prototyplösungen getestet und bewertet werden. Nach Ablauf des Vorhabens stehen somit neue Systeme und technische Komponenten für die Praxis zur Verfügung.

## **6. Liste der Partner im Forschungsvorhaben "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung"**

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik Berlin  
 Dr.-Ing. August Potthast  
 Dipl.-Math. Bernd Oder

Gesamthochschule Kassel - Universität  
 Institut für Arbeitswissenschaft  
 Prof. Dr.-Ing. Hans Martin  
 Detlef Bieker  
 Dr. Gerd Schrick  
 Dipl.-Ing. Sören Striepe

Institut für Arbeitsingenieurwesen der Technischen Universität Dresden  
 Prof. Dr.-Ing.habil. Manfred Rentzsch  
 Dipl.-Ing. Evelyn Reiser  
 Dipl.-Ing. Gerhard Kullmann

Institut für Fertigungsinformatik der Technischen Universität Dresden  
 Prof. Dr.sc.techn. Detlef Kochan  
 Dozent Dr.-Ing.habil. Dieter Fichtner  
 Dipl.-Ing. Jörg Töpferwien  
 Dr.rer.nat. Holger Mettke

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung München  
 Dr. Helmuth Rose

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart  
 Prof. Dr.-Ing. Alfred Storr  
 Dipl.-Ing. Walter Kempf  
 Dipl.-Ing. Claus Itterheim