

Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen im Landmaschinenbau

Von Günter Spur und Georg Koschnick, Berlin *)

Bericht aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Berlin.

DK 621.9 - 523:631.3.002.2

Der Landmaschinenbau gehört zu dem Industriebereich, der durch mittlere und kleinere Betriebe und Produktstückzahlen bei großer Typenvielfalt gekennzeichnet ist. Eine wirtschaftliche Automatisierung der Fertigung ist durch numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen möglich. Sie besitzen eine hohe Flexibilität hinsichtlich ihrer Umrüstbarkeit und ermöglichen darüberhinaus ein Ausschöpfen der Leistungsfähigkeit neuzeitlicher Werkzeuge. Um ihre Produktivität zu sichern, ist eine organisatorische Anpassung und Integration des innerbetrieblichen Informations- und Materialflusses erforderlich.

1. Zur Situation

Im Landmaschinenbau überwiegen Mittel- und Kleinbetriebe. Auch bei Kooperationen und Zusammenschlüssen bleibt meist die Struktur des mittleren Maschinenbaubetriebes erhalten. Als Industriebereich mit mittleren und kleineren Produktstückzahlen ist der Landmaschinenbau außerdem durch umfangreiche Neuentwicklungen und große Typenvielfalt sowie durch langjährige Lieferverpflichtungen für Ersatzteile gekennzeichnet. **Tafel 1** nennt einige Daten typischer Werkstücke aus dem Landmaschinenbau. In **Bild 1** sind beispielhaft zwei dieser Teile dargestellt.

Die Tendenz zu kleineren Stückzahlen in der Fertigung wird vermutlich weiter anhalten. Schnellere Änderungen der Marktlage führen zu kürzerer Lebensdauer des Verkaufsprogramms und erfordern kürzere Entwicklungszeiten für neue Produkte.

Aus dem gleichen Grunde nehmen die Produktvarianten zu. Daraus resultiert wiederum ein größeres Ersatzteilespektrum. Die Lagerbestände müssen aus Kosten- und Risikogründen niedrig gehalten werden. Außerdem haben die neueren Produkte meist ein stärkeres Leistungsvermögen und ersetzen so mehr als eine entsprechende Einheit des Vorgängermodells. Es sind schließlich wirtschaftliche Gründe, die immer stärker dazu zwingen, auch mittlere und kleine Serien auf automatisierten Fertigungssystemen herzustellen, die hinsichtlich ihrer Umrüstbarkeit eine hohe Flexibilität aufweisen.

2. Ziel der Automatisierung – Produktivitätssteigerung

Die Bewertung einer technischen Produktivitätsentwicklung ist problematisch, weil sich die Produktion je Beschäftigten in DM nicht unbedingt analog der Produktion je Beschäftigten in Tonnen verändert. Bei Preisangaben wäre der produktbezogene Preisindex zu berücksichtigen, bei Massenangaben die Tatsache, daß ein neueres Erzeugnis bei gleicher Masse ein anderes, höheres Leistungsvermögen besitzt als ein entsprechendes älteres Erzeugnis. In **Bild 2** ist die Entwicklung der Produktivität in prozentuale Produktivitätsanstiege den letzten zwanzig Jahren für den Maschinenbau insgesamt und für den Landmaschinenbau speziell aufgetragen. Die Werte von 1960 wurden jeweils zu 100 Prozent gesetzt. Interessant ist, daß offenbar im Landmaschinenbau die Divergenz zwischen Preis- und Massenproduktivität wesentlich geringer ist als im Maschinenbau allgemein. Bezogen auf 1960 liegt besonders in den letzten beiden Jahren die Produktivitätssteigerung im Landmaschinenbau sowohl nach Preis wie nach Masse niedriger als im Durchschnitt des gesamten Maschinenbaus. Der Vollständigkeit halber seien in **Tafel 2** aber auch die absoluten Zahlen genannt.

| Werkstück Kenn- Größen | Vorderteil Korntank | Trommel- seiten- wand | Antriebs- scheibe | Keilriemen- scheibe | Ritzel- gehäuse |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| Bearbeitungs- verfahren | Stanzen und Nibbeln | | Drehen | | |
| Losgröße | 200 | 400 | 300 ÷ 400 | 300 ÷ 400 | 300 |
| Aufträge pro Jahr | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Änderungen pro Jahr | 3 ÷ 4 | 2 | 0 ÷ 1 | 0 ÷ 1 | 2 |
| Modell am Markt (Jahre) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Ersatzteilbedarf Stück pro Jahr | — | — | 10 ÷ 50 | 10 ÷ 50 | 10 ÷ 50 |

*) Prof. Dr.-Ing. G. Spur ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Berlin und Dipl.-Ing. Georg Koschnick ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut.

Tafel 1. Kenndaten von Werkstücken im Landmaschinenbau (Fa. Fahr).

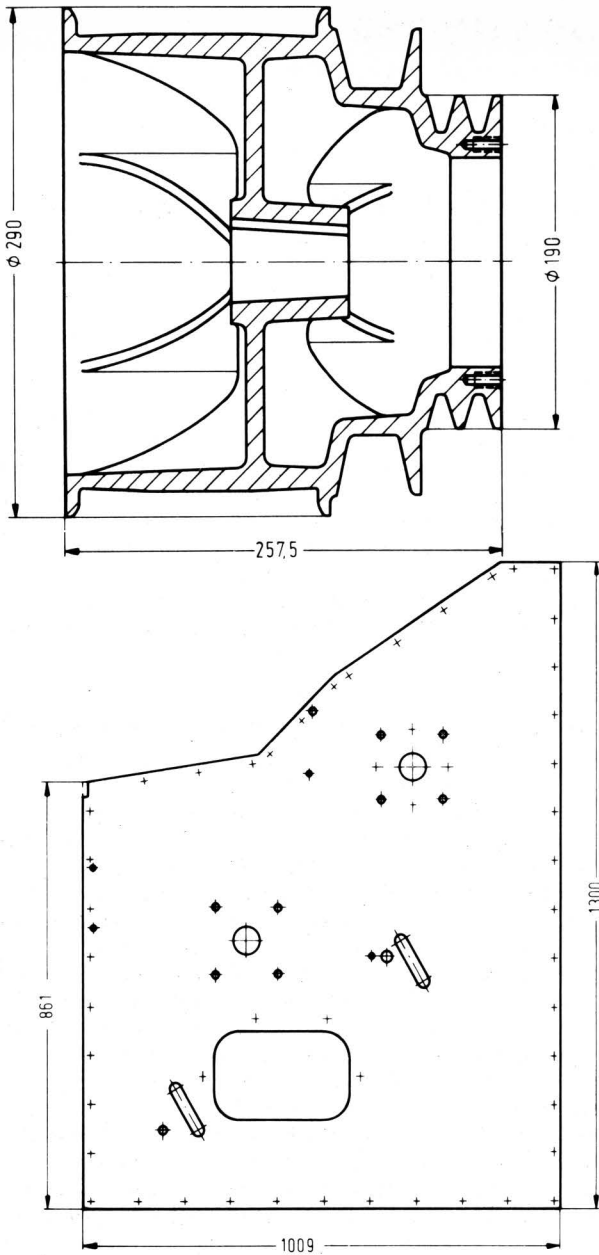


Bild 1. Werkstücke aus dem Landmaschinenbau (Fa. Fahr).

Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität müssen zu einer Steigerung der Mengenleistung führen. Gleichzeitig müssen aber die Fertigungskosten je Werkstück gesenkt werden. Es kann also nicht unbegrenzt Kapital zur Steigerung der Mengenleistung investiert werden. Es gilt, optimale Maßnahmen zu treffen.

Für den Bereich des Werkzeugmaschinenereinsatzes ist eine Steigerung der Mengenleistung durch folgende Maßnahmen möglich:

- Senkung der Hauptzeit durch eine höhere und stetigere Auslastung der Werkzeugmaschine. Dies bedeutet die Installation einer höheren Antriebsleistung. Die kostenoptimalen Schnittwerte liegen meist beträchtlich höher als die im praktischen Betrieb eingestellten.
- Senkung der Nebenzeit durch schnelleres Positionieren der Werkzeuge, beispielsweise durch höhere Eilganggeschwindigkeiten und durch einen automatischen Werkzeugwechsel.
- Senkung der Verteilzeit durch einen vom Menschen unabhängigen automatischen Arbeitsablauf mit größerer Betriebssicherheit.
- Senkung der Rüstzeit durch leichte Umrüstbarkeit von Werkzeugen, Vorrichtungen und Informationsträgern.

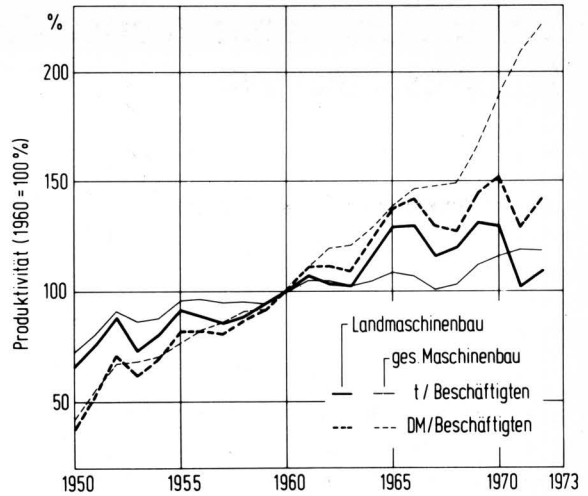


Bild 2. Entwicklung der Produktivität im Landmaschinenbau und im gesamten Maschinenbau (1960 jeweils zu 100 % gesetzt).

| | Landmaschinenbau | | ges. Maschinenbau | |
|------|------------------|------|-------------------|------|
| | DM | t | DM | t |
| 1960 | 37.060,- | 8,52 | 24.770,- | 4,12 |
| 1972 | 52.730,- | 9,33 | 54.810,- | 9,91 |

Tafel 2. Umsatz je Beschäftigten im Landmaschinenbau und im Maschinenbau insgesamt (VDMA).

Die Fertigungskosten setzen sich zusammen aus den Maschinenkosten und den Lohnkosten, gemeinsam als Platzkosten bezeichnet. Daß die Lohnkosten progressiv steigen, macht die Notwendigkeit zur Rationalisierung nur zwingender. Dabei sind aber die Kosten je Werkstück, nicht je Zeiteinheit entscheidend. Die Platzkosten je Stunde werden sich durch Automatisierung selten verringern lassen. Wichtig ist, daß die erzielte Steigerung der Mengenleistung größer ist als die Erhöhung der Platzkosten.

Um Maßnahmen zur Automatisierung von Fertigungsmitteln beurteilen zu können, darf allerdings der Bearbeitungsprozess nicht isoliert betrachtet werden, denn die Stückkosten setzen sich aus den anteiligen Vorbereitungskosten, den auf ein Fertigungslos zu beziehenden Auftragswiederholkosten und den Einzelkosten der Fertigung zusammen. Da die Vorbereitungskosten durch die Gesamtstückzahl, die Auftragswiederholkosten durch die Losgröße zu dividieren sind, steigt ihr Einfluß jeweils bei kleineren Stückzahlen. Wie einleitend dargelegt wurde, liegen im Landmaschinenbau die Losgrößen mit Rücksicht auf Lagerhaltung und Änderungsrisiko, die Gesamtstückzahlen produktbedingt, relativ niedrig.

3. Einordnung der NC-Werkzeugmaschine in den Betrieb

Numerisch gesteuerte Fertigungssysteme sind ein geeignetes Mittel, die Produktivität der Mittel- und Kleinserienfertigung kostengünstig zu steigern. Sie besitzen einen hohen Automatisierungsgrad und weisen gleichzeitig hinsichtlich ihrer Umrüstbarkeit eine hohe Flexibilität auf.

In diesem Beitrag sollen nicht konstruktive Einzelheiten von NC-Werkzeugmaschinen vorgestellt werden. Hierüber wurde an anderer Stelle vielfältig berichtet [1, 2]. In diesem Beitrag sollen Möglichkeiten und Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz von numerisch gesteuerten Fertigungssystemen erläutert werden.

Auf ihre Flexibilität hinsichtlich der Umrüstbarkeit wurde bereits hingewiesen. Darüberhinaus ermöglichen NC-Maschinen das Ausschöpfen der Leistungsfähigkeit neuzeitlicher Werkzeuge. So werden nicht nur die Rüst- und Nebenzeiten, sondern insbesondere auch die Hauptzeiten verkürzt. Zunehmend werden höhere Schnittgeschwindigkeiten angewendet. Da Reaktionsvermögen und Sicherheit des Bedienungspersonals natürliche Grenzen setzen, können weitere Steigerungen der Zerspanleistungen nur auf automatisierten Maschinen realisiert werden.

Dabei ist eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine nicht als isolierter Arbeitsplatz anzusehen, sondern als Bestandteil eines Systems, das zumindest die Arbeitsvorbereitung und die Betriebsmittelbereitstellung einschließt. Es ist die kennzeichnende Eigenschaft numerisch gesteuerter Maschinen, daß alle Informationen, die zum automatischen Bearbeiten eines Werkstücks benötigt werden, in Form von Zahlen auch automatisch eingelesen werden. Diese in einem Lochstreifen gespeicherten Zahlenwerte, die das Programm zur Werkstückbearbeitung darstellen, müssen zuvor bestimmt werden. Ein solches Programm enthält sämtliche Weginformationen für die Bearbeitung sowie auch Schaltbefehle für Getriebe und Zusatzeinrichtungen. Der Bedienungsmann hat kaum noch Einfluß auf den Bearbeitungsablauf, weder hinsichtlich der Operationsfolge noch hinsichtlich der Bearbeitungsgeschwindigkeit. Damit fällt aber die Verantwortung für die Technologie der Bearbeitung und nicht zuletzt für die Wirtschaftlichkeit in den Bereich der Arbeitsvorbereitung, in den die Programmierabteilung einbezogen ist. Auch die für das Rüsten und Einrichten der Maschine erforderlichen Angaben werden exakt vorgegeben, so daß die Stillstandszeiten der Maschine auch bei häufigerem Werkstückwechsel minimiert werden können.

4. Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz von NC-Maschinen

Die Rationalisierung der Fertigung mit Hilfe von NC-Maschinen ist mit einem höheren Kapitalbedarf verbunden. Bild 3 zeigt den etwa erforderlichen Kapitaleinsatz zur Anschaffung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, bezogen auf eine entsprechende konventionelle Fertigung. Dem Kapitaleinsatz für einen höheren Automatisierungsgrad muß eine realistische Abschätzung der erwarteten Produktionssteigerung gegenüberstehen. Wie Bild 4 andeutet, gibt es Grenzen für eine sinnvolle Automatisierung.

Die Einführung einer NC-Maschine in den Betrieb muß sorgfältig vorbereitet werden. Auch hierfür sind Kosten vorzuleisten. Sie entstehen z.B. durch Schulung des Personals und durch Ausstattung der Arbeitsvorbereitung mit Programmiergeräten.

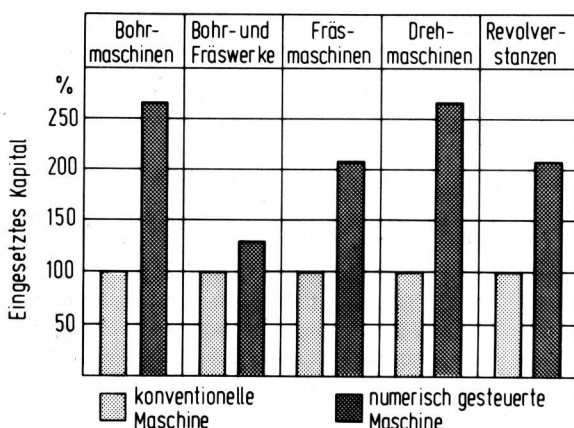


Bild 3. Kapitaleinsatz für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, bezogen auf konventionelle Fertigung (nach Stehle [3]).

Die Kosten für eine Anpassung der Organisation im Auftragsablauf, insbesondere auch für die Integration des Informationsflusses von der Konstruktion über die Fertigungsplanung bis zur Werkstatt machen sich meist sehr schnell bezahlt. Die für den NC-Maschineneinsatz unabdingbare systematische Organisation kann auch im Bereich der konventionellen Fertigung rationalisieren.

Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz der NC-Technik ist eine sorgfältige Analyse des Werkstückspektrums. In manchen Betrieben werden Werkstücke bereits nach einem Schlüssel klassifiziert, der die technologischen Merkmale beinhaltet. Bearbeitungsverfahren, Kompliziertheit, Anzahl der Konturelemente, geforderte Genauigkeit, Werkstoffe und Größenordnungen sind einige der Kriterien, nach denen NC-geeignete Werkstücke ausgewählt werden können.

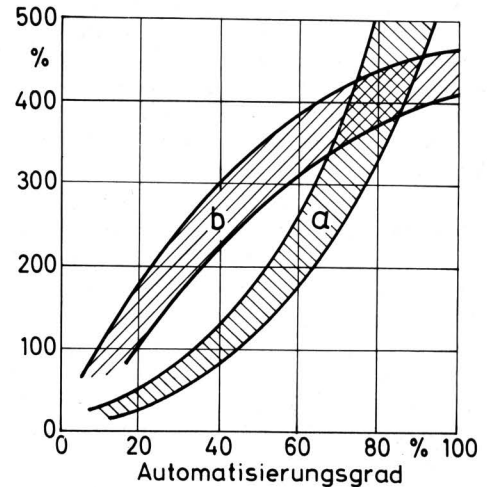


Bild 4. Kapitalmehrbedarf a und Produktionsanstieg b als Funktion des Automatisierungsgrades (nach Weissmann [4]).

Für diese ausgewählten Werkstücke ist sodann der Bedarf nach Stückzahl, Wiederholaufrägen und Losgrößen zu ermitteln. Das Ziel der Werkstückanalyse ist eine Kapazitätsplanung nach Art der Bearbeitung und Anzahl der einzusetzenden Maschinen. Hier ist aber zu beachten, daß der Arbeitsablauf bei NC-Maschinen anders als bei konventionellen Maschinen geplant werden kann. Es werden weniger Aufspannungen zur Fertigteilbearbeitung benötigt, die Zahl der Werkzeuge verringert sich, da Formwerkzeuge weitgehend entfallen können. Die Werkzeugbewegungen lassen sich rationeller gestalten. Hieraus resultiert insgesamt eine Verkürzung der Haupt- und Nebenzeiten. Das Maß der Reduzierung hängt sehr vom Teilespektrum ab. Es ist unmöglich, für alle infrage kommenden Werkstücke nur zum Zwecke der Entscheidungsfindung für die Kapazitätsplanung NC-Arbeitspläne neu zu erstellen. Deshalb muß eine beschränkte Anzahl repräsentativer Teile ausgewählt werden.

In die Vergleichsrechnung ist besonders gegenüber den konventionell automatisierten Maschinen die schnellere Umrüstbarkeit der NC-Maschine einzubeziehen. Nach den Erfahrungen eines Betriebes, der z.Zt. etwa 20 NC-Maschinen einsetzt, beträgt die durchschnittliche Umrüstzeit je Spannung bei den NC-Drehmaschinen etwa 15 min. Die Vergleichsrechnung nach Platzkosten, Bearbeitungszeit, Vorbereitungskosten und Umrüstkosten kann bei Einzel- und Kleinstserienfertigung die Universalmaschine oft dennoch als kostengünstigere Lösung erscheinen lassen. Bei komplizierten Konturen und teuren Werkstücken kann auch dann die NC-Fertigung noch vorteilhaft sein, insbesondere, wenn Ausschußgefahr, Termindruck oder Facharbeitermangel besteht.

Für die ständige Optimierung der Fertigung mit einmal installierten numerisch gesteuerten Fertigungssystemen ist wesentlich die Arbeitsvorbereitung verantwortlich. Die Güte des Bearbeitungsablaufes bestimmt die Auslastung der Maschine und damit ihre Wirtschaftlichkeit.

5. Die Programmierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen

Der Schlüssel zur NC-Maschine ist das im Steuerlochstreifen gespeicherte Teileprogramm. Setzt man voraus, daß der Einsatz einer NC-Maschine Ergebnis einer grundlegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist und demzufolge auch alle Möglichkeiten der Rationalisierung im Betriebsbereich genutzt werden, muß auch die Erstellung der Steuerlochstreifen als Kostenfaktor einbezogen werden. Das heißt, es muß auch bei der Programmierung rationell vorgegangen werden.

Die Aufgaben einer Programmierabteilung sind nicht gänzlich neu – auch das Berechnen von Steuerkurven und Nockenpositionen für konventionelle Automaten ist ein Programmieren des Bearbeitungsablaufs. Aber die minutiöse Systematik im zahlenmäßigen Bestimmen und Verschlüsseln jedes kleinsten Schrittes ist neu. Da alles durch Zahlen dargestellt wird, bietet sich auch bei der Programmierung das zur Verarbeitung von Zahlen bestimmte Gerät als Rationalisierungshilfe an: der Rechner. Im einfachen Fall kann es schon ein Tischrechner sein, in weiteren Ausbaustufen wird ein Programmiersystem unter Einschaltung einer zentralen Großrechenanlage verwendet.

Man unterscheidet mehrere Stufen der Automatisierung des NC-Programmierungsvorganges, wie aus Bild 5 hervorgeht. Beim manuellen Programmieren erstellt der Teileprogrammierer Schritt für Schritt ein detailliertes Programm-Manuskript, das verschlüsselt im Steuerlochstreifen gespeichert wird.

Eine Zwischenstufe vom manuellen zum maschinellen Programmieren ist das Arbeiten mit Geräten der mittleren Datentechnik. Sie sind hier speziell für die NC-Programmierung eingerichtet und heute meist mit frei programmierbarem Systemspeicher ausgestattet.

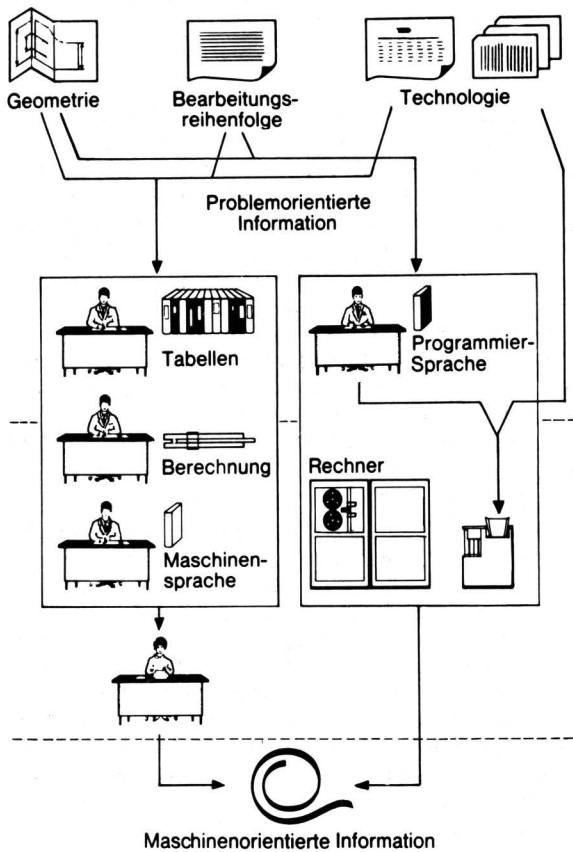


Bild 5. Informationsfluß und Arbeitsschritte beim manuellen und maschinellen Programmieren.

Routineberechnungen und Codierungen erfolgen automatisch, während Arbeitsschritte und Werkzeugauswahl vorgegeben werden müssen. Das Bild 6 zeigt eines dieser Geräte, die für eine beschränkte Anzahl von zu programmierenden NC-Maschinen vorteilhaft eingesetzt werden können.

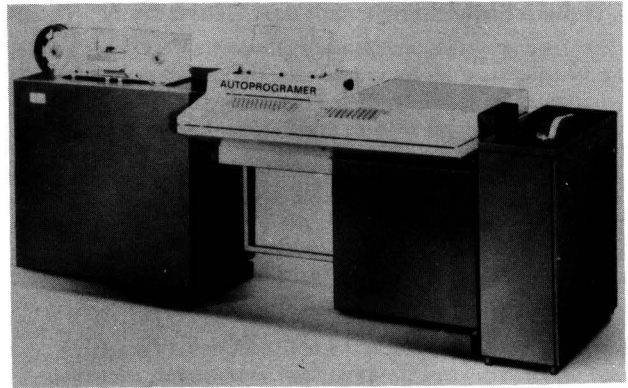


Bild 6. NC-Programmiergerät der mittleren Datentechnik (Boehringer).

Eine weitere Ausbaustufe ist das rechnergestützte Programmieren mittels Programmiersprachen. Der Zugriff zu Großrechenanlagen über Datenstationen hält in Europa zögernd, aber stetig Einzug. Entsprechend zögernd ist der Einsatz rechnergestützter Programmiersysteme insbesondere in Betrieben mittlerer Größe, wenn sie nicht über geeignete Datenverarbeitungsanlagen verfügen.

Das in Deutschland bekannteste rechnergestützte NC-Programmiersystem ist EXAPT. Es wurde an der Technischen Hochschule in Aachen, Berlin und Stuttgart entwickelt und baut auf dem seit 1955 ständig erweiterten System APT (Automatically Programmed Tools) auf. Während APT rein geometrisch orientiert ist, schließt das System EXAPT die Technologie der Bearbeitungsverfahren ein. Eine automatische Arbeitsabläufermittlung mit Werkzeugbestimmung und Schnittwertermittlung setzt aber auch den Aufbau von technologischen Dateien, in größerem Rahmen von Datenbanken, voraus. Über den Einsatz von EXAPT liegen bereits genügend positive Erfahrungen vor, die insbesondere durch den seit mehreren Jahren bestehenden EXAPT-Verein verwertet werden. Die Ausbaustufen des NC-Programmiersystems EXAPT 2 für die Drehbearbeitung zeigt Bild 7.

| EXAPT 2 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ausbaustufe | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Roh- u. Fertigteilbeschreibung Werkstoffangabe | | | | |
| Bestimmung der Drehmaschinen, Spannmittel und Spannlagern | | | | |
| Bestimmung des Arbeitsablaufes, der Werkzeuge und Arbeitsoperationen | | | | |
| Bestimmung der Zerspanungsgrößen | | | | |
| Berechnung der Schnittaufteilung und kollisionsfreier Werkzeugwege | | | | |

Bild 7. Ausbaustufen des Programmiersystems EXAPT 2.

Für den Teileprogrammierer bedeutet die Nutzung rechnergestützter NC-Programmierverfahren eine Vermeidung jeglicher Routinearbeiten und manueller Rechenoperationen bei gleichbleibender Güte der Programme. Dies bedeutet nicht nur eine Zeit- und Kostenersparnis, sondern auch eine erheblich gesteigerte Sicherheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

6. Weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der NC-Technik

Ein Fertigungssystem umfaßt mehr als nur die Werkzeugmaschine. Die Systemgrenze der automatisierten Werkzeugmaschine muß erweitert werden. Eine integrierte Betrachtungsweise von Teilekonstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung ist Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg der NC-Fertigungstechnik.

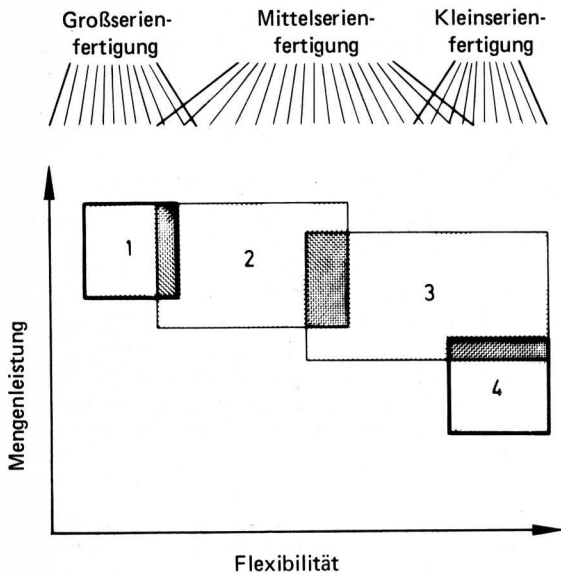


Bild 8. Mengenleistung und Flexibilität verschiedener Fertigungssysteme [6].

| | |
|-----------|--|
| Bereich 1 | Transferstraßen, Mehrspindel-Drehautomaten |
| Bereich 2 | umrüstbare Transferstraßen |
| Bereich 3 | numerisch gesteuerte Fertigungssysteme |
| Bereich 4 | NC-Werkzeugmaschinen |

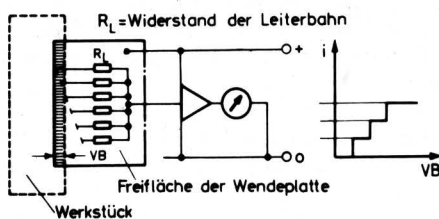
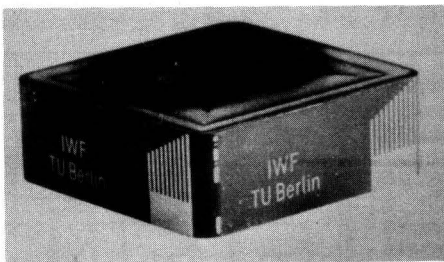


Bild 9. Prinzip der Verschleißmessung mit Meßgitter [8].

Die Weiterentwicklung auf dem Sektor der NC-Technik richtet sich einerseits auf eine noch verstärkte Anpassung der Organisationsmittel und andererseits auf eine stärkere Integration des innerbetrieblichen Material- und Informationsflusses. Dabei war die Forderung nach erhöhter Flexibilität von automatischen Fertigungssystemen Anstoß für neuartige Konzeptionen von Fertigungsstrukturen.

Der erste Schritt war die direkte numerische Steuerung mehrerer Maschinen über einen zentralen Fertigungsrechner (DNC) [5]. Beim automatischen Werkstücktransport von Bearbeitungsstation zu Bearbeitungsstation sind noch erhebliche Entwicklungsarbeiten zu leisten, um die Flexibilität hinsichtlich der Umrüstbarkeit zu steigern [6]. Diese Bedingung unterscheidet integrierte NC-Fertigungssysteme wesentlich von starren Transferstraßen, Bild 8.

Die technische Lösung muß letztlich auch eine kostenoptimale Lösung sein. Um den Bearbeitungsprozess zu optimieren, sind adaptive Regelungssysteme notwendig, die den Prozesszustand erfassen und in Richtung einer optimalen Bearbeitung beeinflussen. Hier wurden zunächst Grenzregelungssysteme (ACC) entwickelt, die z.B. auf der Schnittkraftmessung beruhen [7]. Für eine kostengünstige Auslastung der Werkzeuge ist die Verschleißmessung eine Voraussetzung. Verschleißsensoren, wie sie Bild 9 zeigt, deuten auf eine Möglichkeit der Optimierregelungen (ACO) nach Kosten oder nach Zeit [8].

Die moderne Steuerungstechnik ist in den letzten Jahren durch die Entwicklung preisgünstiger kleinerer Rechner gekennzeichnet. Sie bietet daher in immer stärkerem Maße die Möglichkeit, adaptive Regelungssysteme in flexible Fertigungssysteme zu integrieren. Auch automatische Handhabungssysteme, sog. Industrieroboter, lassen sich zum Beschicken numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen einsetzen, sofern sie sich steuerungstechnisch und durch Ausstattung mit geeigneten Greifvorrichtungen und Annäherungssensoren an das Fertigungssystem anpassen lassen.

Diese kurzen Hinweise auf das, was zur Zeit schwerpunktmäßig an Hochschulen in Zusammenarbeit mit der Industrie und öffentlichen Förderungsstellen getan wird, sollten deutlich machen, daß die numerisch gesteuerte Fertigung ein hochaktuelles Verfahren ist. Auf ihr bauen die wesentlichen Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der flexiblen Bearbeitung kleinerer Stückzahlen in automatischen, integrierten Fertigungssystemen auf.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Spur, G.:* Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine. München: Carl Hanser Verlag 1972.
- [2] *Spur, G.:* Automatisierte Systeme steigern die Produktivität. Internationale Werkzeugmaschinenausstellung IHA. VDI-Nachrichten 27 (1973) Nr. 38, S. 1/2.
- [3] *Stehle, P.:* Eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsrechnung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Diss. TH Aachen 1966.
- [4] *Weissmann, H.:* Elektrisches Steuern, Messen und Rechnen als Hilfsmittel der verfahrenstechnischen Automation. Die elektrische Ausrüstung 9 (1968) H. 1, S. 20/23.
- [5] *Spur, G., A. Pätzold u. F. Zastrow:* Einsatz und Ausbaumöglichkeiten eines DNC-Systems in der industriellen Fertigung. ZwF 68 (1973) H. 4, S. 171/77.
- [6] *Spur, G., K. Feldmann u. M. Mathes:* Entwicklungsstand integrierter Fertigungssysteme. ZwF 68 (1973) H. 5, S. 229/36.
- [7] *Pritschow, G.:* Möglichkeiten zur Senkung der Fertigungskosten mit ACC-Systemen. ZwF 68 (1973) H. 1, S. 8/13.
- [8] *Spur, G. u. F. Leonards:* Kontinuierlich arbeitende Verschleißsensoren für ACO-Systeme bei der Drehbearbeitung. ZwF 68 (1973) H. 10, S. 517/19.