

Sonderdruck aus:

Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung

Peter Brödner und Friedrich Hamke

Automatisierung und Arbeitsplatzstrukturen

Juni 1969

8

Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (MittAB)

Die MittAB verstehen sich als Forum der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. Es werden Arbeiten aus all den Wissenschaftsdisziplinen veröffentlicht, die sich mit den Themen Arbeit, Arbeitsmarkt, Beruf und Qualifikation befassen. Die Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift sollen methodisch, theoretisch und insbesondere auch empirisch zum Erkenntnisgewinn sowie zur Beratung von Öffentlichkeit und Politik beitragen. Etwa einmal jährlich erscheint ein „Schwerpunktheft“, bei dem Herausgeber und Redaktion zu einem ausgewählten Themenbereich gezielt Beiträge akquirieren.

Hinweise für Autorinnen und Autoren

Das Manuskript ist in dreifacher Ausfertigung an die federführende Herausgeberin Frau Prof. Jutta Allmendinger, Ph. D. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 90478 Nürnberg, Regensburger Straße 104 zu senden.

Die Manuskripte können in deutscher oder englischer Sprache eingereicht werden, sie werden durch mindestens zwei Referees begutachtet und dürfen nicht bereits an anderer Stelle veröffentlicht oder zur Veröffentlichung vorgesehen sein.

Autorenhinweise und Angaben zur formalen Gestaltung der Manuskripte können im Internet abgerufen werden unter http://doku.iab.de/mittab/hinweise_mittab.pdf. Im IAB kann ein entsprechendes Merkblatt angefordert werden (Tel.: 09 11/1 79 30 23, Fax: 09 11/1 79 59 99; E-Mail: ursula.wagner@iab.de).

Herausgeber

Jutta Allmendinger, Ph. D., Direktorin des IAB, Professorin für Soziologie, München (federführende Herausgeberin)
Dr. Friedrich Buttler, Professor, International Labour Office, Regionaldirektor für Europa und Zentralasien, Genf, ehem. Direktor des IAB
Dr. Wolfgang Franz, Professor für Volkswirtschaftslehre, Mannheim
Dr. Knut Gerlach, Professor für Politische Wirtschaftslehre und Arbeitsökonomie, Hannover
Florian Gerster, Vorstandsvorsitzender der Bundesanstalt für Arbeit
Dr. Christof Helberger, Professor für Volkswirtschaftslehre, TU Berlin
Dr. Reinhard Hujer, Professor für Statistik und Ökonometrie (Empirische Wirtschaftsforschung), Frankfurt/M.
Dr. Gerhard Kleinhenz, Professor für Volkswirtschaftslehre, Passau
Bernhard Jagoda, Präsident a.D. der Bundesanstalt für Arbeit
Dr. Dieter Sadowski, Professor für Betriebswirtschaftslehre, Trier

Begründer und frühere Mitherausgeber

Prof. Dr. Dieter Mertens, Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Karl Martin Bolte, Dr. Hans Büttner, Prof. Dr. Dr. Theodor Ellinger, Heinrich Franke, Prof. Dr. Harald Gerfin, Prof. Dr. Hans Kettner, Prof. Dr. Karl-August Schäffer, Dr. h.c. Josef Stingl

Redaktion

Ulrike Kress, Gerd Peters, Ursula Wagner, in: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit (IAB), 90478 Nürnberg, Regensburger Str. 104, Telefon (09 11) 1 79 30 19, E-Mail: ulrike.kress@iab.de: (09 11) 1 79 30 16, E-Mail: gerd.peters@iab.de: (09 11) 1 79 30 23, E-Mail: ursula.wagner@iab.de: Telefax (09 11) 1 79 59 99.

Rechte

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrofotos u.ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Herstellung

Satz und Druck: Tümmels Buchdruckerei und Verlag GmbH, Gundelfinger Straße 20, 90451 Nürnberg

Verlag

W. Kohlhammer GmbH, Postanschrift: 70549 Stuttgart; Lieferanschrift: Heßbrühlstraße 69, 70565 Stuttgart; Telefon 07 11/78 63-0; Telefax 07 11/78 63-84 30; E-Mail: waltraud.metzger@kohlhammer.de, Postscheckkonto Stuttgart 163 30. Girokonto Städtische Girokasse Stuttgart 2 022 309. ISSN 0340-3254

Bezugsbedingungen

Die „Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung“ erscheinen viermal jährlich. Bezugspreis: Jahresabonnement 52,- € inklusive Versandkosten; Einzelheft 14,- € zuzüglich Versandkosten. Für Studenten, Wehr- und Ersatzdienstleistende wird der Preis um 20 % ermäßigt. Bestellungen durch den Buchhandel oder direkt beim Verlag. Abbestellungen sind nur bis 3 Monate vor Jahresende möglich.

Zitierweise:

MittAB = „Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung“ (ab 1970)
Mitt(IAB) = „Mitteilungen“ (1968 und 1969)
In den Jahren 1968 und 1969 erschienen die „Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung“ unter dem Titel „Mitteilungen“, herausgegeben vom Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit.

Internet: <http://www.iab.de>

Automatisierung und Arbeitsplatzstrukturen

Bericht über Methoden und Ergebnisse von Untersuchungen in der Einzel- und Kleinserienfertigung

Peter Brödner und Friedrich Hamke¹⁾

Die vorliegende Arbeit ist die Kurzfassung eines Forschungsberichtes, der im Auftrage der Bundesanstalt für Arbeitsvermittlung und Arbeitslosenversicherung auf Anregung des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung am Institut für Produktionstechnische Automatisierung der Technischen Universität Berlin, Prof. Dr.-Ing. W. Simon, erarbeitet wurde.

Für Betriebe der Stückgutproduktion bei kleinen Losgrößen wird die Entwicklung zu höher automatisierten Fertigungssystemen wie NC-Maschinen anhand eines systemtheoretischen Ansatzes aufgezeigt. Neben den Veränderungen der technischen Struktur dieser Fertigungssysteme werden gleichzeitig ihre Kosten- und Arbeitsplatzstrukturen betrachtet. Eine Methode zur Messung des Automatisierungsgrades wird im Hinblick auf die gegenwärtigen und zu erwartenden Neuerungen auf diesem Gebiet kurz beschrieben. In einer Erhebung in zehn fortschrittlichen Betrieben des deutschen Maschinenbaus werden etwa 6000 Werkzeugmaschinen einschließlich der ihnen zugeordneten Organisations- und Arbeitsplatzstrukturen untersucht. Als erste Ergebnisse dieser Analyse sind relative Häufigkeitsverteilungen der vorgefundenen Maschinen unterschiedlichen Automatisierungsgrades im Zeitverlauf der letzten zehn Jahre aufgetragen und die zugehörigen Arbeitsplatzstrukturen beschrieben.

Gliederung

1. Aufgabenstellung
2. Theoretische Vorarbeiten
 - 2.1 Systemtheoretische Ansätze
 - 2.2 Automatisierungsgrad, Kosten und Arbeitsplatzstruktur
3. Umfang der ermittelten Daten
4. Untersuchungsergebnisse
 - 4.1 Relative Häufigkeiten als Funktionen der Zeit
 - 4.2 Altersstruktur des Maschinenparks
 - 4.3 „Sättigungsgrenzen“ des möglichen Einsatzes von NC-Maschinen
 - 4.4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
 - 4.5 Arbeitsplatzstrukturen

Erläuterung der wichtigsten in diesem Bericht verwendeten technischen Begriffe

Literaturverzeichnis

1. Aufgabenstellung

Der vorliegende Forschungsauftrag wurde aufgrund von theoretischen Ansätzen in einer interdisziplinären Sondervorlesungsreihe an der TU Berlin von Prof. Simon über „Grundzüge einer Systemtheorie der industriellen Produktion. Analysen — Modellansätze — erste Konsequenzen“ [1] erteilt. In dieser Studie wurde erstmalig eine Stufenskala für die langfristige Entwicklung der Automatisierung in der Einzel- und Kleinserienfertigung vorgeschlagen, deren einzelne Stufen

im wesentlichen nach der Art der Speicherung der Arbeitsinformationen unterschieden werden. In diesem Bereich ist eine kontinuierliche technische Entwicklung von der vollständig handbedienten, aber schon voll mechanisierten Werkzeugmaschine über lochstreifengesteuerte NC-Maschinen²⁾ bis zu integrierten Fertigungsprozessen zu erwarten, in denen die Werkzeugmaschinen direkt von einem Prozeßrechner gesteuert werden. Bis auf weiteres stellt die betriebliche Wirklichkeit jedoch noch eine Mischung mehrerer Entwicklungsstufen dar.

Die Aufgabe des Forschungsauftrages ist es, die Prognosefähigkeit der oben genannten systemtheoretischen Ansätze im Hinblick auf die Veränderung von Arbeitsplatzstrukturen in Untersuchungen über die Zusammenhänge von Maschinen, Kosten und Arbeitsplätzen nachzuweisen und anhand von Erhebungen in Betrieben des Maschinenbaus mit überwiegender Kleinserienfertigung zu erproben.

Dazu wurde vereinbart, in folgenden drei Etappen vorzugehen:

1. Erhärten der entworfenen Stufenskala und Prüfung ihrer praktischen Anwendbarkeit.
2. Untersuchung der Auswirkungen der einzelnen Entwicklungsstufen auf die Arbeitsplatzstrukturen.
3. Prognose der zukünftigen Entwicklung.

Im einzelnen sollten im ersten Jahr des Forschungsauftrages unter anderem die folgenden Untersuchungen durchgeführt werden:

1. Ermittlung der relativen Häufigkeiten von Werkzeugmaschinen der verschiedenen Automatisierungsstufen in mehreren — mög-

¹⁾ Peter Brödner und Friedrich Hamke sind als Diplomingenieure Mitarbeiter am Lehrstuhl für Automatisierung und am Institut für Produktionstechnische Automatisierung der Technischen Universität Berlin.

²⁾ Eine Erläuterung der wichtigsten hier verwendeten technischen Begriffe findet sich am Schluß dieser Arbeit.

lichst nach Repräsentationsgesichtspunkten ausgewählten — metallverarbeitenden Betrieben und Erfassung des Zusammenhanges zwischen normiertem Maschinenstundensatz und den Automatisierungsstufen.

Statistische Auswertung dieser Verteilungs- und Verlaufsbilder einzelner Betriebe innerhalb der Gesamterhebungsmasse.

2. Untersuchung der zeitlichen Änderung der relativen Häufigkeitsverteilungen und normierten Maschinenstundensätze etwa innerhalb der letzten 10 Jahre.
3. Ermittlung der relativen Häufigkeitsverteilungen von Maschinenjahrgängen innerhalb der Automatisierungsstufen.
4. Zusätzlich zu den normierten Maschinenstundensätzen Erfassung von Lohn- und Gemeinkosten.

2. Theoretische Vorarbeiten

2.1 Systemtheoretische Ansätze

Während die systemtheoretische³⁾ Betrachtungsweise in der Energie- und Verfahrenstechnik, insbesondere auch in der Nachrichtentechnik, schon seit längerer Zeit Eingang gefunden hat, hat sie in der Fertigungstechnik erst seit kurzem zu ersten Modellansätzen geführt. Diese Verzögerung scheint im wesentlichen in der außerordentlich großen Vielfalt der Gebilde und ihrer möglichen Anordnungen, mit denen es die Fertigungstechnik zu tun hat, ihre Ursache zu haben; die eindeutige Erfassung und Beschreibung der vielen Größen wird dadurch sehr schwierig. Im folgenden seien nun einige grundlegende Ansätze dieser Systembetrachtungsweise, angewandt auf die Stückgutproduktion bei kleinen Losgrößen, aufgezeigt.

Die in diesem Bereich üblichen sehr großen Teilespektren erfordern eine hohe Flexibilität sämtlicher Produktionseinrichtungen, aber auch der am Produktionsprozeß beteiligten Menschen. Dementsprechend trifft man in Betrieben dieser Art hauptsächlich spanende Werkzeugmaschinen an, deren Kinematik der Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück den notwendigen hohen Grad an Flexibilität zur Erzeugung vielgestaltiger geometrischer Formen aufweist.

In Bild 1 ist am Beispiel eines bereits weitgehend automatisierten Systems der Signalflußplan eines fertigungstechnischen Basissystems dargestellt, wie es für die hier angestellten Untersuchungen zugrunde gelegt wird.

Die Werkzeugmaschine bildet dabei den Kern der sogenannten inneren Datenverarbeitung. Der

³⁾ Dem in dieser Arbeit verwendeten Begriff „System“ liegt die in DIN 19226 gegebene Definition zugrunde [2]. Für die der Systemtheorie zur Verfügung stehenden Methoden vgl. [9].

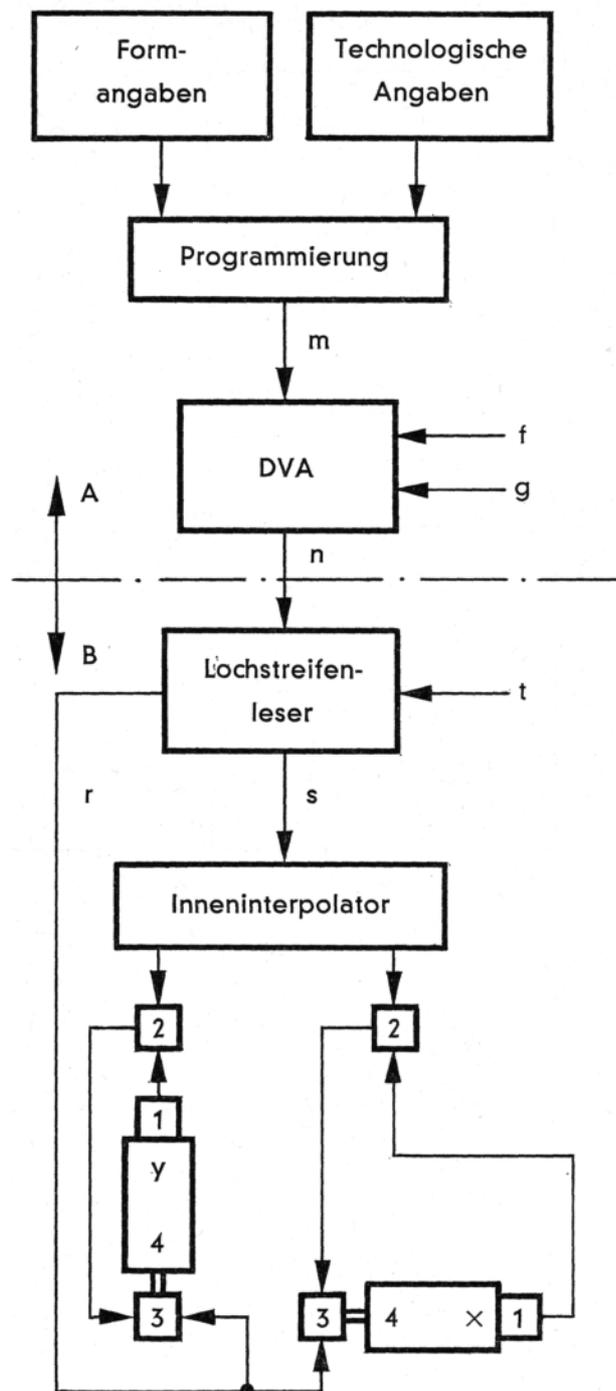


Bild 1: Systemkettenbeispiel (Signalflußbild)

eines weitgehend automatisierten Fertigungssystems

A Äußere Datenverarbeitung

B Innere Datenverarbeitung

f Übersetzerprogramme (compiler) für Programmiersprachen

g Werkzeugmaschinen-Anpassungsprogramme

(post-processors)

m Zwischeninformationsträger (meist Lochkartenstapel)

n Steuerlochstreifen für NC-Maschine

r Schaltungsinformationen

s Weginformationen

t manuell eingegebene Korrekturwerte (Werkzeugdurchmesser und -länge, Nullpunktverschiebung, Vorschubgeschwindigkeit u. dgl.)

x X-Achse

y Y-Achse

1 Wegmeßsystem

2 Vergleich

3 Schlitten-Antrieb

4 Maschinenschlitten

Anm.: Wegen der einfacheren Darstellung ist nur ein zweidimensionaler Bearbeitungsfall gezeichnet.

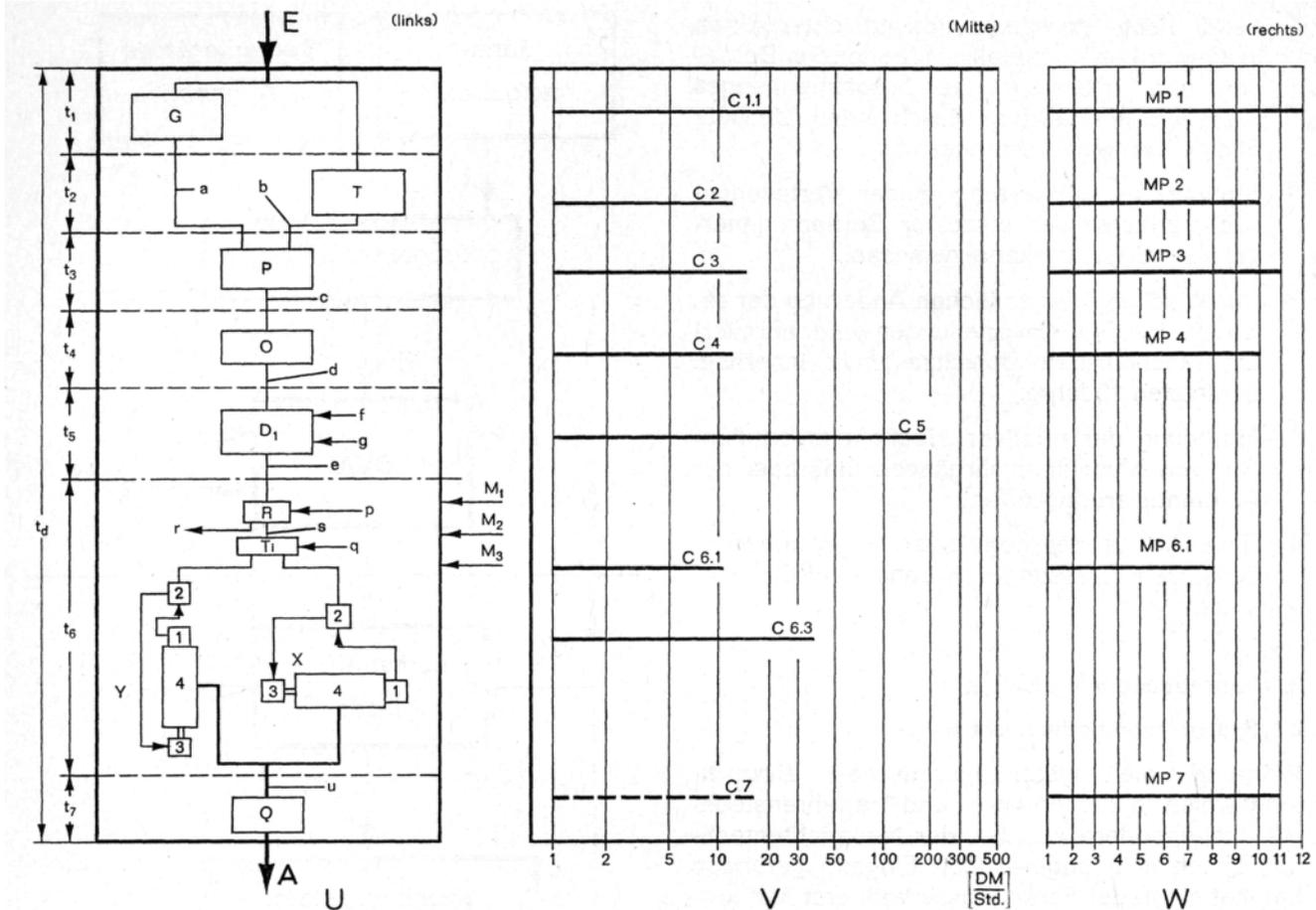


Bild 2: Vollständiges Strukturbild eines fertigungstechnischen Basissystems (DZ = LOLLLOLOO; Stufe 10)

A	Systemausgang (output), fertig geprüfte Werkstücke	a	Konstruktionszeichnung, Informationsspeicher für Geometrieangaben	
C	Kosten pro Stunde; ggf. unterteilt in Lohnkosten, Lagerhaltungskosten und Maschinenkosten	b	Anweisungen der Arbeitsvorbereitung, Informationsspeicher für Technologiedaten	
D ₁	Datenverarbeitungsanlage (Computer) im Eigenbetrieb	c	Programm-Manuskript, Quellenprogramm	
E	Systemeingang (input), Produktionsauftrag pro Werkstück oder Los	d	Lochkartenstapel, Lochstreifen 1 für Computer	
G	Geometriefestlegung des Werkstücks, Konstruktion ggf. mit Hilfe von D ₁	e	Steuerlochstreifen, Lochstreifen 2 für Werkzeugmaschine	
I ₁	Inneninterpolator	f	Processor	
M ₁	Rohmaterial, Halbzeuge, teilbearbeitete Werkstücke	g	Postprocessor	} Compiler
M ₂	Werkzeuge	p	Manuelle Korrekturingaben am Steuerpult	
M ₃	Vorrichtungen, speziell Spannvorrichtungen	q	Manuelle Korrekturingaben am Inneninterpolator, Vorschubkorrekturen	
MP	Arbeitsplatzanforderungen; dargestellt in 12 Arbeitswertgruppen	r	Schaltinformationen allgemein (z. B. Getriebeschaltungen, Spannen und Lösen, Kühlmittelzugaben)	
O	Bedienungsstelle für Computer (operator place)	s, s ₁ , s ₂ , s ₃	Weginformationen (Sollwerte für Schlittenpositionen)	
P	Programmierstelle für Computer	t ₁ t ₇	Teildurchlaufzeiten, Abschnittszeiten pro Bearbeitungsstelle	
Q	Qualitätskontrolle, Inspektion	t _d	Gesamtdurchlaufzeit, systemspezifisches Zeitverhalten	
R	Lochstreifenleser und Steuerpult einer NC-Maschine	u	Bearbeitetes Werkstück	
T	Technologie-Festlegung für das Werkstück, Arbeitsvorbereitung ggf. mit Hilfe von D ₁	1	Wegmeßsysteme	
U	Technisches Schaubild, Datenflussschaubild	2	Vergleicher	
V	Kostenschaubild für Kosten pro Zeiteinheit (Stunde)	3	Antriebssysteme (gestuft oder stufenlos)	
W	Arbeitsplatzschaubild, Schwierigkeitsstufung	4	Maschinenschlitten (einschl. Führungsbahnen u. dgl.)	
X	} Koordinatenachsen			
Y				
Z				

Maschinenbedner, gegebenenfalls auch ein Einrichter, übt in der inneren Datenverarbeitung heute noch fast immer wesentliche Funktionen aus. Jeder Werkzeugmaschine ist ferner ein Anteil der äußeren Datenverarbeitung zurechenbar. Auch hier sind Menschen noch in großem Umfang bei der Bewältigung der erforderlichen Datenverarbeitungsprozesse wesentlich beteiligt.

Die Beschreibung eines solchen Basissystems wäre aber offensichtlich sehr unvollständig, wenn nicht neben der technischen Struktur gleichzeitig auch die zugeordnete wirtschaftliche und betriebssoziologische Komponente betrachtet würde [1,3]. Auf Bild 2⁴⁾ ist daher eine mögliche Darstellungsweise aller drei Komponenten gezeigt, die zusammen die Eigentümlichkeit eines Systems bestimmen. Dabei ist die wirtschaftliche Komponente in Form einer Kosten- bzw. Verrechnungssatzstruktur berücksichtigt, die jedem „Übertragungsglied“ der technischen Struktur einen Kostensatz pro Stunde zuordnet. Die betriebssoziologische Komponente ist durch die Arbeitsplatzstrukturen vertreten, die für jeden der in dem System integrierten Menschen eine Arbeitswertgruppe enthält, deren numerischer Wert die an dieser Stelle geforderte Qualifikation beschreibt.

Die Werkzeugmaschine ist in diesem Zusammenhang im Prinzip als datenverarbeitende Maschine aufzufassen, wenn auch ein großer Teil dieser Datenverarbeitung heute noch von Menschen vorgenommen wird.

Wenn es nun gelingt, hinreichend genaue Beschreibungsmöglichkeiten der Zusammenhänge der technischen Eigenschaften einzelner Basissysteme, ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und der Qualifikationen der an ihnen beteiligten Menschen mit dem zeitlichen Verlauf ihrer Ausbreitung zu finden, so hat man damit die Möglichkeit einer Modellbetrachtung der Auswirkungen technischer Neuerungen in diesem Bereich gewonnen.

2.2 Automatisierungsgrad, Kosten und Arbeitsplatzstruktur

Als für die hier vorliegenden Untersuchungen wichtigste Kennzahl zur Beschreibung der technischen Struktur von fertigungstechnischen Basissystemen erscheint der Automatisierungsgrad. Für seine Bestimmung hat sich die im folgenden kurz erläuterte Methode als zweckmäßig erwiesen [4]. Ausgehend von einer Menge — in diesem Fall 10 — wohldefinierter, binärer Merkmale (vgl. Tafel 1) läßt sich eine Kennzahl für den Automatisierungsgrad finden, indem man anhand des zu untersuchenden Basissystems der Reihe nach den jeweils zutreffenden Wert der Merkma-

⁴⁾ Das Bild wurde der Buchveröffentlichung [4] entnommen, die voraussichtlich im Juni 1969 erscheinen wird. Dort finden sich auch weitere Beispiele für Basissysteme verschiedener Automatisierungsgrade.

le notiert. Auf diese Weise gewinnt man eine duale Verschlüsselung der wichtigsten Eigenschaften der technischen Struktur eines Basissystems, die auf numerischem Wege beliebig wei-

$$DZ = \sum_{i=1}^{10} 2^i \cdot Z_i; \quad DZ = \text{Dualzahl } Z_i = 0, L$$

Tafel 1:
Menge der systembeschreibenden binären Merkmale

Stellenwert	Merkmal	Wertevorrat	
		O	L
10	Rechner-Betrieb	nein	ja
9	Betriebsart	off-line	on-line
8	Weginformationsverarbeitung	nicht selbsttätig	selbsttätig
7	Art des Weginformationsspeichers	starr	flexibel
6	Speichererstellung	innere Datenverarbeitung	äußere Datenverarbeitung
5	Schaltinformationsverarbeitung	nicht selbsttätig	selbsttätig
4	Adaptive Regelung	nein	ja
3	Art der Steuerung	Punkt- und Streckensteuerung	Bahnsteuerung
2	Werkzeugwechsel	nicht selbsttätig	selbsttätig
1	Zahl der Achsen	$\leq 2\frac{1}{2}$	≥ 3

Zusätzliche Festlegung: Kann einem Merkmal nicht sinnvoll ein Wert des Wertevorrats zugeordnet werden, so ist an dieser Stelle der Wert O einzusetzen.

Die Aussagefähigkeit dieser Verschlüsselungszahlen veranschaulicht der im Bild 3 gezeigte topologische Baum.

Seine Elemente sind:

1. Die *Knoten*, die eine Verzweigung darstellen, an der dem jeweiligen Stellenwert der zutreffende Wert des betreffenden Merkmals zugewiesen wird (ein fehlender Knoten sei gleichbedeutend mit dem Wert O an der betreffenden Stelle).
2. Die *Kanten*, deren Neigung die jeweiligen Werte des entsprechenden Merkmals repräsentieren. Nach links geneigte Kanten entsprechen dem Wert O, nach rechts geneigte Kanten dem Wert L.

Links neben dem Baum sind die Stellenwerte der Merkmale jeweils in der Höhe der entsprechenden Knoten aufgeführt. An den Endknoten sind die zugehörigen Dualzahlen angegeben, die jeweils die ein bestimmtes System kennzeichnenden Merkmale darstellen und zu denen man ge-

Tafel 2:

Definition einer Stufenskala automatisierter, spanender Werkzeugmaschinen nach Informationsspeicher-Kriterien und der Verknüpfung mit Datenverarbeitungsanlagen und Beschreibung der zugehörigen Tätigkeiten und Anforderungen.

Stufe	Dualzahlen	Kennzeichen	Tätigkeiten	Anforderungen
0	OOOOOOOOOO bis OOLOOOOOOO	Werkzeugmaschinen ohne nennenswerte künstliche Informationsspeicher, ohne selbsttätigen Werkzeugwechsel, aber ggf. mit numerischer Positionsanzeige als Meßerleichterung.	Rüsten, einspannen, Schalt- und Weginformationen aus den Arbeitspapieren und Zeichnungen entnehmen bzw. Arbeitsfolge und technologische Daten selbst bestimmen, einstellen und messen pro Arbeitsgang, ausspannen.	Weitgehend abhängig vom Fertigungsverfahren und den Genauigkeitsanforderungen. Geschicklichkeit und Anstrengung haben großen Einfluß auf das Arbeitsergebnis. Daher i. a. Facharbeiterausbildung bzw. Anlernausbildung mit Berufserfahrung. Hohe Verantwortung für Werkstück und Betriebsmittel.
1	OOLOLOOOOO bis OOLOLLOLLL	Werkzeugmaschinen mit starren Weginformationsspeichern aus der äußeren Datenverarbeitung (z. B. Schablonen, Bohrlehren, Modelle, Kurvenscheiben u. dgl.) für analoge Punkt-, Strecken- oder Bahnsteuerungen, aber ggf. mit automatischer Schaltinformationsverarbeitung über logische Verknüpfungen (z. B. Druckknopfsteuerungen).	Einrichten, rüsten, einstellen der Sollwerte für Schaltinformationen pro Los, ein- und ausspannen, Arbeitsablauf überwachen. Mehrmaschinenbedienung u. U. möglich.	Spezielle Kenntnis der Maschine, mittlere Geschicklichkeit und hohe Verantwortung für Werkstück und Betriebsmittel, wenn der Bediener selbst einrichtet. Wird der Bediener durch einen Einrichter unterstützt, reicht eine angelehrte Kraft aus.
2	OOLLOOOOOO bis OOLLOLOOLL	Werkzeugmaschinen mit flexiblen, manuell einstellbaren Weginformationsspeichern in der inneren Datenverarbeitung (z. B. Programmwalzen, Nockenleisten, numerische Dekadenschalter u. dgl.) für analoge oder numerische Punkt- und Streckensteuerungen, ggf. mit automatischer Schaltinformationsverarbeitung und/oder automatischem Werkzeugwechsel.	Einrichten, rüsten (häufiger als bei Stufe 1), einspannen, Arbeitsablauf überwachen, ausspannen, ggf. messen.	Facharbeiter oder Anlernling mit abgeschlossener Anlernausbildung, zusätzlicher Berufserfahrung und speziellen Kenntnissen der Maschine und des Fertigungsverfahrens. Größere Geschicklichkeit und Verantwortung für Werkstück und Betriebsmittel, wenn der Bediener selbst einrichtet. Bei Unterstützung durch einen Einrichter reicht ein kürzer ausgebildeter Mitarbeiter aus.
3	OOLLLOOOOO	Werkzeugmaschinen mit flexiblem Weginformationsspeicher aus der äußeren Datenverarbeitung (z. B. manuell erstellte Lochstreifen) für numerische 2-Achs-Punkt- und Streckensteuerungen, ohne automatische Schaltinformationsverarbeitung.	Rüsten, einschließlich Lochstreifen einlegen, einspannen, Schaltinformationen eingeben, Arbeitsablauf überwachen, ggf. Werkzeuge voreinstellen.	Facharbeiter (bei Bohrwerken) oder Anlernling mit abgeschlossener Anlernausbildung, Berufserfahrung und spezieller Kenntnis der Maschine.
4	OOLLLLLOOOO OOLLLLLOOOL	Werkzeugmaschinen mit flexiblen Weg- und Schaltinformationsspeichern aus der äußeren Datenverarbeitung (z. B. Lochstreifen) für numerische 2- und Mehrachs-Punkt- und Streckensteuerungen, ohne automatischen Werkzeugwechsel.	Rüsten, einschließlich Lochstreifen einlegen, einspannen, ggf. Korrekturwerte eingeben, einschalten, Arbeitsablauf überwachen, ggf. Werkzeuge wechseln und Werkzeuge voreinstellen.	Mit steigenden Anschaffungskosten wächst die Verantwortung für die Betriebsmittel und steigen die Kosten bei technisch und organisatorisch bedingten Ausfällen. Der Maschinenbediener sollte daher die organisatorischen Randbedingungen seines Arbeitsplatzes voll überschauen und seine Arbeit vorausplanen können. Er sollte ferner in der Lage sein, dem Programmierer Anregungen bei Korrekturen und bei Verbesserungen des Programms zu geben.
5	OOLLLLLOOLO OOLLLLLOOLL	Werkzeugmaschinen wie in 4, jedoch mit Werkzeugspeicher (z. B. Revolverkopf, Magazin u. dgl.) und automatischem Werkzeugwechsel.	Wie Stufe 4. Hinzu kommt die Bestückung des Werkzeugmagazins.	

noch Tafel 2

Stufe	Dualzahlen	Kennzeichen	Tätigkeiten	Anforderungen
6	OOLLLLOLOO	Werkzeugmaschinen mit flexiblem Weg- und Schaltinformationsspeicher aus der äußeren Datenverarbeitung (z. B. Lochstreifen oder Magnetband) für numerische 2- und 2½-Achs-Bahnsteuerungen, ohne automatischen Werkzeugwechsel.	Ähnlich Stufe 4. Korrekturdaten-Eingabe am Steuerpult möglich.	Bei einfachen Dreh- und Fräsarbeiten: Anlerning wie in Stufe 3.
7	OOLLLLOLOL	Werkzeugmaschinen wie in 6, jedoch für numerische 3- und Mehrachs-Bahnsteuerungen.	Wie Stufe 4.	Für komplizierte Bearbeitungsfälle steigen die Anforderungen entsprechend. Die Anforderungen hängen ferner davon ab, in welchem Umfang Korrekturdaten-Eingaben möglich sind, ob die Einrichtung durch den Maschinenbediener selbständig erfolgt, ob er Werkzeuge selbst vorstellt und welchen Umfang das Werkzeugmagazin hat.
8	OOLLLLOLLO OOLLLLOLLL	Werkzeugmaschinen wie in 6 und 7, jedoch mit automatischem Werkzeugwechsel.	Wie Stufe 7. Hinzu kommt die Bestückung des Werkzeugmagazins.	
9	OOLLLLOOO bis OOLLLLLLL	Werkzeugmaschinen wie in 4 bis 8, mit selbstoptimierenden Eigenschaften (adaptive control).		
10	LOOOOOOOOO bis LOLLLLLLLL	Rechenzentrum für den „off-line“-Betrieb (mit Datenträger wie Lochstreifen oder Magnetband) von Werkzeugmaschinen der Gruppen 0 bis 9, zur rechnergestützten Konstruktion, maschinellen Programmierung und Fertigungssteuerung, ggf. unter Nutzung der Datenfernübertragung.		
11	LLLLLLOOOO bis LLLLLLOLLL	Werkzeugmaschinen der Gruppen 4 bis 8 mit direktem Anschluß an einen Prozeßrechner („one-line“-Betrieb), automatischem Werkstückwechsel, ohne Verwendung von Datenträgern (z. B. Lochstreifen oder Magnetband), jedoch ohne Selbstoptimierung von Schnittbedingungen.		
12	LLLLLLOOO bis LLLLLLLLL	Prozeßrechnersystem mit Werkzeugmaschinen wie in 11, jedoch mit Selbstoptimierung von Schnittbedingungen an den einzelnen Werkzeugmaschinen, Einbeziehung der rechnergestützten Konstruktion, der maschinellen Programmierung und der Fertigungsregelung.		

langt, wenn man von der Wurzel des Baumes schrittweise von Stellenwert zu Stellenwert bis zu einem Endknoten jeweils entlang einer Kante fährt und die ihr zugeordnete Dualziffer notiert. Jede Folge zusammenhängender Kanten, die die Baumwurzel mit irgendeinem Endknoten verbindet, ist also einer die Systemeigenschaften verschlüsselnden Dualzahl äquivalent.

Mit Hilfe dieser Dualzahl-Darstellung des Automatisierungsgrades von Basissystemen nach Tafel 1 läßt sich nun leicht eine Stufung definieren, die die Entwicklung von automatisierten Fertigungssystemen für kleine Losgrößen in einigen

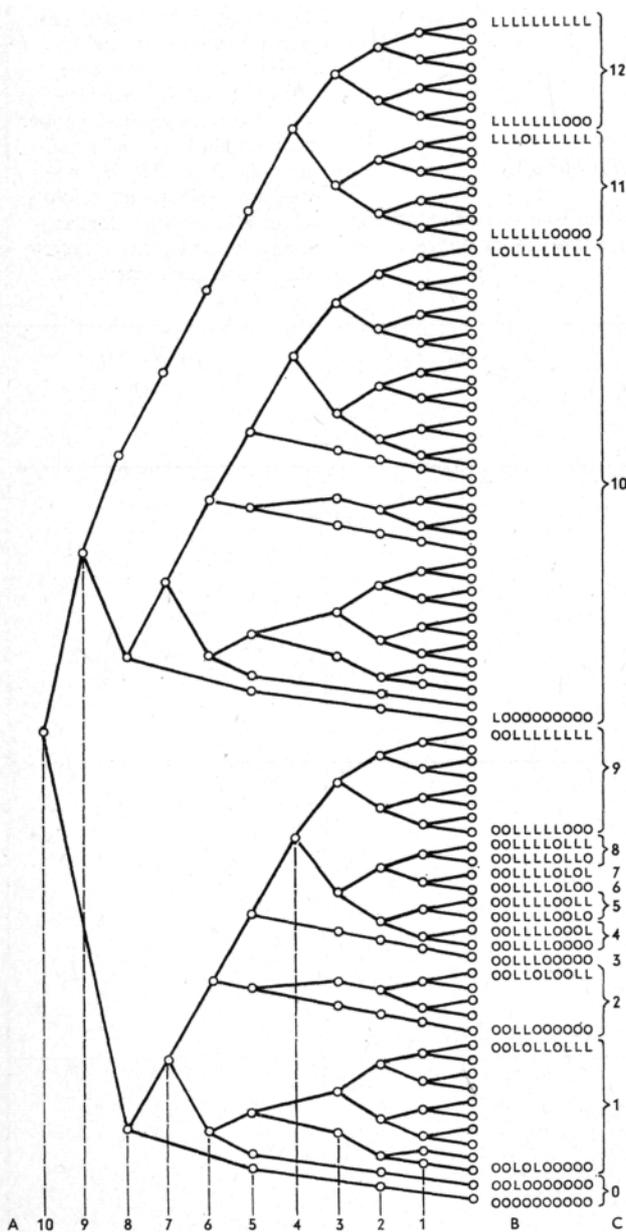


Bild 3: Topologischer Baum
 Zur Definition einer Skala automatisierter spanender Werkzeugmaschinen
A: Stellenwert der zehn binären Merkmale
B: Durch den Wertevorrat und Stellenwert der Merkmale dual codierte Skala
C: Klassenbildung zur erleichterten verbalen Beschreibung nach Tafel 2

wenigen markanten Schritten wiedergibt. Indem jeweils Folgen von nach wachsendem Betrag geordneten, aufeinander folgenden Dualzahlen zum Zwecke einer praktischen und überschaubaren Datenreduktion zu Klassen zusammengefaßt und mit einer Stufennummer versehen werden, gelingt eine eindeutige und sehr genaue Definition einer solchen Stufung, wobei die Kennzeichen jeder Stufe durch die Angabe der zu ihr gehörenden Dualzahlen festgelegt sind. Eine nach dem heutigen Stand der Technik sinnvoll erscheinende Stufenskala dieser Art zeigt die vorstehende Tafel 2. Sie wurde den Erhebungen zu diesem Bericht zugrunde gelegt und damit auch ihre praktische Brauchbarkeit erprobt.

Dabei umfassen die Stufen 0 bis 2 alle handbedienten bzw. mit konventionellen Mitteln (mechanische, elektrische, hydraulische Analogsteuerungen) automatisierten Werkzeugmaschinen. Digitale Schlittenwegmeßsysteme und Positionsanzeigen (Stufe 0) sowie digitale Steuerungen mit Handeingabe der Informationen (Stufe 2) gehören ebenfalls hierher. Stufe 3 bildet die einfachste Form einer lochstreifengesteuerten NC-Maschine, bei der lediglich in zwei Achsen selbsttätig positioniert wird. Die Stufen 4 bis 8 enthalten sämtliche bis heute auf dem Markt befindlichen NC-Maschinen, während sich Maschinen der Stufen 9 bis 12 zur Zeit noch im Experimentierstadium befinden bzw. erst in ferner Zukunft Eingang in die betriebliche Praxis finden dürften. Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise bei der quantitativen Bestimmung des Automatisierungsgrades eines gegebenen Basissystems seien im folgenden einige typische Maschinenbeispiele erläutert. Dazu genügt es, die in Tafel 1 wiedergegebenen zehn Merkmale der Reihe nach mit der zu untersuchenden Werkzeugmaschine zu vergleichen und durch Notieren des jeweils zutreffenden Merkmalswertes deren Eigenschaften zu verschlüsseln.

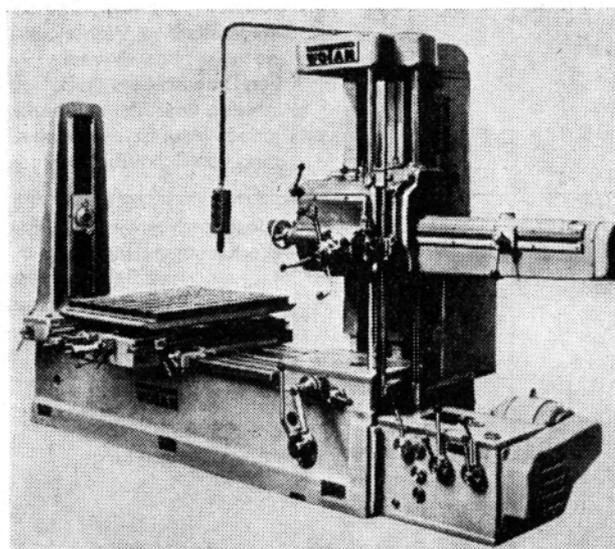


Bild 4: Bohr- und Fräswerk mit manueller Bedienung (Werkbild Wotan)

Beispiel 1 erläutert ein herkömmliches Bohr- und Fräswerk nach Bild 4, bei dem die gesamte Weg- und Schaltinformationsverarbeitung manuell vom Bedienungsmann durchgeführt wird — unter anderem erkennbar an der Vielzahl von Schaltern und Bedienungshebeln an der Maschine. Ebenso wird auch der Werkzeugwechsel vom Bedienungsmann vorgenommen. Damit ist klar, daß sämtliche Stellen der dieser Maschine zugeordneten Dualzahl DZ den Wert 0 haben, d. h.

$$DZ = 0000000000$$

Damit gehört diese Werkzeugmaschine nach Tafel 2 zur

Stufe 0.

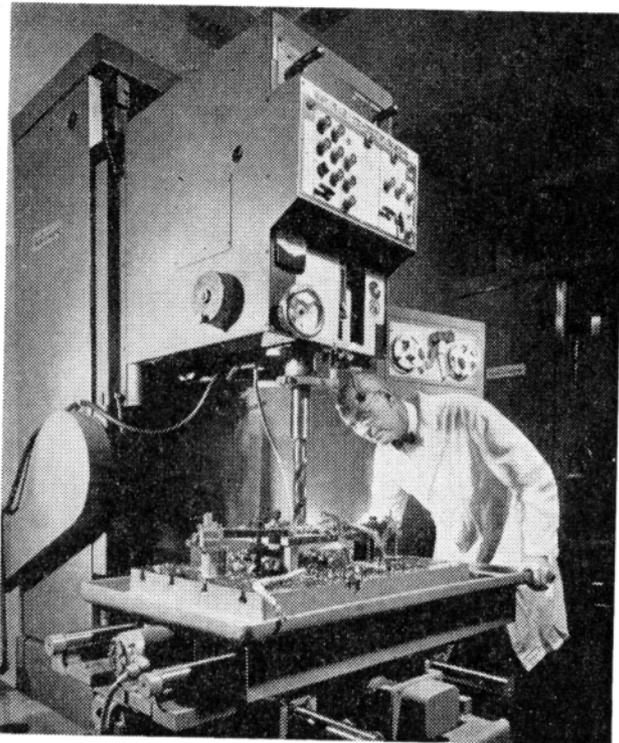


Bild 5: Vertikalbohrmaschine mit numerischer 2-Achs-Punktsteuerung (Werkbild Pratt & Whitney)

Beispiel 2 stellt den einfachsten Fall einer lochstreifengesteuerten NC-Maschine dar. Der Tisch der Vertikalbohrmaschine nach Bild 5 wird in zwei Achsen selbsttätig nach Maßgabe der im Lochstreifen gespeicherten Weginformationen positioniert (d. h. $Z_6 = L$, $Z_7 = L$, $Z_8 = L$), während alle übrigen Arbeiten, wie Wahl der Drehzahlen und Vorschübe, Steuerung des Bohrzyklus (dritte Achse), Werkzeugwechsel usw. vom Bedienungsmann während des Bearbeitungsprozesses durchgeführt werden. Damit lautet die zugeordnete Dualzahl:

$$DZ = 00LLLO0000$$

und die Maschine gehört zur

Stufe 3.

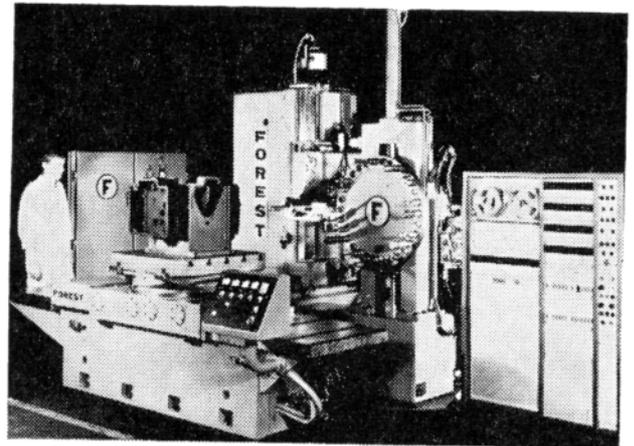


Bild 6: Bearbeitungszentrum mit 4-Achs-Streckensteuerung und Werkzeugwechselfmagazin für 30 Werkzeuge (Werkbild Ratier-Forest)

Beispiel 3 erläutert ein sogenanntes Bearbeitungszentrum (machining center) — im Prinzip ein numerisch gesteuertes Bohr- und Fräswerk mit automatischem Werkzeugwechsel —, das es gestattet, Werkstücke in der Regel in einer Aufspannung vollständig zu bearbeiten. Es hat die Eigenschaften:

selbsttätige

Weginformationsverarbeitung ($Z_8 = L$)

flexibler Weginformationsspeicher ($Z_7 = L$)

erstellt in der äußeren Datenverarbeitung ($Z_6 = L$)

selbsttätige

Schaltinformationsverarbeitung ($Z_5 = L$)

Streckensteuerung ($Z_3 = 0$)

selbsttätiger Werkzeugwechsel ($Z_2 = L$)

4 Achsen selbsttätig gesteuert ($Z_1 = L$)

Die Maschine hat also die zugeordnete Dualzahl

$$DZ = 00LLLLLOLL$$

und gehört zur

Stufe 5.

Zur Beurteilung des relativen wirtschaftlichen Nutzens eines Fertigungssystems dient die Kenngröße der Wirtschaftlichkeit [10]. Sie ist als der Quotient der Mengenleistung und der pro Zeiteinheit anfallenden Kosten des Systems definiert. Um den größeren relativen Nutzen eines Fertigungssystems einer bestimmten Automatisierungsstufe gegenüber einem vergleichbaren einer anderen Stufe nachzuweisen, genügt es daher, nur die von Stufe zu Stufe veränderlichen Größen zu betrachten [4]. Als wichtigster, von Stufe zu Stufe, veränderlicher Kostenbestandteil ist der normierte Maschinenstundensatz (KMH) anzusehen. Er setzt sich aus den kalkulatorischen Abschreibungskosten für 10 Jahre $\left(\frac{AP}{N}\right)$ sowie den Zins- $\left(\frac{AP}{2N} Z\right)$, Instandhaltungs- (KI), Energie- (KE) und Raumkosten (KR), bezogen auf

eine einheitliche Nutzungszeit von 1500 h pro Jahr (Einschichtbetrieb), zusammen [5] und berechnet sich nach der Gleichung:

$$KMH = \frac{1}{TN} \left(\frac{AP}{N} + \frac{AP}{2N} Z + KI + KE + KR \right),$$

wobei die Größen

$$TN = 1500 \frac{h}{\text{Jahr}} \text{ Nutzungszeit}$$

$$N = 10 \text{ Jahre Abschreibungszeit}$$

$$Z = 0,06 \text{ jährlicher Zinsfuß}$$

als Konstante zu setzen sind.

Die Einführung höher automatisierter Maschinen hat, insbesondere ab Stufe 5, erhebliche Veränderungen der Arbeitsplatzstrukturen zur Folge. Um auch hier eine Basis für eine spätere Prognose zu schaffen, werden für jede Maschine die gegenwärtige Qualifikation des Bedienungsmannes und ggf. auch des Einrichters festgestellt, gemessen in Arbeitswertgruppen nach Tafel 3:

Tafel 3:
Arbeitswertskala zur Erfassung der Qualifikation von Maschinenbedienern und Einrichtern

Arbeitswert in % des Ecklohns	Arbeitswertgruppe
über 125	9
115 bis 124	8
105 bis 114	7
98 bis 104	6
90 bis 97	5
86 bis 89	4
80 bis 85	3
77 bis 79	2
74 bis 76	1

Darüber hinaus wird der Zeitanteil (ZA) festgestellt, wie lange — gemessen in Teilen der gesamten Nutzungszeit der Maschine — der Bediener bzw. der Einrichter durchschnittlich mit Arbeiten an der Maschine in Anspruch genommen wird. Werden beispielsweise zwei Maschinen von einem Mann zu 50 v. H. bzw. 40 v. H. der Nutzungszeit bedient und erfordert die eine Maschine noch zu 10 v. H. ihrer Nutzungszeit die Rüstarbeit eines Einrichters, so lauten die Größen:

	ZA Bediener	ZA Einrichter
Maschine 1	0,5	0
Maschine 2	0,4	0,1

3. Umfang der ermittelten Daten

Im Rahmen der Erhebungen wurden Untersuchungen in zehn Betrieben von neun Unternehmen des Maschinenbaus durchgeführt. In diesen Betrieben wurden Produkte aus 14 verschiedenen Fachzweigen des Maschinenbaus gefertigt

(vgl. Tafel 4). Der größte Fachzweig, der Werkzeugmaschinenbau, war ebenso wie die stark im Wachstum begriffenen Zweige des Kunststoffmaschinenbaus und der Hydraulikfertigung, neben anderen, mit je zwei Betrieben vertreten.

Insgesamt waren in diesen Betrieben im Jahre 1967 etwa 22 000 bis 25 000 Mitarbeiter beschäftigt. In dieser Zahl sind auch die Beschäftigten in übergeordneten Verwaltungen berücksichtigt, die geschätzt werden mußten, wenn nur Teilbereiche von Unternehmen untersucht wurden. Bei einer Gesamtzahl von 1 031 000 Beschäftigten im Jahre 1967 [11] erstrecken sich demnach die Untersuchungen auf etwa 2,1 bis 2,4 v. H. aller im Maschinenbau Beschäftigten.

Tafel 4:
Zuordnung der Produktionsprogramme der untersuchten Betriebe zu den in [11] genannten Fachzweigen des Maschinenbaus

Fachzweige	Zugeordnete Nummern der untersuchten Betriebe
Werkzeugmaschinen	2; 7
Büromaschinen	9
Hebezeuge und Fördermittel	5; 6
Nahrungsmittel- und Genußmittelmaschinen	1; 10
Pumpen und Verdichter	8
Kraftmaschinen	3
Armaturen	8
Druck- und Papiermaschinen	4
Trocknungsanlagen	10
Gummi- und Kunststoffmaschinen	6; 10
Hütten- und Walzwerkeinrichtungen	6
Ölhydraulik und Pneumatik	5; 6
Sonstige Erzeugnisse	5

Da von einigen Betrieben keine vollständigen Angaben gemacht wurden, mußte auch die Höhe des Umsatzes zum Teil leider geschätzt werden. Die Gesamtproduktion der untersuchten Betriebe liegt bei etwa 1 Mrd. DM im Jahr 1967. Das sind ca. 2,7 v. H. der Produktion des gesamten Maschinenbaus, der 1967 37,7 Mrd. DM [11] betrug. Insgesamt wurden die Arbeitsplätze an etwa 4000 Maschinen, die 1967 in den besuchten Betrieben im Bereich der mechanischen Fertigung im Einsatz waren, untersucht. Hinzu kam noch die Erfassung der in den Jahren 1957 bis 1967 unterschiedlichen Maschinen.

Von den 4000 im Jahre 1967 in die Untersuchung einbezogenen Maschinen sind 67 mit einer numerischen Steuerung ausgestattet. Das sind zwar nur 1,7 v. H. aller untersuchten Maschinen, aber bereits 7 v. H. der in der Bundesrepublik

Deutschland [6] und 12 v. H. der im Gesamtmaschinenbau [6] zum Untersuchungszeitpunkt (Stand Dezember 1967) eingesetzten NC-Werkzeugmaschinen. Dieser hohe Anteil am Gesamtbestand der NC-Maschinen liegt in der Zielsetzung der Untersuchung begründet, da bei der Auswahl solche Betriebe bevorzugt wurden, in denen Arbeitsplatzuntersuchungen an diesen höher automatisierten Werkzeugmaschinen gemacht werden konnten.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, daß durch die Erhebung ausgesprochen avantgardistische Betriebe erfaßt wurden.

4. Untersuchungsergebnisse

Beim Lesen der folgenden Daten ist zu beachten, daß im allgemeinen die höheren Automatisierungsstufen nach der Anzahl von Maschinen nur schwach besetzt sind und daher die ihnen zugeordneten Zahlenwerte in ihrer Aussage statistisch nicht so gesichert sind, wie bei den zu den

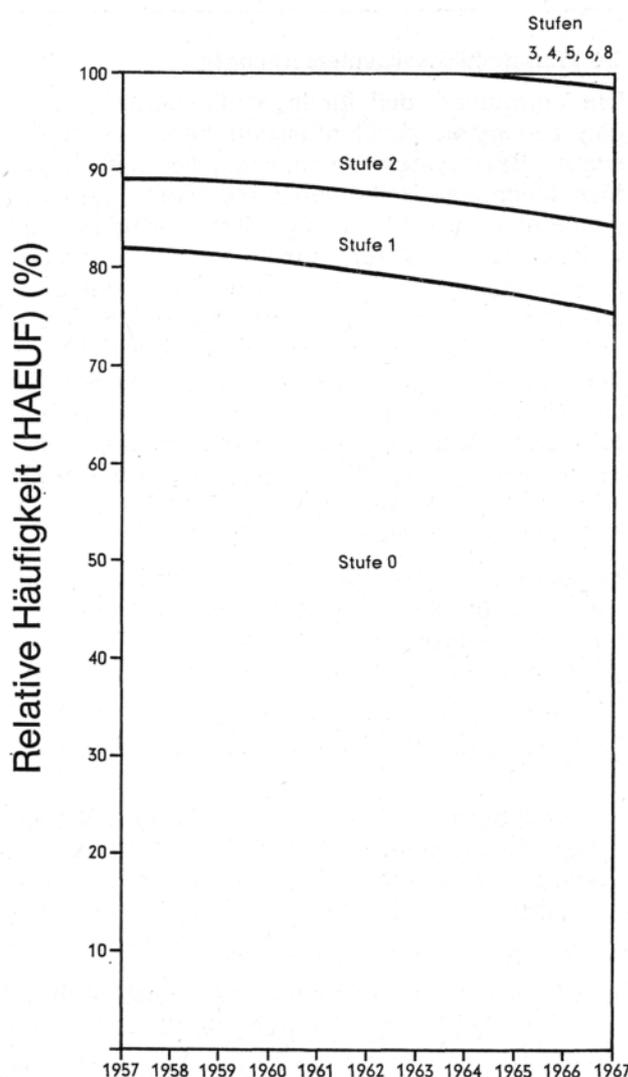


Bild 7: Relative Häufigkeiten von Maschinen verschiedener Automatisierungsstufen der Betriebe 1 bis 8 als Funktionen der Zeit

Stufen 0, 1 und 2 zählenden Maschinen. Von den insgesamt in die Untersuchung einbezogenen 67 NC-Maschinen gehören zwei zu Stufe 3, 26 zu Stufe 4, 22 zu Stufe 5, vier zu Stufe 6 und 13 zu Stufe 8. Demnach sind also insbesondere die Werte der Stufen 3 und 6 mit Vorsicht zu interpretieren.

4.1 Relative Häufigkeiten als Funktionen der Zeit

Die zeitliche Entwicklung der relativen Häufigkeiten (HAEUF) von Maschinen unterschiedlicher Automatisierungsstufen in den Betrieben in Form von Diagrammen zeigt Bild 7. Wegen der besseren Übersicht wurde eine kumulative Darstellung gewählt, das heißt, daß sich zu jedem Zeitpunkt jeweils die relative Häufigkeit von Maschinen einer Automatisierungsstufe zu der von Maschinen der nächst niedrigeren Stufe hinzuaddiert.

Im Durchschnitt der Betriebe 1 bis 8 zeigen sich im Verlauf der relativen Häufigkeiten über der Zeit recht klare Trends. Der Anteil an Maschinen der Stufe 0 geht dabei progressiv von 82 v. H. im Jahre 1957 auf 75 v. H. im Jahre 1967 hauptsächlich zugunsten der höher automatisierten Maschinen der Stufen 2, 4, 5 und 8, in geringerem Maße auch der Stufen 3 und 6, zurück. Die Maschinen der Stufe 1 sind mit im Laufe der Zeit fast gleichbleibendem Anteil von etwa 8 v. H. vertreten, was bei Betrieben mit überwiegend Kleinserienfertigung auch zu erwarten war. Der allerdings auch hier zu beobachtende geringfügige Zuwachs dürfte hauptsächlich auf das Bestreben nach Teilefamilienfertigung zurückzuführen sein, die auch den wirtschaftlichen Einsatz von Maschinen mit starren Weginformationsspeichern (Stufe 1) in ihren einfachsten Formen zuläßt (z. B. Kopierdrehmaschinen). Bemerkenswert ist, daß den Maschinen der Stufe 3 in ihrer Eigenschaft als „apetizer“ für die Einführung der NC-Technik in diesen Betrieben offensichtlich kaum Bedeutung zukommt, im Gegensatz zu den USA, wo diese einfachsten NC-Maschinen eine große Rolle gespielt haben [7].

4.2 Altersstruktur des Maschinenparks

Den Altersaufbau des Maschinenparks im Jahre 1967 für alle Betriebe gemeinsam zeigt Tafel 5. Aus den Tabellen lassen sich jeweils die relativen Häufigkeiten von Maschinen unterschiedlicher Automatisierungsstufen sowie deren Zusammenfassung ohne Berücksichtigung des Automatisierungsgrades (Gesamt) nach Baujahrklassen entnehmen.

Wie aus Tafel 5 zu erkennen ist, sind im Durchschnitt aller Betriebe 54,2 v. H. aller Werkzeugmaschinen zum Jahresende 1967 zehn oder mehr Jahre alt; die übrigen Maschinen verteilen sich etwa gleichmäßig auf die jüngeren Baujahrklassen. Selbst in Betrieben, die erst nach dem zweiten Weltkrieg vollständig neu aufgebaut wurden,

sind über 40 v. H. aller Werkzeugmaschinen zehn oder mehr Jahre alt. Im Durchschnitt verschiebt sich allerdings mit höherer Automatisierungsstufe das Alter der Maschinen zu jüngeren Baujahren.

Darüber hinaus ist bemerkenswert, daß — wie in einigen Betrieben genauer verfolgt werden konnte — Konjunkturschwankungen kaum Einfluß auf die Struktur des Maschinenparks haben. Sie werden fast ausschließlich durch eine entsprechende Auslastung der Maschinen, beispielsweise durch den Übergang von Ein- auf Zweischichtbetrieb, ausgeglichen.

Tafel 5:
Altersstruktur des Maschinenparks der verschiedenen Automatisierungsstufen der Betriebe 1 bis 9 im Dezember 1967

Stufe	Altersgruppen in v. H.						Anzahl der Maschinen (=100%)
	Alter als 57	58/59	60/61	62/63	64/65	66/67	
0	58,5	6,8	11,1	9,0	8,8	5,4	3004
1	50,0	6,2	12,8	11,7	10,8	8,2	350
2	39,9	5,7	13,3	14,4	14,8	11,5	553
3	—	—	—	50,0	50,0	—	2
4	—	—	3,8	23,0	38,4	34,6	26
5	—	—	—	4,5	27,2	68,1	22
6	—	—	—	50,0	25,0	25,0	4
7	—	—	—	—	—	—	0
8	—	—	—	—	46,1	53,8	13
Gesamt	54,2	6,5	11,4	10,1	10,3	7,2	3974

4.3 „Sättigungsgrenzen“ des möglichen Einsatzes von NC-Maschinen

Für den Verlauf der weiteren Arbeiten zur Prognose der künftigen Entwicklung des Maschinenparks ist es außerordentlich wichtig, einigermaßen realistische Anhaltspunkte für das maximal mögliche Vordringen der NC-Maschinen (Stufe 3 bis 8) in die betriebliche Praxis zu kennen. Da sich solche „Sättigungsgrenzen“ des möglichen Einsatzes von NC-Maschinen bislang kaum aus theoretischen Überlegungen ableiten lassen, ist es immerhin wünschenswert, wenigstens subjektive Schätzwerte von Experten für diese „Sättigungsgrenzen“ zu haben. Daher wurden in den einzelnen besuchten Firmen jeweils die für die Planung und Betreuung der NC-Maschinen zuständigen Herren darüber befragt, bis zu welchen Anteilen NC-Maschinen auf lange Sicht (mindestens in den nächsten 5 bis 10 Jahren) unter der Voraussetzung eines ungefähr gleichbleibenden Teilespektrums maximal vordringen könnten; dabei wurde ausdrücklich der subjektive Charakter der gemachten Angaben als persönliche Schätzwerte betont. Im einzelnen ergaben sich die Werte der nachstehenden Tafel 6:

Tafel 6:
Geschätzte „Sättigungsgrenzen“ des möglichen Einsatzes von NC-Maschinen (Firmenangaben)

Betrieb Nr.	Geschätzte „Sättigungsgrenzen“	
	in % der Fertigungskapazität	in % der Zahl der Maschinen
1	50	20 bis 25
2	35 bis 40	15
3	·	bis 1973 jährlicher Zuwachs von 0,3 bis 0,6
4	·	
5	35	25
6	90 Bohren (vertikal) 80 Drehen	·
7	70 Bohren (horizontal) 50 Drehen 30 Fräsen	·
8	·	·
9		
10		

4.4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Die Vermutung, daß für Investitionsentscheidungen zugunsten der Einführung höher automatisierter Basissysteme zumindest bei den ersten Maschinen eine Reihe von subjektiven oder doch quantitativ nur schwer faßbaren Gründen eine wichtige Rolle spielen, konnte im Laufe der Untersuchungen bestätigt werden. Dies geht auch aus einer Umfrage unter Anwendern von NC-Maschinen hervor [8], in der für den Kauf der ersten Maschine z. B. 34 v. H. der Befragten den Grund „um Erfahrung zu sammeln“ angeben; auch der Mangel an Facharbeitern spielt bei diesen Investitionsentscheidungen eine große Rolle (15 v. H. beim Kauf der ersten und 22 v. H. beim Kauf der zweiten Maschine).

In den Betrieben 3 und 4, in denen keine Anschaffungspreise oder Maschinenstundensätze erhältlich waren, wurden für den Kauf der NC-Maschinen die folgenden Gründe angegeben:

1. Einsparung an Vorrichtungen und Anreißarbeiten.
2. Funktionssicherheit bei Wiederholaufträgen bei durchschnittlich halbjähriger Periode (optimale Arbeitsfolge im Lochstreifen gespeichert).
3. Herabsetzen der Nebenzeiten.
4. Wegfall der Qualitätskontrolle (nach bisherigen Erfahrungen dadurch nur 1 v. T. Ausschuß).

Die Beschaffung ausreichenden Zahlenmaterials zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Maschinen der verschiedenen Automatisierungsstu-

fen erwies sich erwartungsgemäß als sehr schwierig. Zwar konnten für über die Hälfte der in die Untersuchung einbezogenen Maschinen die normierten Maschinenstundensätze festgestellt werden. Deren Aussagefähigkeit in bezug auf die Wirtschaftlichkeit ist aber noch zu klein für eine Veröffentlichung an dieser Stelle. Da jedoch andererseits die Wirtschaftlichkeit als ein wichtiger Parameter, der die Einführung und Verbreitungsgeschwindigkeit höher automatisierter Fertigungssysteme bestimmt, anzusehen ist, sollen die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Zuge der weiteren Arbeiten fortgesetzt werden.

In Einzeluntersuchungen konnten im Betrieb 5 bereits für 4800 Werkstücke bei 200 verschiedenen Losgrößen durchschnittlich 36 v. H. Zeit- und 26 v. H. Kosteneinsparung bei NC-Maschinen gegenüber konventioneller Fertigung bei gleicher Mengenleistung nachgewiesen werden (Firmenangaben).

4.5 Arbeitsplatzstrukturen

Eine Zusammenfassung der numerischen Werte der zum Untersuchungszeitpunkt (Stand Dezember 1967) vorgefundenen Arbeitsplatzstrukturen enthält Tafel 7. Dabei sind im Durchschnitt aller Betriebe jeweils pro Automatisierungsstufe der durchschnittliche Zeitanteil (ZAD), die kleinste (MI), häufigste (ME) und größte (MA) Arbeitswertgruppe des Maschinenbedieners und des Einrichters dargestellt.

Aufgrund der in den Betrieben vorhandenen Unterlagen konnten über den Personalbestand und insbesondere seine ins einzelne gehende Aufgliederung genaue Angaben nur für den Untersuchungszeitpunkt erfaßt werden. Wenn es im Laufe der Untersuchungen gelingt, einen hinreichend gesicherten Zusammenhang zwischen der Arbeitsplatzstruktur und dem Automatisierungsgrad festzustellen, so kann aus der jeweiligen Zusammensetzung des Maschinenparks auf den durchschnittlichen Bedarf an Arbeitskräften hinsichtlich Anzahl und Qualifikation geschlossen werden.

Im Betrieb 1 konnten Angaben nur für einige höher automatisierte Stufen beschafft werden. In den Betrieben 3 und 4 war lediglich zu erfahren, daß die Arbeitskräfte zu $\frac{2}{3}$ in Gruppe 5 und $\frac{1}{3}$ in Gruppe 6 eingestuft sind. An den NC-Maschinen befinden sich nur die Arbeiter an Kurvenfräsmaschinen und Koordinatenbohrwerken in Gruppe 6.

Der Streubereich in den Arbeitswertgruppen ist durch die unterschiedliche Bewertung der Arbeiten an verschiedenen Maschinengattungen derselben Stufe bedingt: Bohrwerksarbeiten werden im allgemeinen sehr viel höher bewertet als Dreh- und Fräsarbeiten. Wenn die Umrüstarbeiten von einem Einrichter übernommen werden, wird der Bedienungsmann — insbesondere in den Stufen 1 und 2 — mindestens eine Gruppe

tiefer eingestuft als es der Fall wäre, wenn er die Maschine selbst umrüstet.

Tafel 7:
Durchschnittliche Zeitanteile und Arbeitswertgruppen von Maschinenbedienern und Einrichtern der Betriebe 1 bis 8

Zeitanteile und Lohngruppen (Stand Dezember 1967)								
Stufe	Arbeiter				Einrichter			
	ZAD	MI	ME	MA	ZAD	MI	ME	MA
0	90,8	3	5	9	—	9	9	9
1	73,8	3	5	8	—	9	9	9
2	83,3	3	6	8	1,1	6	9	9
3	100,0	5	7	7	—	—	—	—
4	87,6	5	7	9	4,8	9	9	9
5	92,6	5	7	9	6,2	9	9	9
6	55,0	5	5	6	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—
8	80,9	5	6	6	—	—	—	—

Bezeichnungen:

ZAD durchschnittlicher Zeitanteil pro Stufe
MI kleinste
ME häufigste
MA größte } Arbeitswertgruppe pro Stufe

Bei NC-Maschinen liegen erst wenige Erfahrungen mit der Mehrmaschinenbedienung vor. In den meisten Fällen bereitet sie organisatorische Schwierigkeiten, da die dafür geeigneten Teile an beiden Maschinen gleichzeitig bereitliegen müssen. Dagegen war oft zu beobachten, daß neben der Maschinenbedienung Nebenarbeiten wie Voreinstellen von Werkzeugen, Signieren, Entgraten u. a. m. durchgeführt wurden.

Bei der Abschätzung des Bedarfs an Arbeitskräften ist grundsätzlich zu beachten, daß dieser — vor allem auch für den Mehrschichtbetrieb der Anlagen — sehr stark, wenn nicht gar ausschließlich, von der Auftragslage des Unternehmens abhängt.

Tafel 8 zeigt eine tabellarische Zusammenfassung der beobachteten weiteren Auswirkungen der NC-Maschinen (Stufen 3 bis 8) auf die Arbeitsplatzstrukturen zum Untersuchungszeitpunkt. Dabei hat sich die zu erwartende Verringerung des Anreiß- und Inspektionsaufwandes voll bestätigt. Im Falle des Betriebes 2 ist die relativ große Anzahl von Programmierern darauf zurückzuführen, daß diese auch zur Erstellung von Software (z. B. Postprozessoren) für die in diesem Betrieb hergestellten NC-Maschinen eingesetzt werden. Bemerkenswert ist der bisher noch gar nicht oder kaum zu Buche schlagende Mehraufwand für die Wartung der höher automatisierten Maschinen. Nur im Betrieb 2 wurden diese Maschinen regelmäßig gewartet. Im Betrieb 4 waren über einen Zeitraum von zwei Jahren genaue Aufzeichnungen über den Ausfall der

Tafel 8:

Tabellarische Zusammenfassung der weiteren Auswirkungen von NC-Maschinen auf die Arbeitsplatzstruktur

Be-trieb	Anreißen	Programmieren	Werkzeug-voreinstellung	Güteprüfung Inspektion	Wartung	Konstruktion
1	entfällt bei NC-Maschinen	3 Programmierer für 3 NC-Bohrwerke und 3 NC-Drehmaschinen; nur manuelle Programmierung	—	nur die ersten beiden Werkstücke gegenüber dem 1. 3. 10. und weiterer Stichproben bei konventioneller Fertigung	keine besondere Wartung für NC-Maschinen	noch keine Auswirkung
2	entfällt bei NC-Maschinen	12 Programmierer für 11 NC-Maschinen. Für 3 Maschinen maschinelle Programmierung. Zum Teil werden Programmierarbeiten für Kunden übernommen	2 Voreinsteller für 2 Bohrwerke 1 Maschinenzentrum	—	alle 3 Monate je etwa 10 Stunden Wartung der Steuerungen und der mechanischen Teile	enge Zusammenarbeit zwischen Programmierern und Konstrukteuren
3	entfällt bei NC-Maschinen	7 Programmierer für programmgesteuerte Drehmaschinen und 9 NC-Maschinen. 90 % der Arbeit entfällt auf NC-Maschinen. Maschinelles Programmieren geplant.	—	entfällt bei NC-Maschinen. Programmierer ist verantwortlich. Bisher nur 1 % Ausschuß	wie bei konventionellen Maschinen nach Bedarf	kaum Verbindung
4						
5	nur beim ersten Stück Gußprüfung; zukünftig nur NC-Meßmaschine	5 Programmierer für 16 NC-Maschinen	2 Voreinsteller für NC-Maschinen, nocken-gesteuerte Maschinen und Bohrwerke	nur das erste Stück	keine Änderung gegenüber bisheriger Wartung (nur nach Bedarf)	Bemaßungen dem Programmieren angepaßt
6	bleibt bei NC-Bohrwerken, sonst nur Gußkontrolle beim ersten Stück	3 Programmierer für 16 NC-Maschinen	2 Voreinsteller für Bohr- und Dreharbeiten. In einem weiteren Werk Voreinstellungen durch Vorarbeiter	bei NC-Bohrwerken wird jedes Stück kontrolliert, sonst nur Stichproben, also keine Änderung	bisher noch keine regelmäßige Wartung	gelegentliche Einflußnahme
7	entfällt bei NC-Maschinen	4 Programmierer für 5 NC-Maschinen + 3 Programmierer für software; maschinelle Programmierung geplant; Prüfhilfsmittel für manuelle Programmierung vorhanden	war schon vorher vorhanden; wurde für NC-Maschinen verstärkt angewandt	bisher kein Einfluß	Steuerungen werden durch Wartungsvertrag gewartet; leichte Defekte und Maschinen werden durch eigenes Personal repariert	Bemaßung an Programmierung angepaßt; genaue Aufspan- und Werkzeuganweisungen
8	—	—	—	—	—	—
9	entfällt bei NC-Maschinen	—	wird vom Maschinenbediener durchgeführt	Stichproben; werden vom Maschinenbediener vorgenommen	—	—
10	entfällt bei NC-Maschinen	1 Programmierer pro NC-Maschine	war schon vorher vorhanden; wurde für NC-Maschinen verstärkt angewandt	Stichproben; werden vom Maschinenbediener vorgenommen	Steuerungen und Maschinen werden nach Bedarf gewartet	bisher noch keine Auswirkungen

NC-Maschinen vorhanden; danach waren die Ausfallzeiten zu etwa 70 v. H. organisatorisch, d. h. wegen fehlender Werkzeuge, fehlender Aufträge, fehlender Lochstreifen, Krankheit u. a. m., und nur etwa zu 30 v. H. durch technische Mängel hauptsächlich an den Maschinen, weniger an den Steuerungen, bedingt. Auf die Werkstückkonstruktion hat die Einführung der NC-Maschinen bisher erstaunlich wenig

Rückwirkungen gezeigt. Lediglich die Bemaßung der Zeichnung wurde im allgemeinen programmiergerechter gestaltet. Eine rechnergestützte Konstruktion mit anschließender maschineller Lochstreifenherstellung konnte bisher nur in seltenen Einzelfällen (zum Beispiel bei Steuerkurven) festgestellt werden. Es ist aber zu erwarten, daß sich diese Situation in den nächsten Jahren wandeln wird [4].

Erläuterung der wichtigsten in diesem Bericht verwendeten technischen Begriffe

adaptive Regelung	Automatisch arbeitende Regeleinrichtung, die in der Lage ist, die in ihrem Zeitverhalten unbekannte Regelstrecke zu erkennen und deren Parameter fortwährend im Sinne einer Optimierung hinsichtlich eines vorgegebenen Gütekriteriums zu verändern.	NC-Maschine	(Abkürzung für engl. numerical control). Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, bei der die Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück durch die das Werkstück definierenden Maßzahlen gesteuert und ggf. auch Schaltvorgänge durch Befehle in numerischer Form ausgelöst werden.
analog	entsprechend, gleichsinnig abbildend	off-line (engl.)	Gerätetechnisch nicht gekoppelt (Gegensatz: on-line).
äußere Datenverarbeitung	Der Teil eines fertigungstechnischen Systems, der außerhalb der Informationsverarbeitung einer Werkzeugmaschine liegt. Sie umfaßt z. B. Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Programmieren, Codieren usw.	on-line (engl.)	Gerätetechnisch gekoppelt (Gegensatz: off-line).
Bahnsteuerung	Steuerung der Relativbewegungen von Werkzeug und Werkstück längs einer definierten Bahn beliebiger Form. Zwischen den Bewegungsabläufen in den verschiedenen Maschinenachrichtungen besteht ein ständiger Funktionszusammenhang.	Prozeßrechner	Digitales Datenverarbeitungssystem, dessen hard- und software für die Bedienung vieler Datenein- und -ausgabekanäle eingerichtet ist.
binär	Auswahlmöglichkeiten zwischen zwei einander ausschließenden Zuständen ganz allgemein, z. B. O, L.	Punktsteuerung	Steuerung der Relativbewegungen von Werkzeug und Werkstück auf einzelne, definierte Punkte (Positionierung). Das Werkzeug ist dabei nicht im Eingriff. Zwischen den Bewegungsabläufen in den verschiedenen Maschinenachrichtungen besteht kein Funktionszusammenhang.
codieren	1. Allgemein einen Code (= Zuordnungsvorschrift) benutzen; 2. speziell beim Programmieren von NC-Maschinen: Verschlüsselung eines klarschriftlichen Arbeitsplanes in Symbolkombinationen, die später in eine maschinell lesbare Schrift umgesetzt werden.	Schaltinformationen	Für den Bearbeitungsprozeß erforderliche Angaben über Drehzahl, Vorschub und dergleichen in numerischer Form.
dezimal	Verwendung der zehn Symbole 0 bis 9 für ein Zahlensystem, bei dem die Stellenwerte der einzelnen Ziffern nach ganzzahligen Potenzen von 10 geordnet sind.	software (engl.)	Die Gesamtheit aller Programme eines Datenverarbeitungssystems (Gegensatz: hardware).
digital	Ziffernmäßig, mit Ziffern und Zahlen arbeitend.	Streckensteuerung	Sonderfall zwischen Punktsteuerung und Bahnsteuerung. Die Bewegung des Maschinenschlittens erfolgt dabei achsparallel in jeweils nur einer Achse zwischen zwei definierten Punkten. Das Werkzeug ist dabei im Eingriff.
dual	Verwendung der beiden Symbole 0 und 1 für ein Zahlensystem, bei dem die Stellenwerte der einzelnen Ziffern nach ganzzahligen Potenzen von 2 geordnet sind.	Teilespektrum	Die Gesamtheit aller ein fertigungstechnisches System durchlaufenden Werkstücke. Kennzeichnende Größen sind die Zahl der Lose, die Losgrößen und die Vielgestaltigkeit der Werkstücke.
hardware (engl.)	Die Gesamtheit aller gerätetechnischen Einrichtungen eines Datenverarbeitungssystems (Gegensatz: software).	Vergleicher	Automatisch arbeitende Einrichtung, die zwei Eingangssignale miteinander vergleicht und ein daraus nach einem vorgeschriebenen Gesetz abgeleitetes Ausgangssignal abgibt.
Inneninterpolator	Automatisch arbeitendes Gerät der inneren Datenverarbeitung, das nach einem vorgegebenen mathematischen Gesetz zwischen grobschrittigen Kurvenstützpunkten mit hinreichender Genauigkeit Zwischenwerte ermittelt.	Weginformationen	Die die geometrische Form eines Werkstücks definierenden Längenmaße in numerischer Form.
Innere Datenverarbeitung	Der Teil eines fertigungstechnischen Systems, der die Informationsverarbeitung innerhalb einer Werkzeugmaschine umfaßt.	Wegmeßsystem	Baugruppe der inneren Datenverarbeitung von Werkzeugmaschinen, die der automatischen Ermittlung der jeweiligen Schlittenpositionen zur Rückführung an den Vergleicher dient.

Literaturverzeichnis:

- [1] *Simon, W.:* Grundzüge einer Systemtheorie der industriellen Produktion. Analysen — Modellansätze — erste Konsequenzen. Interdisziplinäre Sonder-Vorlesungsreihe an der TU Berlin im Rahmen der Fortgeschrittenen-Studienkurse „Kybernetik-Adaptive und lernende Systeme“. November 1966
- [2] DIN 19 226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Begriffe und Benennungen, Mai 1968
- [3] *Simon, W.:* On the Change in Premises Conditioning Investment Decisions Due to the Influence of Integrated Data-Treatment in the Metal-Working-Industry. Summary Report, Third Training Seminar for Senior Staff of National Productivity Centres. RKW-Frankfurt/M., June 1967
- [4] *Simon, Spur, Stute (Hrsg.):* Fortschritte der Fertigungstechnik auf Werkzeugmaschinen, Bd. 1: Produktivitätsverbesserungen mit NC-Maschinen und Computern. Investitionsentscheidungen im Rahmen der Beschaffung neuzeitlicher Fertigungsmittel, Hanser-Verlag, München, 1969
- [5] *Fidrich, P.:* Vorschläge zur Anwendung eines normierten Maschinenstundensatzes für Kostenvergleiche bei Werkzeugmaschinen. Rationalisierung, 17 (1966) 12
- [6] INFRATEST-CMP: Der Einsatz numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der BRD einschl. Westberlin, Dezember 1967
- [7] RKW-Bericht A 30: Bericht einer Studienreise nach Amerika 1963, Beuth-Vertrieb, Berlin
- [8] *Stehle, P.:* Eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsrechnung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Diss. TH Aachen, 1966
- [9] *Machol, R. E.:* System Engineering Handbook, McCraw Hill, New York, 1965
- [10] *Sellien, R. (Hrsg.):* Dr. Gablers Wirtschaftslexikon, 7. Auflage, Wiesbaden, 1967
- [11] VDMA: Statistisches Handbuch für den Maschinenbau, Ausgabe 1968