Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 33/34

Artikel: Technische Möglichkeiten zur Automatisierung der Fertigung
Autor: Spur, Günter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73434

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Technische Möglichkeiten zur Automatisierung der Fertigung

Von **Günter Spur**, Berlin*)

Industrielle Produktionstechnik

Die industrielle Produktionstechnik lässt sich in drei Hauptgebiete gliedern, die Energietechnik, die Verfahrenstechnik und die Fertigungstechnik (Bild 1).

Energietechnik umfasst die unmittelbare Nutzung natürlicher physikalischer Energien und die Umwandlung der Energiearten ineinander. Dabei ist der *Fliessprozess* vorherrschend.

Verfahrenstechnik ist die Erzeugung und Umwandlung von Stoffen mit definierten chemischen und physikalischen Eigenschaften aber ohne definierte geometrische Form. *Fliessgut und Fliessprozess* sind auch hier vorherrschend.

Fertigungstechnik heisst die Herstellung von Werkstükken aus vorgegebenem Stoff nach vorgegebenen geometrischen Bestimmungsgrössen und das Fügen der Werkstücke zu funktionsfähigen Erzeugnissen. Hierbei sind *Stückgut und Stückprozess* vorherrschend.

Informationstechnik und *Fördertechnik* werden als *Hilfstechniken* bezeichnet [1].

Die Geschichte der Fertigungstechnik ist so alt wie die Geschichte der Menschen, aber erst die industrielle Entwicklung am Ende des 19. Jahrhunderts gab den Anstoss, die Fertigungstechnik mit wissenschaftlicher Methodik aufzubauen. *Johann Beckmann* (1739–1811) gilt als *Begründer der technologischen Wissenschaft*. Von ihm wurde 1769 der *Begriff «Technologie»* für die Summe der Kenntnisse eingeführt, die sich auf die gewerbliche Arbeit beziehen. *Frederick Winslow Taylor* (1856–1915) schuf um 1900 den Begriff *«Betriebswissenschaft»*. Damit wurde die «Meisterwirtschaft» durch eine Betriebsführung aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse ersetzt. Durch Einführung der *Zeitstudie*, des *Differentiallohnsystems* und durch die Entwicklung des *Schnellarbeitsstahls* hat Taylor die Entwicklung der Fertigungstechnik wesentlich beeinflusst. *Henry Ford* (1863–1947) gilt als Vorkämpfer der *Typisierung* und *Massenfertigung*. Als Grundsätze einer Betriebsführung forderte er:

1. Fertigung eines einzigen Produktes in wenigen Ausführungsformen,
2. Senkung der Preise bei Steigerung der Löhne zur Erhöhung des Absatzes,
3. Investition der Erträge im Sinne einer Verbesserung des Produktes,
4. höchstmögliche Rationalisierung der Fertigung (Fliessfertigung, Automatisierung).

Zusammenfassend kann man sagen: Unter Fertigung ist die technologisch betriebene Erzeugung von geometrisch bestimmten Fertigprodukten zu verstehen, ein von Menschen organisierter und betriebener Prozess der Wertschöpfung. Die Bedingungen hierfür sind klar definiert. Die Produkte müssen in der erforderlichen Qualität, in möglichst kurzer Zeit, zu möglichst niedrigen Kosten und in ausreichender Menge geliefert werden.

Flexible Automatisierung

Ein Rundblick auf den internationalen Entwicklungstrend der Produktionstechnik zeigt eine weltweite Übereinstimmung darin, dass ein *Wandlungsprozess* in der *Gestaltung und Steuerung von Produktionsprozessen* eingesetzt hat. Das hervorragende Merkmal dieser Tendenz ist die Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik und ihre Anpassung an unterschiedliche Produktionsstrukturen.

Unter *Automatisierung industrieller Produktionsprozesse* sind alle organisatorischen und technologischen Massnahmen zu verstehen, die den arbeitenden Menschen von der zeitlichen Bindung an den Arbeitstakt maschineller Produktionsmittel und damit von der Ausführung ständig wiederkehrender gleichartiger Arbeitsverrichtungen befreien. Unter dem Gesichtspunkt der *Minimierung sozialer Folgekosten der Produktion* werden zunehmend die Humanisierung der menschlichen Arbeit und die Vermeidung von Störwirkungen auf die Umwelt bestimmend für die Entwicklung automatischer Fertigung. Die Kriterien der *wirtschaftlichen* und *technologischen Leistungsfähigkeit* sind dabei weiterhin von entscheidender Bedeutung.

Automatisierung war in früheren Jahrzehnten an grosse Stückzahlen der Massenfertigung geknüpft. Die Automatisierung bei der Gross-Serienfertigung standardisierter Produkte hat einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Der steigenden Nachfrage nach anwendungsspezifischen Produkten entspricht die wachsende Bedeutung der Kleinserienfertigung. In diesem Bereich wird die Automatisierung durch die Verwendung *numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen* (NC-Maschinen) als Bearbeitungsstationen und die Organisation des Fertigungsprozesses über elektronische Datenverarbeitungsanlagen [2] gekennzeichnet. Die rasch wechselnden Bearbeitungsaufgaben in der Kleinserienfertigung führen zu der Forderung nach *«flexibler Automatisierung»* im Gegensatz zur *«starren Automatisierung»* in der Massenfertigung.

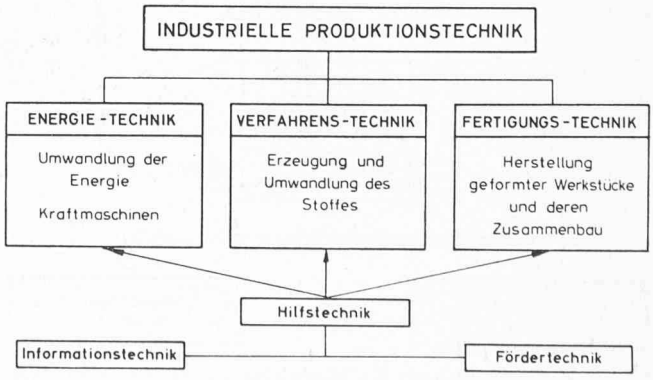


Bild 1. Gliederung der industriellen Produktionstechnik

* Vortrag vor dem Ausschuss für «Angewandte Forschung» der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn.

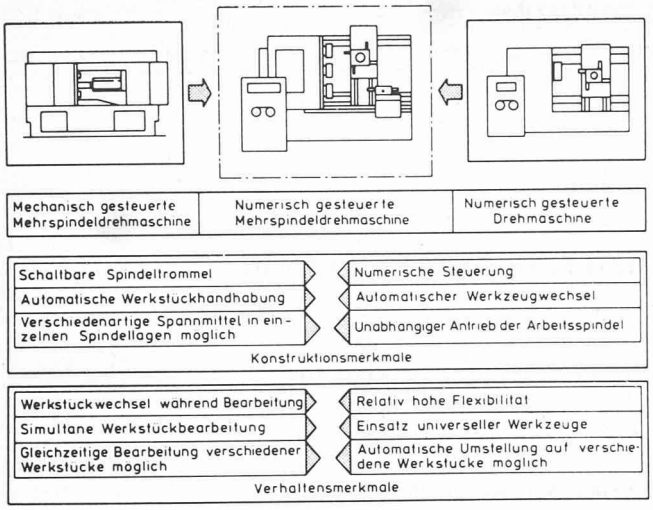


Bild 2. Integration verschiedener Konstruktionsmerkmale bei der Entwicklung von NC-Mehrspindeldrehmaschinen

Im Bereich der Werkzeugmaschinen findet die «starre Automatisierung» eine hochentwickelte Ausprägung in der mechanisch gesteuerten Mehrspindeldrehmaschine. Bei diesem Maschinentyp wird durch die zeitliche Parallelschaltung von Arbeitsoperationen eine erhebliche Verkürzung der Stückzeiten erzielt. Es gilt, diese hohe technologische Leistungsfähigkeit mit der hohen Flexibilität numerischer Steuerungen zu kombinieren [3]. Aus den veränderten Marktanforderungen kann die Notwendigkeit abgeleitet werden, die bestehenden Mehrspindler mit mechanischer Steuerung zu Systemen mit höherer Flexibilität weiter zu entwickeln. Dies führt einerseits zur Verwendung kurvenloser Steuerungen, vorzugsweise zu Lösungen mit numerischen Datenträgern und zum Einsatz von *frei programmierbaren Steuerungen* (CNC). Andererseits ist der Arbeitsraum mit den werkstück- und werkzeugbezogenen Baugruppen den veränderten Anforderungen und Möglichkeiten eines derartigen Maschinenkonzeptes anzupassen.

Bei der Konzipierung numerisch gesteuerter Mehrspindeldrehmaschinen ist der Entwicklungsstand derartiger Maschinen mit mechanischer Steuerung einerseits und einspindliger NC-Drehmaschinen andererseits zu berücksichtigen (Bild 2). Mit dem Beginn dieser Entwicklung sind zwangsläufig erste Lösungen vorgestellt worden, die sich aus der Zusammenführung an sich bekannter Prinzipien bei den gegensätzlichen Maschinentypen ergeben.

Im allgemeinen hat die flexibel automatisierte Fertigung kleiner Losgrössen eine geringere Produktivität als die starr automatisierte Massenfertigung. Unter Berücksichtigung des jeweiligen Werkstückspektrums muss eine Werkzeugmaschine deshalb nur so flexibel wie nötig, aber so kostengünstig wie möglich automatisiert werden. Die allgemeine Entwicklung geht dahin, technologisch hochentwickelte, aber starr automatisierte konventionelle Werkzeugmaschinen mit grösserer Flexibilität und flexibel automatisierte NC-Maschinen mit höherer Produktivität zu versehen.

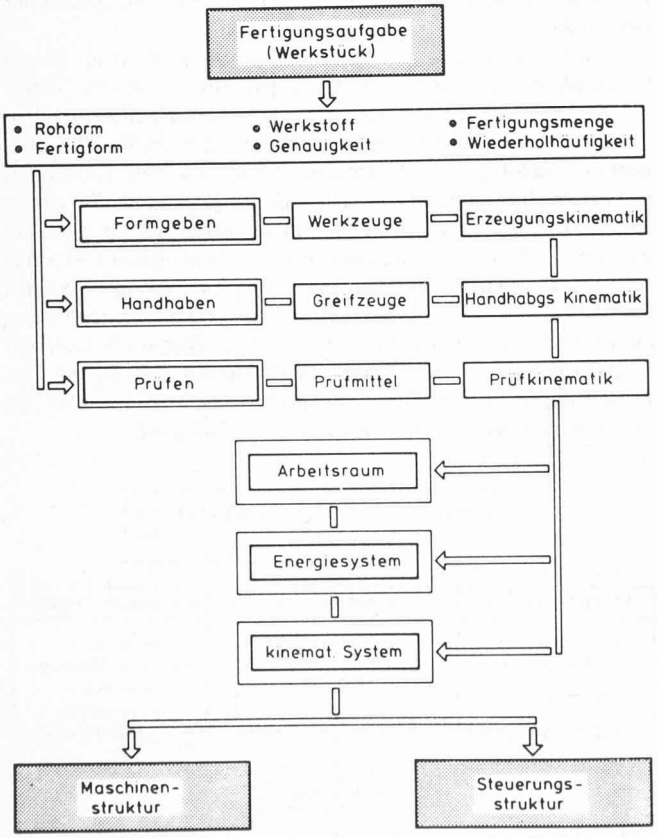


Bild 3. Konstruktionslogik für Werkzeugmaschinen mit vergrösserter Automatisierungstiefe

Erweitertes Anforderungsprofil

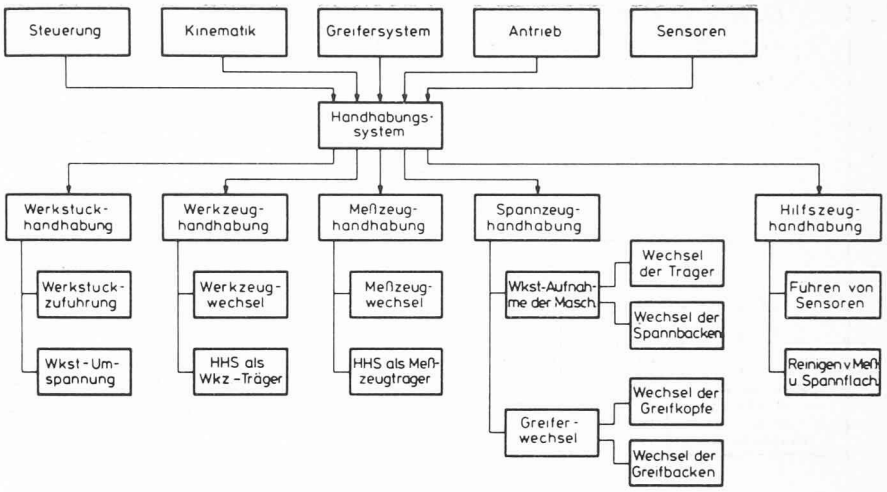
Die bisher erläuterten Entwicklungen beschränken sich meist auf die Lösung von Einzelproblemen im Fertigungsbereich und führen so zu *Automatisierungsinseln* im Betrieb. Die zukünftige Aufgabe ist es deshalb, die Automatisierung der Teilbereiche unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten weiter zu entwickeln. So wird z.B. für die technische Entwicklung der 80er Jahre prognostiziert, dass etwa 50% aller neuen Werkzeugmaschinen in Fertigungssystemen integriert sein werden. Der Anteil numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen wird 50% der Werkzeugmaschinenproduktion betragen [4].

Es wird zukünftig zu berücksichtigen sein, dass sich das Anwendungsfeld der Automatisierung erweitert. Nicht nur die Formgebung der Werkstücke, sondern auch das Handhaben und Transportieren sowie das Messen und Prüfen der Teile wird in den Funktionsbereich einer Werkzeugmaschine einbezogen. Die aus einer solchen Erweiterung der Fertigungsaufgabe abzuleitende *Konstruktionslogik für automatisierte Werkzeugmaschinen* ist in Bild 3 dargestellt worden. Man könnte die Tendenz auch als Vergrösserung der Automatisierungstiefe ausdrücken.

Handhabung

Im Bereich der flexiblen Handhabung von Teilen hat in den letzten Jahren eine Entwicklung eingesetzt, *frei programmierbare Handhabungsmaschinen* zu bauen, die mit dem Begriff *«Industrieroboter»* gekennzeichnet werden. Handhabungsgeräte werden in der Massenfertigung als Einzweck-Maschinen mit starrer Programmierung bereits erfolgreich verwendet. Schwieriger ist ihre Anwendung in der Kleinserienfertigung, wo eine hohe Flexibilität zusätzlich erforderlich ist. Hier sind noch viele grundlegende Probleme zu lösen, wie z.B. die Lageerkennung von Körpern durch geeignete Sensoren, die Sicherheit und Zuverlässigkeit beim Greifen, die Anpassung der Steuerung an die jeweiligen Aufgaben sowie ihre Eingliederung in die Maschinenstruktur. Hiermit sind Forschungsaufgaben angesprochen, die sowohl unter dem Gesichtspunkt der *Humanisierung* als auch im Hinblick auf *Produktivitätssteigerung* eine verstärkte Förderung verdienen. Von 8000 weltweit in der Produktion verwendeten Industrierobotern befinden sich etwa 850 in Europa und rund 135 in Deutschland [5]. An diesen Zahlen wird die *technolo-*

Bild 4. Baugruppen eines Handhabungssystems und dessen Aufgaben in einer flexiblen Fertigungszelle



gische Lücke deutlich, die es im Interesse der internationalen Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie zu schliessen gilt.

Neben der Zu- und Abfuhr der Werkstücke umfasst der Materialfluss an einer Werkzeugmaschine auch die Förderung der Späne und die Handhabung der Werkzeuge. Zwischen der Werkstück- und der Werkzeughandhabung bestehen Gemeinsamkeiten. In beiden Fällen wird an die Geräte die Aufgabe gestellt, geometrisch definierte Gebilde zu speichern und zwischen vorgegebenen Raumpunkten zu transferieren. Andererseits ergeben sich aufgrund der spezifischen Aufgabenkomplexe unterschiedliche Anforderungen an die Systeme.

Betrachtet man bei flexibler Fertigung die *Gestalt* der zu handhabenden Elemente, so ergeben sich die in Bild 4 dargestellten Baugruppen eines Handhabungssystems. Während bei den Werkzeugen systemseitig gleiche Formen die Gestaltung der erforderlichen Handhabungseinrichtung erleichtern, sind bei den Werkstücken systemseitig zumeist unterschiedliche Formen gegeben.

Automatisierte Fertigungszellen

Im Blick auf die *Realisierungsmöglichkeiten* einer integrierten automatischen Produktionsstruktur mit hoher Flexibilität werden *zwei Aufgabenstellungen* deutlich:

1. Es müssen geeignete Produktionsmittel vorhanden sein, die jeweils die Grundfunktionen einer Produktionsstruktur automatisch und flexibel vollziehen. Dies sind Formgeben, Fördern und Lagern, Handhaben, Prüfen, Ordnen und Montieren, also auch solche Funktionen, die unter dem Oberbegriff des Materialflusses zusammenzufassen sind.

2. Der materielle Funktionsablauf muss nach vorgegebenen Programmen eine örtlich-zeitliche Zuordnung durch den der Fertigungsplanung entsprechenden Informationsfluss erfahren.

Automatisierung setzt die Entwicklung geeigneter Produktionssysteme *und* die Entwicklung geeigneter Informationssysteme voraus. Automatische Produktion beinhaltet somit auch die automatische Informationsversorgung der Produktionsmittel nach vorgegebenen Programmen im Rahmen einer integrierten Datenverarbeitung.

Wir könnten von einer *automatischen Fabrik* sprechen und meinen damit eine *integrierte Automatisierung der gesamten Produktion*, deren *Baustein die automatisierte Fertigungszelle* darstellt und deren *Funktionsablauf über ein System der Fertigungsregelung mit Hilfe einer Prozessrechnerhierarchie* geführt wird. Die integrierte Datenverarbeitung wandelt unsere Fabrik um in ein System technologisch verknüpfter automatisierter Fertigungszellen, in dem auch der Materialfluss zu einem integrierenden Faktor des Ganzen wird.

Im Bild 5 ist ein Blockschaltbild einer flexiblen Fertigungszelle dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sowohl das Handhabungssystem als auch das Messsystem mit der Werkzeugmaschine integriert sind und ein gemeinsames Steuerungs- und Überwachungssystem benutzt wird. Zur autonomen Funktion der Fertigungszelle gehörten die Werkstoff-, Werkzeug-, Messzeug-, Spannzeug- und Hilfszeugbereitstellung, die Handhabung sowie die Ausgabe der Produkte, Abfallstoffe und Hilfsstoffe. Daneben ist es wesentlich, Messsysteme und Sensoren zur Betriebsdatenerfassung für den automatischen Ablauf zu integrieren. Die Sensoren überwachen fortlaufend alle Maschinenfunktionen und melden alle Störungen an das Steuerungssystem. Störungen können hier Maschinenüberlastung, Schmierstoffmangel u.ä., aber auch Werkzeugverschleiss oder Werkzeugbruch sein. Zu den Aufgaben des Prüfsystems gehört vor allem das Messen der Werkstücke, möglichst in der Bearbeitungsaufspannung. Das Messergebnis wird dem Steuerungssystem gemeldet, das die notwendige Korrekturrechnung durchführt und die Sollwertvorgaben im Speicher der NC-Maschinensteuerung beeinflusst.

Die *ideale* flexible Fertigungszelle sollte in der Kleinserienfertigung im dreischichtigen Betrieb verwendet werden und mindestens acht Stunden ohne menschlichen Eingriff arbeiten können.

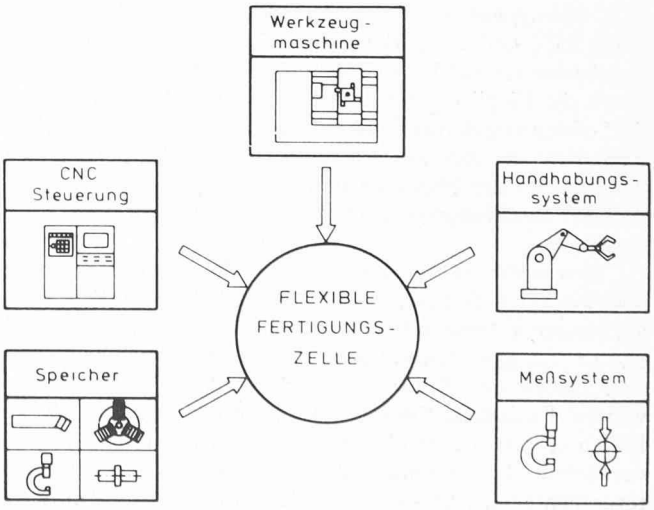
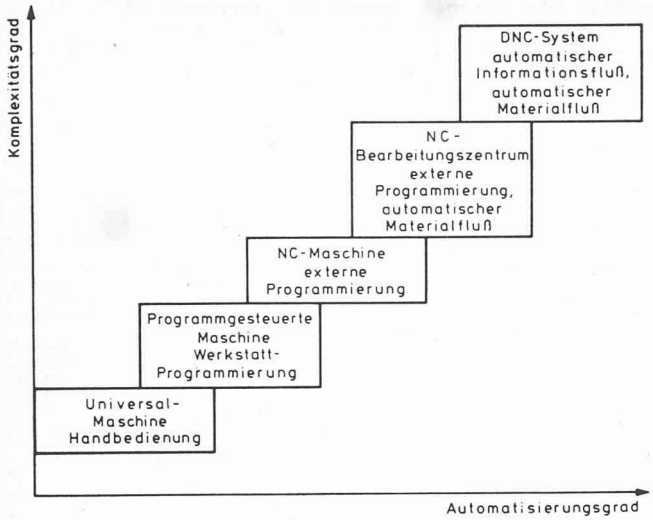


Bild 5. Komponenten der flexiblen Fertigungszelle



Bid 6. Verschiedene Strukturen von flexibel programmierbaren Fertigungssystemen

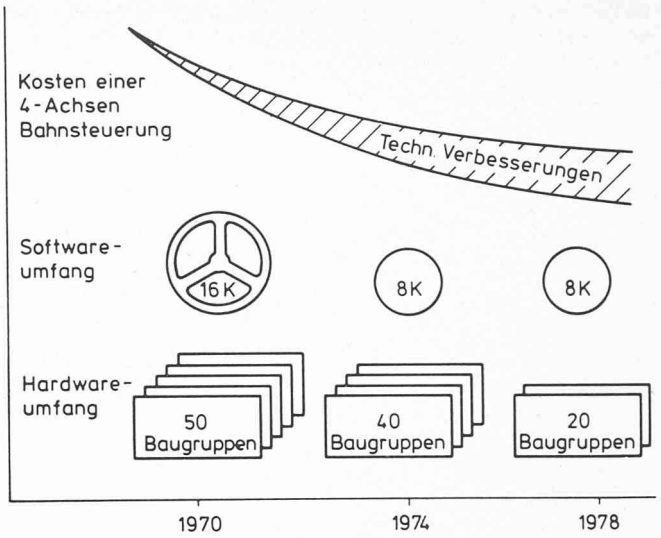


Bild 7. Entwicklung bei rechnerintegrierten Steuerungen

Adaptive Regelung

Die Nutzung der vollen Leistungsfähigkeit einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine ist in der Praxis häufig nicht möglich, weil unvorhersehbare Schwankungen der Rohteilabmessungen und Schwankungen der Eigenschaften von Werkstoff und Schneidstoff die Vorgabe von Sicherheitsreserven erfordern. Erst durch die Entwicklung und Anwendung adaptiver Regelungssysteme an Werkzeugmaschinen konnte eine prozessbegleitende Anpassung der Einstellgrössen an den aktuellen Prozesszustand erreicht werden.

Die Einführung technologischer *Grenzregelungssysteme* ermöglicht eine weitere Steigerung des Automatisierungsgrades im Blick auf eine wirtschaftliche Werkstückbearbeitung. Einfache Grenzregelungen können die volle Auslastung einer Werkzeugmaschine unter gleichzeitiger Verkürzung der Haupt- und Nebenzeiten bewirken. Für die Erfassung der schwankenden Prozessgrössen Drehmoment und Schnittkraft stehen erprobte und betriebssichere Sensoren zur Verfügung, mit denen während der genannten Prozessregelung gleichzeitig auch eine Überwachung von unvorhersehbaren Störungen wie Prozessinstabilität und Werkzeugbruch möglich ist. In den letzten Jahren sind mehrere Grenzregelungssysteme entwickelt worden, die zumeist als Hardwarezusätze für NC-Steuerungen an Fräs- und Drehmaschinen in analoger Bauweise ausgeführt waren.

Die *Hauptzeiteinsparungen* liegen im allgemeinen bei der *ACC-Schruppbearbeitung von geschmiedeten Rohteilen* zwischen 15% und 30%. Eine wesentliche *Senkung der Investitionskosten* für solche ACC-Systeme wurde in neuester Zeit durch die Eingliederung der gesamten Regelungsstrategie in die Software moderner rechnerintegrierter Steuerungen (CNC) ermöglicht, so dass ausser der Installation der notwendigen Sensoren an der Maschine und ihrer Anpassung an den jeweiligen Steuerungstyp keine weitere ACC-Hardware erforderlich ist.

Erweiterte ACC-Ausbaustufen in Verbindung mit rechnerintegrierten Steuerungen nehmen bei grossen Werkstückaufmassen automatisch eine Schnittzerlegung bis zur Endkontur bei gleichzeitiger Auslastung der Maschinenleistung vor. Neben den Einsparungen durch Hauptzeitverkürzung werden durch diese Systeme erhebliche Programmerstellungskosten eingespart, da als NC-Programm nur die Endkontur der Schruppbearbeitung und die technologischen Daten erforderlich sind. *ACC-Systeme sind erprobt* und werden in der Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Prozessregelungssysteme höherer Ausbaustufe haben das Ziel, den Prozess so zu führen, dass die Bearbeitung bei minimalen Fertigungskosten oder in der kürzesten Bearbeitungszeit erfolgt. Diese *Optimierregelungssysteme* berücksichtigen die Lohn- und Maschinenstundensätze, Maschinendaten sowie den aktuellen Verschleisszustand des Werkzeuges und sind deshalb nur in Verbindung mit rechnergesteuerten Anlagen (CNC-, DNC-) zu realisieren. Darüber hinaus gewinnen Regelungssysteme an Bedeutung, die während der Feinbearbeitung *Masshaltigkeit* und *Oberflächengüte zur Sicherung der Produktqualität* überwachen und regeln (GAC-Systeme).

Steuerungstechnik

Da die Fortschritte der Automatisierungstechnik in der Kleinserienfertigung in starkem Masse geprägt sind durch die Entwicklung der Steuerungstechnik, sollen die Entwicklungstendenzen in diesem Bereich angedeutet werden.

Die NC-Technik hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten von der Anfangsphase einer blossen Zuordnung eines Steuerungssystems zur bestehenden Werkzeugmaschine bis zu einer *strukturbildenden Prägungskomponente neuartiger komplexer Fertigungssysteme* entwickelt. Für die Beurteilung alternativer Systemkonzepte ergibt sich aus der *Koppelung von Komplexität und Automatisierungsgrad* eine *wichtige Kenngrösse*. Bild 6 zeigt verschiedene Strukturen von flexibel programmierbaren Fertigungssystemen in einem Zuordnungsvergleich, der durch die Parameter Komplexitätsgrad und Automatisierungsgrad bestimmt wird. Unter *Komplexitätsgrad* wird dabei eine Kenngrösse verstanden, die den Umfang der Steuerungsfunktionen, den Grad der Verknüpfung von Funktionen untereinander und nach aussen sowie den Aufwand zur Fertigungsführung ausdrückt.

Seit der Entwicklung der ersten numerischen Steuerung in den fünfziger Jahren wurde diese Steuerungsart über mehrere Stufen ständig weiterentwickelt. Nach den ersten NC-Steuerungen in Relaistechnik übernahmen *Transistoren*, dann *integrierte Schaltkreise* und jetzt *Minicomputer* die immer umfangreicheren Steuerungsaufgaben für die Werkzeugmaschinen. Jede der genannten Entwicklungsstufen brachte neue technische Anwendungen, die vorher nicht oder zum Teil nur mit erheblichem technischen Aufwand möglich gewesen wären.

Rechnerintegrierte NC-Steuerungen werden im allgemeinen Sprachgebrauch *CNC-Steuerungen* genannt (Computer-

ized *N*umerical *C*ontrol). Will man das unterscheidende Merkmal zur festverdrahteten NC-Steuerung besonders hervorheben, so bezeichnet man mit CNC eine NC-Steuerung, die in einem programmierbaren Speicher die charakteristischen Eigenschaften der Steuerung enthält. Die grossen Werkzeugmaschinenausstellungen der letzten Jahre liessen die Tendenz erkennen, dass sich in Zukunft der Anteil rechnerintegrierter Steuerungssysteme für NC-Werkzeugmaschinen wesentlich erhöhen wird. Auf der Werkzeugmaschinenausstellung 1975 in *Paris* waren bereits etwa 40% der ausgestellten NC-Steuerungen rechnerintegriert (CNC-Steurungen).

Technisch einfache CNC-Steuerungen sind gegenwärtig noch teurer als entsprechende Hardware-Steuerungen. Mit steigendem Komplexitätsgrad werden CNC-Steuerungen kostengünstiger, da sie durch Software-Ergänzungen angepasst werden können. Durch ihre hohe Flexibilität, die zusätzliche Speichermöglichkeit, die Bedienungs- und Wartungsfreundlichkeit, die Verwendung von standardisierten Ein-/Ausgabegeräten sowie die Überwachung der Steuerung und der Maschine durch Abfragen des Betriebszustandes wird eine Erhöhung der Produktivität erreicht.

In den ersten CNC-Steuerungen wurden viele bewährte und standardisierte Hardware-Baugruppen weiterhin verwendet (Bild 7). Die Weiterentwicklung hat zu völlig *neuen Steuerungssystemen* geführt. Bis auf die nach wie vor erforderlichen Ausgangsverstärker und Analog/digital-Wandler für die Messsysteme wurden die Funktionen fast sämtlicher Hardware-Logikgruppen in den CNC-Rechner und damit in das Betriebsprogramm verlagert. Welche Funktionen von der Software wahrgenommen und welche festverdrahtet werden sollen, hängt von der Rechengeschwindigkeit des integrierten Kleinrechners und der Speicherkapazität ab [6].

Weitere Entwicklungen im Fertigungsbereich betreffen das Gebiet der *programmierbaren Steuerungen* (PC = *P*rogrammable *C*ontroller). Die für den Arbeitsablauf benötigten Verknüpfungen sind in einen Programmspeicher eingegeben, wodurch eine hohe Flexibilität möglich wird. Als Programmspeicher finden neben *fädelbaren Kernspeichern* und *Kernspeichern in Schreib-Lese-Ausführung* auch *programmierbare Halbleiterspeicher* Anwendung. Das Konzept dieser Steuerungen, bestehend aus Programmspeicher, Steuerwerk, Verknüpfungselementen und Ein-/Ausgabe-Bausteinen, ist der Struktur von Rechnern sehr ähnlich. In neuerer Zeit sind Entwicklungen mit *integrierten Kleinrechnern* für die Steuerung von Fertigungseinrichtungen vorgestellt und praktisch erprobt worden, bei denen die bislang eingesetzte Relais-Schützensteuerung ersetzt wurde. Als Vorteile der programmierbaren Steuerungen sind schnelle Projektierungszeit, einfache Programmierung, leichte Veränderbarkeit des Steuerprogramms und die Möglichkeit einer schnellen Fehlerdiagnose durch Prüfprogramme zu nennen.

Die jüngste Entwicklung auf dem Gebiet der Rechner ist der *Mikroprozessor*, der die wesentlichen Funktionen eines Rechners in einigen wenigen integrierten Schaltkreisen oder auch in einem einzigen vereinigt. Grundsätzlich lassen sich Steuerungsaufgaben mit Hilfe von Mikroprozessoren in der gleichen Art lösen wie mit Kleinrechnern, wobei es bei umfangreichen Steuerungen sinnvoll ist, ein hierarchisch gegliedertes System aus mehreren Mikroprozessoren zu verwenden, in dem das übergeordnete Element auch ein Prozessrechner sein kann. Eine solche Steuerung kann als *Mehrprozessorensystem*, gekoppelt über eine gemeinsame Sammelleitung, oder als ein Verbund von selbständigen Zentraleinheiten, die über Peripherieleitungen korrespondieren, aufgebaut werden. In der einfachsten Ausführung ist es jedoch möglich, einen Mikroprozessor als Leitwerk für eine programmierbare Steuerung zu verwenden [7].

Automatisierung des gesamten Fertigungsablaufs

Die dargestellten Steuerungskomponenten müssen im Rahmen einer Automatisierung des gesamten Fertigungsablaufs integriert werden. In der Systemtechnik werden zwei Forderungen an einen zu steuernden bzw. zu regelnden Prozess gestellt [8]:

1. Der Prozess muss *beobachtbar* sein, d.h. der jeweilige Zustand des Prozesses muss sich aus Messgrössen und Meldungen erfassen lassen, um eine genaue Kenntnis vom aktuellen Prozessablauf zu erhalten.

2. Der Prozess muss *steuerbar* sein, d.h. der Prozessablauf muss durch die massgeblichen Stellgrössen ein vorgegebenes Ziel erreichen können.

Der innerbetriebliche Informationsfluss ist beim nicht automatisierten Betrieb durch umlaufende Belege gekennzeichnet. Die geforderte hohe Flexibilität ist nicht gewährleistet, die Transparenz des Betriebsgeschehens sehr gering, so dass Störungen im Fertigungsablauf erst spät erkannt und von der Fertigungssteuerung berücksichtigt werden können. Deshalb muss ein *innerbetriebliches Informations- und Lenkungssystem* geschaffen werden, das aktuelle Betriebsdaten erfasst, verarbeitet, verwaltet, verteilt und zusätzlich die betroffenen Betriebsbereiche miteinander verknüpft. Diese umfangreiche Aufgabenstellung ist nur unter Einbeziehung von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen lösbar, wobei den unterschiedlichen Anforderungen an das Zeitverhalten Rechnung zu tragen ist. Sind für die Planungsaufgaben noch zentrale Grossrechner geeignet, so werden für Steuerungsaufgaben im Fertigungsprozess dezentral angeordnete Kleinrechner mit Echtzeitverhalten erforderlich. Den Anforderungen am besten angepasst ist ein hierarchisch gegliederter Aufbau miteinander korrespondierender Rechner, denen einzelne Aufgabenbereiche optimal zugeordnet werden können.

In diese Informations- und Lenkungssysteme müssen bestehende Steuerungssysteme, z.B. die NC-Steuerungen vorhandener Werkzeugmaschinen, integriert werden. Durch die Integrationsmöglichkeit vorhandener Bausteine in hierarchische Systeme lässt sich das Investitionsrisiko vermindern, da die Investitionen über einen grösseren Zeitraum verteilt werden können. Selbst kleinere Unternehmen können schrittweise die Automatisierung und Rationalisierung der Einzel- und Kleinserienfertigung vorantreiben.

Die dezentrale, arbeitsplatzorientierte Datenverarbeitung, die Anpassung der Gerätekonfiguration und in steigendem Masse der Programmtechnik an anwendungsspezifische Aufgaben ist durch die ungewöhnliche Leistungssteigerung von Kleinrechnern möglich geworden. Sie können sowohl in ihrer ursprünglichen Funktion als selbständige Rechner wie auch als intelligente Teilsysteme (zum Beispiel als Endgeräte) von grösseren Konfigurationen verwendet werden. Schon die rein quantitative Entwicklung des Prozessrechnermarktes ist beeindruckend. Im Zeitraum von Mitte 1972 bis Mitte 1974 erhöhte sich der Bestand von installierten Prozessrechnern in der Bundesrepublik Deutschland von 3212 auf 6989 Anlagen, entsprechend einer jährlichen Wachstumsrate der Stückzahl von etwa 45–50%. Am 1.1.1975 waren 8400 Prozessrechner im Einsatz. Im gleichen Zeitraum ist der Durchschnittswert der ausgelieferten Prozessrechner kontinuierlich gesunken, was insbesondere auf die hohen Absatzzahlen der kleinen Rechner zurückzuführen ist.

Trotz der relativ hohen Zahl von installierten Rechnern sind viele Bereiche für die Datenverarbeitungs-Anwendung bei der Prozesslenkung noch überhaupt nicht oder nur teilweise erschlossen. Die verwendeten Rechner werden in vielen Fällen nur zur Messdatenerfassung und -überwachung verwendet, während mit der eigentlichen Prozessführung erst begonnen wird.

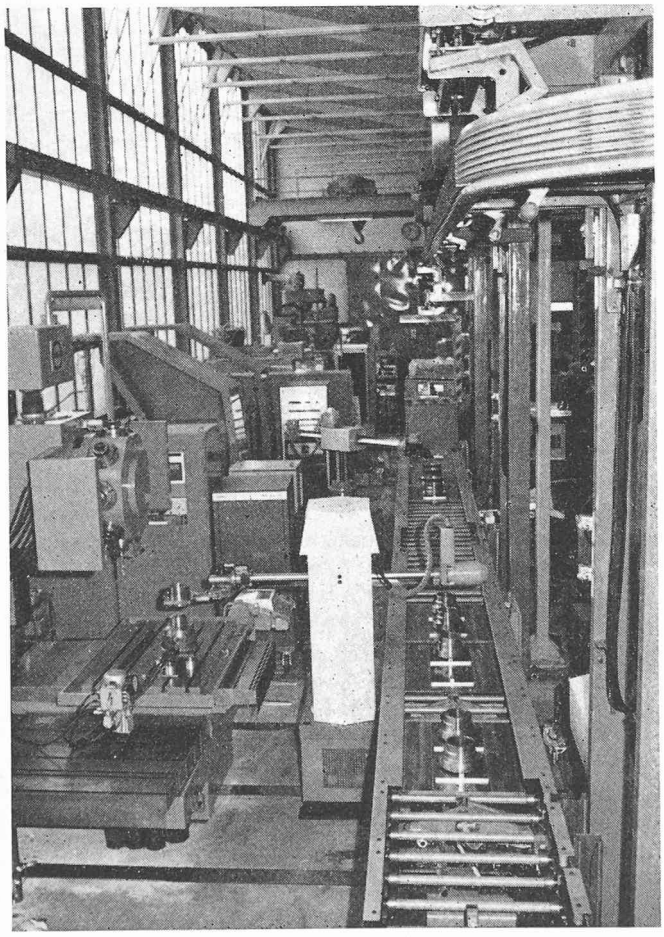
Ein *Mangel an Software* verhindert gegenwärtig noch die breite Erschliessung der Datenverarbeitungs-Anwendung zur Prozessführung. Es bereitet grosse Schwierigkeiten, zuverlässige portable Software für die Prozess-Rechner-Hardware zu angemessenen Kosten zu produzieren. Es fehlen geeignete Implementierungsverfahren, zuverlässige System- und Integrationstests. Es fehlen methodische und in der Praxis erprobte systematische Entwurfsverfahren zur praktischen Realisierung von Anwendungssystemen [9]. Für die anwendungsbezogene Forschung ergibt sich hier eine Fülle von Aufgaben.

Flexibles Fertigungssystem

Im Rahmen des 2. DV-Programms der Bundesregierung wird am *Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik* an der *Technischen Universität Berlin* ein flexibles Fertigungssystem zur *Bearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke* aufgebaut (Bild 8). Eine Drehmaschine und eine Einständer-Koordinatenbohrmaschine werden über zwei Handhabungsgeräte automatisch beschickt. Der Werkstücktransport erfolgt in ungespanntem Zustand auf Paletten, und zwar über eine Treibrollenbahn im maschinennahen Bereich in Produktionsebene und über ein Einschienenhängebahnsystem im maschinenfernen Bereich in einer 2. Ebene oberhalb der Produktionsebene. Hängebahn und Treibrollenbahn sind durch drei Hub- und Senkstationen miteinander verbunden [10].

Grundlage des Steuerungssystems war ein bereits in den Jahren 1970–1974 stufenweise realisiertes System zur direkten Steuerung von unabhängig arbeitenden numerisch gesteuerten Fertigungseinrichtungen (Bild 9). Die Konfiguration des DNC-Systems besteht aus einem Prozessrechner, Fertigungsrechner genannt, mit Bedien- und Speicherperipherie, einem Koppelelement, Datenübertragungsstrecken und DNC-Zusätzen an den numerischen Steuerungen im Fertigungsprozess. DNC-Grundfunktionen sind die Verwaltung und Ausgabe von NC-Daten. In unserem erweiterten DNC-System kommen als zusätzliche Aufgaben die Korrektur der NC-Daten, die Erfassung und Verarbeitung der anfallenden Betriebsdaten und die Ausgabe von Führungsinformationen hinzu. Die NC-Steuerungen an den Bearbeitungsmaschinen werden im *BTR-Modus* (*B*ehind the *T*ape-*R*eader) mit NC-Daten versorgt.

Bild 8. Flexibles Fertigungssystem



Die Steuerungen von Hängebahn und Treibrollenbahn sind als dezentrale Komponenten über den DNC-Zusatz 2 an den Fertigungsrechner angeschlossen. Die Steuerung der Treibrollenbahn wurde mit einem Mikrorechner aufgebaut. Zur Steuerung und Optimierung des Materialflusses wird in einer weiteren Aufbaustufe ein Transportrechner verwendet, der mit dem Fertigungsrechner gekoppelt ist. Ein derartiges Forschungsvorhaben bietet die Gelegenheit, am Beispiel einer realisierten Fertigungsstruktur unterschiedliche Steuerungskonzepte zu erproben.

Arbeitsvorbereitung

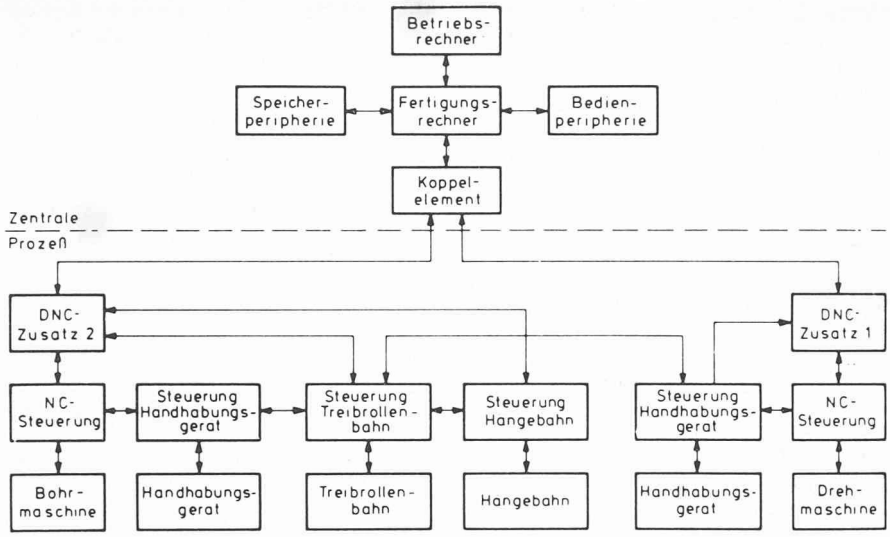
Im Rahmen einer *ganzheitlichen* Betrachtungsweise der industriellen Fertigung muss ein Blick auf das Gebiet der *Fertigungsplanung* geworfen werden. Mit zunehmendem Automatisierungsgrad verlagert sich die Verantwortung für eine wirtschaftliche Nutzung industrieller Fertigungseinrichtungen von der Fertigung auf produktionsbezogene Planungs- und Steuerungsprozesse. Damit verstärkt sich die Bedeutung der *Arbeitsvorbereitung als zentraler Stelle im betrieblichen Informationsfluss*. Sie erhält ein erweitertes Anforderungsprofil, dessen Abdeckung die Anwendung neuzeitlicher Hilfsmittel wie elektronischer Datenverarbeitungsanlagen notwendig macht.

Allgemeingültige Systeme zur Automatisierung der Arbeitsvorbereitung wird es jedoch nicht geben können. Der angestrebte Automatisierungsgrad, das Produktionsspektrum und betriebliche Anforderungen sind Bedingungen, die individuelle Anpassungsmassnahmen erfordern. Der Anwendungsbereich und der Automatisierungsumfang von Planungssystemen sind in Bild 10 dargestellt.

Die vielfältigen Aufgaben der Arbeitsvorbereitung eignen sich nicht gleichmässig gut für eine Automatisierung. Formale Berechnungen und eng begrenzte logische Ermittlungen, wie sie bei der Zeit- und Kostenplanung vorkommen, sind relativ leicht programmierbar. Dagegen lassen sich Planungsarbeiten, denen schöpferische Überlegungen zugrunde liegen, kaum algorithmieren. Hier ist die *Entwicklung von Dialogsystemen* angemessen.

Ein Gebiet der Arbeitsvorbereitung, das sowohl formale und logische Ermittlungen als auch schöpferische Überlegungen beinhaltet, ist die *Arbeitsplanerstellung*. Durch die Entwicklung leistungsfähiger und kostengünstiger bildspeichernder Sichtgeräte stehen komfortable Hilfsmittel für eine automatisierte Arbeitsplanung zur Verfügung. Die Verwendung von *Sichtgeräten* zur graphischen Darstellung von Einspannungen, Werkzeugen und von Bearbeitungsfortschritten sowie die Möglichkeit, mit verstellbarem Fadenkreuz Bewegungsabläufe auf dem Bildschirm zu definieren, bedeuten einfach anwendbare und wirkungsvolle Hilfen zur Rationalisierung von Planungsaufgaben.

Realisierte Programmsysteme zur Lösung produktionsbezogener Planungsaufgaben erweisen sich oftmals deshalb als unwirtschaftlich, weil der Eingabeaufwand im Verhältnis zum erzielten Ergebnis zu hoch ist. Es mangelt in solchen Fällen vielfach an der informationsschlüssigen Verknüpfung zu benachbarten Programmsystemen, die ähnliche Eingabeinformationen benötigen [11]. Neuere Programmsysteme



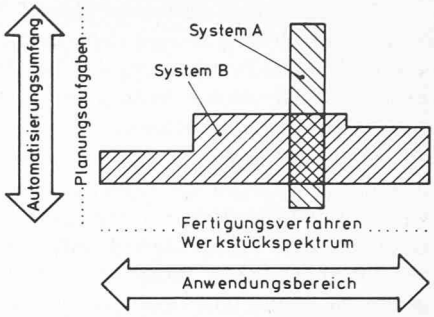


Bild 10 (oben). Anwendungsbeispiel für die Generierung von Schnittansichten

Bild 9 (links). Steuerungskonfiguration des flexiblen Fertigungssystems

tragen diesem Gesichtspunkt Rechnung. Ausgegangen wird dabei von einer vollständigen Beschreibung eines Bauteils in der Konstruktion. Diese Beschreibung dient als Datenbasis für Automatisierungsmassnahmen in Konstruktion und Arbeitsplanung.

Ein wesentlicher Anwendungsschwerpunkt der rechnerinternen Werkstückbeschreibung ist die *automatisierte Zeichnungserstellung*. Bei der *dreidimensionalen rechnerinternen Darstellung von Bauteilen* nach dem System COMPAC können beliebige Parallelprojektionen – also auch die Normalrisse einer Zeichnung – maschinell erzeugt werden (Bild 11). Das Ausblenden verdeckter Kanten, das Generieren von Schnittansichten sowie das Erzeugen von Masslinien, Masshilfslinien und Masszahlen erfolgt automatisch. Ebenfalls auf das Ziel der Automatisierung von Zeichentätigkeiten ist die Entwicklung des COMVAR-Systems ausgerichtet. Dabei wird in der Regel von der zweidimensionalen Beschreibung der Normalrisse eines Komplexteiles ausgegangen. Werkstattgemässe Zeichnungen weiterer Werkstücke der erfassten Teilefamilien können nun durch Variation wählbarer Parameter maschinell erzeugt werden.

Die Automatisierung fertigungstechnischer Planungsaufgaben ging von der Programmierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen aus. Der Anteil der Programmiersysteme, die auf Grossrechneranlagen auch technologische Ermittlungen ermöglichen (z. B. EXAPT) beträgt nur etwa 10% (Bild 12). Durch vereinfachte Implementierung auf Rechnern mittlerer Grösse sowie durch leichtes Anpassen der verwendeten Strategien an betriebsspezifische Anforderungen lässt sich die Bereitschaft zur Verwendung rechnerunterstützter NC-Programmiersysteme fördern. Erhöhte Flexibilität und Korrekturmöglichkeit des Planungsablaufs mit Hilfe eines Dialogs erleichtern dem Sachbearbeiter den Umgang mit dem Programmsystem und bieten die Möglichkeit, sein spezielles Wissen einfliessen zu lassen.

Zusammenfassung

Abschliessend einige Thesen, die als Anknüpfungspunkte für eine Diskussion dienen können:

1. Kriterien der weiteren Entwicklung von Automatisierungsmassnahmen in der Fertigung sind
- die Humanisierung der Arbeitswelt,
- die Steigerung der Wirtschaftlichkeit und
- die Erhöhung der technologischen Leistungsfähigkeit.

2. Der zunehmenden Bedeutung der Kleinserienfertigung entspricht die Notwendigkeit der Flexibilisierung von Automatisierungsmassnahmen.

3. Die Automatisierungstiefe zukünftiger numerisch gesteuerter Fertigungssysteme wird erhöht. Neben dem Formgeben werden auch solche Funktionen gesteuert, die unter dem Oberbegriff des Materialflusses zusammenzufassen sind.

4. Eine Verkürzung der Hauptnutzungszeiten je Werkstück und damit eine Produktivitätssteigerung ist durch Automatisierungsmassnahmen auf der Grundlage der NC-Technik mit adaptiven Prozessregelungssystemen möglich.

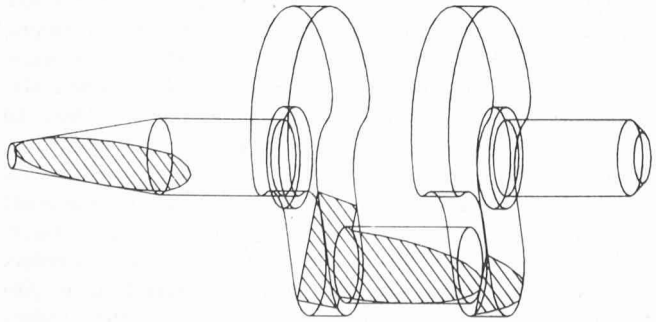


Bild 11. Anwendungsbereich für die Gewinnung von Schnittansichten

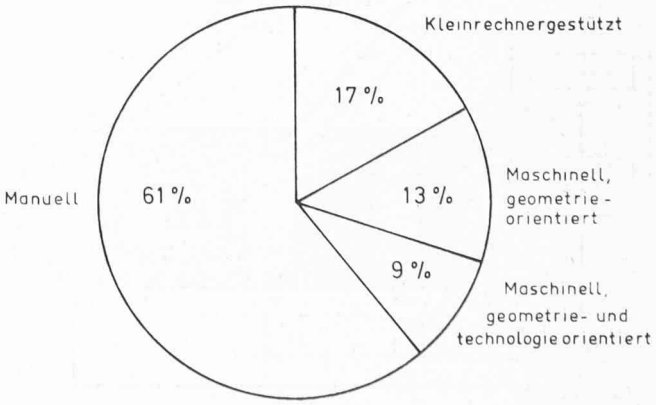


Bild 12. Programmierung von NC-Werkzeugmaschinen

5. Die Automatisierung ganzer Fertigungsabläufe ist über die stufenweise Integration von Steuerungskomponenten in hierarchische Systeme möglich. Für Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit solcher Systeme ist die Softwareentwicklung von entscheidender Bedeutung.

6. Die Wirtschaftlichkeit von Automatisierungsmassnahmen auf dem Gebiet der Arbeitsvorbereitung kann durch die vielfältige Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis entscheidend gesteigert werden. Jedoch sollte die Einführung komplexer Planungssysteme stufenweise erfolgen, um das Risiko gering zu halten und einen parallel laufenden Ausbildungsprozess der betroffenen Mitarbeiter zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

[1] *C. M. Dolezalek:* «Zur Automatisierung in der industriellen Produktionstechnik». Werkstattechnik 53 (1963), H. 3, S. 101–103.

[2] *A. Pätzold:* «Automatisierung der Fertigungssteuerung unter besonderer Berücksichtigung der Verarbeitung von Betriebsdaten». Berlin TU, Dissertation, 1975.

[3] *G. Spur:* «Entwicklungstendenzen von spanenden Werkzeugmaschinen». ZwF 71 (1976), H. 3, S. 83–91.

[4] *A. Pätzold, W. Prehn, F. Zastrow:* «Steuerungskonzept für eine rechnergeführte Fertigung. Ein System zur Steuerung von konventionellen Fertigungseinrichtungen und flexiblen Fertigungssystemen». ZwF 71 (1976), H. 2. S. 50–56.

[5] *K.-V. von Schöning:* «Industrie-Roboter in den USA». Report Nr. 4 des IWF e. V., erschienen in Berlin, Dez. 1975.

[6] *G. Spur, H. Mathes, H. Schiffelmann:* «CNC-Steuerung mit integriertem Programmspeicher für eine flexible Fertigungszelle». ZwF 71 (1976), H. 4, S. 135–137.

[7] *G. Spur, P. O. Moser, R. Wendlandt:* «Programmierbare Steuerungen für Fertigungseinrichtungen». ZwF 71 (1976), H. 4, S. 131–134.

[8] *F. Zastrow:* «Beitrag zur Erweiterung rechnergeführter Fertigungssysteme». Berlin TU, Dissertation, 1975.

[9] *«Drittes Datenverarbeitungsprogramm der Bundesregierung 1976 bis 1979»*. Herausgegeben vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn.

[10] *G. Spur, H. P. Mattle, H. Rittinghausen:* «Flexibles Fertigungssystem zur Bearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke». ZwF 71 (1976), H. 2, S. 43–49.

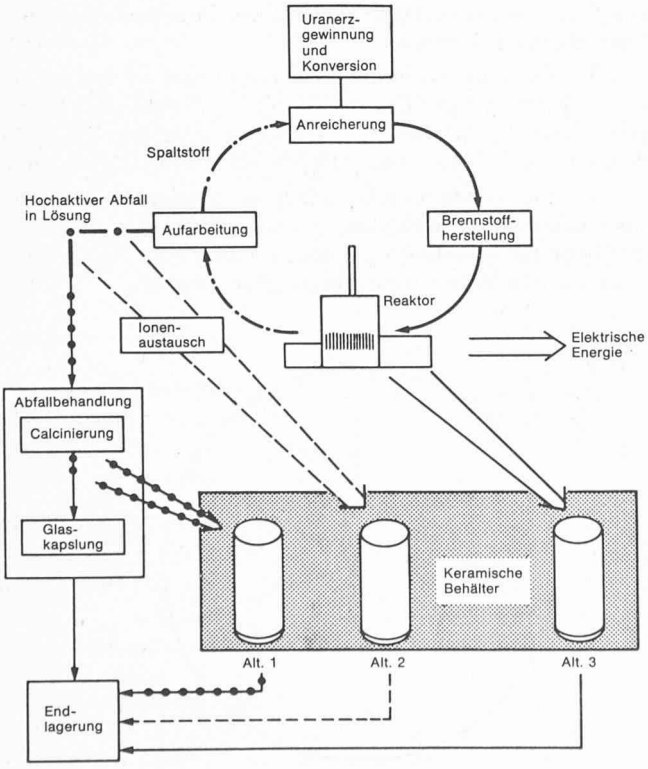
[11] *«Produktionstechnik und Automatisierung»*. Sonderforschungsbereich 57. Forschungsbericht für den Zeitraum 1973–1975, Techn. Universität Berlin, Nov. 1975.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *G. Spur*, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Techn. Universität, Fasanenstrasse 90, Berlin 12.

Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle

Keramische Kapslung

Das schwedische Elektrounternehmen ASEA arbeitet in seinem *Hochdrucklaboratorium Robertfors* an der Entwicklung einer Methode zum zuverlässigen Einkapseln und Lagern von Kernbrennstoffabfall mit Hilfe des sogenannten *heissisostatischen Pressens.* Hierbei wird der Abfall zusammen mit geeigneten Stoffen unter hohem Druck zu dichten und kompakten Körpern verpresst, die im Grundwasser beständig sind und die bekannten Gesteinsarten an mechanischer Festigkeit übertreffen. Die Methode kann den schwedischen Versorgungsunternehmen helfen, die gesetzlichen Vorbedingungen für den Bau neuer Kernkraftwerke zu erfüllen.



Schematische Darstelung des Verfahrens

Das Unternehmen arbeitet seit den vierziger Jahren mit der Hochdrucktechnik und hat dabei Verfahren und Produkte entwickelt, die der Werkstoff- und Umformtechnik ganz neue Wege wiesen. Ein Beispiel ist die Erzeugung von künstlichen Diamanten, wobei die Naturkräfte technisch nachgeahmt werden. Ein anderes ist das sogenannte ASEA-STORA-Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung von hochwertigen Werkzeugstählen. Mit der Hochdrucktechnik kann man durch gleichzeitige Einwirkung von hohen Drücken und hohen Temperaturen u. a. grosse Formteile aus homogenem Material herstellen, indem pulverförmiger Ausgangsstoff zu einem vollkommen dichten Körper gesintert wird. Für dieses sogenannte HIP-Verfahren (Hot Isostatic Pressing) verwendet man QUINTUS®-Anlagen, die von der ASEA weltweit vertrieben werden.

Im Jahre 1976 begann man im ASEA-Hochdrucklaboratorium Robertsfors mit Studien der verschiedenen Möglichkeiten, mit Hilfe dieser Technik den Kernbrennstoffabfall zuverlässig zu kapseln und zu lagern. Hierbei erwiesen sich *drei verschiedene Wege* als gangbar, die in verschiedenen Stufen des Kernbrennstoffkreislaufs eingreifen. Allen ist gemeinsam, dass sie schliesslich *gesinterte Körper* liefern, gleichwertig den härtesten Mineralien, welche die geologische Entwicklung auf unserem Planeten hervorgebracht hat.

Nach der ersten Methode wird der bei der Aufarbeitung von Kernbrennstoff abgeschiedene Abfall, das sogenannte *Calcinat,* mit einem langzeitstabilen keramischen Material vermischt und durch Pressen unter hohem Druck zu vollkommen dichten Körpern gesintert, die ein kristallines Gefüge mit Eigenschaften haben, die eine weitere Umwandlung oder Zersetzung verhindern. Die verdichteten Körper können dann unter gesicherten Verhältnissen in tiefen Bohrlöchern in geologisch stabilen Formationen gelagert werden.

Bei der zweiten Methode wird der abgeschiedene Abfall, die sogenannte *Abfallösung,* von anorganischen Ionenaustauschern (einer Art chemischen Filter) aufgenommen, die nach dem Trocknen unter hohem Druck in kompakte