

2 Automatisierbare Funktionen der Fertigungseinrichtungen und ihre Realisierung

Die Möglichkeiten, manuell ausgeführte Funktionen sowie menschliche Denkprozesse zur Bedienung und Steuerung von Maschinen zu automatisieren, sind im Bereich der Fertigungstechnik sehr vielfältig. Die einzelnen Fertigungsverfahren und -aufgaben erfordern in der Regel speziell angepasste Lösungen.

Der derzeitige Stand der Technik bei der mechanischen Fertigung ist durch den hohen Entwicklungsstand der Werkzeugmaschinen gekennzeichnet, die entsprechend den ständig steigenden technologischen Anforderungen komplizierte Bearbeitungsaufgaben zu lösen vermögen. Vollautomatische Maschinen (z.B. Drehautomaten) sowie verkettete Anlagen (z.B. Transferstraßen) zählen seit langem zum Stand der Technik. In den letzten Jahren konzentrierten sich Automatisierungsbestrebungen auf die Flexibilisierung von Fertigungsanlagen für die Kleinserien- und Einzelfertigung. Der selbstständige Ablauf wechselnder Bearbeitungs-, Handhabungs- und Spannaufgaben für eine große Anzahl von verschiedenen Werkstücken erfordert eine einfache und schnelle Umprogrammierung der Funktionsfolgen und Anpassung von Greif- und Spannvorrichtungen. Die an Fertigungseinrichtungen durchführbaren Basisfunktionen, auf die sich die Automatisierungsbestrebungen konzentrieren, sind in Tabelle 2.1 den Objekten Maschine, Werkzeug, Vorrichtungen und Werkstück global zugeordnet.

Zur Automatisierung der in Tabelle 2.1 gezeigten Funktionen (Beispiel: Transportieren, Handhaben, Ordnen von Werkstücken, Einrichten der Maschine, usw.) ist die elektronische Datenverarbeitung in Form von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS, Kapitel 5) und numerischen Steuerungen (NC, Kapitel 6) entscheidende Voraussetzung. Mit der Zunahme der Komplexität sowie dem Investitionswert der Anlagen kommen sowohl der Zuverlässigkeit der Komponenten als auch einem geeigneten Diagnosesystem eine große Bedeutung zu, um Fehler an der Anlage frühzeitig zu erkennen und zu lokalisieren. Dies ist besonders im Hinblick auf Folgeschäden und daraus resultierende kostenintensive Stillstandszeiten wichtig.

Die für den Material- und Betriebsmittelfluss in einer Werkzeugmaschine erforderlichen Teilfunktionen werden prinzipiell anhand Bild 2.1 verdeutlicht. Die dort aufgeführten Funktionen werden von einer Numerischen Steuerung (NC) mit einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) initiiert, ausgeführt und überwacht. Da die Automatisierung der verschiedenen Funktionen einer Anlage oder einer Maschine immer mit einem hohen Kapitaleinsatz verbunden ist, entscheiden in der Regel

Tabelle 2.1. Automatisierbare Funktionen an Werkzeugmaschinen

| Funktion | Objekt | | | |
|--|----------|----------|-------------|-----------|
| | Maschine | Werkzeug | Vorrichtung | Werkstück |
| Transportieren, Handhaben, Ordnen | | X | X | X |
| Einrichten | X | X | X | |
| Speichern | X | X | X | X |
| Spannen, Entspannen | (X) | X | X | X |
| Bearbeiten | X | (X) | (X) | X |
| Aufbereiten | | X | X | X |
| Kontrollieren (Messen und Auswerten) | (X) | X | (X) | X |
| Diagnose (Maschinen- und Werkzeugzustand) | X | X | X | |

X - Objekt führt die Funktion aus

(X) - Objekt indirekt an der Funktion beteiligt

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen darüber, welche Untermenge der in Tabelle 2.1 aufgeführten Funktionen zu automatisieren ist.

Bei allen Automatisierungsbemühungen hat die Praxis gezeigt, dass die Störanfälligkeit mit zunehmender Komplexität und zunehmendem Automatisierungsgrad überproportional ansteigt. In jüngster Zeit besinnt man sich daher zurück auf die ausgezeichneten Fähigkeiten des Menschen, insbesondere des Facharbeiters. In dem oft komplexen Zusammenspiel von Organisation (Material- und Werkzeugverwaltung), der Maschinenprogrammierung, der Maschinenausrüstung, Fertigungskontrolle und Optimierung des technologischen Prozessablaufs treten oft Abweichungen von den Plandaten auf. Qualifizierte und motivierte Mitarbeiter finden besser und schneller die Entscheidung für eine wirtschaftliche Lösung gegenüber hochautomatisierten Produktionsanlagen. Bestrebungen, die planerischen Arbeiten (Arbeitsvorbereitung, Programmierung usw.) in die direkte Umgebung der Produktionsmaschinen in Form sinnvoller Gruppenarbeit zu verlegen, findet man heute in vielen Unternehmen vor. Sie sind Ausdruck der gemachten Erfahrungen.

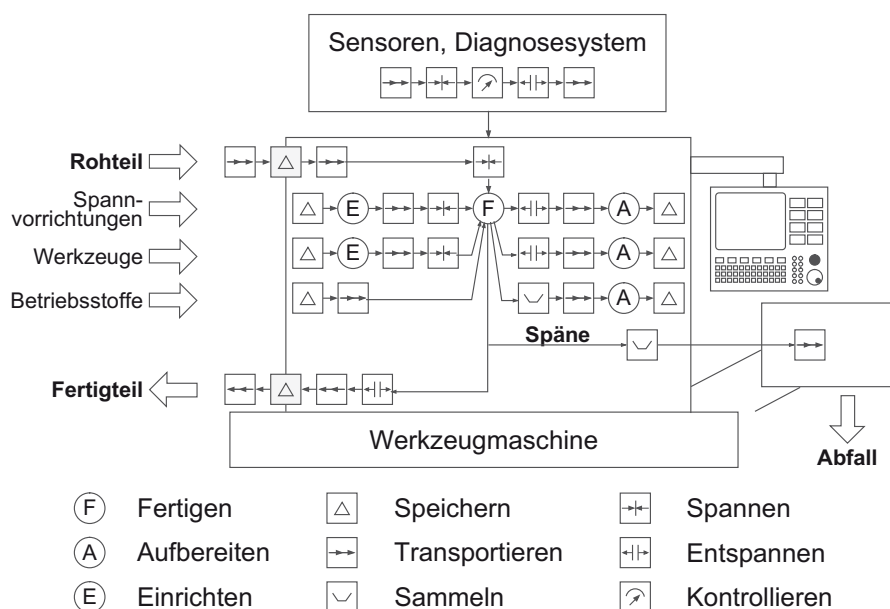


Bild 2.1. Prinzipieller Ablauf von Teilfunktionen in einer Werkzeugmaschine

2.1 Steuerung des Funktionsablaufs

2.1.1 Funktionsfolgen

Voraussetzung für einen automatisierten Fertigungsablauf ist eine räumliche und zeitliche Koordination der Teilfunktionen. Diese Aufgabe wird von der Maschinensteuerung übernommen. Sie besteht darin, die genaue Folge aller Teilfunktionen zu speichern, die Abläufe folgerichtig zum entsprechenden Zeitpunkt zu initiieren, die Ausführung zu überwachen, ggf. den Fertigungsprozess zu regeln (Messregelung, Adaptive Control) und den Zustand des Gesamtsystems kontinuierlich zu diagnostizieren.

Außer der zentralen Aufgabe der Maschinensteuerung, den Fertigungsprozess zu steuern, müssen die Werkstücke und die benötigten Werkzeuge sowie die zugehörigen Betriebsmittel und Spannvorrichtungen gespeichert, transportiert, gespannt und entspannt werden. Während und nach der Bearbeitung erfolgt die Überprüfung der Fertigungsqualität, d.h. die Werkstückmaße werden vermessen und, falls erforderlich, entsprechende Korrekturschritte, wie beispielsweise das Nachstellen der Maschinenvorschubwege, eingeleitet. Die Überwachung und Diagnose nahezu aller Komponenten der Maschine sowie des eigentlichen Fertigungsprozesses geschieht während der gesamten Betriebszeit. Die vollständige Realisierung dieser allumfassenden Steuerungsaufgabe ist nur bei sehr aufwändigen Einrichtungen, wie flexiblen Fertigungssystemen, gegeben. Vor allem die Überwachung der am Prozess beteiligten Objekte (Werkzeugzustand) bereitet heute mangels geeigneter Sensoren,

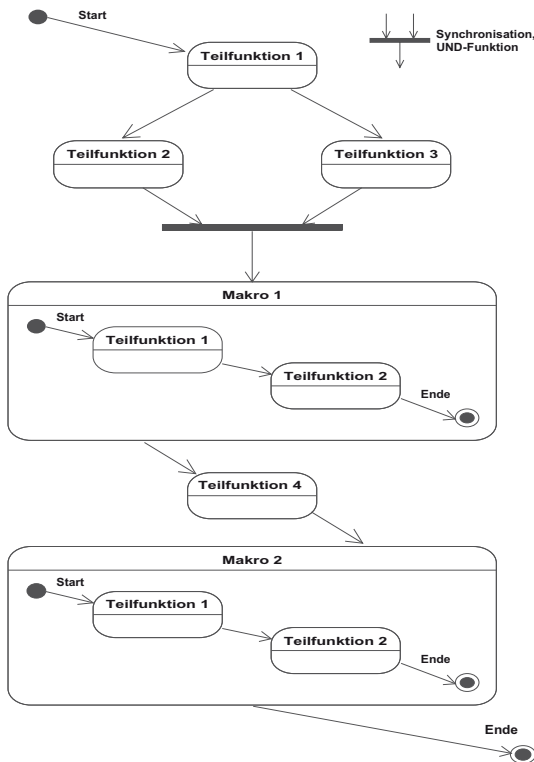


Bild 2.2. Ablauf einer Funktionsfolge in der Unified Modelling Language (UML)

die die Verschleißgröße direkt erfassen und die dem rauen Werkstattbetrieb standhalten können, noch große Schwierigkeiten.

Die Programm- bzw. Ablaufsteuerung einer Anlage muss entsprechend der wechselnden Bearbeitungsaufgabe umprogrammiert werden. Im Bild 2.2 wird der allgemeine Ablauf einer Funktionsfolge aus Teilfunktionen und Makros verdeutlicht. Makros bestehen aus einer bestimmten Anzahl wiederkehrender Teilfunktionen. Sie erleichtern dem Benutzer die Erstellung der Programmieranweisungen für komplizierte, umfangreiche Funktionsabläufe. Teilfunktionen und Makros eines Arbeitszyklus (Bearbeitung eines Werkstücks) werden entsprechend der programmierten Funktionsfolge initiiert und ausgeführt. Die auszuführenden Funktionen laufen dabei entweder nacheinander, d.h. nach Quittierung der zeitlich vorher ablaufenden Funktion(en), oder wenn möglich bzw. erforderlich auch parallel ab. Die Quittierung der letzten auszuführenden Funktion (z.B. Vermessung des Werkstücks) beendet die Ausführung der Funktionsfolge bzw. des Arbeitszyklus und initiiert gleichzeitig die erste Teilfunktion für die nächste Werkstückbearbeitung oder setzt die Maschine still.

2.1.2 Elemente der Steuerung, Programmierung und Speicherung

Die Steuerung wird mit Hilfe mechanischer, hydraulischer, pneumatischer, elektrischer und elektronischer Elemente aufgebaut. Die Komplexität der Elemente zur Ausführung der Teilfunktionen ist von der Steuerungsart abhängig. Einfachste Elemente sind Hand- oder Endschalter, wobei letztere in der Regel gleichzeitig zur Quittierung der vorangegangenen Wegfunktion herangezogen werden können.

Bei mechanischen Steuerungen erfordern die Funktionsaufrufe häufig komplizierte Schaltmechanismen. Endanschläge und Nocken sind auf entsprechenden Trägersystemen angebracht, die sich ihrerseits mit dem Maschinenschlitten bewegen und durch ihre örtliche Lage zu den mechanischen Schaltführern den Vorschubweg bestimmen. Sie initiieren Schalt- und Steuerungsfunktionen, die über Kurvenscheiben rein mechanisch ausgeführt werden (vgl. Kapitel 3).

Bei elektrischen und elektronischen Steuerungen werden elektrische Schalter (Hand- und Endschalter) zur Initiierung bzw. Quittierung von Funktionen eingesetzt. Die logische Signalverarbeitung geschieht bei elektrischen Steuerungen mit Hilfe von Relais, bei elektronischen Steuerungen je nach Aufgabenumfang mit Hilfe von integrierten Logikbausteinen (IC – Integrated Circuits), Mikroprozessoren und Prozessrechnern. Das Umsetzen der bei elektronischen Steuerungen meist energieschwachen Steuerbefehle in die Ausführungsfunktionen erfolgt mit Verstärkern bzw. Servobausteinen. Üblicherweise finden hier Schütze, Transistor- und Thyristorelemente oder Ventile und Kupplungen Verwendung (vgl. Kapitel 5).

Tabelle 2.2. Speichermedien für Schalt- und Weginformationen

| Steuerungstechnologie | Programmierung | Speichermedium | | Ausführung der logischen Verknüpfung und Programmablaufsteuerung |
|--|--|---|---|--|
| | | Wegfunktion | Schaltfunktion | |
| kurvengesteuerte Maschine | Herstellung der mechanischen Speichermedien und Setzen von Nocken | -Festanschläge -Kurvenscheiben -Kurvenlineal | -Nocken auf Hilfssteuerwelle und bewegten Schlitten | -Kupplung, Getriebe -Schaltgestänge -Kurven |
| nachformende (kopierende) Maschinen | Herstellung der mechanischen Speichermedien und Setzen von Nocken | -Schablonen -Kurvenlineal -3D-Modelle | -Endschalter -Nocken auf Leisten oder Trommeln | -SPS -Relais |
| Kombination aus kurven- und elektronisch gesteuerten Maschinen | Herstellung der mechanischen Speichermedien und über Display und Tastatur | -Festanschläge -Kurvenscheiben | -Endschalter -Nocken auf Leisten oder Trommeln und bewegte Schlitten | -SPS -Relais (teilweise auf NC) |
| elektrisch/elektronisch gesteuerte Maschinen SPS | über Kreuzschienenverteiler, Steckertafel oder über Display und Tastatur | -Maßstäbe | -Steckertafel -Endschalter -Nocken mit Schaltern | -SPS -Relais |
| numerisch gesteuerte Maschine (Basis: Mikroprozessor) | online über Display und Tastatur, offline über Programmiersprachen oder grafisch | NC- Programme: -Lochstreifen -ROM- und RAM-Speicher -magnetische und optische Speicher (Floppy, Harddisk, Server, CD, ...) | | -NC -SPS -Relais |

Zur Erzeugung der Hauptarbeitsbewegung einer Maschine (z.B. Linearbewegung von Pressenstößeln und Hobelschlitten, Drehbewegung von Hauptspindeln an Dreh- und Fräsmaschinen, usw.) sowie der Vorschubbewegungen (z.B. Kreuzzische,

Pinolen sowie Walzen- und Zangenvorschub bei der Blechbearbeitung usw.) werden elektrische und hydraulische Motoren zur Erzeugung der rotatorischen oder translatorischen Bewegung eingesetzt. Diese werden je nach Anwendungsfall drehzahl- oder auch kraftgeregelt ausgeführt. Häufig müssen geeignete Wandler (Beispiel: Getriebe, Spindelmutterssysteme, usw.) zwischengeschaltet werden, um den gewünschten Drehzahl- bzw. Drehmomentenbereich zu erreichen oder um die motorische Drehbewegung in eine lineare Antriebsbewegung umzuwandeln.

Kombinationen aus mechanischen und elektrischen bzw. elektronischen Steuerungen finden heutzutage ebenfalls Anwendung. Bedienung bzw. Programmierung einer mechanisch gesteuerten Maschine werden durch Verwendung ergonomischer Benutzerschnittstellen (Bildschirm, Tastatur, ...) anwenderfreundlich gestaltet.

Zur Überwachung der Maschinenfunktionen und des Fertigungsprozesses werden Schalter, Sensoren und Messsysteme eingesetzt. Die Wahl der richtigen Steuerung ergibt sich immer aus dem Kompromiss aus Komfort einerseits und dem Preis, den der Kunde andererseits zu zahlen bereit ist.

Eine wichtige Voraussetzung für die Wiederverwendung von programmierten Werkstückbearbeitungsfolgen ist die Speicherung der zur Ausführung benötigten Informationen. Dazu gehört die Reihenfolge der Einzelfunktionen, d.h. die sequenzielle Vorgabe der Schalt- und Weginformationen, die in ihrer Gesamtheit das Bearbeitungsprogramm ergeben. Schaltinformationen dienen dabei zur Ausführung von einzelnen Teilfunktionen (Beispiel: Wechsel von Drehzahlen und Vorschüben, Weiterschalten des Werkzeugrevolvers, Klemmen des Maschinenschlittens, Spannen von Werkzeugen und Werkstücken usw.). Weginformationen beinhalten alle Angaben für die Bewegungsfolgen der verschiedenen Baugruppen, wie Schlitten, Pinole usw., in den einzelnen Achsen, die zur Erzeugung der Werkstückgeometrie erforderlich sind. In Tabelle 2.2 sind die verschiedenen Speichermedien für die Achsbewegungen (Geometrie) und Schaltbefehle in Abhängigkeit der verwendeten Steuerungstechnologie zusammengestellt.

2.2 Beispiele automatisierter Funktionen

In den folgenden Abschnitten werden repräsentative Beispiele für die Realisierung von wichtigen Funktionen gezeigt.

2.2.1 Weg- und Schaltinformationen

Die Bearbeitung von Werkstückkonturen, wie Bohrungen, das Drehen von Absätzen oder das Fräsen rechtwinkliger Teile, erfordert die Vorgabe definierter, zeitlich nacheinander ablaufender Bewegungen der Maschinenschlitten, der Spindel(n), usw. innerhalb bestimmter Weggrenzen. Voraussetzung für die genaue Steuerung von Bewegungen und den Schaltvorgang von einer Funktion zur nächsten ist entweder die Kenntnis der Wegendinformation durch Nocken- bzw. Schalterleisten (Kapitel 2.2.1.1) oder durch ständig messende, absolute bzw. inkrementale Drehgeber (Kapitel 2.2.1.2).

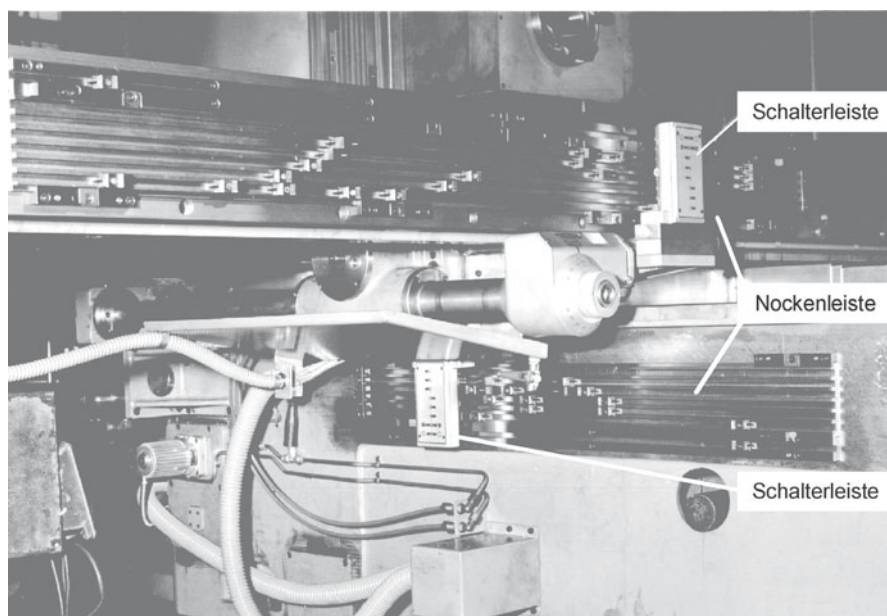


Bild 2.3. Nockenleisten zur Wegbegrenzung und Steuerung von Schaltfunktionen (nach Heller)

2.2.1.1 Nocken- und Schalterleisten

Weg- bzw. Zielinformationen lassen sich auf mechanischem Wege am einfachsten mit Nocken vorgeben und speichern, die verstellbar nebeneinander oder hintereinander auf Schienen oder Walzen angeordnet sind. Die Nocken können mechanisch über Hebel oder mit elektrischen, pneumatischen oder hydraulischen Schaltern abgetastet werden. Mit diesen Wegspeichern werden dann bei Erreichen der Position Schalter betätigt, die die laufenden Funktionen beenden und neue einleiten. Bild 2.3 zeigt die Nockenleisten am Kreuztisch einer Bettfräsmaschine. Die Nocken dienen dabei zur Feststellung eines zu erreichenden Weges und zur Initiierung der folgenden Funktionen wie Änderung der Vorschubgeschwindigkeit und -richtung oder der Spindeldrehzahl.

Die Folge von verschiedenen Schaltfunktionen wird häufig auch auf Nockentrommeln gespeichert. Die Trommel dreht sich dabei entsprechend dem Arbeitsfortschritt zwangsläufig weiter. Nach einer Umdrehung ist der Arbeitszyklus für ein Werkstück beendet und er kann wieder neu gestartet werden. Die absolute Schaltgenauigkeit der Nocken liegt bei ca. 0,1 mm.

Bei häufig wiederkehrender Bearbeitung eines Werkstücks lohnt es sich, die gesamte Nockenleiste mit den mechanischen Nocken wieder zu verwenden. Zu diesem Zweck wird die Leiste von der Maschine abgenommen und bei Wiederholung des Fertigungsauftrags an die Maschine montiert (Bild 2.3).

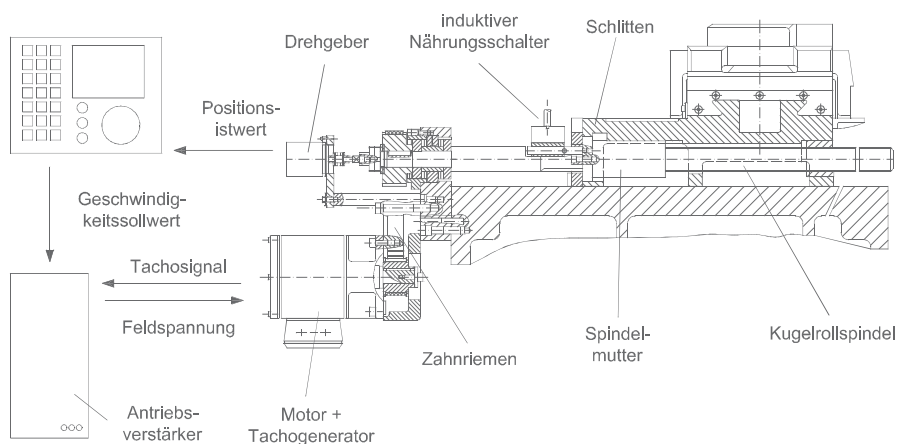


Bild 2.4. NC-gesteuerter Maschinenschlitten. Quelle: Boehringer

2.2.1.2 Absolute und inkrementale Drehgeber zur Erfassung der Istposition einer Maschinenbaugruppe und zur Steuerung von Schaltfunktionen

Drehgeber werden in Verbindung mit Kugelrollspindeln zur indirekten Erfassung von Tischpositionen oder zur direkten Erfassung von Winkellagen, z.B. von Drehtischen, eingesetzt (s. Band 3, Kapitel 2.2).

Bild 2.4 zeigt einen NC-gesteuerten Maschinenschlitten. Die aus dem Ausgangssignal des Drehgebers über die Steigung der Gewindespindel in der Maschinensteuerung ermittelte Istposition wird mit dem entsprechenden Positionssollwert verglichen. Aus der Differenz von Soll- und Istwert wird der Geschwindigkeitssollwert für den Motor gebildet und dem Antriebsverstärker übermittelt. Im Antriebsverstärker wird über einen Tachogenerator am Motor die augenblickliche Geschwindigkeit mit dem Geschwindigkeitssollwert aus der NC-Steuerung verglichen. Aus diesem Vergleich resultiert die Feld- bzw. Läuferspannung für die Ansteuerung des Servomotors. In Abhängigkeit des Positionsiswertes des Drehgebers können u.a. auch Schalt- und Wegfunktionen initiiert werden (Beispiel: Geschwindigkeitsänderungen, Vorschub weiterer Achse, usw.).

2.2.2 Drehzahlverstellung

Wie bereits angedeutet, werden Steuerbefehle über Verstärker, Servomechanismen und Stellorgane in die entsprechend auszuführenden Funktionen umgesetzt. Im Bild 2.5 ist die gerätetechnische Realisierung der Drehzahlverstellung einer Drehmaschine dargestellt.

Die Drehzahlregelung wird mit einem Antriebsverstärker realisiert. In Abhängigkeit von der vorgegebenen Sollzahl und Belastung wird die Statorspule des Asynchronstrommotors mit der richtigen Frequenz und Stromstärke angesteuert. Der Tachogenerator ermittelt die Istgeschwindigkeit (Drehzahl)(vgl.

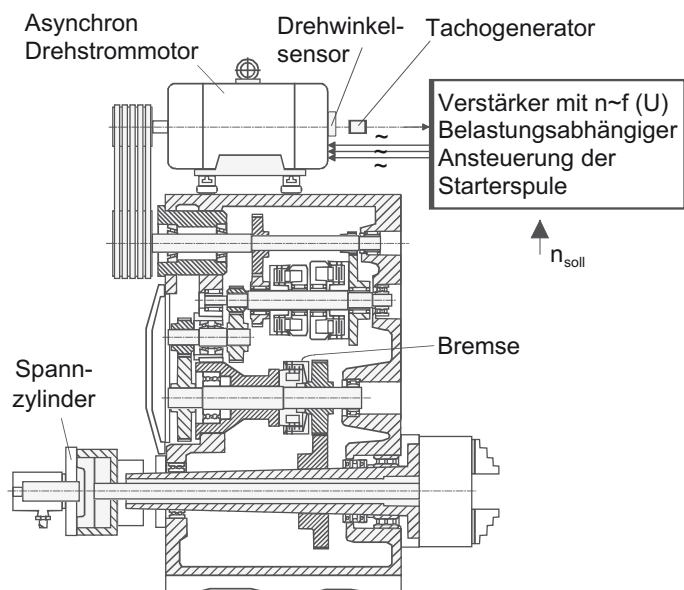


Bild 2.5. Drehzahlregelung mittels Antriebsverstärker und elektrisch betriebener Lamellenkupplungen (nach Pittler)

Kapitel 2.2.1.2). Um einen großen Drehzahlbereich zu überstreichen, ist zusätzlich ein zweistufiges Schaltgetriebe vorgesehen. Die beiden Getriebestufen werden von der speicherprogrammierbaren Steuerung der Drehmaschine automatisch über eine elektromagnetische Lamellenkupplung geschaltet. Die elektromagnetische Lamellenbremse sorgt für eine kurze Auslaufzeit beim Abschalten des Spindelantriebs oder bei der Durchführung der Notausfunktion.

2.2.3 Werkstücktransport und -handhabung

Durch die Automatisierung der unmittelbar zum Fertigungsprozess beitragenden Weg- und Schaltfunktionen verbleiben dem Bediener außer der Optimierung und Überwachung des Fertigungsprozesses und der Fertigteilüberprüfung in Form von Sicht- und Maßhaltigkeitsprüfung die Aufgaben der Materialhandhabung. Dazu gehört das Wechseln von Werkstücken bzw. Werkzeugen (vgl. Kapitel 2.2.4) und unter Umständen die Späneentsorgung. Wegen der Monotonie und der einseitigen körperlichen Belastung, insbesondere beim Werkstückwechsel, liegt es nahe, auch diese Vorgänge zu automatisieren.

Die Versorgung einer Werkzeugmaschine mit Rohmaterial erfolgt in der Regel mit Stangenmaterial, Stangenabschnitten, Guss- oder Schmiedeteilen bzw. Blechplatten. In diesem Abschnitt sollen Transportsysteme- bzw. Hilfseinrichtungen vorgestellt werden, mit denen die Bereitstellung der zu bearbeitenden Werkstücke an entsprechender Werkzeugmaschinen ermöglicht wird.

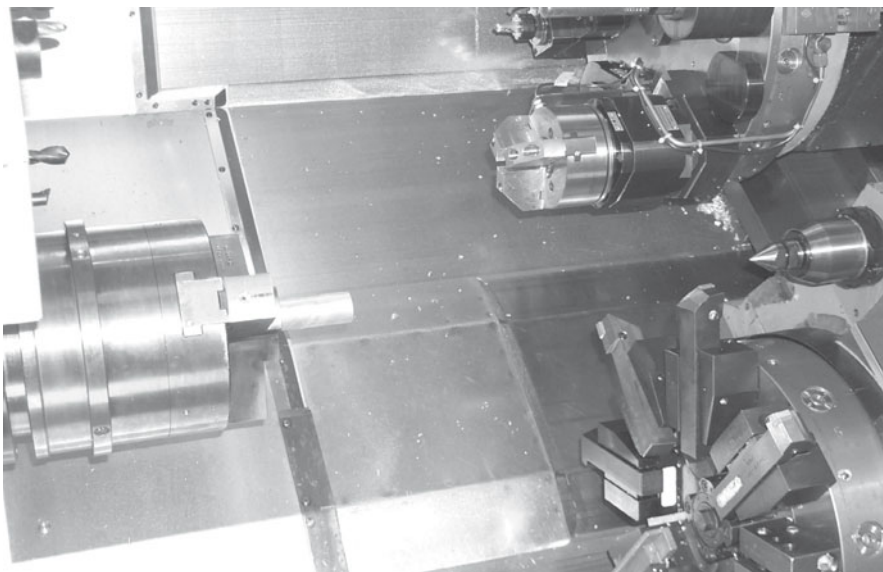


Bild 2.6. Werkzeugspeicher mit Futter zur Realisierung des Stangenvorschubs

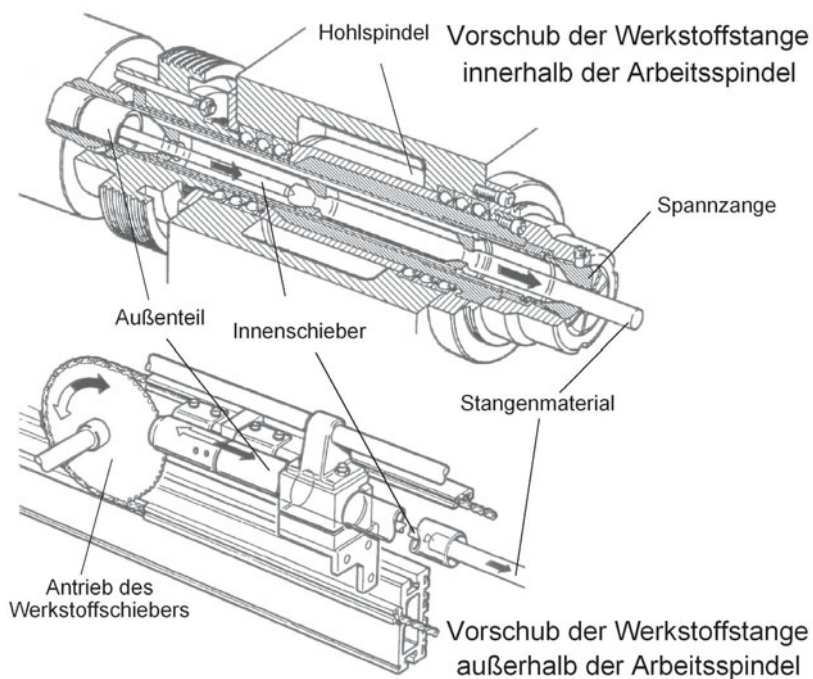


Bild 2.7. Werkstoffspeicher für den Stangenvorschub einer Drehmaschine (nach Traub)

Werkzeugmaschinen 4

Automatisierung von Maschinen und Anlagen

Weck, M.

2006, XX, 502 S. 330 Abb. Mit Online-Extras., Softcover

ISBN: 978-3-642-38747-0