

II Baueinheiten einer CNC - Maschine

1. ANTRIEBSELEMENTE

1.1 HAUPTANTRIEBE

Die heute an Werkzeugmaschinen eingesetzten Einzelkomponenten wie numerische Steuerungen, Hauptantriebe, Servoantriebe und Meßsysteme können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. Eine Funktionsfähigkeit ist nur gegeben, wenn alle Komponenten aufeinander abgestimmt sind. Dies ist letztlich der Grund, daß von den Werkzeugmaschinenherstellern die Forderung gestellt wird, NC und Antriebe aus einer Hand zu bekommen.

Regelbare Hauptantriebe werden für den Werkzeugmaschinenbau immer interessanter. Mit ihnen wächst der Automatisierungsgrad, die Werkstückqualität läßt sich verbessern und die Bearbeitungsgeschwindigkeit steigern. Ihr Einsatz bleibt nicht nur auf NC-gesteuerte Wzm beschränkt, auch konventionell gesteuerte Werkzeugmaschinen werden zunehmend mit regelbaren Hauptantrieben ausgerüstet.

Zum derzeitigen technischen Stand zählen drehzahlgeregelte, an die Maschine angepaßte 4-Quadranten-Gleichstromhauptantriebe. Sie bestehen aus Gleichstrommotor und Thyristorstromrichtergerät.

In zunehmendem Maße werden heute bei Antrieben für Roboter und NC-Maschinen regelbare Drehstromasynchronmotore (Drehstromservomotore) eingesetzt. Man erreicht bei diesen Antrieben einen lückenlosen Drehzahlbereich z.B. von +4500 min⁻¹ ... - 4500 min⁻¹. Verwirklicht wird dieser Drehzahlbereich über eine Frequenzsteuerung und gleichzeitiger Erfassung der Drehwinkelstellung des Motorläufers.

Forderungen an moderne Hauptantriebe:

- kurze Anlauf- und Stillsetzungszeiten;
- geringer Drehzahl- und Drehmomentabfall bei zunehmender Belastung (insbesondere bei Drehmaschinen);
- großer Drehzahlbereich, damit insbesondere NC-Drehmaschinen mit konstanter Schnittgeschwindigkeit gefahren werden können;
- große zulässige Schalthäufigkeiten auch bei größeren Schwungmassen;
- Drehrichtungsänderung.

Der Wunsch, die Arbeitsspindel über möglichst wenige oder sogar ohne Getriebestufe anzutreiben, konnte durch den stufenlos regelbaren Hauptantrieb verwirklicht werden.

Der geregelte Hauptantrieb hat die Aufgabe, die Drehzahl an den Zerspanungsvorgang anzupassen. Für eine optimale Zerspanung ist ein großer Drehzahlbereich erforderlich.

Die universelle Anwendbarkeit von regelbaren Gleichstromantrieben bei vielen Arten von Werkzeugmaschinen wurde ermöglicht durch die Entwicklung spezieller Stromrichtergeräte, mit Anpassung an die Erfordernisse dieser Antriebe.

An das dynamische Verhalten von Hauptantrieben werden mit Ausnahme der Funktion 'Gewindschneiden' keine so hohen Anforderungen gestellt, wie an das der Vorschubantriebe.

Hochlauf- und Bremszeiten von 0,5 bis 2 Sekunden sind bei Fräs- und Bohrmaschinen sowie bei Bearbeitungszentren üblich.

Bei vielen Werkzeugmaschinenantrieben und Vorschubantrieben ist eine Entwicklung zum stufenlosen Antrieb zu erkennen.

Fundierte Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen Drehmoment, Leistung und Drehzahl sind unabdingbar.

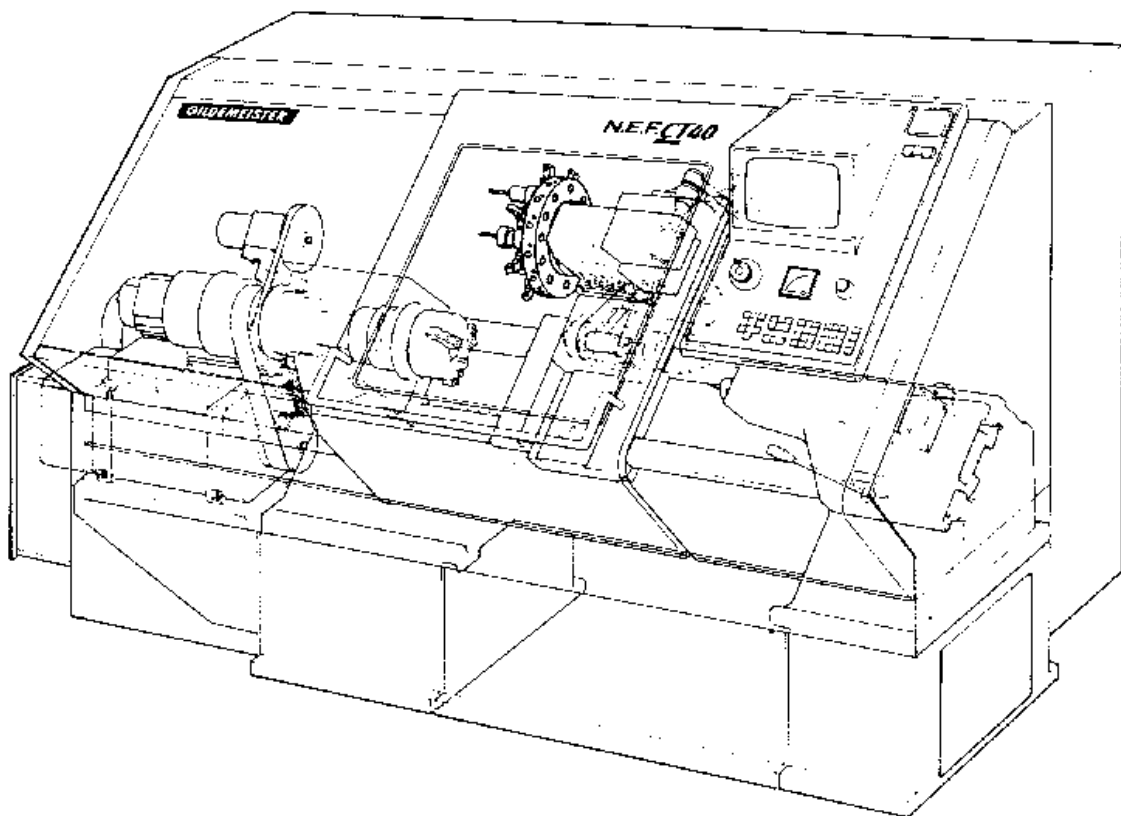


Abb. 2.1 : Direktantrieb der Hauptspindel bei einer CNC – Drehmaschine

1.2 VORSCHUBANTRIEBE

Während bei handbedienten Maschinen der Facharbeiter die Werkzeuge über Handräder bewegt, werden bei CNC-Maschinen die Werkzeugbewegungen von einem Computer gesteuert. Die auffälligsten konstruktiven Unterschiede sind deshalb bei den Bedienelementen und bei den Vorschubantrieben festzustellen.

An einen Vorschubmotor werden folgende Anforderungen gestellt:

Um die Vorschübe genau einhalten zu können, muß die Drehzahl über den gesamten Bereich von der kleinsten Vorschubgeschwindigkeit bis zum Eilgang - bei großen Produktionsmaschinen bis zu 20 m/min - regelbar sein, wobei auch bei kleinen Drehzahlen ein ruckfreier, gleichmäßiger Lauf gewährleistet sein muß.

Hohe Dynamik: Das Trägheitsmoment des Motors muß klein sein, d.h. der Motor muß rasch beschleunigen und verzögern können. Dadurch wird sichergestellt, daß das Werkzeug den größten Teil seines Weges mit dem gewünschten Vorschub fährt.

Kleine Abmessungen: Durch kompakte Bauweise können die Vorschubmotoren dort angebracht werden, wo die Antriebsleistungen benötigt werden, also direkt an den Achsen.

Konstantes Drehmoment: Das Drehmoment des Motors überwindet die Beschleunigungskraft, die Reibung in den Führungen und die Vorschubkraft für die Zerspanung.

Die beiden letzten Kräfte sind im wesentlichen unabhängig von der Vorschubgeschwindigkeit, das bedeutet, daß ein Vorschubmotor auf ein konstantes Drehmoment ausgelegt sein muß. Im Gegensatz hierzu wird für den Hauptantriebsmotor eine konstante Leistung gefordert. Um den vorstehenden Anforderungen gerecht werden zu können, benötigen NC -Werkzeugmaschinen sehr zuverlässige Vorschubantriebe. Bei Bahnsteuerung ist für jede Achse ein gesonderter Motor vorgesehen. Es werden Gleichstrommotore, Drehstromservomotore und für kleinere Maschinen auch Schrittmotore verwendet.

1.2.1 Gleichstrommotore:

Gleichstrommotore haben bei Vorschubantrieben einige **Vorteile:**

Sie haben ein hohes Anzugsmoment.

Es werden Anker mit kleinem Durchmesser und damit auch kleiner Schwungmasse verwendet.

Oft sind am Vorschubmotor auch Meßsysteme für die Drehzahl und die Position eingebaut. Ein Lage-Regel-Kreis (Soll-Istwert-Vergleicher) bewirkt bei Abweichungen von der Soll-Position das entsprechende Einschalten des Vorschubmotors.

Heute sind Schnellläufer bis 6000 1/min auf dem Markt und Langsamläufer bis 1000 1/min mit einem Regelbereich von 1:1000 und mehr. Dabei ist gewährleistet, daß bei geringster Drehzahl noch einwandfreier Rundlauf gegeben ist.

1.2.2 Drehstrommotore

Der Hauptnachteil von Gleichstrommotoren ist die begrenzte Belastbarkeit des Kollektors. Drehstrommotore haben keinen Kollektor und gelten als insgesamt robuster.

Die wesentlichen Vorteile gegenüber Gleichstrommotoren sind:

keine Kollektoren und Schleifringe;

kleinere Abmessungen bei gleicher Leistung;

kleinere Schwungmomente (günstig beim Beschleunigen und Verzögern)

höhere Leistungen und Drehzahlen; drehzahlunabhängiges Dauerdrehmoment; extreme Überlastbarkeit; höchste Zuverlässigkeit.

Zum Einsatz kommen Asynchron- und Synchronmotoren. Insbesondere der Asynchronmotor gilt als besonders robust und wartungsarm .

1.2 3 Schrittmotore:

Schrittmotoren eignen sich für geringsten Vorschubgeschwindigkeiten bei mäßigen Schnittkräften. Es werden elektrische Impulse in mechanische Winkelschritte umgesetzt.

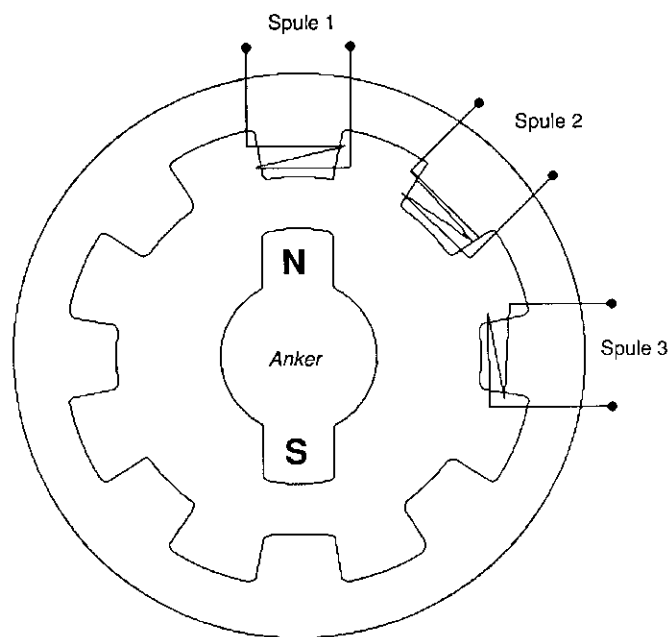


Abb. 2.2 : Aufbau eines Schrittmotors

Beim Schrittmotor werden nacheinander die Spule 1, die Spule 2 und die Spule 3 usw. vom Strom durchflossen. Dies bewirkt die Drehung des Ankers. Es ist darauf zu achten, daß die Kräfte nicht zu groß werden, damit der Schrittmotor nicht "außer Tritt" gerät.

Bei Schrittmotoren ist eine Positionserfassung durch gesonderte Meßsysteme nicht erforderlich.

1.2.4 Hydraulikantriebe:

Vor wenigen Jahren noch waren hydraulische Vorschubantriebe an Werkzeugmaschinen vorherrschend. Durch die Entwicklung der Leistungsthyristoren und Transistoren wurde es jedoch möglich, preisgünstigere und reaktionsschnellere Gleichstrommotoren herzustellen. Diese haben heute die Hydraulikmotoren an Werkzeugmaschinen fast völlig verdrängt.

Nachteile der Hydraulikantriebe:

Lärm, Gleichlaufschwierigkeiten, Störanfälligkeit und hoher Wartungsaufwand.

1.3 Steifigkeit des Antriebssystems

Eine hohe Positioniergenauigkeit setzt eine große Steifigkeit von Antriebselementen und Antriebsmotor voraus. Je schwingungsärmer das System ist, desto exakter werden die Bewegungen ausgeführt.

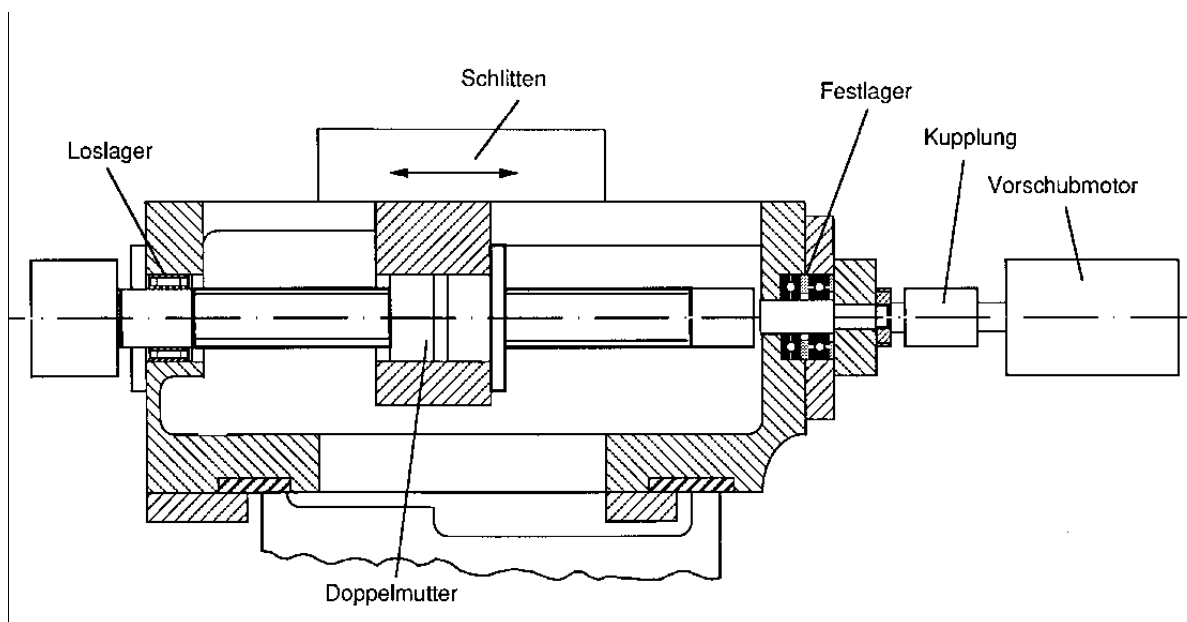


Abb. 2.3 : Vorschubsystem

Die Nachgiebigkeit der einzelnen Elemente des Vorschubsystems ist unterschiedlich groß. Die größte Nachgiebigkeit weist die Spindel auf.

1.3.1 Nachgiebigkeit der Elemente des Vorschubsystems

Für ein bestimmtes System ergab eine Nachgiebigkeitsanalyse die nachstehenden Prozentanteile. Die Spindel wurde auf Zug belastet und die Verformung gemessen.

Bei einer Gesamtnachgiebigkeit des Systems von 100% ergab sich folgende Verteilung:

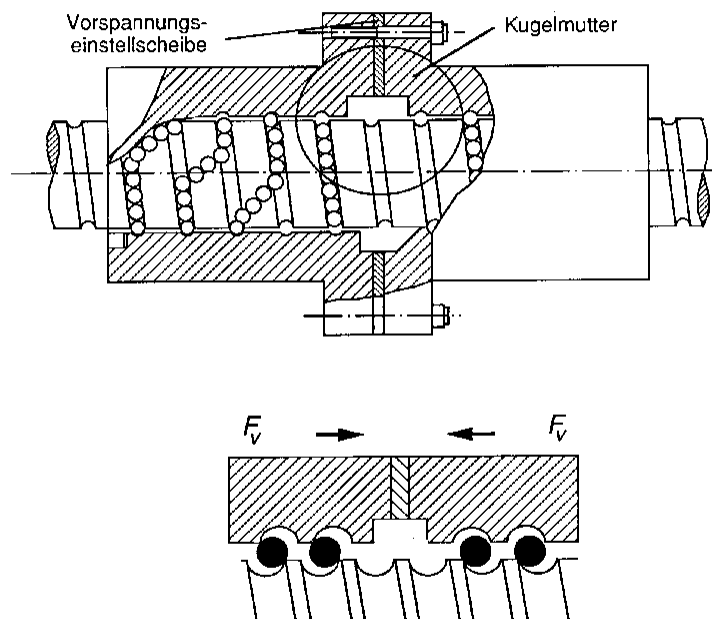
Nachgiebigkeit der Spindelmutter:	8,4 %
Nachgiebigkeit der Spindel:	58,0%
Nachgiebigkeit der Lager:	15,8%
Nachgiebigkeit des Lagerblocks:	17,8%

1.4 SPINDELTRIEBE

An Gewindespindeln wird neben den Forderungen nach geringer Reibung und geringem Verschleiß auch die Forderung nach geringem Spiel - möglichst spielfrei - gestellt. Man nennt dieses Spiel auch Umkehrspiel, toter Gang, Lose oder Spanne.

Bei Trapezgewindetrieben ist das Spiel nur schwer zu kompensieren. Die Reibung zwischen Spindel und Mutter ist relativ groß. Die Entwicklung ging bei Wzm im allgemeinen und NC - Maschinen im besonderen zu den Kugelgewindetrieben.

Kugelumlaufspindel 1



Das Spiel zwischen Kugelmutter und Kugelspindel kann mechanisch nachgestellt werden.

Abb.: 2.4 Kugelumlaufspindel 1

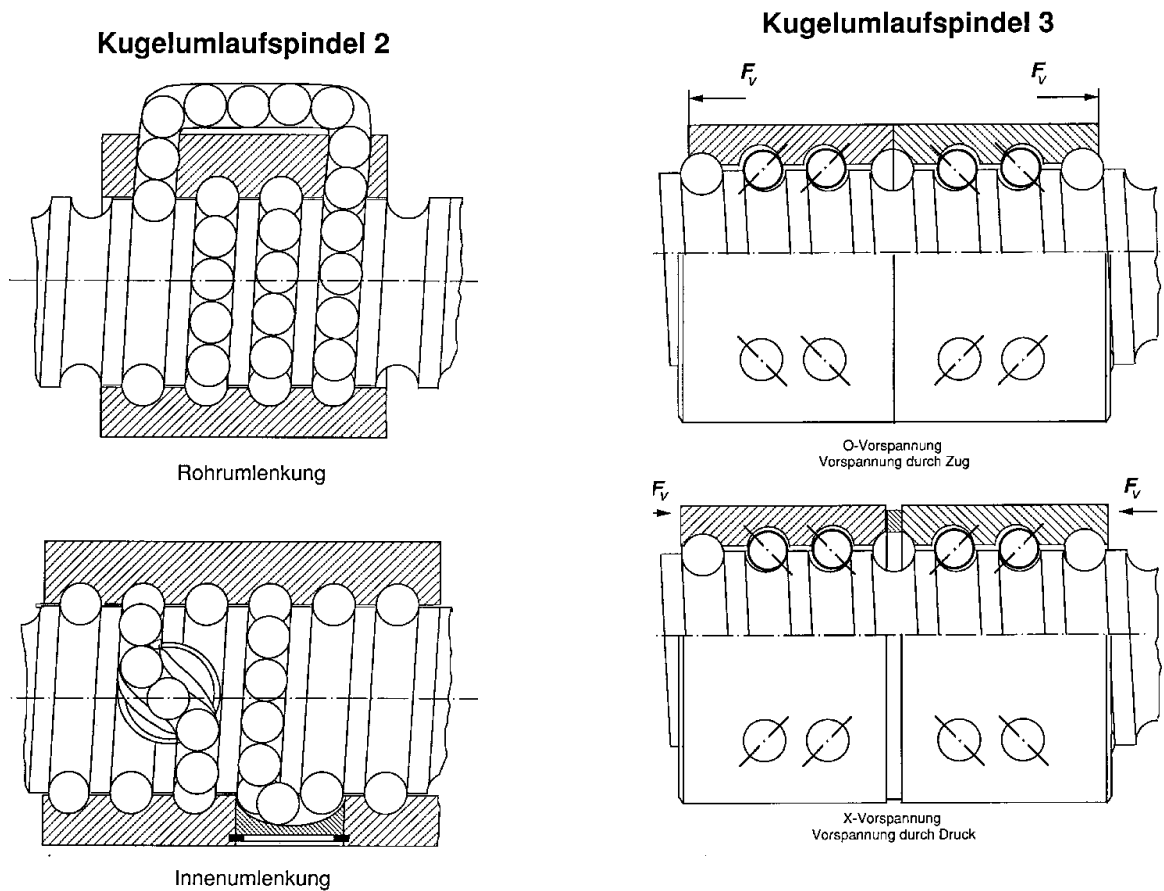


Abb. 2.5 Kugelumlaufspindeln

Die Umsetzung der rotatorischen Motorbewegung in die translatorische Schlittenbewegung erfolgt bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in der Regel über einen Kugelgewindetrieb. Er bietet gegenüber dem Trapezgewindetrieb folgende Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad --> geringe Antriebsleistung
- geringer Verschleiß --> lange Lebensdauer
- geringe Erwärmung --> hohe Positioniergenauigkeit
- große Verfahrgeschwindigkeit --> kurze Nebenzeiten

1.5 Spielkompensation

Bei Werkzeugmaschinen kommen meist solche Kugelrollspindeln zur Anwendung, deren Umkehrspiel schon sehr gering ist. Eine weitere Verringerung des Umkehrspiels kann durch die Vorspannung einer zweiteiligen Spindelmutter erreicht werden. Dabei kann die Vorspannung sowohl durch Druck oder durch Zugerfolgen. Man nennt dies eine 0- bzw. X-Vorspannung.

Bei dieser 'mechanischen Kompensation' des Spiels sind Spindelmutter und Kugelrollspindel so weit vorzuspannen, daß ein Umkehrspiel weitgehend ausgeschaltet ist. Aus mechanischen Gründen ist es jedoch nicht möglich, die Vorspannung weiter zu erhöhen (Reibung, Lebensdauerminde- rung), so daß ein Spiel bestehen bleibt.

Moderne Steuerungen bieten die Möglichkeit, das Umkehrspiel zu kompensieren, indem der Verfahweg bei Richtungswechsel um den Betrag des Spiels erhöht (positiv) oder erniedrigt wird (negativ). Das Umkehrspiel muß mit einer Meßuhr festgestellt werden und über den Festwert- speicher (Parameter) in die Steuerung eingegeben werden. Bei diesen Überlegungen ist vorausge- setzt, daß das Spiel über den gesamten Verfahrbereich der Achse konstant ist.

1.6 FÜHRUNGEN

Bei normalen Gleitführungen macht sich das sogenannte Rückgleiten (Stick-Slip-Bewegung) nachteilig bemerkbar.

Bei größeren NC-Maschinen kommen oft Gleitführungen mit aufwendiger hydrostatischer Ölver- sorgung zum Einsatz. Eine Pumpe erzeugt den Öldruck, der dann den metallischen Kontakt zwi- schen Schlitten und Auflager aufhebt.

Der Trend geht bei den Führungen der NC-Maschinen zu wälzkörpergelagerten (Rollen und Na- deln) Schlittenführungen, kombiniert mit kunststoffbeschichteten Gleitführungen zur Schwin- gungsdämpfung.

2. MESSSYSTEME FÜR CNC-MASCHINEN

Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen benötigen für jede Achse eine Weg- bzw. Winkelmeßeinrichtung, bei der die eingegebenen Sollwerte permanent mit den Istwerten verglichen werden.

Man unterscheidet:

Lineare	- rotatorische Meßwertabnahme
Direkter	- indirekter Meßort
Analoge	- digitale Meßwerterfassung
Absolutes	- inkrementales Meßverfahren

2.1 LINEARE UND ROTATORISCHE MESSWERTABNAHME

Lineare Meßsysteme sind Wegmeßsysteme. Rotatorische dagegen Winkelmeßsysteme.

2.2 DIREKTER UND INDIREKTER MESSORT

Wegmeßsysteme und Winkelmeßsysteme können durch Umwandlung der Bewegungsart Translation/Rotation jeweils für die Weg als auch für die Winkelmessung eingesetzt werden. In diesem Fall spricht man von indirekter Meßwerterfassung.

2.3 ANALOGE UND DIGITALE MESSWERTERFASSUNG

Bei der analogen Meßwerterfassung werden die zurückzulegenden Wege oder Winkel stufenlos durch andere physikalische Größen dargestellt. Das sind in der Regel ohmsche Aufnehmer oder elektromagnetische Aufnehmer. Ohmsche Aufnehmer (Potentiometer) werden bei Werkzeugmaschinen wegen der fehlenden Genauigkeit nicht eingesetzt.

Die digitale Meßwerterfassung erfolgt in Schritten. Es wird in der Regel fotoelektrisch gearbeitet.

2.4 ABSOLUTES UND INKREMENTALES MESSVERFAHREN

Beim absoluten Meßverfahren ist jeder Meßpunkt der Meßstrecke eindeutig auf einen festen Punkt (Bezugspunkt) bezogen. Der Meßpunkt ist daher jederzeit voll identifizierbar. Auch nach Unterbrechung der Stromversorgung kennt die Steuerung ohne vorherige Speicherung die genaue Lage dieses Punktes.

Beim inkrementalen Meßverfahren wird die Meßstrecke in einzelne Inkremente (Schritte) aufgeteilt. Die Anzahl der Inkremente ist ein Maß dafür, um welchen Weg- bzw. Winkelbetrag man sich vom vorhergehenden Punkt weiterbewegt hat

Eine Zwischenstellung zwischen dem absoluten und inkrementalen nimmt das Zyklisch-absolute Meßverfahren ein. Der Meßbereich wird in feste Zyklen aufgeteilt. Die Zyklen werden in einem Zähler aufsummiert. Die Position wird durch eine Kombination des Zählerstandes und der absoluten Wegmessung erfaßt.

Wegmessung an Werkzeugmaschinen

Meßwertabnahme	
Linear	Rotatorisch
Wegmessung	Winkelmessung

Meßort	
Direkt	Indirekt
Die Messung der Größe erfolgt direkt.	Die Messung der Größe erfolgt indirekt, z.B. Wegmessung durch Winkelmessung

Meßwernerfassung	
Analog	Digital
Jeder Schlittenposition wird ein eindeutiger analoger Meßwert zugeordnet.	Der Meßbereich wird in gleichgroße Abschnitte geteilt

Meßverfahren	
Absolut	Inkremental
Die Wegabschnitte sind eindeutig beziffert. Die auf einen Nullpunkt bezogene Information wird abgelesen.	Die Wegabschnitte sind nicht beziffert. Sie werden beim Überfahren gezählt. Es besteht kein ständiger Bezug zu einem festen Nullpunkt

Abb. 2.7 Gegenüberstellung der verschiedenen Meßverfahren

2.5 BEISPIELE VON MESSSYSTEMEN

„

Typische Anwendungen in der NC-Technik sind folgende:

2.5.1 Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Strichmaßstab

Arbeitsweise: linear - direkt – digital - inkremental

Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Strichmaßstab

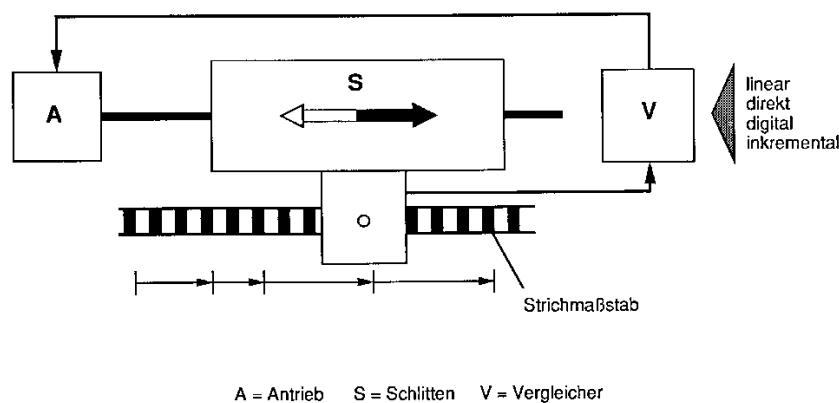


Abb. 2.8 Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Strichmaßstab

Das Kennzeichen der Inkremental-Verfahren (Inkmente = Wegschritte) ist das Aufsummieren von Wegelementen in einem Zähler, der außerhalb der eigentlichen Wegmeßeinrichtung untergebracht ist. Die Zählimpulse werden mittels eines linearen Strichmaßstabes an den Vergleicher gegeben. Alle Strecken werden also als ganzes Vielfaches eines Einheitsschrittes erfaßt.

Neben den optisch arbeitenden Systemen mit Hell-DunkelScheiben, die fotoelektrisch abgetastet werden, gibt es auch Systeme mit magnetischen Gebern. Sie besitzen an Stelle des Hell-Dunkel-Rasters eine entsprechende Kennung der Magnetisierung.

Das digital-inkrementale System ist vom Aufbau her am einfachsten und somit kostengünstig. Aufgrund der ständig verbesserten Meßsysteme setzt sich das digital-inkrementale Verfahren zunehmend durch, insbesondere bei einfacheren Maschinenausführungen.

2.5.2 Inkrementales Längenmeßsystem mit photoelektrischer Abtastung

Bei optischen Systemen wird das Auflicht- und das Durchlichtverfahren unterschieden.

Beschreibung eines inkrementalen Längenmeßsystems mit photoelektrischer Abtastung (Heidenhain-Diadur-Durchlichtverfahren):

Als Maßverkörperung dient ein Glasmaßstab mit einer Strichgitter-Teilung mit Teilungsperioden von z.B. 8 μm , 10 μm , 20 μm , 40 μm oder 100 μm . Die Teilung eines inkrementalen Maßstabes besteht bei 3,2 Meter Teilungslänge mit einer Teilungsperiode von 20 μm aus 160000 Einzelstrichen - ohne Berücksichtigung der Referenzmarken. Die Ungenauigkeit beträgt $\pm 0,001$ mm pro 1 m Meßlänge.

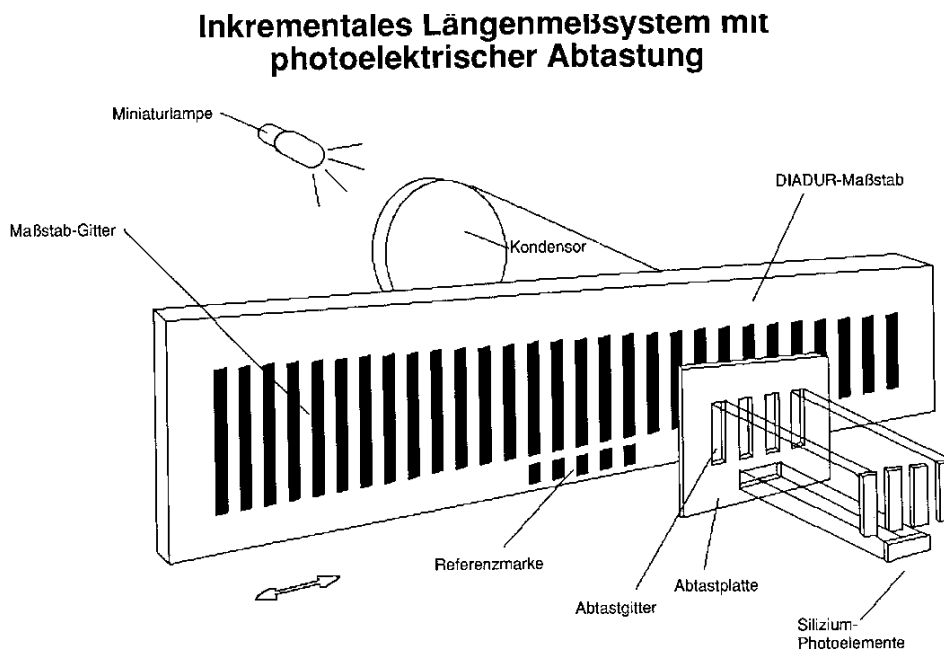


Abb. 2.9 Inkrementales Längenmeßsystem mit photoelektrischer Abtastung

Der Maßstab wird photoelektrisch abgetastet. Bei Bewegung des Maßstabes relativ zur Abtasteinheit erzeugen die Abtast-Photoelemente periodische Signale bzw. beim Überfahren der Referenzmarke zusätzlich eine Signalspitze.

Die Inkremental-Signale müssen für die Auswertung von einer Impulsformer-Elektronik in Rechteck-Signale umgewandelt werden (Digitalisierung).

Im sogenannten Zähler werden aus den periodischen Abtastsignalen Zählimpulse gebildet. Durch Zählen dieser Impulse wird die jeweilige Ist-Position bestimmt.

2.5.3 Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Code-Lineal

Arbeitsweise: linear- direkt – digital - absolut

Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Code-Lineal

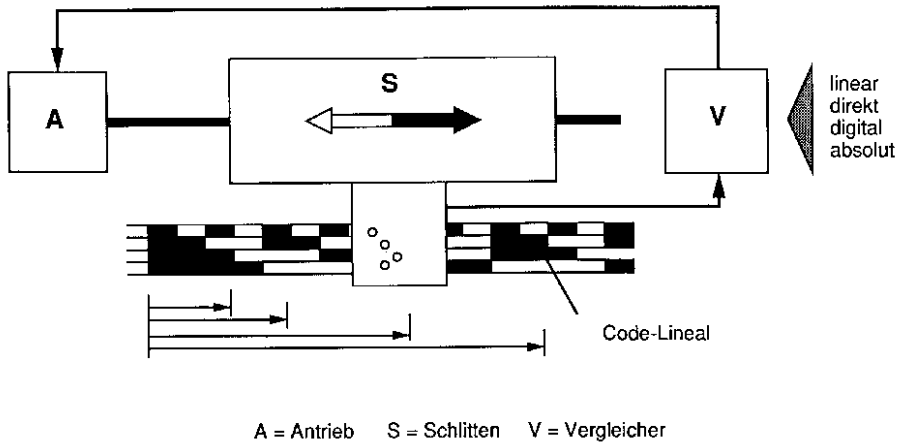


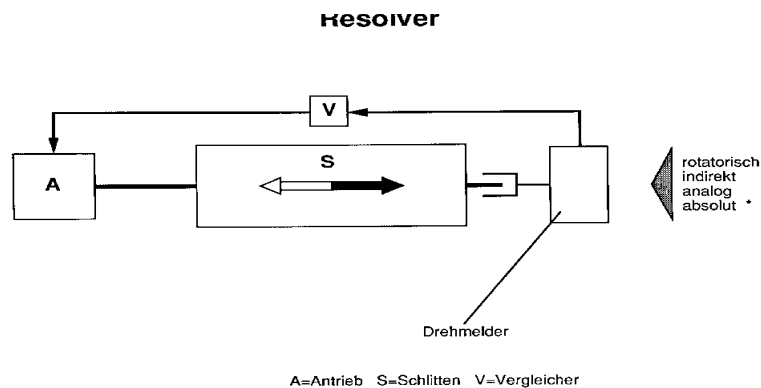
Abb. 2.10 Photoelektrisches Linearmeißsystem mit Code-Lineal

Die absolute Positionsmessung wird dadurch möglich, daß die Wege an einem auf den Nullpunkt (Ausgangspunkt) bezogenen Maßstab gemessen werden. Je Einheitsschritt wird vom Geber eine Signalkombination (Bitmuster) bereitgestellt, so daß eine eindeutige Aussage über den Schlittenstandort möglich ist. Es ergibt sich in Verbindung mit einer Istwertanzeige der Vorteil, daß bei einer Programmunterbrechung das Maß erhalten bleibt und von diesem Punkt die Bearbeitung fortgesetzt werden kann.

Absolute Meßsysteme sind technisch aufwendig und sehr teuer. Sie sind deshalb an Werkzeugmaschinen fast nicht mehr zu finden.

2.5.4 Resolver

Arbeitsweise: rotatorisch direkt/indirekt analog (zyklisch) absolut



* Das Verfahren arbeitet in der Regel zyklisch - Absolut

Abb. 2.11 Resolver

Resolver als Drehmelder werden direkt zur Winkelmessung und indirekt zur Wegmessung eingesetzt. Sie arbeiten induktiv.

Der Aufbau des Resolvers ähnelt dem eines Wechselstromgenerators. Er zeichnet sich aus durch geringe Größe und Trägheit sowie eines geringen Reibungsmomentes.

Das Rund-Induktosyn arbeitet prinzipiell wie das LinearInduktosyn. Es kann direkt zur Winkelmessung und indirekt zur Wegmessung eingesetzt werden.

2.5.5 Photoelektrischer Drehgeber mit Strichscheibe

Arbeitsweise: rotatorisch direkt/indirekt digital inkremental

Photoelektrischer Drehgeber mit Strichscheibe

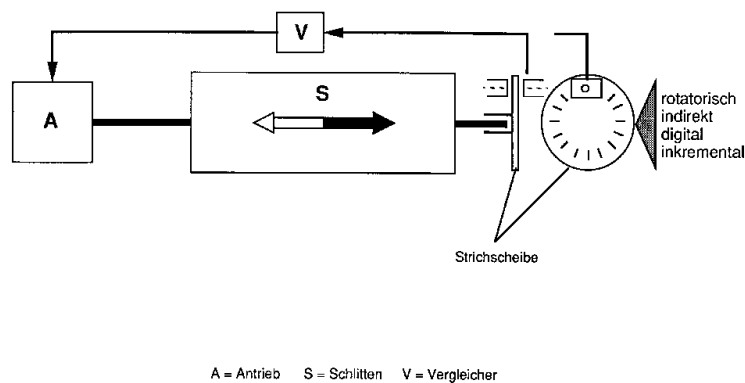


Abb. 2.12 Photoelektrischer Drehgeber mit Strichscheibe

Zählimpulse werden durch einen rotierenden Geber an den Vergleichler gegeben.

Inkrementale Drehgeber werden zur Messung von Drehwinkeln und Winkelgeschwindigkeiten eingesetzt. In Verbindung mit Zahnstange/Ritzel, Spindel/Mutter, Leitspindel oder Meßrad werden sie auch für Längen- und Geschwindigkeits-Messungen verwendet.

Als Maßverkörperung dienen Gitterteilungen auf Glas. Wird die Welle gedreht, so erzeugen die Abtast-Photoelemente zwei periodische, annähernd sinusförmige Signale (InkrementalSignale). Die Anzahl der Perioden ist ein Maß für den Drehwinkel. (Zur Funktionsbeschreibung siehe auch photoelektrische Linearmeßsysteme mit Strichmaßstab).

Inkrementaler Drehgeber mit photoelektrischer Abtastung

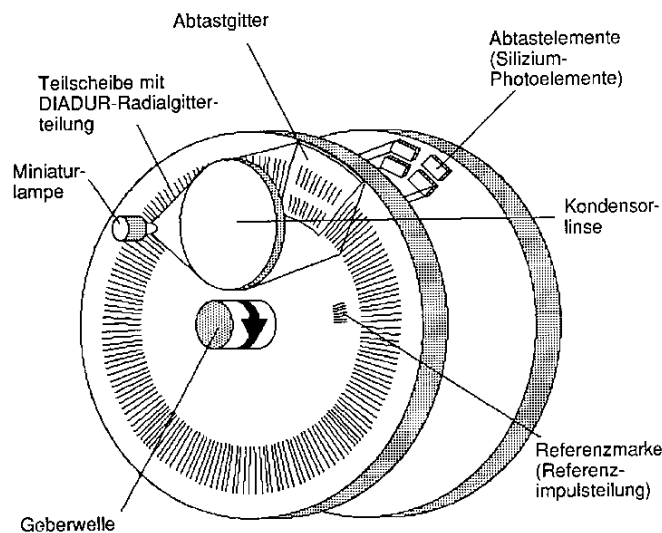


Abb. 2.13 Inkrementaler Drehgeber mit photoelektrischer Abtastung

Referenz-Marke: Nach dem Ausschalten der Steuerung oder bei einem Stromausfall geht die Zuordnung des Meßwertes zur Stellung der Drehgeber-Wellä im allgemeinen verloren. Um diese Zuordnung wieder zu finden, besitzt der Drehgeber eine Referenzmarke.

Für den Meßschritt bzw. die Auflösung sind bestimmend:

die Strichzahl;
die Unterteilung der annähernd sinusförmigen Ausgangssignale;

Die Auswertung der Rechtecksignale

Beispiele:

Strichzahl 18000

Meßschritt 0,0010

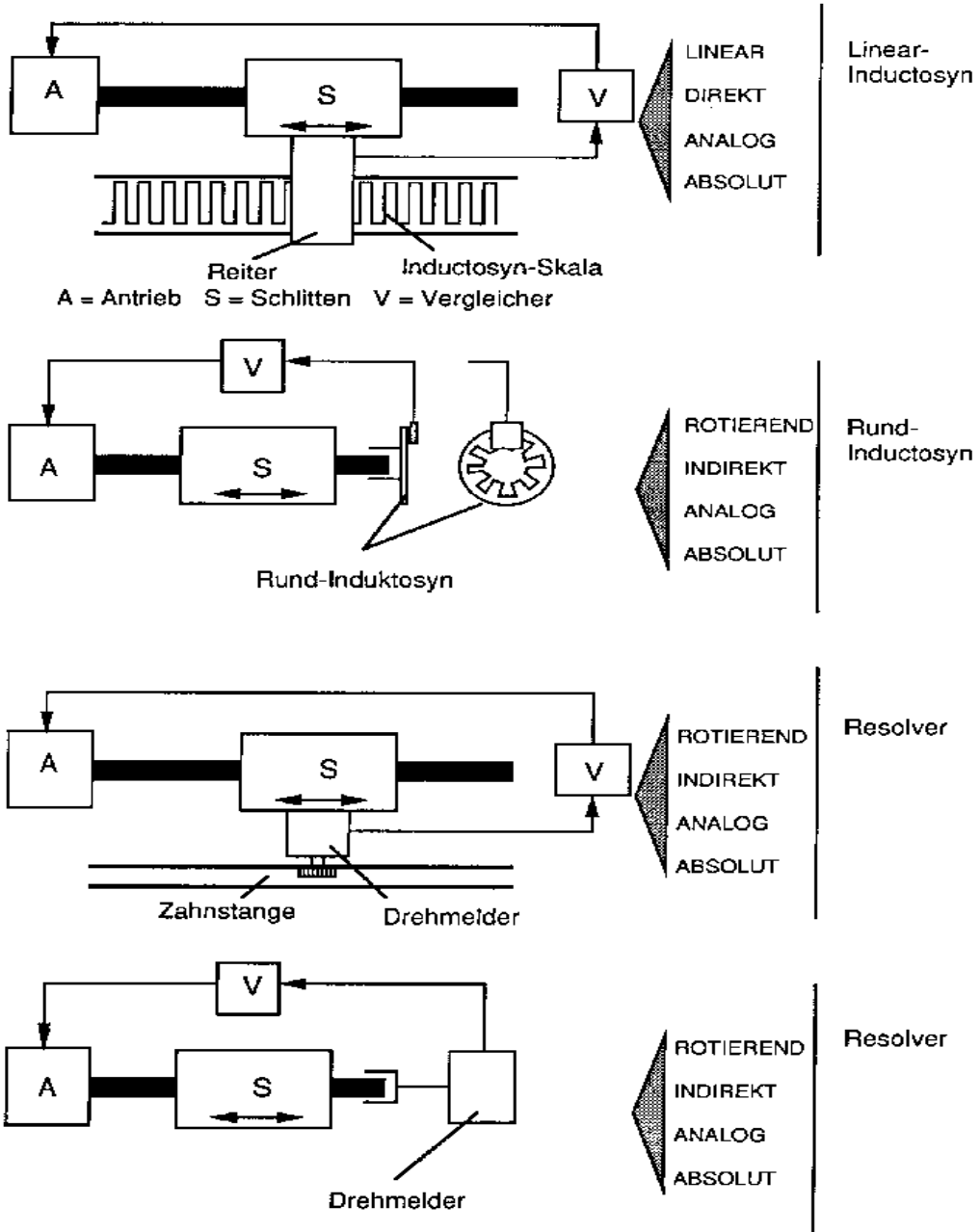
Strichzahl 36000

Meßschritt 0,00050

Bei der indirekten Wegmessung können mehrere Rasterscheiben über ein Präzisionsgetriebe miteinander gekoppelt werden, so daß auch größere Wege absolut gemessen werden können.

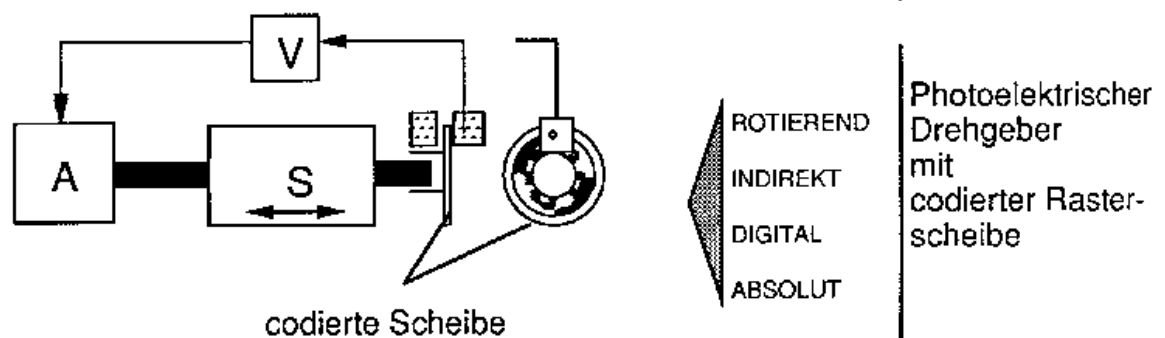
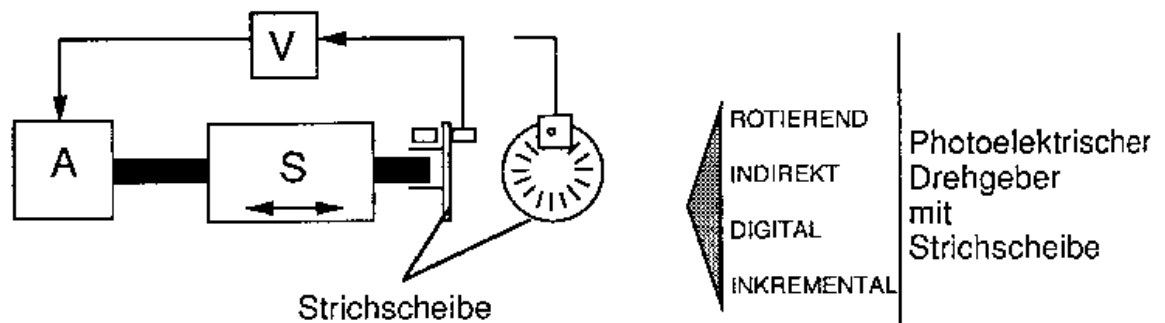
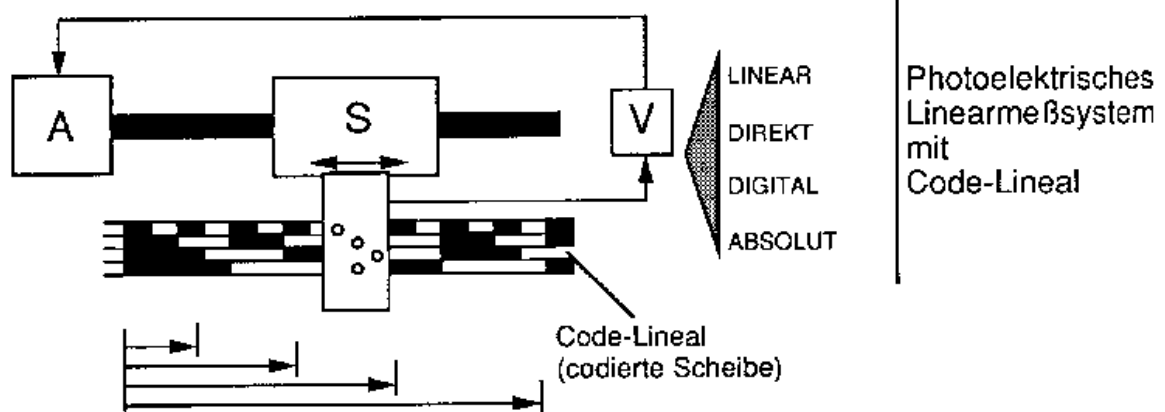
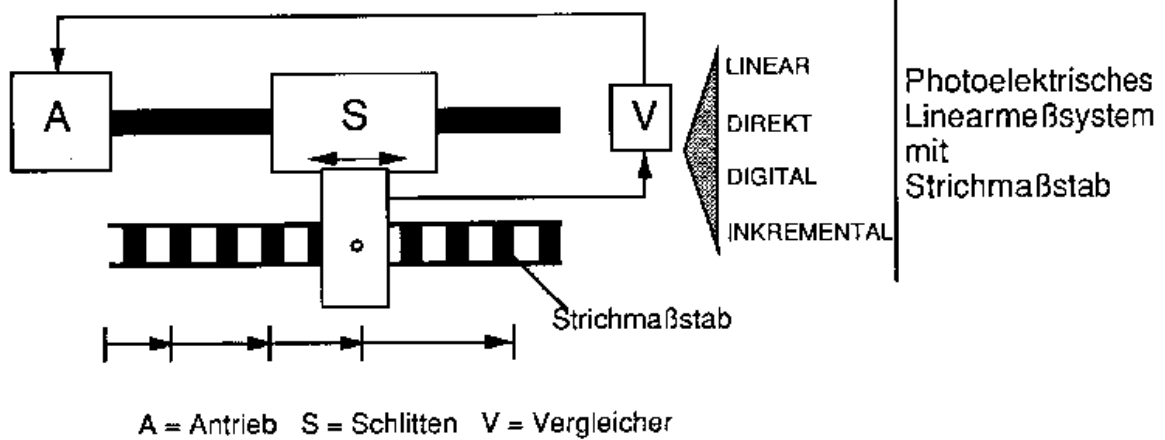
2.6 VERGLEICH DER MESSSYSTEME

Übersicht über analoge Meßverfahren



Anmerkung: Die Verfahren arbeiten zyklisch-absolut

Übersicht über digitale Meßverfahren



2.7 Fehlereinflüsse

Fehlereinflüsse der direkten und indirekten Wegmessung

Fehlereinflüsse bei der direkten Messung

- Temperatur
- Teilungsfehler
- Abstands- und Winkelfehler

Fehlereinflüsse bei der indirekten Messung

Elastische Verformung der Spindel

Steigungsfehler

Spiel

Verschleiß der Spindel

Fehler des Gebers

Temperatur

Teilungsfehler der Zahnstange und des Ritzels

Exzentrizität

Fehler im evtl. eingesetzten Getriebe

2.8 Aufgaben zur Wiederholung und Vertiefung

1. Durch welche Maßnahmen kann bei CNC-Maschinen ein nahezu spielfreier Vorschubantrieb erreicht werden ?

2. Nennen Sie Vorteile von Gleichstrommotoren gegenüber Drehstrommotoren !

3. Erläutern Sie die Arbeitsweise von Schrittmotoren !

4. Welche Forderungen werden an einen modernen Hauptantrieb gestellt ?

5. Welche Forderungen werden an einen Vorschubantrieb gestellt ?

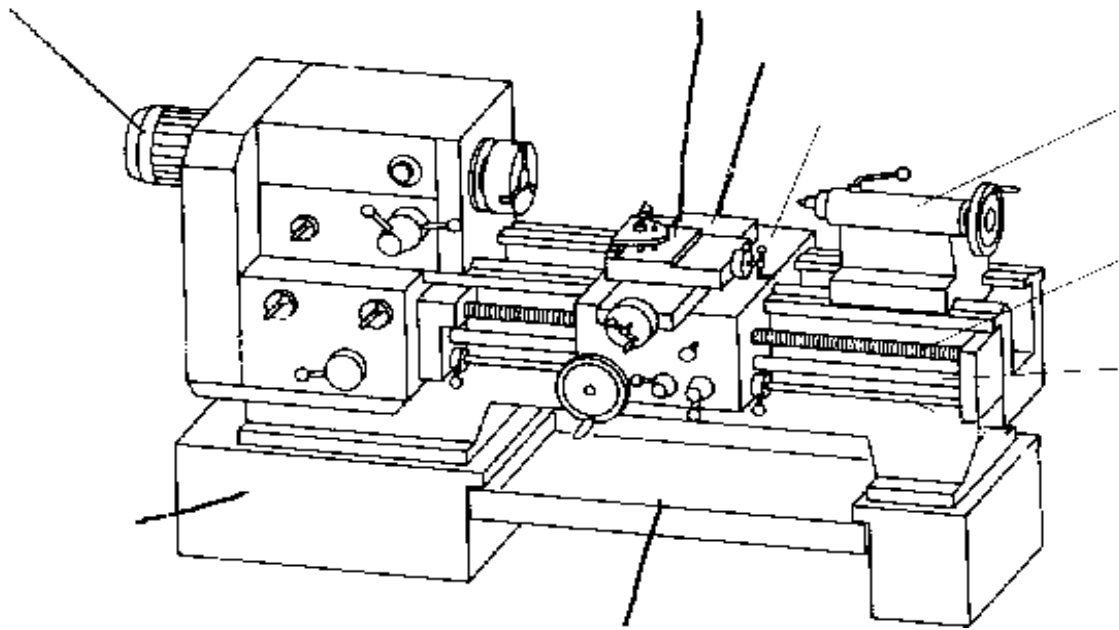
6. Erläutern Sie die Funktionsweise einer Kugelumlaufspindel !

7. Unterscheiden Sie die Messsysteme für CNC – Maschinen !

8. Erläutern Sie Fehlereinflüsse auf die verschiedenen Messverfahren !

9. Bezeichnen Sie die gekennzeichneten Baueinheiten !

a) konventionelle Drehmaschine



b) CNC – Drehmaschine

