

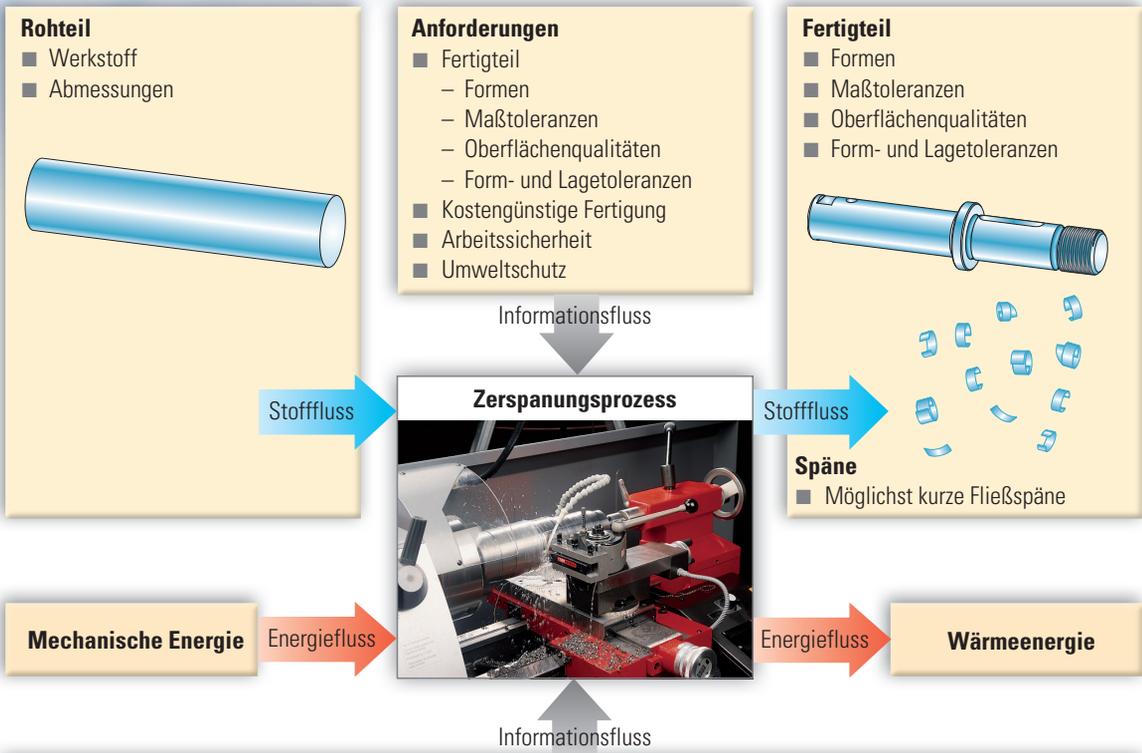
Lernfeld 5: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen



In den Lernfeldern 1 und 2 haben Sie grundlegende Kenntnisse zur Fertigung von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen oder mit Maschinen erworben. Darauf aufbauend befassen Sie sich in diesem Lernfeld damit, auftragsbezogen unter Berücksichtigung des Arbeits- und Umweltschutzes Werkstücke aus ver-

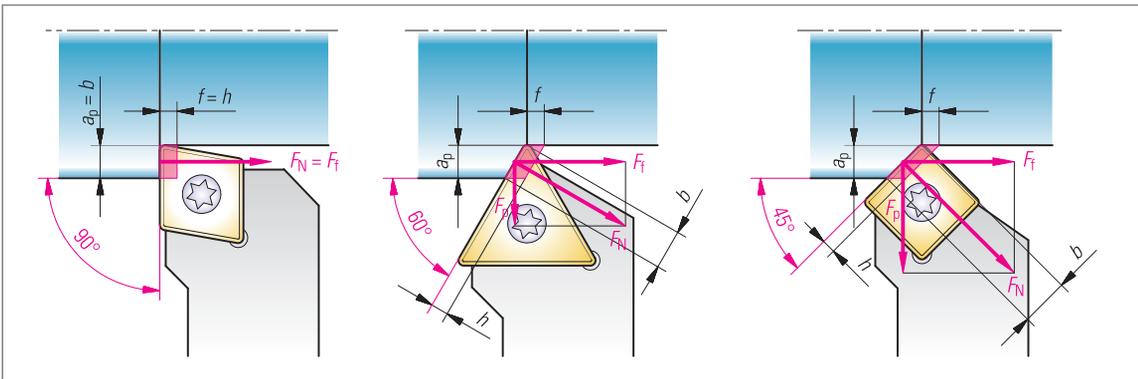
schiedenen Werkstoffen auf Werkzeugmaschinen herzustellen. Zur Feinbearbeitung der Werkstücke lernen Sie dabei als neues Fertigungsverfahren z. B. das Schleifen kennen. Grundlage Ihres Arbeitsauftrages wird in den meisten Fällen eine Fertigungszeichnung sein. Dieser entnehmen Sie die Informationen, die Sie benötigen,

um die erforderlichen Fertigungsverfahren und Fertigungsschritte festzulegen. Sie erstellen Arbeitspläne, wählen geeignete Spannmittel aus und richten die Maschine ein. Schließlich entwickeln Sie Prüfpläne und wählen die geeigneten Prüfmittel aus. Bei all diesen Tätigkeiten beachten Sie die Wirtschaftlichkeit Ihrer Entscheidungen.



Einflussmöglichkeiten der Fachkraft durch Wahl von

technologischen Daten:	Werkzeug:	Werkzeugmaschine:	Spannmittel:	Kühlschmiermittel:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Schnittgeschwindigkeit ■ Vorschub ■ Schnitttiefe 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schneidengeometrie ■ Schneidstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Typ ■ Genauigkeit ■ Antriebsleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Werkstück ■ Werkzeug 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kühlung ■ Schmierung ■ Trockenbearbeitung ■ Minimalschmierung



1 Spannungsquerschnitt und Vorschub- und Passivkraft in Abhängigkeit vom Einstellwinkel κ

Die **spezifische Schnittkraft** k_c ist die Kraft, die je Quadratmillimeter des Spannungsquerschnitts benötigt wird. Sie wird vom Werkstoff des Werkstücks und der Spannungsdicke bestimmt (siehe Tabellenbuch).

$$F_c = A \cdot k_c$$

F_c : Zerspankraft in N
 A : Spannungsquerschnitt in mm²
 k_c : Spezifische Schnittkraft in N/mm²

M E R K E

Je größer der Spannungsquerschnitt und die Festigkeit des Werkstoffs, desto größer wird die erforderliche Schnittkraft.

Die Schnittkraft versucht, das Werkstück im Spannmittel zu verdrehen. Sie bestimmt daher maßgeblich die erforderliche Spannkraft. Da sie beim Schruppen besonders groß ist, muss auch unter diesen Bedingungen das Werkstück sicher gespannt sein.

Die Schnittkraft beansprucht den Drehmeißel auf Biegung. Damit der Meißel sich durch die Biegespannung möglichst wenig verformt, wird er so kurz wie möglich eingespannt. Dadurch werden gleichzeitig die Vibrationen, die bei schwankenden Schnittkräften auftreten, klein gehalten.

Vorschubkraft

Die Vorschubkraft F_f (*feed force*) wirkt in Vorschubrichtung. Sie ist meist wesentlich kleiner als die Schnittkraft. Da viele Drehwerkzeuge in Vorschubrichtung kraftschlüssig befestigt sind, müssen sie fest gespannt sein, damit die Vorschubkraft sie nicht aus der Halterung drückt.

Passivkraft

Die Passivkraft F_p (*passive force*) vergrößert sich bei sonst gleichen Bedingungen mit abnehmendem Einstellwinkel κ (Bild 1). Sie versucht beim Längsrunddrehen das Werkstück aus der Mitte zu verdrängen. Beim Drehen von langen dünnen Werkstücken ist die Gefahr besonders groß, dass Vibrationen und Formfehler auftreten. Daher sollen beim Schlichten Einstellwinkel über 90° und zusätzliche Spannmitteln (siehe Kapitel 2.5.6) verwendet werden.

Überlegen Sie!

1. Welche Auswirkungen hat die Schnittkraft auf das Spannen von Werkstück und Werkzeug?
2. Warum ist besonders beim Schlichten die Passivkraft zu beachten?

2.5.2 Leistungsbedarf

$$P = F \cdot v$$

P : Leistung in W
 F : Kraft in N
 v : Geschwindigkeit in m/s

Beim Drehen ist die Schnittkraft F_c deutlich größer als die Vorschubkraft F_f und die Schnittgeschwindigkeit beträgt mehr als das Hundertfache der Vorschubgeschwindigkeit. Dadurch wird die Vorschubleistung so gering, dass sie zu vernachlässigen ist. Somit ist die Schnittleistung die entscheidende Größe bei der Ermittlung des Leistungsbedarfs (*power demand*).

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

P_c : Schnittleistung in W
 F_c : Schnittkraft in N
 v_c : Schnittgeschwindigkeit in m/s

Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads η (*efficiency*) ergibt sich die Motorleistung P_M (*motor power*) der Drehmaschine:

$$P_M = \frac{P_c}{\eta}$$

$$P_M = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta}$$

P_M : Motorleistung in W
 P_c : Schnittleistung in W
 F_c : Schnittkraft in N
 v_c : Schnittgeschwindigkeit in m/s
 η : Wirkungsgrad < 1

Beim Schruppen muss die Drehmaschine die größte Leistung zur Verfügung stellen.

Neben der auf Seite 30 dargestellten Berechnung können die Motorleistung und die Schnittleistung auch mithilfe des Diagramms von Seite 30 Bild 1 bestimmt werden.

Bild 1 zeigt eine **Rundlaufmessung** an einer Gewindespindel. Sie liegt dabei an zwei Stellen auf Rollen. Die Messuhr wird an einem Stativ befestigt und auf die Oberfläche aufgesetzt. Die Anzeige wird „genullt“. Anschließend wird die Spindel gedreht und die Zeigerbewegung beobachtet.

Nach jeder Einzelmessung wird die Messuhr wieder „genullt“. Eine Abweichung vom Rundlauf führt zu einer Bewegung des Messtasters. Zwei Ursachen sind möglich:

- Der geprüfte Kreisquerschnitt ist nicht rund.
- Es liegt eine Koaxialitätsabweichung vor.

Die Rundlaufabweichung ergibt sich aus einer Überlagerung von Rundheits- und Koaxialitätsabweichungen.

MERKE

Lagetoleranzen sind immer auf ein Bezugsэлеment wie z. B. eine Drehachse bezogen.

9.7.3 Messen von Form- und Lagetoleranzen

Laser-Messung (*laser measurement*)

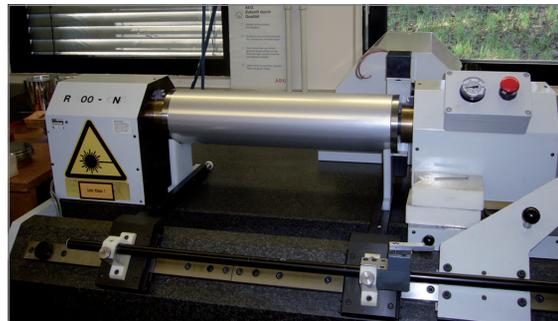
Die Rundheit kann mit einem Formmessgerät geprüft werden (Seite 98 Bild 2). Sehr verbreitet ist eine andere Messmethode, die **berührungsfrei** arbeitet. Bild 2 zeigt die Messung des Rundlaufs mithilfe eines **Laser-Messgerätes** (*laser measuring device*). Im dargestellten Fall werden Kopiertrommeln nach der spanenden Herstellung und vor dem Beschichten auf Rundheit, Rundlauf, Konizität (Kegelförmigkeit) und Geradheit geprüft. Das Werkstück wird in 6 verschiedenen Winkellagen an mehreren Stellen auf der **Bezugslänge** (*reference length*) gemessen. Ein Messprogramm steuert das Drehen der Trommel und das Anfahren der Messstellen.

Lasermessgeräte sind aus einer Sendeeinheit, einer Empfangseinheit und einer Digitalanzeige aufgebaut. Der Laserstrahl wird auf die Mitte des Empfängers ausgerichtet und kann mehrere verschiedene Positionen messen. Bild 1 auf Seite 102 zeigt weitere Anwendungsmöglichkeiten. Der Laserstrahl wandert pro Sekunde bis zu 660 mal auf und ab (660 Hertz). Ein Spiegel und ein Linsensystem richten ihn parallel aus. Die hohe Frequenz lässt den wandernden Strahl als ein „Lichtband“ erscheinen. Die in der Empfängerlinse gebündelten Strahlen treffen auf eine **Fotозelle** (*photoelectrical cell*). Befindet sich ein Prüfstück im Lichtband, so empfängt die Fotозelle für die entsprechende Zeit kein Signal. Die Schattenzeit wird elektronisch erfasst und gespeichert. Daraus berechnet ein Programm die Maße des Prüfkörpers. Mit einer Genauigkeit von 0,1 ... 0,2 µm können sehr anspruchsvolle Messaufgaben gelöst werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld für die Lasermessung ist das Vermessen von Längen ab 1 m. Der Laserstrahl hat auf einer Länge von 15 m eine Messunsicherheit von lediglich $\pm 5 \mu\text{m}$. Eingesetzt werden solche Geräte z. B. beim Aufstellen und Ausrichten von Maschinen, wie auch ganzer Anlagen. Eine Walzstraße kann mit einem Lasermessgerät ausgerichtet werden. Ähnliches gilt für andere Fertigungsstraßen, bei denen es auf präzises Ausrichten ankommt.



1 Rundlaufmessung an einer Spindel



2 Rundheits-, Rundlauf-, Konizitäts- und Geradheitsmessung an einer Kopiertrommel mit Laser

Der rot eingezeichnete Laserstrahl ist in der Realität nicht sichtbar

1 Pneumatik

1.1 Führungs-/Halteglied-steuerungen

Führungs-/Halteglied-Steuerungen (*guidance controls*) sind für einfache Steuerungsaufgaben wie z. B. das Heben und Senken der Schaufel eines Radladers (Bild 1a), geeignet. Es gibt keinen selbständig ablaufenden Arbeitszyklus. Das Bedienpersonal entscheidet, ob und wie weit ein Zylinder aus- bzw. einfährt. Auch **kombinatorische (Verknüpfungs-) Steuerungen** (*combinatorial logical controls*), wie z. B. die ODER-Schaltung (Bild 1b) können zu dieser Gruppe gehören.

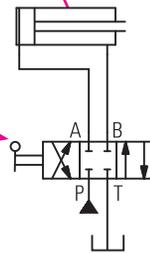
1.2 Zeitgeführte Ablaufsteuerungen

Mithilfe einer Klebevorrichtung sollen zwei Werkstücke verklebt werden (Bild 2). Nach Betätigung der beiden Starttaster -SJ1 und -SJ2 fährt ein doppelt wirkender Zylinder die Rolle -BG1 und presst die Werkstücke 10 s lang aufeinander. Nach **Ablauf dieser Zeit** fährt der Zylinder selbsttätig ein. Daher wird diese Steuerung als zeitgeführte Ablaufsteuerung (*time-oriented sequential controls*) bezeichnet.

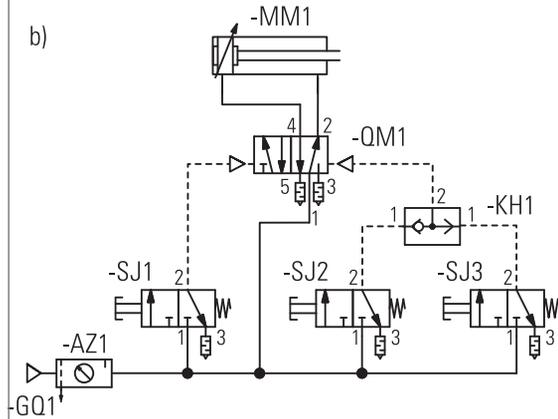
Um zu verhindern, dass der Zylinder sofort nach der Betätigung der Rolle -BG1 wieder einfährt, sind **Verzögerungsventile** (*recovery valves*) (siehe Schaltplan) notwendig. Die Abbildungen in Bild 1 auf Seite 126 zeigen solche 3/2- Wegeventile (Bild 1a: in Ruhstellung gesperrt; Bild 1b: Durchfluss bei Ruhstellung). Die Verzögerungsventile sind zusätzlich mit einem kleinen Luftbehälter und einem **Drosselrückschlagventil** (*throttle check valve*) ausgestattet. Mit der Drosselschraube kann die Luftmenge, man spricht hier auch vom **Volumenstrom Q** (*volume flow rate*) (vgl. Kapitel 3 Hydraulik), am Steueranschluss 12 verändert



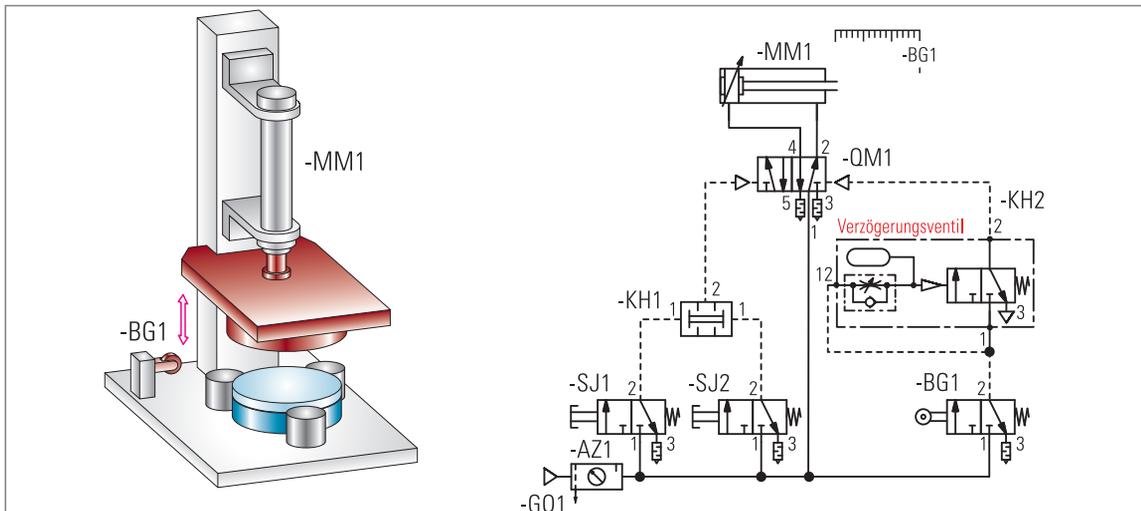
a)



b)



1 Beispiele für Führungs-/Haltegliedsteuerungen



2 Zeitgeführte Ablaufsteuerung einer Klebepresse

3.6.2.3 Stromregelventile

Stromregelventile (*flow regulating valves*) sind lastunabhängig (*load-independent*). Durch eine mechanische Regelung im Inneren bleibt der Volumenstrom trotz wechselnder Belastung konstant (Bild 1). Ein Stromregelventil (Bild 2) besteht aus einem Gehäuse mit einer Einstelldrossel und einer Regeldrossel.

In Ruhestellung ist das Ventil geöffnet. Wird es durchströmt, entsteht vor der Einstelldrossel der Druck p_1 , der die Kraft F_1 auf die Regeldrossel bewirkt. Durch die Druckdifferenz Δp an der Einstelldrossel ergibt sich dort der Druck $p_2 < p_1$. Die Druckfeder sorgt dafür, dass die Regeldrossel im Gleichgewicht bleibt. Der Druck p_2 bewirkt im Zusammenhang mit der Federkraft F_{Feder} die entgegengesetzte Kraft F_2 . Im Leerlauf ist die Regeldrossel mithilfe der Druckfeder im Gleichgewicht und das Ventil stellt einen bestimmten Widerstand dar, der mit der Einstelldrossel entsprechend dem gewünschten Volumenstrom eingestellt wird.

Die Regeldrossel hat die Aufgabe, durch Veränderung ihres Durchflusswiderstands die Belastungsänderung am Ein- oder Ausgang auszugleichen und dadurch die Druckdifferenz über der Einstelldrossel konstant zu halten.

Steigt der Druck p_3 am Ausgang des Ventils aufgrund einer höheren Last, steigt auch der Druck p_2 . Dadurch ändert sich die Druckdifferenz über der Einstelldrossel. Gemeinsam mit der Federkraft F_{Feder} wirkt p_2 auf die Regeldrossel und öffnet diese so lange, bis zwischen den Kräften F_1 und F_2 wieder Gleichgewicht herrscht. Die Druckdifferenz Δp an der Einstelldrossel erreicht wieder ihren ursprünglichen Wert.

Sinkt der Druck p_3 am Ausgang des Ventils, vergrößert sich die Druckdifferenz Δp und auch der Druck p_2 auf die rechte Kolbenfläche sinkt. Die Kraft F_1 wird größer als F_2 . Die Regeldrossel schließt wieder, bis das Gleichgewicht zwischen F_1 und F_2 hergestellt ist.

Beachten Sie: Stromregelventile können nur in einer Strömungsrichtung verwendet werden. Dies ist im Symbol an der Pfeilrichtung zu erkennen.

MERKE

Stromventile verändern die Größe des Volumenstroms und somit die Arbeitsgeschwindigkeit von Hydraulikzylindern und Hydraulikmotoren.

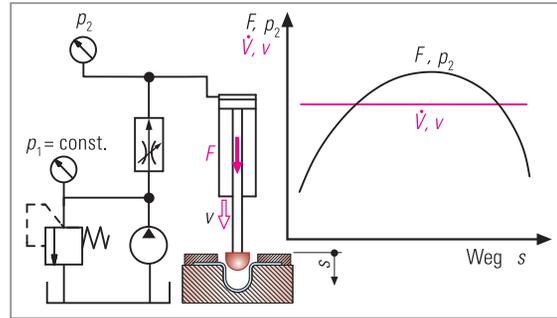
Es gibt Blenden, Drosseln, Drosselventile, Drosselrückschlagventile und Stromregelventile.

Stromregelventile gewährleisten konstante Geschwindigkeiten bei sich ändernden Lasten.

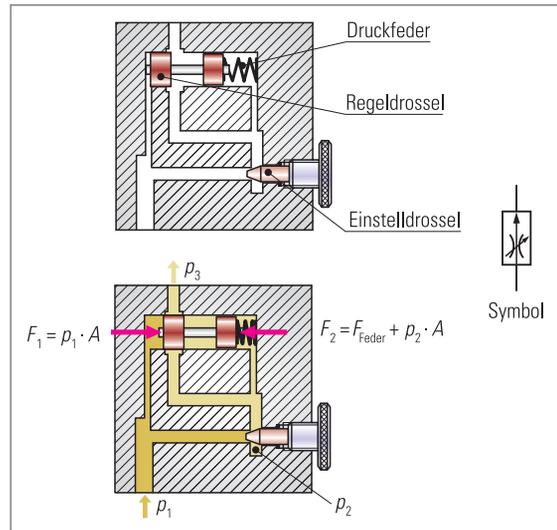
Beispiel:

Drosseln der Ausfahrungs geschwindigkeit eines doppelt wirkenden Zylinders:

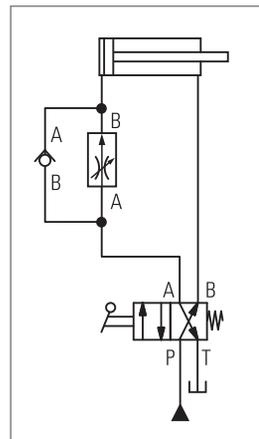
Zur Drosselung wird ein Stromregelventil einmal in die Zulaufleitung (Zuflussdrosselung = Primärsteuerung) (Bild 3) und einmal in die Ablaufleitung (Abflussdrosselung = Sekundärsteuerung) (Bild 4) eingebaut. Nachfolgende Tabelle auf Seite 180 vergleicht die beiden Lösungsmöglichkeiten.



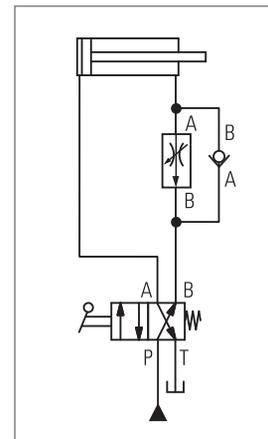
1 Verhalten von Stromregelventilen



2 2-Wege-Stromregelventil



3 Primärsteuerung mit Zuflussdrosselung



4 Sekundärsteuerung mit Abflusssteuerung

Jetzt wird der Drehpunkt gedanklich in das **Loslager** F_B gelegt. F wirkt nun mit dem Hebelarm l_2 , das Drehmoment ist linksdrehend. F_A wirkt mit dem Hebel l_{ges} . Das Drehmoment ist rechtsdrehend.

Beispielrechnung

$$F_A \cdot l_{ges} = F \cdot l_2$$

$$F_A = \frac{F \cdot l_2}{l_{ges}}$$

$$F_A = \frac{5000 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm}}{305 \text{ mm}}$$

$$F_A = 1967,2 \text{ N}$$

4. Schritt: Probe mithilfe der Kräftegleichung
Um Rechenfehler auszuschließen, ist eine **Probe** sinnvoll. Diese erfolgt mithilfe der Kräftegleichung:

Summe der nach oben wirkenden Kräfte = Summe der nach unten wirkenden Kräfte

$$\Sigma F \uparrow = \Sigma F \downarrow$$

Beispielrechnung

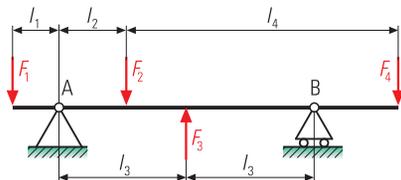
$$F_A + F_B = F$$

$$1967,2 \text{ N} + 3032,8 \text{ N} = 5000 \text{ N}$$

$$5000 \text{ N} = 5000 \text{ N} \text{ (wahre Aussage)}$$

ÜBUNGEN

- Nennen Sie die mechanischen Beanspruchungsarten und jeweils ein Bauteil, in dem die jeweilige Beanspruchung hauptsächlich auftritt.
- Was versteht man unter dynamischer Belastung?
- Erläutern Sie den Unterschied zwischen Achsen und Wellen.
- Berechnen Sie die Auflagerkräfte F_A und F_B der folgenden bereits vereinfachten Systeme:

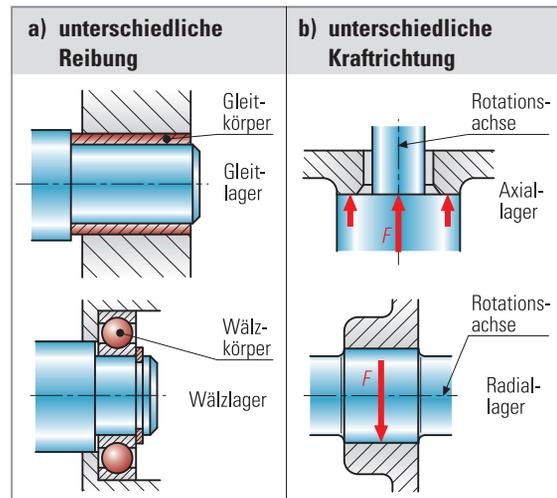


	F_1 in N	F_2 in N	F_3 in N	F_4 in N	l_1 in m	l_2 in m	l_3 in m	l_4 in m
a)	–	50	–	40	0,1	0,2	0,3	0,6
b)	0,5	–	3	3,5	0,15	0,3	0,9	0,2
c)	–	350	400	260	–	0,5	0,25	0,9

2 Gleitlager

2.1 Einteilung der Lager

Eine Einteilung der Lagerarten ergibt sich aus den Reibverhältnissen innerhalb des Lagers. **Gleitlager** (*slide bearings*) übertragen die Lagerkräfte von der Welle direkt auf das Gehäuse. Es herrscht dort **Gleitreibung**. **Wälzlager** (*rolling bearings*) übertragen diese Kräfte mithilfe von Wälzkörpern. Da diese am Umfang der Lagerringe abrollen, herrscht dort überwiegend **Rollreibung** (Bild 1a). Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Krafrichtung, die das Lager aufnehmen muss (Bild 1b).



1 Einteilung der Lager

MERKE

Radiallager (*radial bearings*) nehmen Kräfte senkrecht zur Rotationsachse (radial) einer Welle oder Achse auf.
Axiallager (*axial bearings*) nehmen Kräfte in Richtung der Rotationsachse (axial) einer Welle oder Achse auf.

2.2 Übersicht

Gleitlagerkonstruktionen gehören zu den ältesten Bauarten von Lagerungen und sind in vielen Bereichen des Maschinenbaus zu finden. Radial- und Axialgleitlager sind wichtige Funktionselemente mit einer Vielzahl von Vorteilen:

- preiswert in Anschaffung und Montage
- geringer Verschleiß
- Dünnwandigkeit spart Platz und Masse
- wartungsarm bis wartungsfrei
- geräuschkämpfend
- je nach Lagerwerkstoff ohne Schmierung einsetzbar, daher unter Umständen wartungsfreier Betrieb möglich
- abhängig vom Lagerwerkstoff großer Temperaturbereich -200°C bis $+280^\circ\text{C}$ während des Betriebes möglich



Work With Words

In future you will come into the situation to talk, listen or read technical English. Very often it will happen that you either **do not understand** a word or **do not know the translation**.

In this case here is some help for you !

Below you will find a few possibilities to describe or explain a word you don't know or use synonyms¹⁾ or opposites²⁾. Write the results into your exercise book.

1. **Add as many examples** to the following terms as you can find for different types of shafts and fits.

shafts: cardan shaft
spline shaft

fits: clearance fit
interference fit

2. **Explain the two terms in the box:**

Use the words below to form correct sentences. Be careful the order is mixed!

bearing: which turns or moves and which is designed/A bearing is a part of a machine/to reduce friction/that supports or holds another part

axle: connecting a pair of wheels on a car or other vehicle/on which the wheel turns/An axle is a rod

3. **Find the opposites¹⁾:**

movable bearing:
dry friction:

radial bearing:
basic hole system:

4. **Find synonyms²⁾:**

You can find one or two synonyms to each term in the box below.

lubricant:
replacement:
alternative/oil/grease/substitute

representation:
assembly:
fitting/image/illustration/mounting

5. In each group there is a word which is the **odd man³⁾**. Which one is it?

a) inductive pre-heating burner/sectional drawing/heating plate/heating cabinet/oil bath

c) cylindrical lagging/sealing lip/protective lip/mounting sleeve

b) circular slides/oil jet pump/prism slides/flat slides

d) clamping set/laid-in key/taper sunk key/gib key

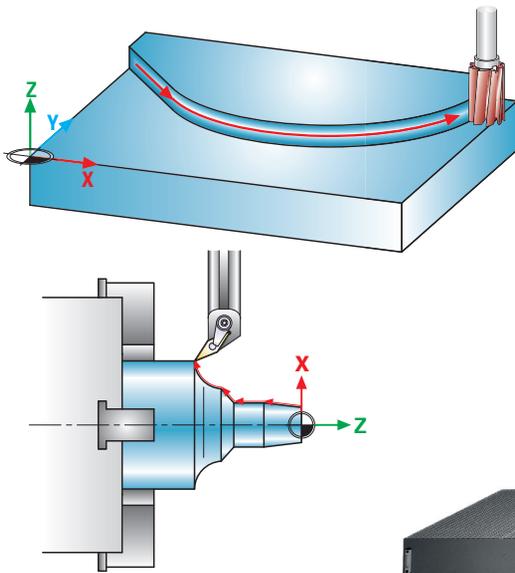
6. Please translate the information below. Use your English-German Vocabulary List if necessary.

An assembly drawing shows a complete device or machine in several views or cuts, but without dimensioning.

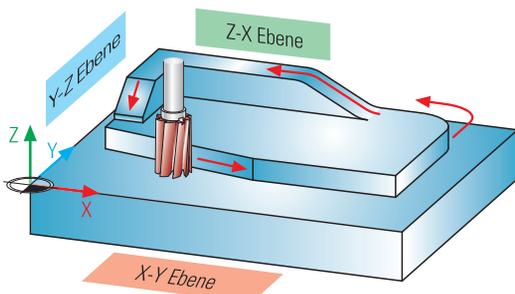
1) *opposite:* Gegenteil

2) *synonym:* Synonym, ähnliches Wort, Ergänzung

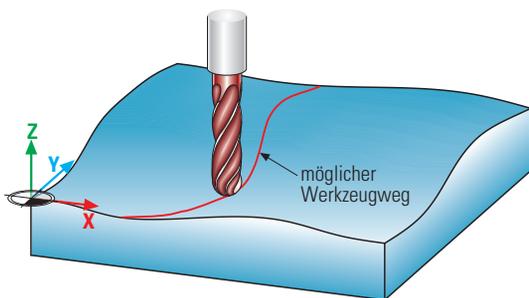
3) *odd man:* Außenseiter, überzähliges Wort, fünftes Rad am Wagen



1 Verfahrbewegungen bei 2D-Bahnsteuerungen



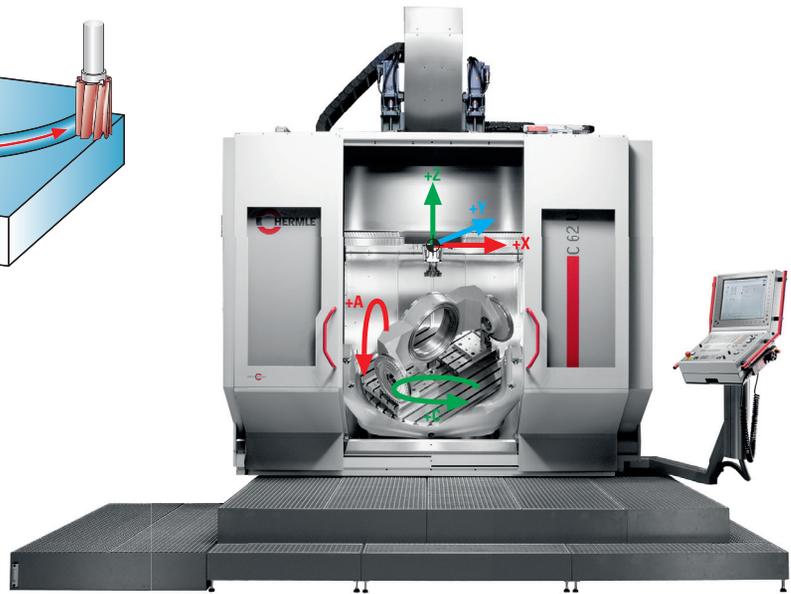
2 Verfahrbewegungen bei 2 1/2 D-Bahnsteuerungen



3 Verfahrbewegungen bei 3D-Bahnsteuerungen

1.5 Baueinheiten

Im Gegensatz zu konventionellen Werkzeugmaschinen besitzen CNC-Maschinen meist einen Motor für den Hauptantrieb und je einen Motor für jeden Vorschubantrieb.



4 Bewegungen einer 5D-Bahnsteuerung

1.5.1 Hauptantrieb

Der Hauptantrieb (*main drive*) soll

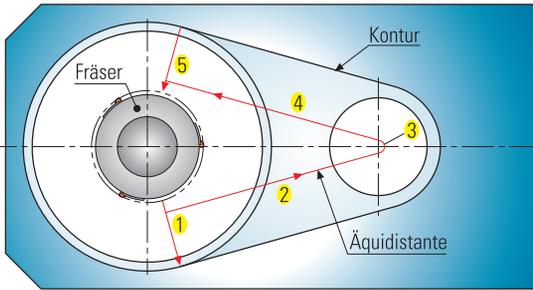
- die zur Zerspaltung erforderliche Leistung zur Verfügung stellen,
- stufenlos regelbar sein (z. B. beim Drehen mit konstanter Schnittgeschwindigkeit),
- schnell zu beschleunigen und zu bremsen sein (z. B. beim Werkzeugwechsel).

1.5.1.1 Elektromechanischer Antrieb

Der elektromechanische Antrieb (*electromechanical drive*) besteht aus Motor, Riementrieb und/oder Getriebe sowie der Antriebsspindel (Seite 259 Bild 1). Er bietet den Vorteil, dass der Motor thermisch von der Spindel und dem Bearbeitungsraum entkoppelt ist. Der Riementrieb begrenzt jedoch die Umdrehungsfrequenz, die Steifigkeit und das Beschleunigungsverhalten des Antriebs und damit auch die Produktivität der Werkzeugmaschine.

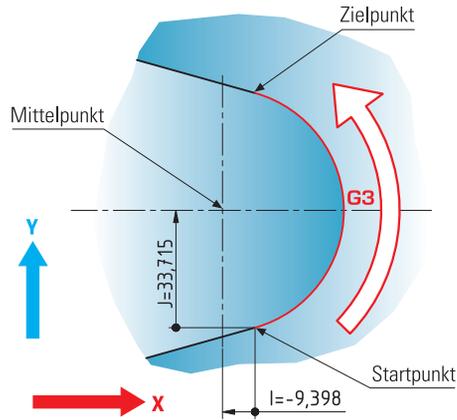
1.5.1.2 Direktantrieb (*gearless drive*)

- Bei der **Hauptspindel mit angebaubtem Motor** wird das Drehmoment vom Rotor des Motors **direkt** auf die Hauptspindel übertragen (Seite 259 Bild 2). Der Antrieb wird dadurch sehr steif und ermöglicht kurze Beschleunigungs- und Bremszeiten.
- Bei der **Motorspindel** (Seite 259 Bild 3) ist die Hauptspindel im Antriebsmotor integriert. Durch den direkten Einbau der Hauptspindel ist meist eine Flüssigkeitskühlung des Motors erforderlich. Diese Ausführungsform des Hauptspindelantriebs entwickelt sich immer mehr zum Standard im modernen Werkzeugmaschinenbau.



1 Kontur und Äquidistante beim Fräsen des Lagergehäuses

Überlegen Sie!
Ordnen Sie die in Bild 2 nummerierten Verfahrenwege den obigen Programmsätzen zu.



2 Hilfsparameter I inf J in der X-Y-Ebene

Hilfsparameter

Ähnlich wie beim Drehen (Kap 3.2.5) ist bei kreisförmigen Vorschubbewegungen der Kreismittelpunkt zu definieren. Dazu dienen in der **X-Y-Ebene** die **Hilfsparameter I und J** (additional parameters) (Bild 2). Beide sind vom Startpunkt zum Mittelpunkt des Kreisbogens gerichtet, wobei das Vorzeichen zu beachten ist. Im Bild ist der Hilfsparameter I negativ, weil seine Richtung entgegengesetzt zur X-Achse verläuft. J ist positiv, weil J und die Y-Achse in die gleiche Richtung verlaufen. Bei einigen Steuerungen ist es auch möglich, den Fräsermittelpunkt

absolut – auf den Werkstücknullpunkt bezogen – anzugeben. In der Tabelle Bild 3 sind verschiedene Möglichkeiten für die Programmierung des Kreisbogens dargestellt.

Überlegen Sie!
Schreiben Sie den Satz für den Kreisbogen der Kontur in Bild 2 für Gegenlaufräsen.

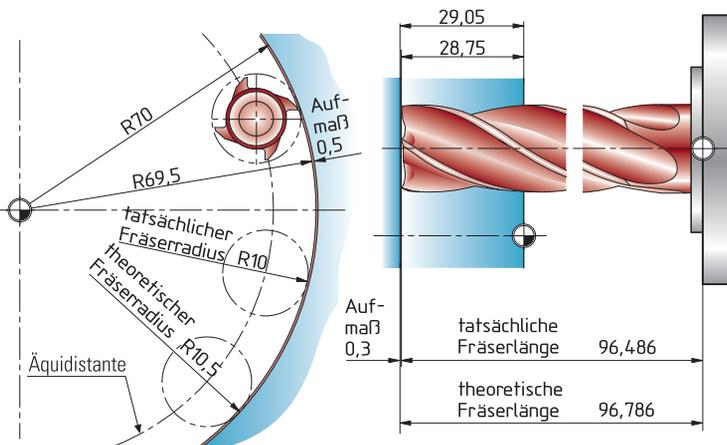
G-Funktion	X-Koordinate	Y-Koordinate	I-Hilfsparameter	J-Hilfsparameter	Radius	Bemerkung
G3	X139.748	Y33.751	I-9.398	J33.715		I und J inkremental
G3	X139.748	Y33.751	IA130.350	JA0		I und J absolut
G3	X139.748	Y33.751	I-9.398	JA0		I inkremental, J absolut
G3	X139.748	Y33.751			R35	Kreisbogen $\leq 180^\circ$

3 Möglichkeiten für die Programmierung des Kreisbogens

Aufmaßprogrammierung

Für eine anschließende Schlichtbearbeitung muss beim Schruppen ein entsprechendes Aufmaß berücksichtigt werden. Das kann auf unterschiedliche Weise geschehen:

- Beim Schruppen werden keine Fertigmaße programmiert (z. B. beim Schruppen der Lagerbohrungen).
- Im CNC-Programm werden das seitliche (z. B. 0,5 mm) und das Aufmaß in der Tiefe (z. B. 0,3 mm) vor der Konturprogrammierung eingegeben, sodass Fertigmaße zu programmieren sind. Die Steuerung berücksichtigt diese Aufmäße bei der Berechnung der Fräsermittelpunktsbahn.
- Der Werkzeugradius wird im Werkzeugkorrekturspeicher um den Betrag des seitlichen Aufmaßes (z. B. 0,5 mm) vergrößert. Statt des tatsächlichen Fräserradius von z. B. 10 mm steht im Korrekturspeicher ein Wert von 10,5 mm. Ebenso wird bei der Werkzeuglänge das Aufmaß in der Tiefe (z. B. 0,3 mm) dazu addiert. Statt der tatsächlichen Werkzeuglänge von z. B. 96,486 mm steht im Korrektur-



4 Aufmaßprogrammierung durch geänderte Werkzeugkorrekturen

Bild 1 zeigt das Verschleißverhalten bzw. Ausfallverhalten (*failure behaviour*) eines Ventils. Nach der Einlaufphase ① beginnt die eigentliche Nutzungsphase ②. In Phase ③ verschlechtert sich die Funktionsfähigkeit der Ventile und eine Instandsetzung wird erforderlich.

Der Ventilverschleiß von Ventilsitz und Kugel führt zur Leckage und damit zum Förderleistungsverlust. Der Verschleiß wird vom Betriebsdruck und vom Fördermedium beeinflusst. Phase ③ kann zwischen 5 und 60 Tage dauern. Durch z. B. kurzzeitig eingeklemmte Partikel kann der Verschleiß beschleunigt werden. Daher ist es schwer vorhersagbar, wann ein Ventil ausfallen wird und ob alle Ventile gleichzeitig ausfallen.

Bild 1 stellt einen Zusammenhang zwischen der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Betriebsdauer dar. Dieser Zusammenhang wird häufig als **Ausfallrate** (*rate of failure*) bezeichnet. In Bild 2 sind typische Ausfallraten dargestellt.

Ist die Ausfallrate von Anlageelementen bzw. Anlagen bekannt, können notwendige Instandsetzungsmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden.

Viele Anlagen und Anlageelemente fallen entsprechend der „Badewannenkurve“ aus. Die Frühausfälle beruhen meistens auf Fehlern in der Konstruktion, Fertigung, bei der Montage oder der Einstellung. Frühausfälle sind für die Instandhaltung nicht von besonderer Bedeutung, weil sie durch geeignete Verbesserungen fortschreitend seltener werden. Die Zufallsausfälle entstehen durch das Zusammenwirken meist mehrerer zufälliger Ursachen, die nicht vorhersehbar sind. Die Alterungsausfälle sind Verschleißerscheinungen, die mit zunehmender Betriebsdauer häufiger auftreten.

Bei komplexen Anlagen weicht häufig der tatsächliche Verlauf der Ausfallrate von der „Badewannenkurve“ ab.

Die Ausfallrate B beginnt mit einer leicht ansteigenden oder konstanten Ausfallwahrscheinlichkeit und endet in einer Verschleißzone.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit bei der Ausfallrate C steigt stetig. Eine extreme Verschleißzunahme ist auch in der 3. Phase nicht zu beobachten.

Die Ausfallrate D zeigt kurz nach der Inbetriebnahme keine Ausfälle. Dann häufen sich die Ausfälle und bleiben konstant.

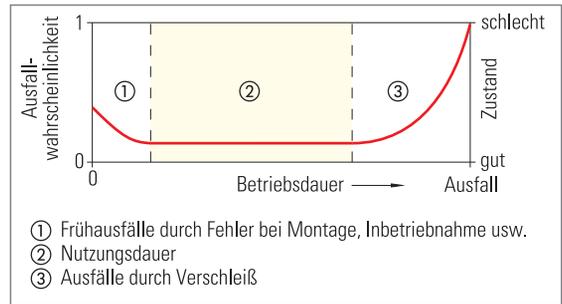
Beim Verlauf E gibt es nur Zufallsausfälle. Die Ausfallrate ist über die gesamte Betriebsdauer konstant.

Die Ausfallrate F beginnt mit einer hohen Ausfallwahrscheinlichkeit, die dann auf ein gleichbleibendes oder schwach ansteigendes Niveau sinkt.

2.2.2 Instandsetzungsvorschriften/ Instandsetzungsstrategien

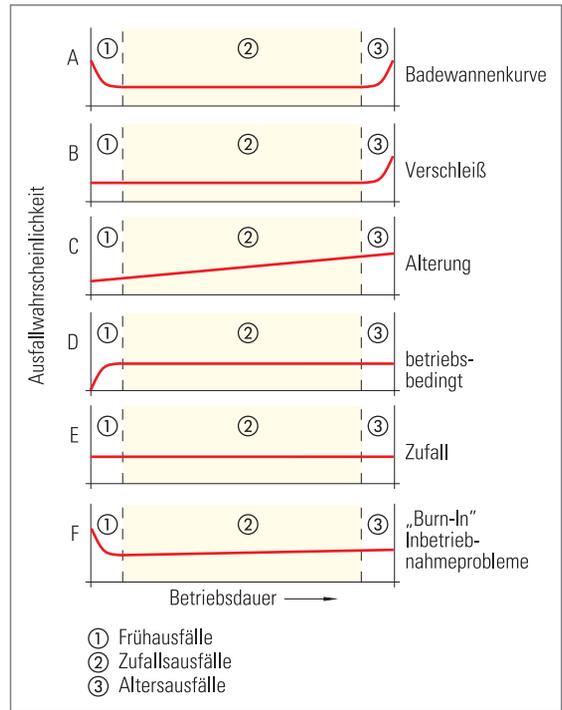
Unter der Voraussetzung, dass der Betreiber der Pumpen möglichst viele zufällige Störungen vermeiden möchte, muss er sich für eine intervallabhängige oder zustandsabhängige Instandsetzung der Förderventile entscheiden.

Die Entscheidung, die zu einer dieser Instandsetzungsvorschriften (*overhauling regulations*) bzw. Instandsetzungsstrategien



- ① Frühausfälle durch Fehler bei Montage, Inbetriebnahme usw.
- ② Nutzungsdauer
- ③ Ausfälle durch Verschleiß

1 Verschleißverhalten eines Ventils der Schlauch-Membran-Kolbenpumpe



- ① Frühausfälle
- ② Zufallsausfälle
- ③ Altersausfälle

2 Typische Ausfallkurven

(*overhauling strategies*) führt, wird z. B. von den folgenden Faktoren beeinflusst:

- Planbarkeit der Instandsetzung
- Anlagenstillstandzeit
- Instandsetzungskosten
- Verunreinigung des Produktes durch Abrieb aus den Ventilen

Entscheidet sich der Betreiber für eine intervallabhängige Instandsetzung, müssen die Verschleißteile regelmäßig ausgetauscht werden.

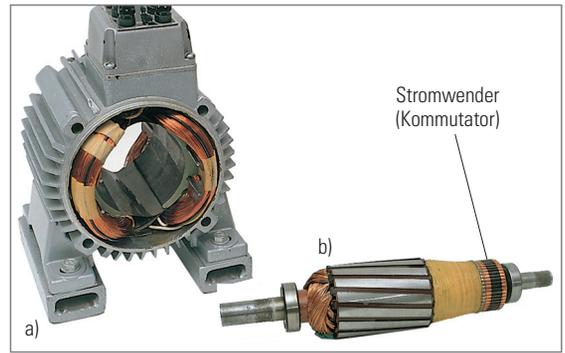
M E R K E

Die intervallabhängige Instandsetzung technischer Bauteile ist sinnvoll, wenn Systeme nicht zustandsüberwacht werden können um einen Störfall zu vermeiden.

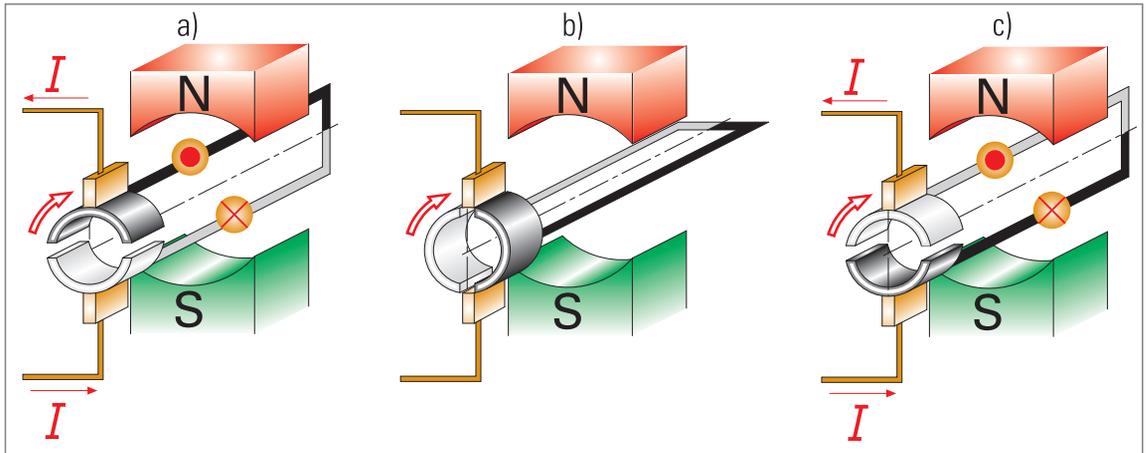
3.4 Elektromotoren

3.4.1 Gleichstrommotoren

Wird der Motor an einer Gleichspannung betrieben, so wird für die Umpolung an der Leiterschleife ein **Stromwender** (Kommutator) eingesetzt (Bild 1). Den Aufbau eines Gleichstrommotors (*direct current motor*) zeigt Bild 2. Gleichstrommotoren werden zum Beispiel in Werkzeugmaschinen (*machine tools*) als Vorschubantrieb (*feed drive*) und in Anlassern (*starting motors*) eingesetzt.



2 Bauteile eines Gleichstrommotors a) Ständer b) Läufer



1 Arbeitsweise eines Elektromotors mit Stromwender (Kommutator)

3.4.2 Wechselstrommotoren

Alle Wechselstrommotoren (*alternating current motors*) nutzen den Verlauf der Versorgungsspannung für die Erzeugung eines sich verändernden magnetischen Feldes. Je nach Bauart sind diese Motoren als **Universalmotoren** (*universal motors*) auch für den Einsatz als Gleichstrommotoren geeignet.

MERKE

Die **Umdrehungsfrequenz** (*rotational frequency*) eines Wechselstrommotors ergibt sich aus der Anzahl der Polpaare und aus der Netzfrequenz.

$$n = \frac{f}{p}$$

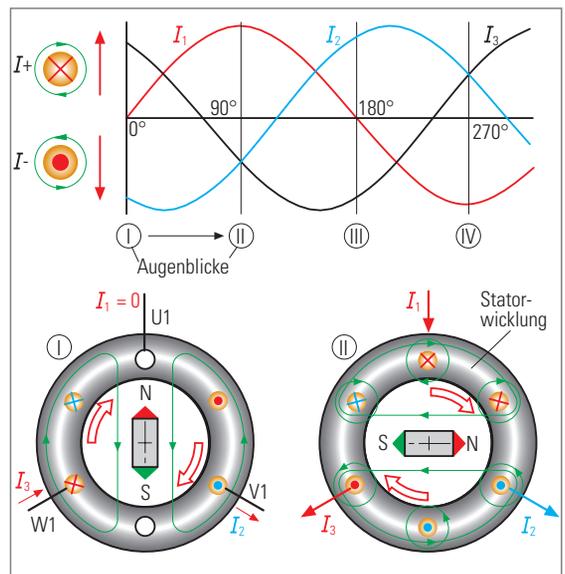
n: Umdrehungsfrequenz des Motors
f: Frequenz der Versorgungsspannung
p: Anzahl der Polpaare

Universalmotoren werden vorwiegend in elektrischen Handgeräten wie Bohr- und Schleifmaschinen eingesetzt.

Drehstrommotoren

Der am meisten verwendete Antrieb in stationären Anlagen ist der Drehstrommotor (*three-phase motor*). Da durch das anliegende Drehstromnetz zusätzlich zu der Wirkung der einzelnen Wechselspannung eine Verschiebung zwischen den einzelnen

Leitern herrscht, ist die Erzeugung eines umlaufenden magnetischen Feldes mit einfachen Mitteln möglich. Man bezeichnet das entstehende magnetische Feld auch als **Drehfeld**. Befindet



3 Funktionsprinzip eines Drehstrom-Synchronmotors

Bezieht man die Kundenwünsche noch in die Betrachtung ein, dann entsteht ein Beziehungsgeflecht zwischen der Produktentstehung, den Kundenwünschen und den Unternehmensabteilungen (Seite 439 Bild 2).

Dieser ganzheitliche Ansatz wird auch als **Total Quality Management (TQM)** bezeichnet.

1.2 Was ist Qualität?

Nachstehend sind einige Beispiele aufgeführt, die verdeutlichen, dass unterschiedliches Qualitätsverständnis (*commitment to quality*) zu verschiedenen Entscheidungen führen kann.

Fehlerverantwortung (*fault responsibility*)

Position 1: Einzelne Mitarbeiter sind für Fehler verantwortlich.

Position 2: Alle Mitarbeiter sind für Fehler verantwortlich.

Der Mitarbeiter aus der Qualitätssicherung kann einen Fehler nur im Nachhinein feststellen. Es ist zwar wichtig, dass fehlerhafte Teile entdeckt und aussortiert werden – es ist aber noch besser, wenn der Fehler überhaupt gar nicht erst entsteht. In manchen Fällen kann durch technische Maßnahmen ein Fehler verhindert werden. In anderen Fällen liegt es an der Motivation der Mitarbeiter oder auch an der fehlenden Schulung.

Besonders schwerwiegend sind Fehler, die erst sehr spät erkannt werden. Die Kosten¹⁾ und der Imageverlust können sehr hoch sein, wenn z. B. Rückrufaktionen (vgl. Lernfeld 12 Kap. 3.3) erforderlich sind (Bild 1).

Fehlereingrenzung (*fault location*)

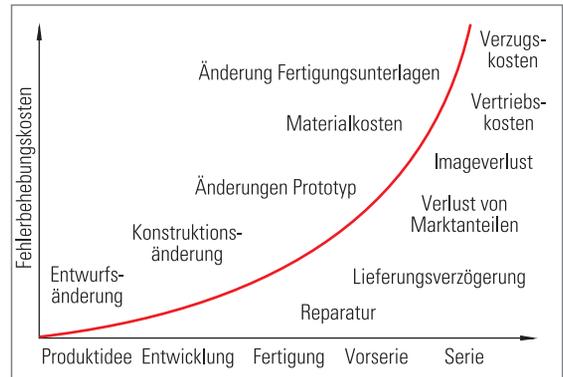
Position 1: Menschen machen Fehler.

Position 2: Prozesse provozieren Fehler.

Durch Fehler von Mitarbeitern können Ausschussteile entstehen wie z. B. durch das falsche Einstellen einer Werkzeugmaschine. Andere Fehler sind durch den betrieblichen Ablauf, den Prozess bedingt. Wenn z. B. ein Konstrukteur eine Maschine konstruiert, bei der sich zwei Lager schlecht montieren lassen, dann steigt dadurch die Gefahr, dass die Lager bei der Montage beschädigt werden. Wenn es keine Rückmeldungen gibt, erfährt der Ingenieur seinen Fehler nicht und wiederholt ihn eventuell.

Ein Austausch zwischen den Abteilungen Konstruktion, Fertigung und Montage kann entscheidend zur Lösung dieser Probleme beitragen. In vielen Betrieben ist aus dieser Rückkopplung eine neue Methode entstanden. Sie wird mit dem Kürzel **FMEA**²⁾ bezeichnet. Es ist ein Verfahren, mit dem Fehler möglichst frühzeitig erkannt und vermieden werden. Die **Fehler-suche** (*fault finding*) bezieht sich sowohl auf das **Produkt** (*product*) als auch auf den **Prozess** (*process*).

Die Mitarbeiter des FMEA-Teams setzen sich aus unterschiedlichen Abteilungen zusammen. Neben den Erfahrungen, dem Wissen und Können der Fachkräfte und neben Versuchsergebnissen werden vor allem frühere Fehler und ihre Ursachen in die Überlegungen einbezogen.



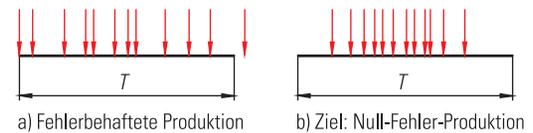
1 Fehlerbehebungskosten

Ausschussquote (*reject rate*)

Position 1: Null-Fehler-Produktion ist nicht machbar.

Position 2: Null-Fehler-Produktion ist das Ziel.

Jedes Werkstückmaß wird durch einen Pfeil an der entsprechenden Stelle im Toleranzfeld dargestellt.



2 Gegenüberstellung von Produktion mit Ausschuss und Null-Fehler-Produktion

Im ersten Satz ist eine richtige Aussage formuliert. Gleichzeitig entsteht aber der Eindruck, dass es kaum möglich ist, in die Nähe der Null-Fehler-Produktion zu kommen. Die Aussage nimmt somit die Motivation, Schritte in diese Richtung zu gehen. Dagegen ist die zweite Position ein ständiger Anreiz, nach Verbesserungen zu suchen. Die technische Entwicklung zeigt, dass es sehr oft möglich ist. Der Ausschussanteil ist in vielen Bereichen deutlich gesenkt worden.

Dabei darf der Ausschuss nicht nur als Kostenfaktor für die Teilefertigung gesehen werden. Wenn Ausschussteile dennoch zur Montage gelangen und das Produkt an den Kunden ausgeliefert wird, sind Reklamationen sehr wahrscheinlich. Die dadurch entstehenden Kosten übersteigen die Ausschusskosten während der Teilefertigung um ein Vielfaches. Das bedeutet einen zusätzlichen Imageverlust für Produkt und Herstellerfirma.

Verbesserungsvorschläge (*suggestions for improvement*)

Position 1: Für Verbesserungen und Weiterentwicklungen am Produkt und in der Fertigung sind die Mitarbeiter der entsprechenden Abteilungen verantwortlich (Ingenieure, Techniker, Meister).

Position 2: Jeder Mitarbeiter ist aufgerufen, Verbesserungsvorschläge einzubringen.

Einem Auszubildenden fiel kurz vor der Auslieferung einer neuen Maschinenreihe auf, dass sich bei mehreren Maschinen an einer schwer zugänglichen Stelle Öl sammelte. Die Beobachtung des jungen Mannes war richtig. Ein Bauteil hatte eine

2.2.6 Industrieroboter und Sicherheit

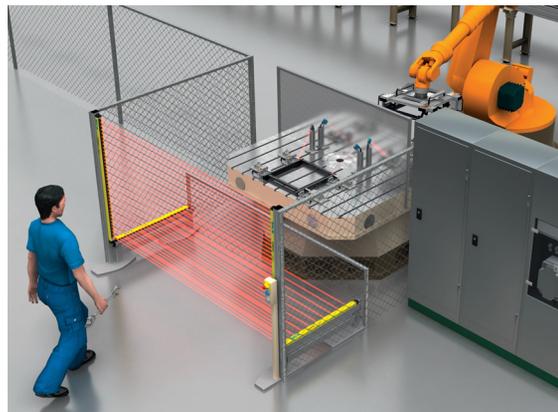
Die Gefahren, die von Industrierobotern (*industrial robots*) ausgehen, liegen vor allem in deren unvorhersehbaren Bewegungen mit großen Geschwindigkeiten, verbunden mit großen Kräften und Drehmomenten. Darüber hinaus können Verletzungen durch Abscheren und Quetschen sowie durch die verwendeten Roboterwerkzeuge wie z. B. durch Schneid- oder Schleifwerkzeuge entstehen. Der gesamte **Bewegungsraum** (*operating space*) ist somit auch **Gefahrenraum** (*risk area*). Deshalb sind beim Bau, bei der Ausrüstung, bei der Programmierung und im Betrieb von Robotern die geforderten sicherheitstechnischen Standards¹⁾ zu beachten. Diese Anforderungen basieren wiederum auf den Inhalten der **EG-Maschinenrichtlinie**.

2.2.6.1 Sicherheit während des Betriebs

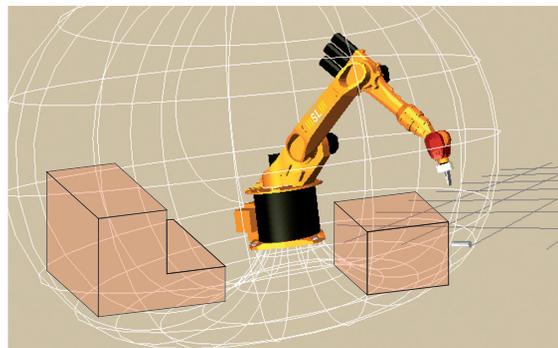
Die einfachste Möglichkeit, sich vor Gefahren zu schützen, ist eine vollständige Abschirmung (*shielding*) des Industrieroboters durch eine massive Umzäunung (Bild 1) aus einem Metallgitter oder Sicherheitsglas. Ein Öffnen von Zugangstüren oder die Unterbrechung von Lichtvorhängen (*light curtains*) (Bild 2) muss einen Stopp der Roboterbewegung auslösen. Da der Arbeitsraum des Industrieroboters meist größer ist als der am Aufstellungsort verfügbare Raum, werden **Schutzräume** (*shelters*) (Bild 3) festgelegt, die z. B. vom Werkzeugbezugspunkt nicht berührt werden dürfen. Muss die Fachkraft mit dem Industrieroboter zusammenarbeiten, im sog. kollaborierenden²⁾ Betrieb wie z. B. beim Einlegen von Blechteilen im Karosseriebau, dann sind zwischen Roboter und Fachkraft bestimmte **Mindestabstände** einzuhalten. Diese Mindestabstände sind wieder durch programmierte Schutzräume festgelegt, die beim Einlegvorgang aktiviert werden. Zur Überwachung des Umfelds eines Industrieroboters werden auch **Laserscanner** (Bild 4) eingesetzt. Der Vorteil des Laserscanners liegt darin, dass das Umfeld des Industrieroboters in **Zonen** (Bild 5) eingeteilt werden kann. Betritt eine Person eine Zone, die **auf keinen Fall** betreten werden darf, so wird der Roboter sofort angehalten. Es können aber auch Zonen im Gefahrenbereich des Roboters festgelegt werden, die während der Fertigung betreten werden müssen wie z. B. der rechte Teil der Zelle in Bild 5 zum Abtransport der



1 Abgeschirmte Zelle



2 Lichtvorhang



3 Schutzräume



4 Laserscanner



5 Einteilung des Gefahrenbereichs in Zonen

1) DIN EN ISO 10218-1

2) lat. colabore: zusammenarbeiten

Lösungsstrategie	Vorteile	Nachteile
Flucht	<ul style="list-style-type: none"> Weg des geringsten Widerstands Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> Scheinlösung Konflikte werden aufgeschoben
Kampf	<ul style="list-style-type: none"> schnelle Konfliktbewältigung Abschreckung 	<ul style="list-style-type: none"> Scheinlösung Rachegefühle
Delegation	<ul style="list-style-type: none"> schnelle und sachliche Konfliktlösung 	<ul style="list-style-type: none"> Schiedsspruch wird nicht akzeptiert
Kompromiss	<ul style="list-style-type: none"> Verhandlung Interessen aller werden berücksichtigt 	<ul style="list-style-type: none"> hoher Zeitaufwand Gefahr der Manipulation
Konsens	<ul style="list-style-type: none"> endgültige Lösung positive Wirkung 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Anforderungen an die Beteiligten hoher Zeitaufwand

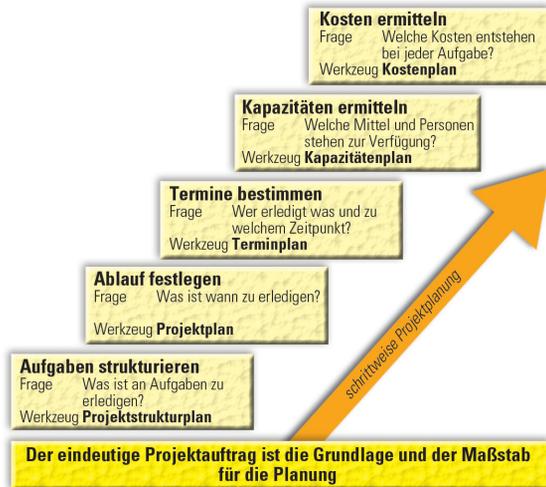
1 Typische Konfliktlösungsmöglichkeiten

M E R K E

Der Gewinner eines Konflikts, der einen Verlierer zurück lässt, wird meist früher oder später auch zu einem Verlierer. Es ist eine Gewinner-Gewinner-Situation (*win-win situation*) anzustreben.

2.2 Sachmittelmanagement

In einem Projekt sind sehr viele, voneinander abhängige Aufgaben von verschiedenen Menschen zu unterschiedlichen Zeiten durchzuführen. Je nach Umfang des geplanten Projekts können die Aufgabenstellungen sehr umfangreich und komplex sein. Nachdem der Projektauftrag eindeutig definiert ist, wird bei der weiteren Projektplanung schrittweise vorgegangen (Bild 2). Die Planung ist dabei ein **dynamischer Prozess**, wobei oft einmal festgelegte Plandaten durch neue Erkenntnisse der nachfolgenden Planungsschritte verändert werden müssen.



2 Schritte der Projektplanung

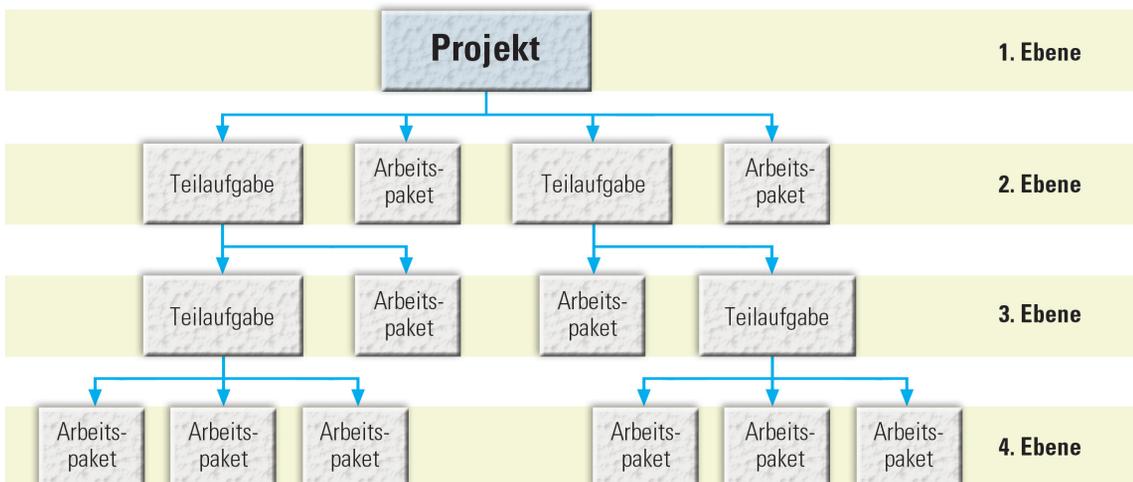
2.2.1 Projektstrukturplan

Zum Beginn der Planung wird das Projekt in überschaubare und abgrenzbare Aufgaben zerlegt, um einen Überblick für alle notwendigen Aktivitäten zu erhalten. Anschließend sind die gesamten Aktivitäten zu ordnen. Der **Projektstrukturplan (PSP)** (*work breakdown structure*) (Bild 3) gliedert die Aktivitäten hierarchisch in

- **Teilaufgaben** (*subtasks*): Projektteile, die noch weiter aufgliedert werden können und
- **Arbeitspakete** (*work packages*): Projektteile, die nicht weiter aufgliedert sind und die auf beliebigen Gliederungsebenen liegen können¹⁾.

M E R K E

Im Projektstrukturplan ist das **WAS** und nicht das **WIE** so genau zu beschreiben, dass die nachfolgenden Planungsschritte durchführbar sind.



3 Projektstrukturplan

1) DIN 69901

Zur Dokumentation der Planungsphase gehören

- der Verbesserungsvorschlag
- die Notizen der Beobachtung des Leiters der Linie über die arbeitsbedingten Verletzungen
- der Lösungsvorschlag
- das Fax der Firma, die die Nadelpräger anbietet
- die Amortisationsrechnung, die den wirtschaftlichen Nutzen nachweist und
- die Protokolle der Gespräche und Teamsitzungen.

Ablauf und Dokumentation (*documentation*) einer Veränderung sind für den Betrieb im **betrieblichen Vorschlagswesen** zwischen Betriebsleitung und Betriebsrat in einer Vereinbarung festgeschrieben¹⁾.

Wissensmanagement

Das hier beschriebene Beispiel eines Verbesserungsvorschlags muss als Innovation und Veränderung in einer **Datenbank** gespeichert werden. Diese Speicherung gilt allgemein für alle innerbetrieblichen wie außerbetrieblichen Informationen, die für den Betrieb von Bedeutung sein können. Dazu gehören neben dem Verbesserungswesen z. B.:

- die Bereitstellung von Fachartikeln, Normen und Katalogen
- Beobachtung des Marktes, der die Produkte einsetzt
- die Aufarbeitung der Kundeninformationen und die Häufigkeit von Reparaturen beim Kunden

Jede Firma ist bemüht, das für ihre Produkte erforderliche Wissen immer auf dem bestmöglichen Stand zu halten.

Auch Wissen kann und muss organisiert und verwaltet werden. Es müssen Informationen aufgearbeitet und den entsprechenden Mitarbeitern zur Verfügung gestellt werden. Dafür werden **Zugriffsberechtigungen** erteilt. Nicht jeder darf alle Informationen einsehen und verwenden können. Es müssen Abläufe (Prozesse) organisiert werden. Diese Aufgabe wird vom Wissensmanagement (*knowledge management*) wahrgenommen. Ziel ist es, die Effizienz der Firma zu erhöhen. Das Wissensmanagement erstellt, strukturiert und pflegt eine Datenbank. In ihr wird alles gespeichert, was im Betrieb zur Lösung von Aufgaben benötigt werden könnte wie z. B.:

- **Daten** (Konstruktionsdaten, Produktionsdaten, Maschinendaten, Arbeitsorganisationen, Zulieferer, Eigenleistungen, ...)
- **Informationen** (Betriebsanleitungen, Instandhaltungsvorschriften, Servicebetreuung, Intranet, Zulieferer, Kataloge, ...)
- **Ideenmanagement** (betriebliches Vorschlagswesen, Ideenmanager, ...)
- **Fähigkeiten** (Mitarbeiter, Weiterbildung, Qualifizierung, Experten, ...)
- **Vereinbarte Abläufe bzw. Vorgaben**²⁾ machen die einzelnen Prozesse für alle Beteiligten übersichtlich. Sie legen die notwendige Dokumentationen und die Kompetenzen fest (Seite 598 Bild 1)

Die Fachkräfte werden für ihre Arbeitskraft am jeweiligen Arbeitsplatz entlohnt. Über das Wissensmanagement werden Weiterbildung, Qualifizierung und im Rahmen der betrieblichen Verbesserungsvorschläge die Bereitschaft der Fachkräfte geför-

dert, neue Aufgaben zu übernehmen sowie über ihren Arbeitsauftrag hinaus mit Ideen und Lösungsvorschlägen die Effizienz der Firma zu erhöhen (Humankapital).

MERKE

Das Wissensmanagement verwaltet und organisiert Wissen und Kompetenzen einer Firma.

3 Durchführung einer Optimierung (Projekt)

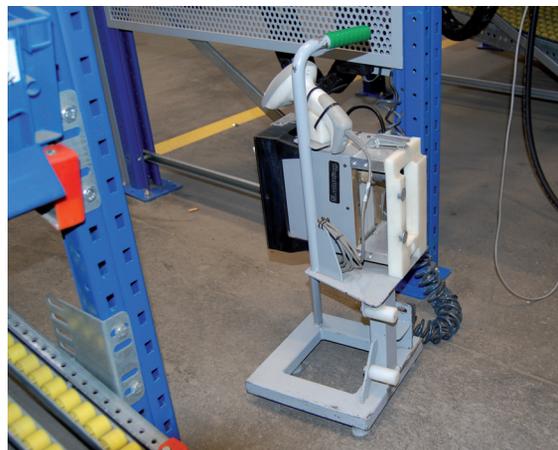
3.1 Durchführung eines Probelaufs

Der Probelauf (*test run*) wird unter **Realbedingungen** (*real conditions*) in der Linie durchgeführt. So wird sichergestellt, dass die gemessenen Parameter in den Takt und in die Linie passen. Bevor das Gerät in die Produktion (*manufacturing*) übernommen werden kann, müssen die im Probelauf gewonnenen Ergebnisse in den Takt übernommen werden.

- Der Arbeitsplatz muss verändert werden.
- Die Bedienung muss geübt werden.
- Die Geräusentwicklung muss gemessen werden.

3.1.1 Umgestaltung des Arbeitsplatzes

Die Arbeitsvorbereitung muss die einzelnen Takte in der Linie neu ermitteln. Dazu gehört insbesondere der Einsatz des neuen Geräts. Zunächst wird festgelegt, in welchem Takt die Seriennummer einzutragen ist. Hierfür ist der Arbeitsplatz des Bedieners entsprechend zu gestalten (*rearrangement of work place*). Der Nadelpräger mit dem Barcodescanner wird in einer Vorrichtung griffbereit gelagert (Bild 1). Die Vorrichtung kann an die zu prägende Stelle heran gefahren werden. Für die richtige Anlage am Gabelhubwagen sorgt ein Adapter (Seite 594 Bild 2).



1 Standort des Nadelprägers am Arbeitsplatz

¹⁾ Grundlage hierfür ist das Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG)

²⁾ Wichtige Veränderungen und Entscheidungen, die über den einzelnen Fall hinaus gehen, werden vom Wissensmanagement gesondert dokumentiert und bei Bedarf Abteilungen und Mitarbeitern zugänglich gemacht.