Die Vorschubbewegung wird vom Hauptantrieb zum **Vorschubgetriebe** *(feed train)* (Seite 28 Bild 3) geleitet. Es ermöglicht das Ändern des Vorschubs oder das Einstellen verschiedener Gewindesteigungen.
Die **Zugspindel** *(feed rod)* überträgt beim Längsrund- und Querplandrehen die Vorschubbewegung vom Vorschubgetriebe zum Werkzeugschlitten.
Die **Leitspindel** *(lead screw)* kommt beim Gewindedrehen zum Einsatz (vgl. Kap. 2.6.2).

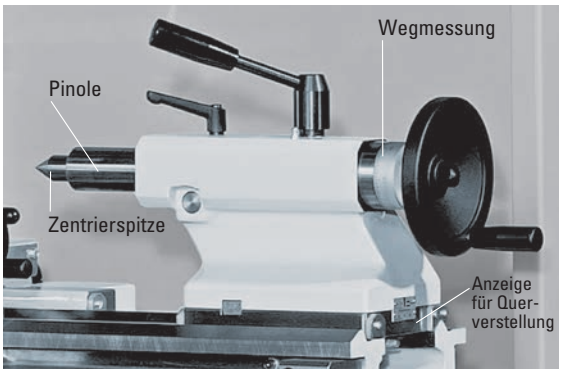
2.3.4 Werkzeugschlitten

Im Werkzeugschlitten ist das **Schlosskastengetriebe** *(lock box gear drive)* untergebracht.
Planschlitten *(cross slide)* und **Oberschlitten** *(top slide)* besitzen nachstellbare Schwalbenschwanzführungen. Beide werden über Gewindespindeln bewegt. Der Oberschlitten ist um 360° schwenkbar. Dadurch ermöglicht er z. B. auch das Kegeldrehen.
Viele konventionelle Werkzeugmaschinen besitzen elektronische Wegmesssysteme. Das Ablesen der digitalen Anzeigen ist sicherer als das der Rundskalen.
Die Werkzeughalter sind meist als Schnellwechsler ausgeführt.

2.3.5 Reitstock

Der Reitstock *(tailstock)* (Bild 1) übernimmt unterschiedlichste Aufgaben:

- Beim Drehen langer Werkstücke nimmt er eine Zentrierspitze auf, die das Werkstück auf der zweiten Stirnseite zentriert und abstützt.
- Die Pinole des Reitstocks nimmt Werkzeuge (z. B. Bohrer, Senker, Gewindebohrer usw.) für die stirnseitige Bearbeitung des Drehteils auf.

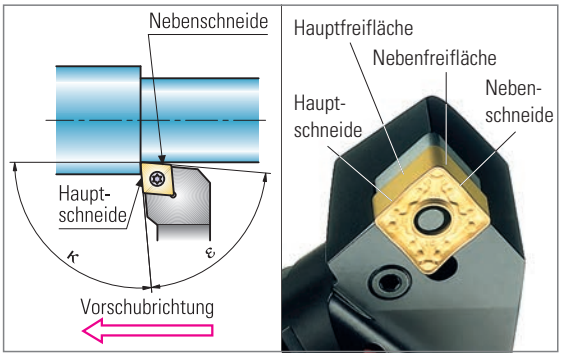


1 *Reitstock*

Überlegen Sie!
Vergleichen Sie die Aufgaben von Zug- und Leitspindel

2.4 Drehwerkzeuge und deren Auswahl

Das Drehwerkzeug *(lathe tool)* in Bild 2 besitzt zwei Schneiden: die **Hauptschneide** *(major cutting edge)*, die in Vorschubrichtung zeigt, und die **Nebenschneide** (minor cutting edge). Die Hauptschneide trennt im Wesentlichen den Span vom Werkstück.



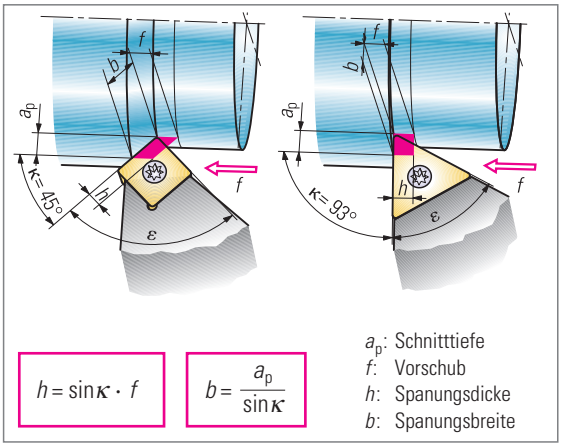
2 *Haupt- und Nebenschneide, Ecken- und Einstellwinkel*

2.4.1 Ecken-, Einstell- und Neigunswinkel

Haupt- und Nebenschneide bilden den **Eckenwinkel** ε *(included angle)*. Je größer der Eckenwinkel, desto stabiler ist die Werkzeugspitze und umso geringer ist die Gefahr des Werkzeugbruchs.

MERKE
Große Eckenwinkel kommen beim Schruppen zum Einsatz.

Hauptschneide und Werkstückachse begrenzen den **Einstellwinkel** κ *(tool cutting edge angle)* (Bild 3). Bei einem Einstellwinkel von 90° entspricht die **Spanungsbreite** b *(undeformed chip width)* der **Schnitttiefe** a_p. Mit abnehmendem Einstellwinkel vergrößert sich die Spanungsbreite b bei gleicher Schnitttiefe a_p. Dadurch verlängert sich die im Eingriff stehende Hauptschneide. Gleichzeitig verteilt sich die zum Zerspanen erforder-



3 *Einfluss des Einstellwinkels auf die Spanungsdicke und Spanungsbreite*

3 Fräsen

3.1 Fräsverfahren

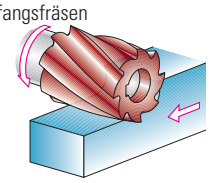
Die Einteilung der Fräsverfahren *(milling methods)* erfolgt nach
- der Art der Fläche,
- der Bewegung beim Zerspanvorgang und
- der Werkzeugform.

Überlegen Sie!

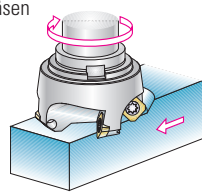
Ordnen Sie den Pfeilen bei den dargestellten Fräsverfahren die Begriffe „Schnittbewegung", „geradlinige Vorschubbewegung" und „kreisförmige Vorschubbewegung" zu (vgl. Seite 2).

Planfräsen *(transverse milling)*

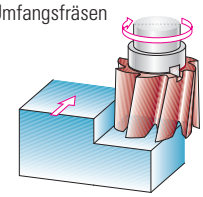
Umfangsfräsen



Stirnfräsen

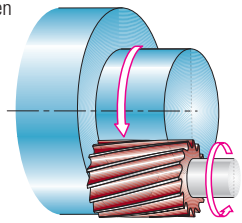


Stirn-Umfangsfräsen

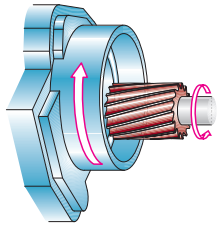


Rundfräsen *(cylindrical milling)*

Außen-Rundfräsen

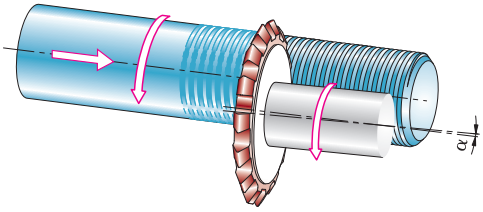


Innen-Rundfräsen

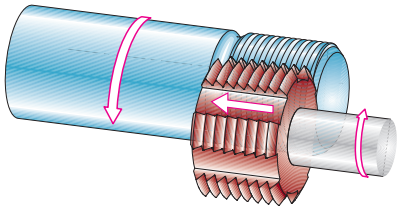


Schraubfräsen *(screw milling)*

Langgewindefräsen

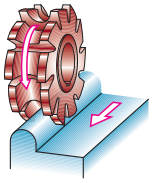


Kurzgewindefräsen

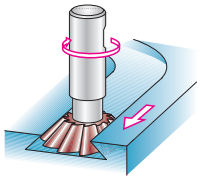


Profilfräsen *(profile milling)*

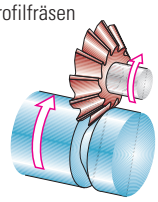
Längs-Profilfräsen



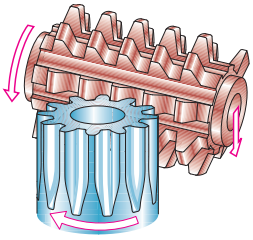
Form-Profilfräsen



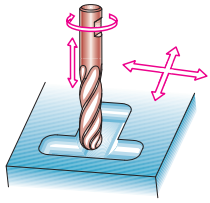
Rund-Profilfräsen



Wälzfräsen *(hobbing)*



CNC-Formfräsen *(CNC-external milling)*



- Bei niedrigen Temperaturen muss es hinreichend dünnflüssig sein.
  Dadurch wird ein einwandfreies Anfahren der Maschine ermöglicht.
- Bei hohen Temperaturen muss das Schmieröl noch genügend Viskosität haben, damit der Schmierfilm nicht abreißt.

Die Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur führte zur Entwicklung **synthetischer Schmieröle**.
Sie haben ein gleichmäßigeres Viskositäts-Temperatur-Verhalten, d. h., dass die Viskosität von synthetischen Schmierölen in einem größeren Temperaturbereich konstant ist. Sie werden daher besonders bei extrem schwankenden Betriebstemperaturen eingesetzt. Im Vergleich zu Mineralölen sind synthetische Schmieröle teurer.

MERKE

Bei Mineralölen gilt: Die Viskosität verringert sich bei steigenden Temperaturen.
Bei synthetischen Schmierölen gilt: Die Viskosität bleibt auch bei schwankenden Temperaturen nahezu konstant.

Pourpoint *(pour point)*
Der Pourpoint ist die Temperatur, bei der ein Schmieröl eben noch fließt.

Flammpunkt *(flashpoint)*
Der Flammpunkt ist die Temperatur, bei der sich an der Schmieröloberfläche entzündbare Gase bilden. Die Schmieröle werden entsprechend ihres Flammpunktes in Gefahrenklassen eingeteilt.

3.2 Schmierfette

Bei Wälzlagern werden oft Schmierfette anstelle von Schmierölen verwendet (Bild 2). Diese haben den Vorteil, dass sie nicht

2 *Eingefettetes Wälzlager*

Schmieröl nach DIN 51502	CLP 68	CLP 220	CLP 1000
Viskositätsklasse	ISO VG 68	ISO VG 220	ISO VG 1000
Minimale kinematische Viskosität bei 40 °C	61,2 mm^2/s	198 mm^2/s	900 mm^2/s
Maximale kinematische Viskosität bei 40 °C	74,8 mm^2/s	242 mm^2/s	1100 mm^2/s
Pourpoint	–12 °C	–9 °C	–3 °C
Flammpunkt	180 °C	200 °C	200 °C
Anwendungsbeispiele	Getriebe	Gleitbahnen	Bei Schneckengetrieben mit sehr hoher Umdrehungsfrequenz

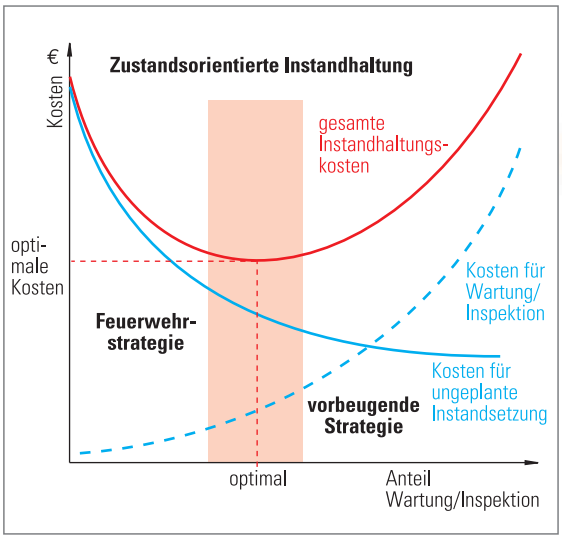
1 *Kennwerte von Schmierölen*

Konsistenzklasse nach DIN 51818	Walkpenetration nach DIN ISO 2137 in 1/10 mm	Konsistenz	Anwendung
000	445 … 475	ähnlich sehr dickem Öl (fließend)	Getriebe
00	400 … 430	fast fließend	Getriebe
0	355 … 385	extrem weich	Getriebe
1	310 … 340	sehr weich	Wälz- und Gleitlager
2	265 … 295	weich	Wälz- und Gleitlager
3	220 … 250	mittel	Wälz- und Gleitlager
4	175 … 205	fest	Dichtfette für Armaturen, Labyrinthe
5	130 … 160	sehr fest	Dichtfette für Armaturen, Labyrinthe
6	85 … 115	extrem fest	Dichtfette für Armaturen, Labyrinthe

3 *Konsistenzklassen und Walkpenetrationen von Schmierfetten*

von der Lagerstelle wegfließen. Zusätzlich haften Schmierfette an der Schmierstelle und verhindern so das Eindringen von Wasser oder Verunreinigungen. Schmierfette werden in 9 **Konsistenzklassen** *(consistency classes)* eingeteilt (Bild 3).
Kennwert für die Konsistenz *(consistency)* und damit wichtigster Kennwert für Schmierfette ist die **Walkpenetration** *(worked penetration)*.
Bei der Walkpenetration wird das Schmierfett vor der Messung „gewalkt", d. h., vorher kräftig durchgeknetet. Dadurch werden

handwerk-technik.de



1 *Instandhaltungskosten*

Überlegen Sie!

1. *Informieren Sie sich, welche Online-Diagnosesysteme Ihr Betrieb einsetzt bzw. einsetzen könnte.*
2. *Benennen Sie ggf., welche Zustände welcher Maschinenelemente überwacht werden.*

7 Inbetriebnahme von Werkzeugmaschinen

Beim Kauf einer Werkzeugmaschine muss diese transportiert, aufgestellt und in Betrieb genommen werden.
Wichtige Hinweise erhält der Maschinenbetreiber aus der jeweiligen Bedienungsanleitung des Maschinenherstellers.
Wesentliche Transportaspekte sind z. B.:

- Befestigung von allen beweglichen Teilen
- Einweisung des Personals
- Überprüfung der Transportwege hinsichtlich Breite und Höhe
- Verfügbarkeit geeigneter Transportmittel (z. B. Gabelstapler, Brückenkran, Hebezeuge

Bild 1 auf Seite 216 zeigt beispielhaft Transporthinweise für eine Drehmaschine.

MERKE

Für den Transport werden blanke Maschinenteile mit Rostschutzmittel geschützt.
Vor der Inbetriebnahme *(starting up)* muss das Rostschutzmittel mit geeignetem Lösemittel oder Putzöl entfernt werden.
Verwenden Sie keine aggressiven Lösemittel wie z. B. Chlorkohlenwasserstoffe, Aceton oder Ähnliches.

Um eine Werkzeugmaschine fachgerecht bedienen und warten zu können, besteht in Abhängigkeit von der Größe der Anlage ein bestimmter Platzbedarf. Er kann üblicherweise den Maschinenprospekten entnommen werden.

Überlegen Sie!

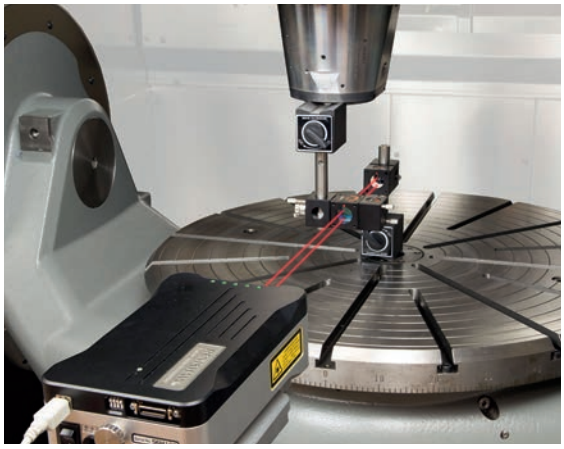
Ermitteln Sie mithilfe des Internets den Platzbedarf für eine 5-Achs-Fräsmaschine mit einem größten linearen Verfahrweg von 800 mm.

Darüber hinaus muss die Verfügbarkeit notwendiger elektrischer, pneumatischer und hydraulischer Anschlüsse gesichert sein sowie die Tragkraft und Schwingungsstabilität des Fundaments berücksichtigt werden.
Ebenfalls sind bei der Wahl des Werkzeugmaschinenstandorts *(machine tool location)* mögliche Umwelteinflüsse wie beispielsweise Temperaturschwankungen in der Umgebung zu berücksichtigen.

MERKE

Die elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Komponenten dürfen nur von autorisiertem Personal angeschlossen werden.

Nach dem Aufstellen sind Werkzeugmaschinen auszurichten.
Hochpräzise Werkzeugmaschinen werden oft mithilfe von Lasertechnik *(laser technology)* ausgerichtet (geometrische Vermessung) (Bild 2).
Nach erfolgreicher Aufstellung *(mounting arrangement)* (auch von Periphereinrichtungen wie z. B. Späneförderer, Kühlmittelpumpen), fachgerechter Verlegung der notwendigen Anschlüsse und Ausrichtung ist die Bearbeitungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine zu prüfen (vgl. Kap. 7.1).
Wenn die Bearbeitungsgenauigkeit den Anforderungen entspricht, kann die Werkzeugmaschine in Betrieb genommen werden, d. h., für die Produktion eingesetzt werden.
Ob die Werkzeugmaschine für die Produktion bestimmter Werkstücke geeignet ist, wird gesondert überprüft. Kennwerte sind dabei die Maschinen- und Prozessfähigkeit (vgl. Lernfeld 13).



2 *Ausrichten einer Werkzeugmaschine mit Lasertechnik*

handwerk-technik.de

8 Maintenance Overview of a CNC Milling Centre

A machining centre, also called a manufacturing centre, is a machine tool which is equipped for automatic operation, therefore, it is provided with a CNC control system.
It is a numerically controlled machine with a high degree of automation for the complete machining of components. Often, machining centres can be equipped to extend the functionality of rotating and swivelling machine tables, so that there are one or two additional axes available. Also machining centres are characterized by an automatic tool and workpiece changer.
The **vertical machining centre** shown in the figure are intended for the machining, through down-cut and up-cut milling as well as drilling, of metals and plastics that have the necessary strength for being clamped. Due to an optimum division of the machining cycles high production flexibility and, therefore, high productivity is attained.
As a cutting machine operator you may meet a situation, due to the worldwide industrial use of the machines, in which maintenance and service works are required. The maintenance overview shown on page 220 is taken from an original instruction manual and is used to accomplish maintenance and repair work.

Assignments on the text:

1. Match the English and German terms and write the result in your exercise book.

component	Maschinentisch
operation	Betriebsanleitung
machining centre	Grad
control system	Werkzeug und Werkstückwechsler
maintenance overview	Steuerung
machine tool	Zerspanungsablauf
down-cut and up-cut milling	Fertigungsflexibilität
complete machining	Betrieb
machining cycle	Fertigungszentrum
instruction manual	Bearbeitungszentrum
tool and workpiece changer	Komplettbearbeitung
manufacturing centre	Werkzeugmaschine
degree	Bauteil
production flexibility	Abbildung
maintenance and service works	Wartungs- und Serviceleistungen
machine table	Wartungsübersicht
figure	Gleich- und Gegenlauffräsen

2. Translate the text by using your English-German vocabulary list and your dictionary as well as the words in the box above.
3. Ask your classmate whether he or she had to maintain a CNC machine. If yes, he or she should explain what was necessary to do. On page 221 you may find some helpful terms.

Assignments on the maintenance overview (p.220):

4. Look at the 6 small figures below the maintenance overview and find the correct order for the translations:
   a) Austausch
   b) Kontrolle, bei Bedarf ergänzen
   c) ölen, Öl wechseln
   d) Reinigung, bei Bedarf austauschen
   e) fetten (über Schmiernippel)
   f) Generalüberholung
5. Which parts require exchange?
6. Which parts have to be checked if necessary?
7. How many components have got a grease nipple for applying lubricant?
8. Which parts require an oil change?
9. Which elements have to be cleaned?
10. The square contains 10 different terms you can find in the text above. One word already has been marked. Find the other nine and write them into your exercise book.

M	A	S	S	A	M	O	N	N	R
C	O	M	P	L	E	T	E	M	O
A	S	A	X	E	S	G	H	M	T
D	F	C	K	C	A	E	G	E	A
E	R	H	L	O	S	L	F	I	T
T	Z	I	I	M	D	I	I	L	I
U	I	N	G	P	E	L	G	L	N
G	J	I	T	O	O	L	U	O	G
K	L	N	N	N	S	S	R	R	L
N	M	G	D	E	G	R	E	E	I
P	H	I	K	N	D	J	O	X	K
D	K	W	P	T	H	N	L	T	I
C	H	E	U	R	F	F	R	E	L
C	O	N	T	R	O	L	Z	N	G
L	F	A	M	M	H	F	U	D	O

handwerk-technik.de

5.2 Hydraulische Aktoren

Hydraulische Aktoren *(hydraulic actuators)* werden bei Werkzeugmaschinen u. a. in folgenden Bereichen bzw. für folgende Aufgaben eingesetzt:

- Spannen der Werkstücke
- Zu- und Rückstellung des Reitstocks und der Lünette
- Spindelklemmung
- Betätigung des Werkzeugträgers
- zur Betätigung der Bremsen an Linearachsen

5.2.1 Aufbau einer Hydraulikanlage

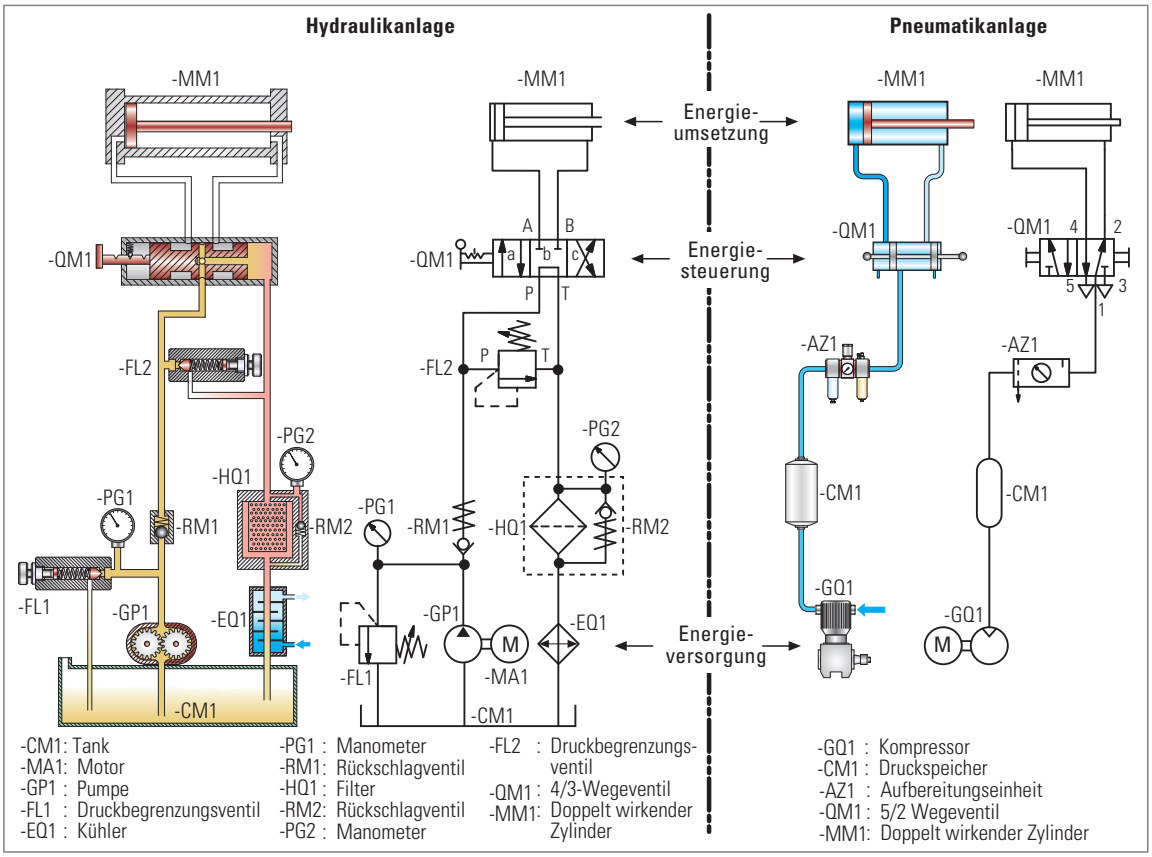
In Bild 1 ist der Aufbau einer Hydraulikanlage dargestellt. Dieser Aufbau soll im Folgenden näher betrachtet und mit dem Aufbau einer Pneumatikanlage verglichen werden.
Beide Anlagen können in die Bereiche Energieversorgung, Energiesteuerung und Energieumsetzung eingeteilt werden.

Energieversorgung:
Bei Werkzeugmaschinen ist meistens eine eigene Energieversorgung für die hydraulischen Einrichtungen in Form eines Hydraulikaggregats vorhanden. Wichtige Bestandteile dieses Aggregats sind:

- Antriebseinheit, bestehend aus Motor, Kupplung und Pumpe (-MA1,-GP1)
- Behälter (Tank, -CM1)
- Druckbegrenzungsventile (-FL1, -FL2)
- Filter (-FL1, -FL2)
- Manometer (-PG1, -PG2)
- Kühler (-EQ1)

Das **Druckbegrenzungsventil** *(pressure control valve)* (0V1) soll im Aggregat die Pumpe vor Überlastung schützen. Deshalb ist es auf den maximalen Pumpendruck von z. B. 180 bar eingestellt.
Für die Funktion und für die Lebensdauer der Anlage ist es sehr wichtig, Schmutzteilchen durch einen Filter (0Z2) zu entfernen.
Das **Manometer** *(manometer)* (0Z1) zeigt den Druck im Aggregat an und ermöglicht damit eine Aussage über die Funktionsfähigkeit der Anlage.
Die Öltemperatur sollte nicht höher sein als ca. 60 °C. Steigt sie über diesen Wert, schaltet sich der **Kühler** *(cooler unit)* (-EQ1) ein.
Die Energieversorgung für die pneumatischen Anlagen ist dagegen zentral organisiert. Von einer Anlage (Kompressor und Druckbehälter) wird die Druckluft an viele Verbraucher im Betrieb geleitet, auch an Werkzeugmaschinen.

Energiesteuerung:
Durch **Wegeventile** *(control valves)* wird der Ölstrom in die gewünschten Kanäle geleitet, um z. B. Zylinder aus- und einzufahren.



1 *Vergleich einer Hydraulik- und einer Pneumatikanlage*

handwerk-technik.de

Geometrische Informationen (Wegbedingungen) teilen der Steuerung mit, wie sie die Relativbewegung von Werkzeug und Werkstück (z. B. Verfahrweg als Gerade oder Kreisbogen) auszuführen hat. Die Koordinaten geben jeweils den Zielpunkt des Bearbeitungsschrittes an.

MERKE

Die Wegbedingungen *(preparatory functions)* bzw. G-Wörter *(geometric function)* legen – zusammen mit den Wörtern für die Koordinaten – den geometrischen Teil des Programms fest (Seite 270 Bild 1 und Bild 1).

Wegbedingung	Bedeutung
G4	Verweilzeit, zeitlich vorbestimmt
G17	Ebenenauswahl (X-Y-Ebene)
G18	Ebenenauswahl (Z-X-Ebene)
G19	Ebenenauswahl (Y-Z-Ebene)
G33	Gewindeschneiden, Steigung konst.
G40	Aufheben der Werkzeugkorrektur
G41	Werkzeugbahnkorrektur, links
G42	Werkzeugbahnkorrektur, rechts
G43	Werkzeugkorrektur, positiv
G44	Werkzeugkorrektur, negativ
G53	Aufheben der (Nullpunkt)verschiebung
G54 ... G59	(Nullpunkt)verschiebung 1 ... 6
G80	Aufheben des Arbeitszyklus
G81 ... G89	Arbeitszyklus 1 ... 9
G94	Vorschubgeschwindigkeit in mm/min
G95	Vorschub in mm pro Umdrehung
G96	konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Umdrehungsfrequenz in 1/min

1 *Weitere G-Funktionen bzw. Wegbedingungen*

2.1.1 Absolute und inkrementale Maßangabe

Bevor die Beschreibung der Werkzeugwege erfolgt, muss im Programm definiert sein, worauf sich die im Programm stehenden Koordinaten (z. B. X30 Y30) beziehen.
Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten der Maßangabe:

- Absolute Maßangabe *(absolute measurement)* (G90)
- Inkrementale Maßangabe *(incremental measurement)* (G91)

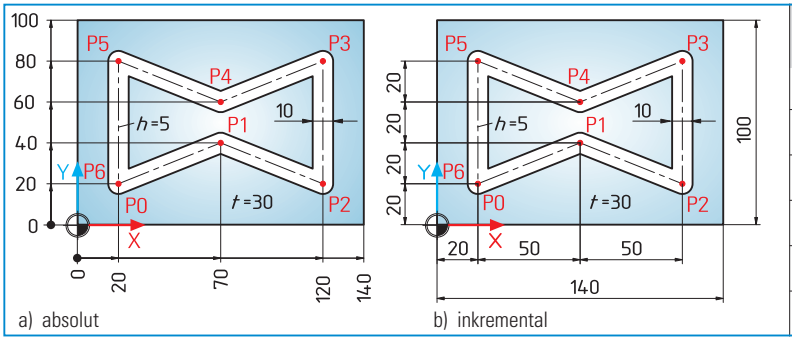
MERKE

Durch die Eingabe von G90 wird festgelegt, dass es sich bei den folgenden Koordinatenwerten um absolute Maßangaben handelt, die sich auf den Werkstücknullpunkt beziehen.

MERKE

Durch die Eingabe von G91 wird bestimmt, dass es sich bei den folgenden Koordinatenwerten um inkrementale Maßangaben handelt, die sich jeweils auf die derzeitige Werkzeugposition *(position of tool)* beziehen.

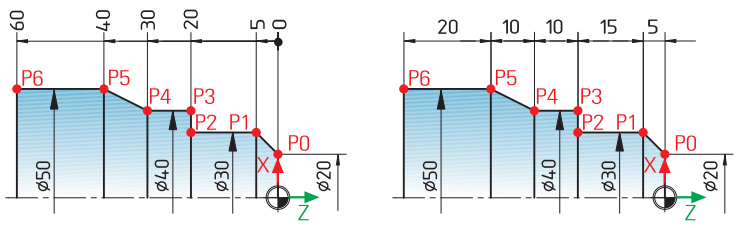
Bei der **absoluten Maßangabe** werden die Zielkoordinaten eingegeben, auf die sich das Werkzeug in Bezug auf den Werkstücknullpunkt bewegt (Bilder 2a und 3a). Bislang wurden alle Konturpunkte in dieser Art bestimmt (Seite 270 Bild 1 und Kapitel 1.3.1)



a) absolut b) inkremental

Punkt	Maßangabe G90	Maßangabe G91
1	X70 Y40	X50 Y20
2	X120 Y20	X50 Y-20
3	X120 Y80	X0 Y60
4	X70 Y60	X-50 Y-20
5	X20 Y80	X-50 Y20
6	X20 Y20	X0 Y-60

2 *Absolute Programmierung (G90) und inkrementale Programmierung (G91) eines Frästeils*



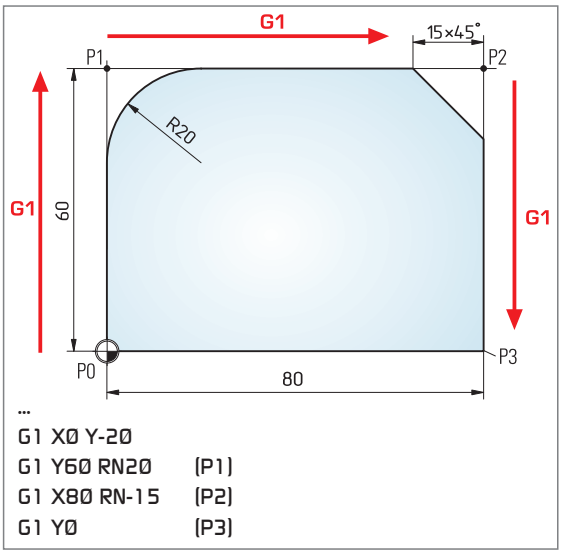
a) absolut b) inkremental

Punkt	Maßangabe G90	Maßangabe G91
1	X30 Z-5	X5 Z-5
2	X30 Z-20	X0 Z-15
3	X40 Z-20	X5 Z0
4	X40 Z-30	X0 Z-10
5	X50 Z-40	X5 Z-10
6	X50 Z-60	X0 Z-20

3 *Absolute Programmierung (G90) und inkrementale Programmierung (G91) eines Drehteils*

rekturspeicher 96,786 mm. Dadurch steht die Stirnfläche des Fräsers 0,3 mm über der Fertigtiefe, sodass ein Aufmaß von 0,3 mm zum Schlichten verbleibt. Die Steuerung berechnet dann die Äquidistante und die Zustelltiefe auf Grund von Werkzeugradius und -länge, die im Korrekturspeicher stehen (Seite 310 Bild 4).

Übergangsradien und -fasen
(transition radii / transition chamfers)
Bei vielen Steuerungen ist es möglich, Übergangsradien und -fasen (Bild 1) einfach zu programmieren. Es wird der theoretische Schnittpunkt (P1 bzw. P2) der beiden Geraden programmiert. Durch ein zusätzliches Wort wird im gleichen Programmsatz der Radius (z. B. RN20) oder die Fase (z. B. RN-15) bestimmt. Die Steuerung errechnet sich die fehlenden Geometrien und fräst sie.

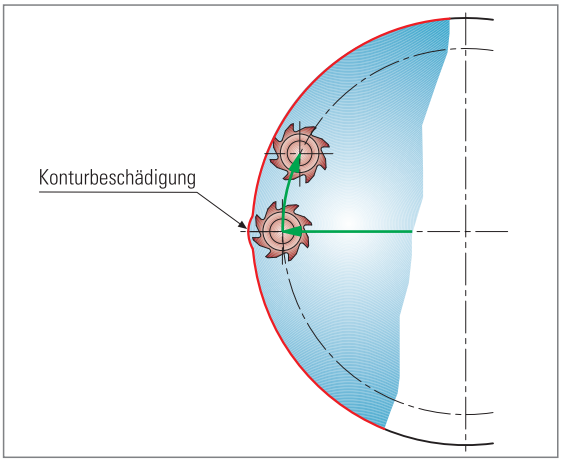


1 *Übergangsradius und -fase*

4.2.6 An- und Abfahren beim Schlichten der Kontur

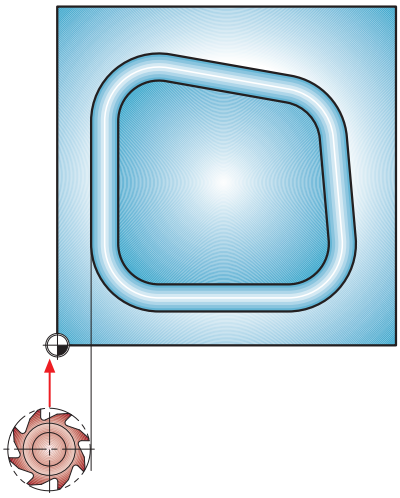
Beim rechtwinkligen Anfahren der Kontur (Bild 2) steht eine CNC-Achse beim Erreichen des Zielpunktes für einen kurzen Moment still, bevor die Konturbearbeitung erfolgt. Das führt dazu, dass der Fräser freischneidet und die Kontur beschädigt wird.

MERKE
Beim Schlichten *(smoothing)* müssen die Konturen *(contours)* so angefahren werden, dass keine Konturbeschädigungen entstehen.

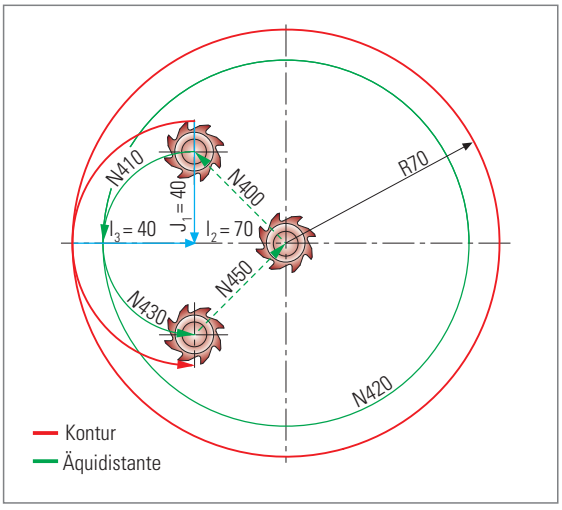


2 *Konturbeschädigung durch rechtwinkliges Anfahren*

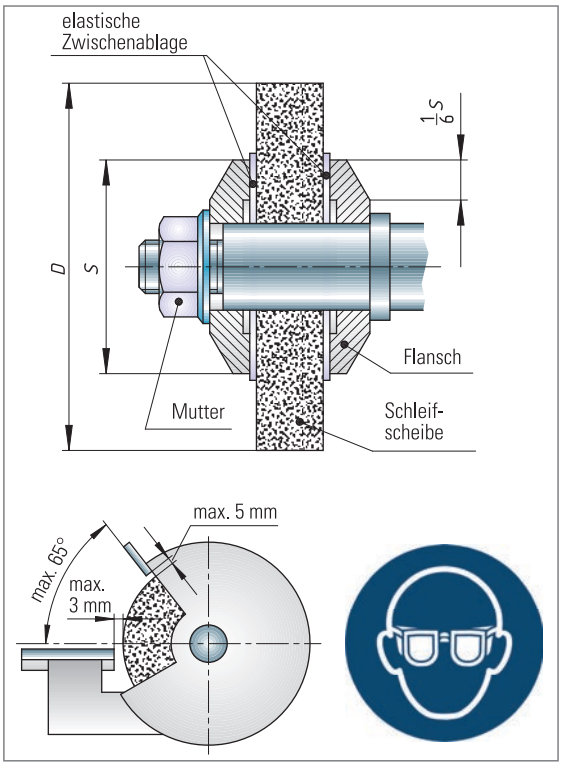
Bei Außenkonturen besteht oft die Möglichkeit, die Kontur geradlinig anzufahren (Bild 3) und auch abzufahren. Bei Innenkonturen ist das meist nicht der Fall.
Durch tangentiales An- und Abfahren (Bild 4) werden Konturbeschädigungen vermieden. Bei einigen Steuerungen gibt es besondere G-Funktionen für unterschiedliche An- und Abfahrbewegungen.



3 *Geradliniges Anfahren der Kontur*



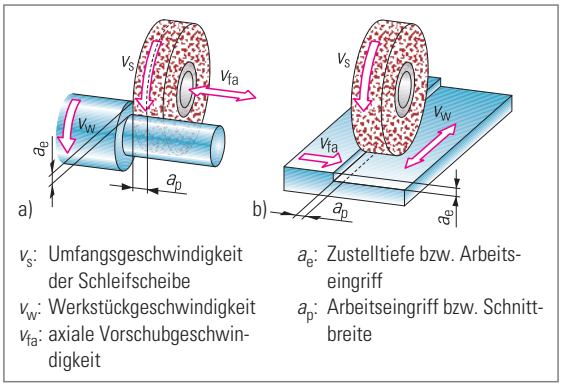
4 *Tangentiales An- und Abfahren der Kontur im Viertelkreis*



1 *Spannen von Schleifscheiben und Auflagen*

1.5 Prozessparameter beim Schleifen

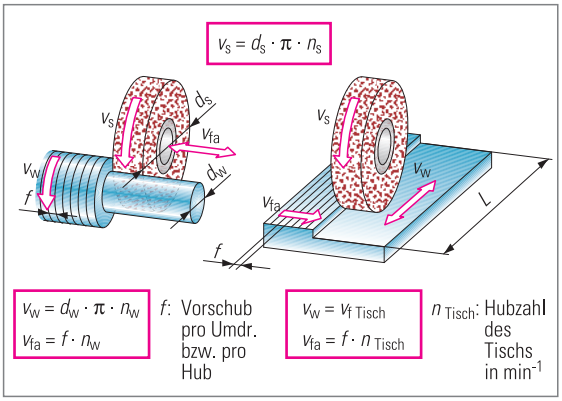
Neben der richtigen Schleifscheibenauswahl bestimmen die vom Facharbeiter zu wählenden Zerspanungsgrößen das Arbeitsergebnis. Die wichtigsten sind Bild 2 zu entnehmen.



2 *Einstellgrößen beim a) Außenrund- und b) Planschleifen*

1.5.1 Schnittgeschwindigkeit

Das Schleifen erfolgt fast immer im Gegenlauf. Dabei ist die Schnittgeschwindigkeit v_c *(cutting speed)* die Summe aus der **Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe** v_s *(wheel speed)* und der **Werkstückgeschwindigkeit** v_w *(work speed)* (Bild 3).



3 *Geschwindigkeiten von Schleifscheibe und Werkstück*

Da die Werkstückgeschwindigkeit meist kleiner als 2 % der Umfangsgeschwindigkeit ist, gilt in der Praxis:

$$v_c \approx v_s$$

Die zu wählende Schnittgeschwindigkeit ist vorrangig abhängig von:

- verwendeter Schleifscheibe
- zu bearbeitendem Werkstoff
- Schleifverfahren
- Kühlschmierbedingungen
- Stabilität und Antriebsleistung der Maschine

Die Schnittgeschwindigkeiten liegen meist zwischen 10 m/s und 100 m/s. Bei keramisch gebundenen Schleifscheiben sind es z. B. im Durchschnitt 45 m/s bis 60 m/s. Richtwerte sind den Angaben der Schleifscheibenhersteller zu entnehmen und entsprechend den vorliegenden Bedingungen zu optimieren.

MERKE

Steigende Schnittgeschwindigkeit
- verändert nicht die Hauptnutzungszeit
- senkt die Schnittkraft
- vermindert den Schleifscheibenverschleiß
- erhöht die Maß- und Formgenauigkeit
- verbessert die Oberflächenqualität und
- erhöht die Randzonenbeeinflussung[1)]

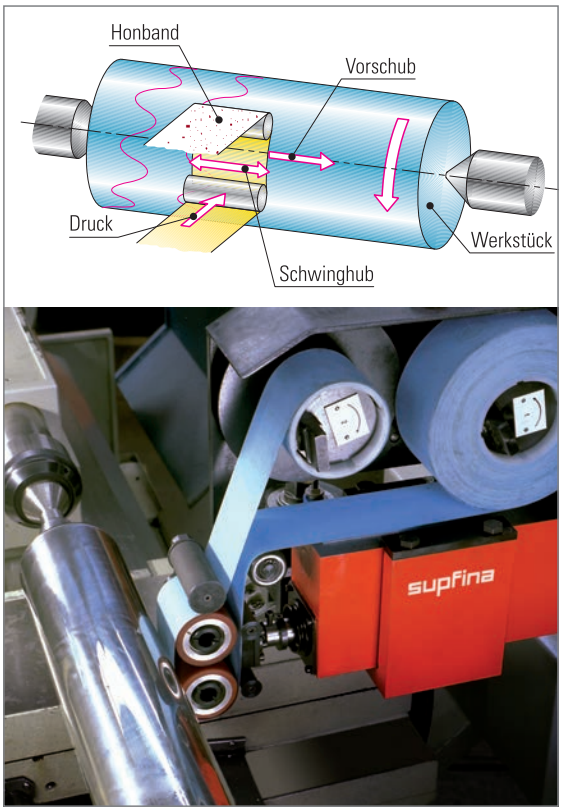
Die zulässige maximale Umfangsgeschwindigkeit darf aus Sicherheitsgründen niemals überschritten werden[2)].

1.5.2 Vorschubgeschwindigkeit

Die **axiale Vorschubgeschwindigkeit** v_{fa} *(feed rate)* wird z. B. beim Außenrundschleifen vom Vorschub f und der Umdrehungsfrequenz des Werkstücks n_w bestimmt (Bild 3). Beim Planschleifen entspricht sie der axialen Werkstückgeschwindigkeit, die durch die Tischhubzahl pro Minute n_{Tisch} und den Vorschub f bestimmt wird.

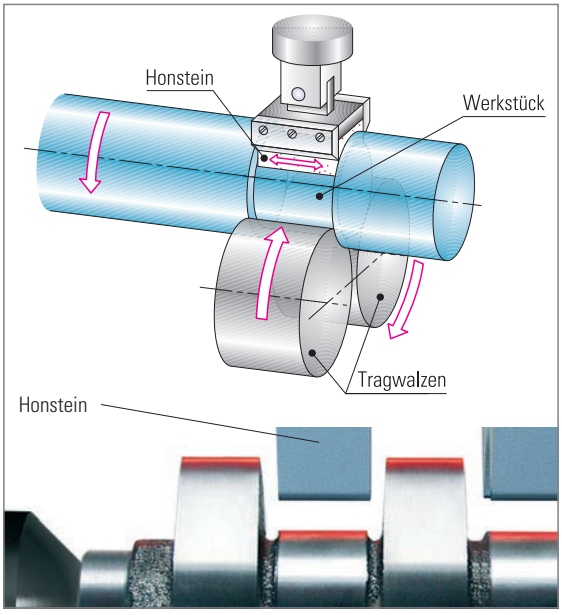
1) siehe Kap. 1.5.6 2) siehe BGV D12

handwerk-technik.de



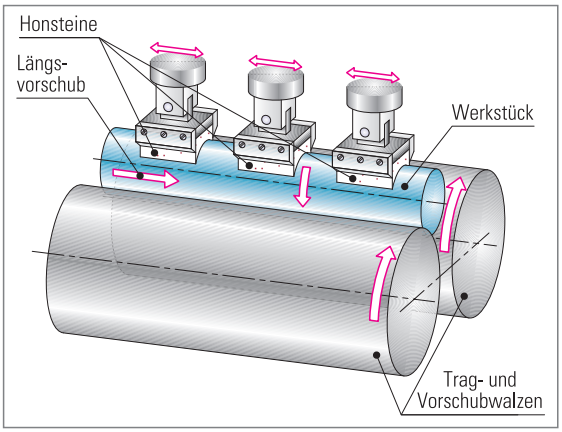
1 *Kurzhubhonen mit Honband*

Beim **Einstechverfahren** *(plunge superfinishing)* (Bild 2) ist **ein** Honstein im Eingriff, das Werkstück ist axial gegen Verschieben gesichert und das Verfahren eignet sich sowohl für Einzel- als auch für Serienfertigung.



2 *Spitzenloses Kurzhubhonen im Einstechverfahren*

Beim **Durchlaufverfahren** *(throughfeed superfinishing)* (Bild 3) sind **mehrere** Honsteine im Eingriff, die Tragrollen bewirken zusätzlich einen Axialvorschub des Werkstückes und das Verfahren eignet sich wegen der längeren Rüstzeiten vorrangig für die Serienfertigung.

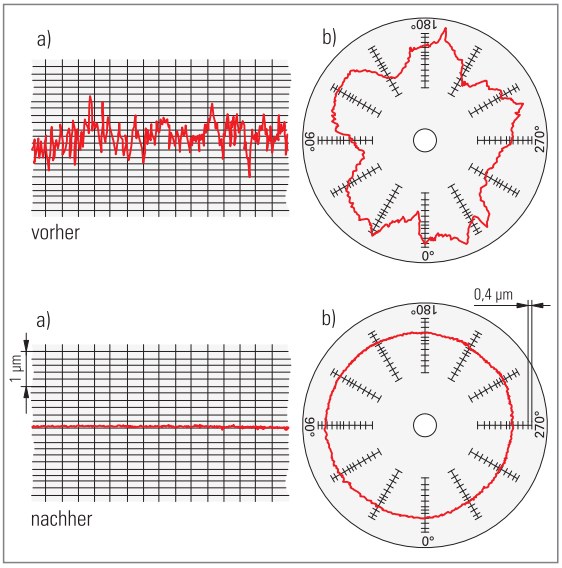


3 *Spitzenloses Kurzhubhonen im Durchlaufverfahren*

MERKE

Mit dem Kurzhubhonen sind

- eine sehr hohe Oberflächenqualitäten (R_z bis 0,1 µm),
- eine erhebliche Verbesserung der Rundheit (Bild 4),
- aber keine nennenswerte Verbesserung der Zylinderform möglich.

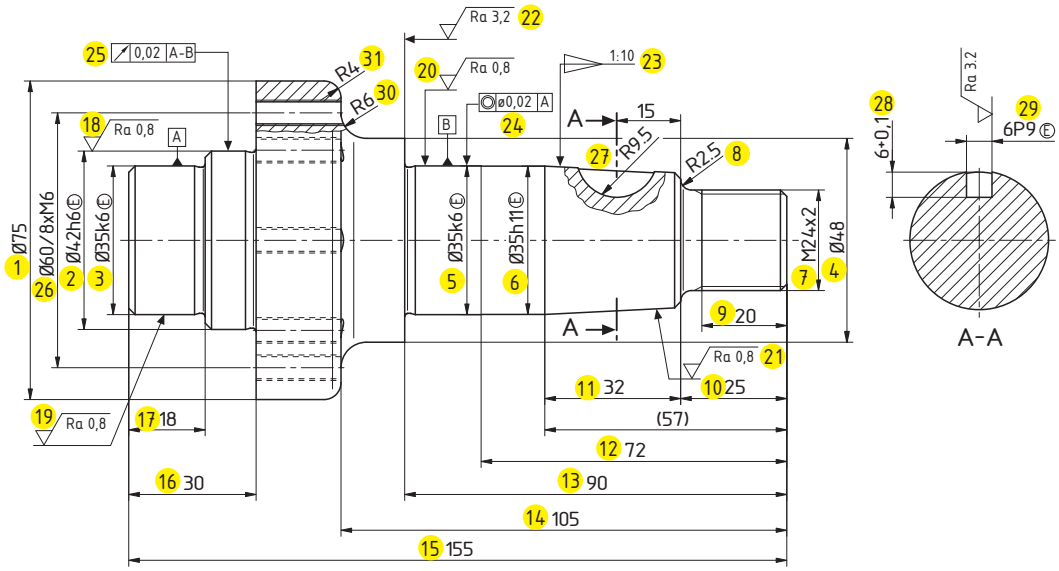


4 *Oberflächengüte a) und Rundheit b) vor und nach der Bearbeitung*

Hinweis:

Bei den Zahlen in b) handelt es sich um Winkelangaben.
Es wird die Rautiefe in Abhängigkeit vom Drehwinkel angegeben.

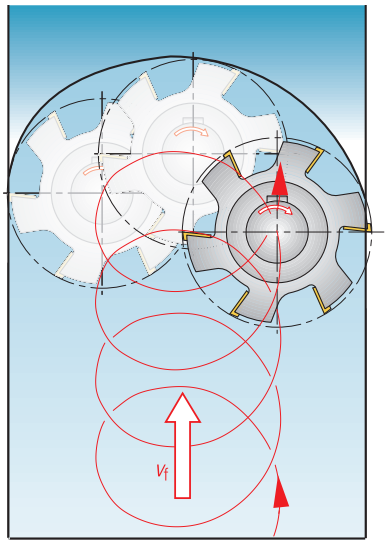
3.6 Zerspanen und Prüfen



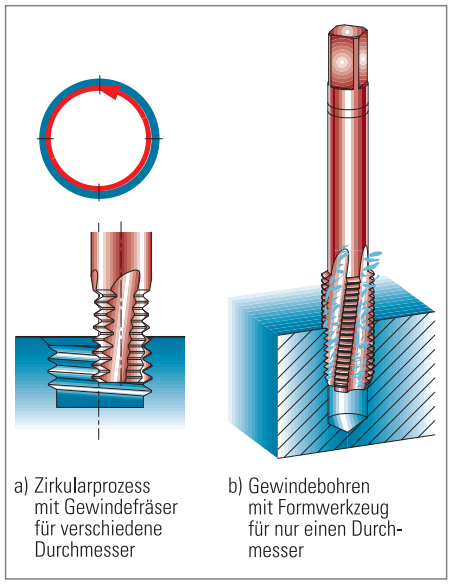
Prüf-Nr.	Zeichnungsangabe	Abmaße	Prüfgerät
1	∅75	± 0,3	Messschieber
2	∅42h6	– 0,016/0	Messschraube oder Grenzrachenlehre
3	∅35k6	+ 0,002/+0,018	Messschraube oder Grenzrachenlehre
4	∅48	± 0,3	Messschieber
5	∅35k6	+ 0,002/+0,018	Messschraube oder Grenzrachenlehre
6	∅35h11	– 0,16/0	Messschraube oder Grenzrachenlehre
7	M24 × 2		Gewindelehrring
8	R2,5		Radiuslehre
9	20	± 0,2	Messschieber
10	25	± 0,2	Messschieber
11	32	± 0,3	Messschieber
12	72	± 0,3	Messschieber
13	90	± 0,3	Messschieber
14	105	± 0,3	Messschieber
15	155	± 0,5	Messschieber
16	30	± 0,2	Messschieber
17	18	± 0,2	Messschieber
18	Ra 0,8		Tastschnittgerät
19	Ra 0,8		Tastschnittgerät
20	Ra 0,8		Tastschnittgerät
21	Ra 0,8		Tastschnittgerät
22	Ra 3,2		Tastschnittgerät
23	Verjüngung 1:10		Kegellehre
24	Koaxialitat ∅0,02		3D-Messmaschine
25	Rundlauf 0,02		3D-Messmaschine
26	∅60/8 × M6		Sichtprüfung und Messschieber
27	R9,5		Radiuslehre
28	R4		Radiuslehre
29	R6		Radiuslehre
30	6+0,1	0/+0,1	Nutenmessgerät
31	6P9	0,009/–0,039	Grenzlehre

1 *Prüfplan*

Bei Zirkularprozessen können verschiedene Geometrieelemente mit nur **einem** Werkzeug, d. h., mit geringen Werkzeugwechselzeiten erzeugt werden.
Formgebundene Werkzeuge bieten den Vorteil sehr kurzer Hauptnutzungszeiten, jedoch führt der nötige Werkzeugwechsel zu höheren Werkzeugwechselzeiten. Das gilt besonders dann, wenn an einem Bauteil viele verschiedene Formelemente den Einsatz zahlreicher Werkzeuge erfordern. Die notwendigen Werkzeugwechsel bestimmen dann überwiegend die Durchlaufzeit.
Die Entscheidung für ein Sonderwerkzeug oder Zirkularprozess wird von mehr als nur dem Zeitvergleich bestimmt. Welches die beste Vorgehensweise ist, muss daher im Einzelfall entschieden werden. Wird z. B. das Gewindebohren durch Gewindefräsen ersetzt, findet eine Entkopplung der Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs vom Arbeitseingriff statt. Die Schnittgeschwindigkeit und der radiale Arbeitseingriff sind dann frei wählbar und können getrennt für die jeweilige Anwendung optimiert werden. Aus dem kontinuierlichen Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück beim Gewindebohren wird beim Gewindefräsen ein diskontinuierlicher Kontakt (Bild 3). Dies kommt einer Umstellung auf Trockenbearbeitung entgegen. Im Vergleich zum Gewindebohren bietet das Gewindefräsen vor allem bei Grundlochgewinden Vorteile bei der Spanabfuhr. Der Vergleich von Hauptzeiten und Drehmomenten beim Gewindebohren und Gewindefräsen in Vergütungsstahl spricht für das Gewindefräsen, da die hohe anwendbare Schnittgeschwindigkeit die Hauptnutzungszeit reduziert (Bild 4).



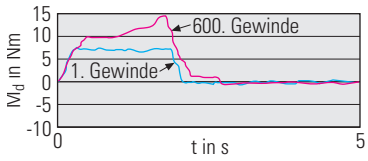
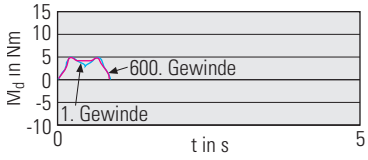
1 *Zirkularprozess bei der Trochoidbearbeitung*



2 *Vergleich von Zirkularprozess und formgebundenem Werkzeug*

3 *Zirkularprozess Gewindefräsen*

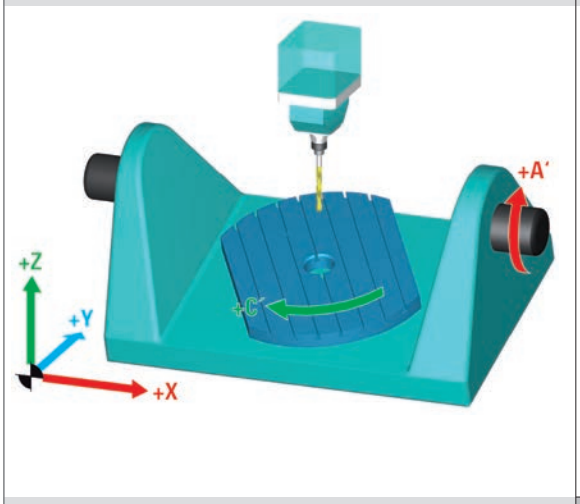
407_1

Gewindebohrer		**Gewindebohren** t_c = 5,8 m/min v_c = 8 min^{-1} n =260 min^{-1} Minimalmengenkühlschmierung
Gewindefräser		**Gewindefräsen** t_c = 0,8 m/min v_c = 80 min^{-1} n = 3315 min^{-1} Minimalmengenkühlschmierung

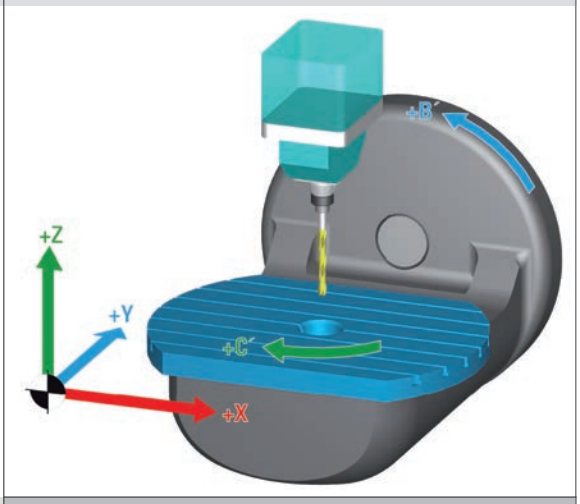
4 *Vergleich Gewindebohren – Gewindefräsen*

Drehachsen für das Werkstück

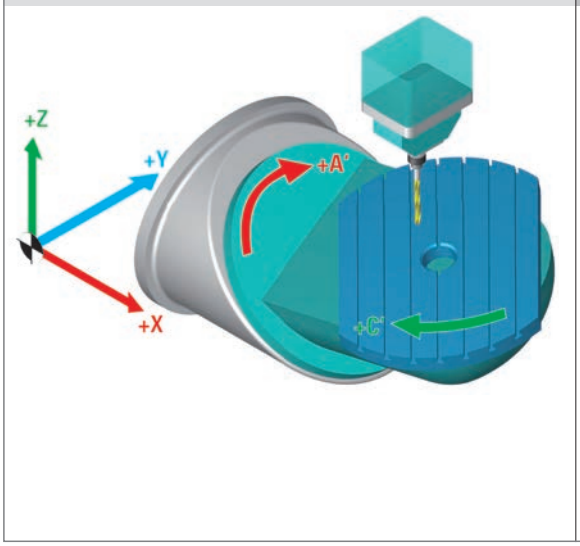
Schwenk- und Drehtisch
A'- und C'-Achse



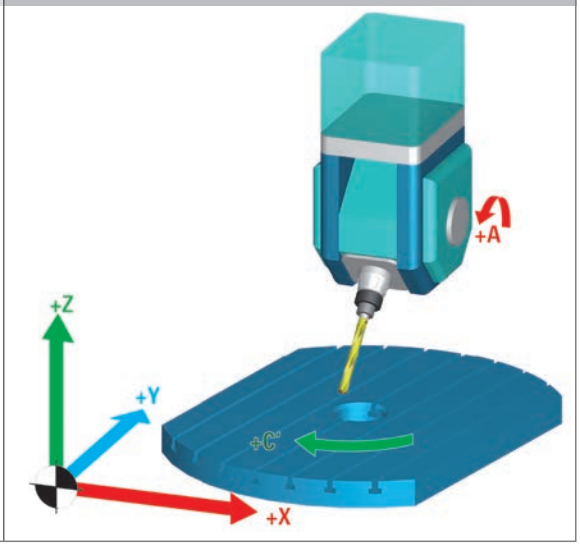
Schwenk- und Drehtisch
B'- und C'-Achse



45°-Schwenkdrehtisch
A'- und C'-Achse



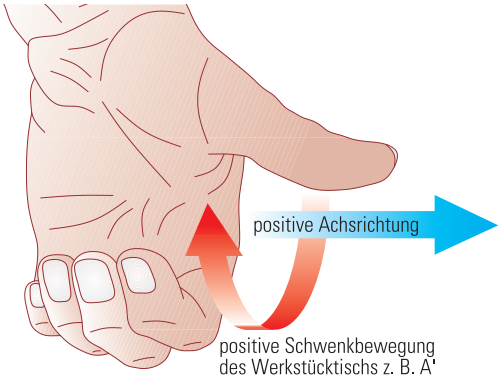
Eine Drehachse für das Werkzeug und eine für das Werkstück



1 *Kinematische Ausführungen bei 5-Achs-Fräsmaschinen*

Schwenktisch *(swivel table)* mit den Schwenkachsen *(swivel axes)* B' und C' (Seite 446 Bild 1) ist die Fläche 1 in die Bearbeitungsebene *(machining plane)* zu schwenken. Die Schwenkbewegungen *(swivel motions)* werden im Beispiel vom Werkstück und nicht vom Werkzeug ausgeführt. Deshalb sind die Schwenkachsen mit B' bzw. C' statt mit B und C bezeichnet[1]. Die positiven Schwenkachsen des Werkstücktischs lassen sich mithilfe der Linken-Hand-Regel bestimmen (Bild 2).

Es wäre einfach möglich, die Fläche 1 einzuschwenken, wenn die Schwenkachse A' vorhanden wäre. Da dies aber nicht der Fall ist, übernehmen die Schwenkachsen B' und C' diese Aufgabe. Dazu schwenkt die Drehachse B' um +90° (Seite 446 Bild 1b) und die Drehachse C' um -90°. Danach liegt die Fläche 1 in der Bearbeitungsebene, auf der die Werkzeugachse senkrecht steht (Bild



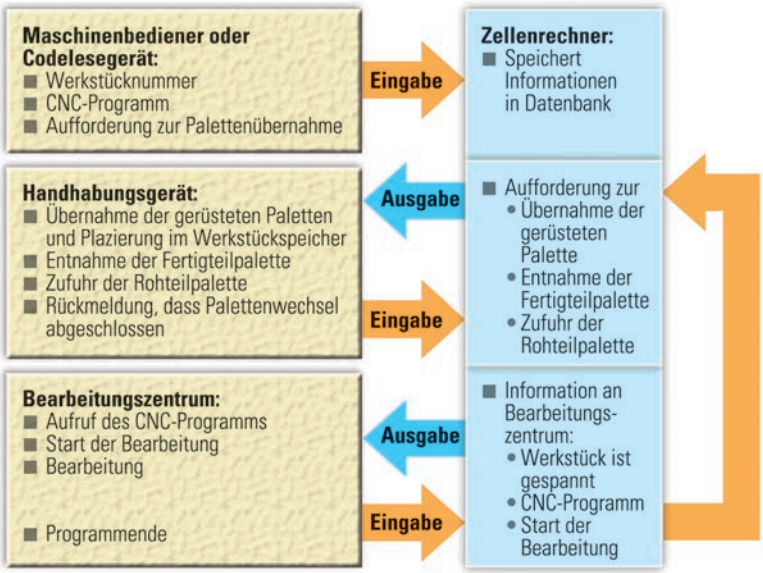
2 *Linke-Hand-Regel für die Werkstückschwenkbewegung*

1) siehe Lernfeld 8 Kap. 1.1

handwerk-technik.de

ein **Transponder mit Mikrochip** sein (Seite 474 Bild 3). Die auf der Codierung befindlichen Daten werden von einem entsprechenden Codeleser automatisch gelesen und zum Zellenrechner weitergeleitet. Nachdem der Zellenrechner die Aufforderung erhalten hat, die Palette in den Werkstückspeicher zu übernehmen, übernimmt das Handhabungssystem die Palette und legt sie auf einem Platz im Werkstückspeicher ab (Bild 1). Das Handhabungssystem meldet dem Zellenrechner den Speicherplatz. Soll nun ein Werkstück bearbeitet werden, teilt der Zellenrechner dem Handhabungssystem den Platz im Werkstückspeicher mit, auf dem sich das zu bearbeitende Werkstück befindet. Das Handhabungssystem entnimmt dem Speicherplatz die Rohteilpalette und führt sie dem Maschinentisch zu. Die vorher ausgewechselte Fertigteilpalette wird vom Handhabungssystem auf einen Speicherplatz abgelegt, der dem Zellenrechner mitgeteilt wird. Alternativ dazu kann die Palette auch aus der Flexiblen Fertigungszelle geschleust werden, worüber der Zellenrechner auch informiert wird.

In der Datenbank des Zellenrechners werden z. B. der Maschinenbediener, die Zeit der Palettenauf- und -entnahme, die Bearbeitungszeiten, das CNC-Programm und die genutzten Werkzeuge sowie die Wartezeiten im Speicher und die genutzten Werkzeugspeicherpositionen festgehalten. Diese Daten können über ein Netzwerk vom übergeordneten Produktdatenmanagement[1] übernommen und ausgewertet werden. Dadurch ist zu jedem Zeitpunkt zu erkennen, wie weit der Produktionsfortschritt eines jeden Werkstücks ist.



1 *Funktion des Zellenrechners im Hinblick auf die Werkstückhandhabung*

2 *Hintergrundwerkzeugmagazin mit Linearroboter für ca. 200 Werkzeuge*

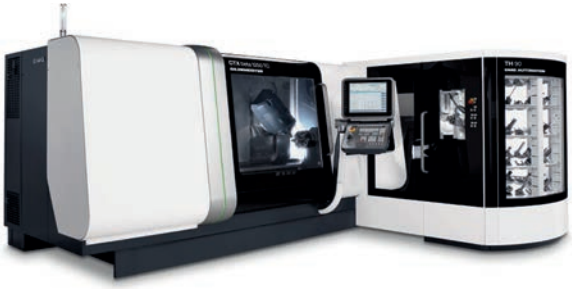
MERKE

Der Zellenrechner koordiniert die Abläufe der automatisierten Teilsysteme der Flexiblen Fertigungszelle.

4.1.3 Werkzeughandhabung

Die Werkzeughandhabung *(handling of tools)* ist Bestandteil der CNC-Werkzeugmaschine[2] bzw. des CNC-Bearbeitungszentrums[3]. Da eine Flexible Fertigungszelle viele unterschiedliche Werkstücke in beliebigen Losgrößen bearbeiten kann, benötigt sie eine Vielzahl von Werkzeugen. Diese sind oft nicht alle im vorhandenen Werkzeugmagazin zu speichern. Abhilfe schafft in solchen Fällen ein **Hintergrundwerkzeugmagazin** (Bild 2), das eine Fülle weiterer Werkzeuge bereitstellt. Der **Linearroboter** *(linear robot)* wechselt die Werkzeuge während der Bearbeitung vom Hintergrundwerkzeugmagazin ins Hauptwerkzeugmagazin und umgekehrt.

Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der vorhandenen Werkzeugspeicherkapazität ist die Erweiterung mit einem Hintergrundwerkzeugmagazin, das für verschiedene Maschinetypen



3 *Bearbeitungszentrum mit Hintergrundwerkzeugmagazin für verschiedene Maschinentypen*

handwerk-technik.de

1) siehe Kap. 1.3 2) siehe Lernfeld 8 Kap. 3.2, 3.5, 4.2, 4.4 3) siehe Kap. 2

1 *Vorgedrehtes Bauteil*

Ein Mitarbeiter der Fa. Chip-Cut erhält von seinem zuständigen Teamleiter den Auftrag, ausgehend von dem **vorgedrehten Bauteil** (Bild 1) die noch ausstehenden Arbeiten durchzuführen. Für die Fertigung steht eine 5-Achs-Fräsmaschine zur Verfügung, das notwendige Programm liegt vor und wurde über eine CAD-CAM-Kopplung erstellt.

Die Erteilung des Auftrages an den Mitarbeiter bedeutet, dass die **Freigabe des Fertigungsauftrags** *(release of production order)* erfolgt ist, d. h., dass die benötigten Materialien, Kapazitäten und Fertigungsdaten verfügbar sind. Die Auftragsfreigabe liegt in der Regel bei einem Vorgesetzten des Mitarbeiters, also einem Teamleiter oder vorgesetzten Meister.

Dadurch ist sichergestellt, dass es nicht zu Überschneidungen an den Fertigungsmitteln kommt. Die Maschinenauslastung kann so zeitlich optimiert und der Produktionsausstoß unter Wahrung der Termine erhöht werden[1].

Die Bilder 2 bis 4 zeigen beispielhaft die Optimierung der Maschinenbelegung *(machine utilisation)* von vier Fertigungsaufträgen an vier Maschinen.

In einer gut organisieren Arbeitsorganisation wird neben der Planung der Maschinenbelegung jeweils für einen gewissen Zeitraum ein Zeitstrahl erstellt. Darin werden die Urlaubstage, die Feiertage und die mögliche Mehr- bzw. Minderarbeit der einzelnen Mitarbeiter berücksichtigt. Dadurch werden unnötige Belastungen für die Mitarbeiter vermieden.

Nach der Freigabe des Auftrags erfolgt die **Auftragsauslösung** *(activating of order)*. Diese umfasst

- die Analyse der Fertigungsaufgabe[2] *(analysis of abandonment of production)*
- die Erstellung von Fertigungsunterlagen *(preparation of engineering data)*
- die Bereitstellung des Materials *(provision of material)*

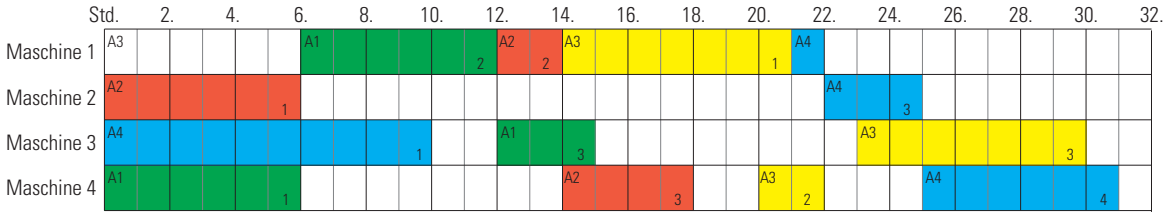
Liegen bereits alle Fertigungsunterlagen vor, ist eine grundlegende Analyse des Auftrags nicht mehr zwingend erforderlich. Eine Fachkraft für Zerspanungstechnik zeichnet sich aber gerade dadurch aus, dass sie auch vorhandene Fertigungsunterlagen kritisch hinterfragt und Verbesserungen vorschlägt bzw. vornimmt[3].

MERKE

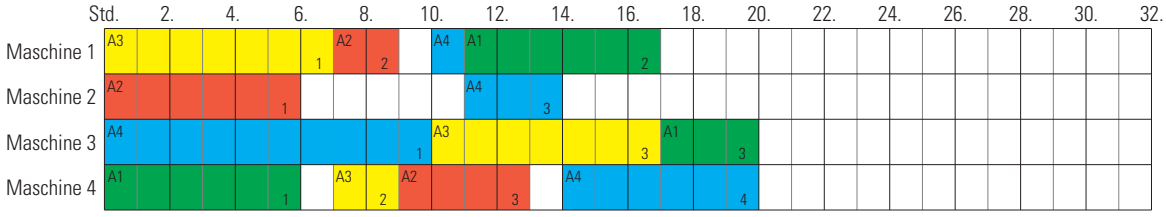
Eine gründliche Planung des Einsatzes von Mitarbeitern und Produktionsmitteln optimiert nicht nur den Produktionsausstoß, sondern verringert auch Belastungsspitzen.

	Arbeitsvorgang 1		Arbeitsvorgang 2		Arbeitsvorgang 3		Arbeitsvorgang 4	
	Maschine	Std.	Maschine	Std.	Maschine	Std.	Maschine	Std.
Auftrag 1	M4	6	M1	6	M3	3	–	–
Auftrag 2	M2	6	M1	2	M4	4	–	–
Auftrag 3	M1	7	M4	2	M3	7	–	–
Auftrag 4	M3	10	M1	1	M2	3	M4	6

2 *Maschinenbelegung Vorgabe*



3 *Maschinenbelegung*



4 *Maschinenbelegung optimiert*

1) siehe Lernfeld 11 Kap. 1.4.3 2) siehe Lernfeld 5 Kap. 2.2 3) siehe Lernfeld 10

handwerk-technik.de

6 Wareneingang und Qualitätssicherung

Die gefertigte Spannvorrichtung wurde vom Lohnfertiger Firma Chip-Cut an das Unternehmen E-Motion versandt und ist dort eingetroffen. Die Spannvorrichtung wird mit einem **Wareneingangsschein** *(receiving slip)* versehen und zunächst in einem **Pufferlager** *(buffer storage)* zwischengelagert, bevor sie in der **Qualitätssicherung**[1] *(quality control)* geprüft wird.
Wenn alle Prüfmaße innerhalb der geforderten Toleranzen liegen, wird das Bauteil freigegeben. Liegt ein Maß außerhalb der Toleranz, wird entweder eine Sonderfreigabe beantragt oder es muss ein **8D-Report** geschrieben werden und das Bauteil (alle Bauteile) werden an den Lohnfertiger zurückgeschickt.
Eine **Sonderfreigabe** muss in der Konstruktions- und Entwicklungsabteilung beantragt werden. Dort wird entschieden, ob eine Verwendung trotz eines fehlerhaften Maßes möglich ist.
Im Unternehmen E-Motion werden alle Prozesse digital erfasst und über eine Software gesteuert. Mithilfe dieser Software können Diagramme erstellt werden, die den Mitarbeitern die Vorgänge im Unternehmen transparent darstellen.
Wird ein fehlerhaftes Teil geliefert, hat dies nicht nur unmittelbar Auswirkungen auf die Produktion, sondern bewirkt auch einen erheblichen Verwaltungsaufwand, der wiederum mit Kosten für das Unternehmen verbunden ist.
Hier wird deutlich, wie hoch die Verantwortung der Fachkraft für Zerspanung als Selbstprüfer für das eigene Unternehmen ist.

MERKE

Die Auslieferung eines fehlerhaften Bauteils hat neben einer nicht erfüllten Funktion weitreichende Konsequenzen und muss unter allen Umständen vermieden werden.

8D-Report

Das Unternehmen E-Motion hat ein **Supply-Chain-Management**[2] (SCM) eingeführt und arbeitet nach dem Prinzip des **kontinuierlichen Verbesserungsprozesses** (KVP) *(continuous improvement process)*.
Ein wichtiger Bestandteil ist hier der 8D-Report *(8D report)*. Dieser Bericht ist ein Dokument, das im Rahmen des Qualitätsmanagements bei einer **Reklamation** *(complaint)* zwischen Lieferant und Kunde ausgetauscht wird. **8D** steht dabei für die **acht** festgelegten **Disziplinen** (Prozessschritte) *(disciplines)*, die bei der Abarbeitung einer Reklamation erforderlich sind, um das zugrunde liegende Problem dauerhaft zu beheben.
Ein 8D-Report ist damit Teil des **Reklamationsmanagements** *(complaint management)* und dient der Qualitätssicherung *(quality assurance)* beim Lieferanten.
Wird vom Kunden ein 8D-Report verlangt, bedeutet das für den Lieferanten zwar einen erheblichen Arbeitsaufwand *(amount of work)*, zeigt aber auch, dass der Kunde an einer weiteren dauerhaften Zusammenarbeit interessiert ist.
Mit einem 8D-Report verlangt der Kunde, dass

- der Fehler dauerhaft behoben wird
- ein sorgfältiges Krisenmanagement mit transparenten Ergebnissen stattfindet

Ablauf eines 8D-Reports:

D1	Teamarbeit	Wer kümmert sich darum?
D2	Problembeschreibung	Was ist das Problem? Wiederholfehler? Was ist das Ziel?
D3	Schadensbegrenzung	Wie hoch ist das Risiko? Wie gewinnen wir Zeit?
D4	Ursachenerkennung	Was war falsch? Warum wurde das Problem nicht vermieden? Warum wurde das Problem nicht erkannt?
D5	Maßnahmen wählen	Wie können wir das ändern, verbessern? Wie können wir es umgehen? Wie können wir es wirkungsvoll beeinflussen?
D6	Maßnahmenumsetzung Wirksamkeitsprüfung	Wird das Ziel erreicht? Greifen die Maßnahmen?
D7	Wiederauftreten verhindern	Wie können wir den neuen Zustand/das Erreichte beibehalten? Wie können wir die weitere Wirksamkeit überwachen?
D8	Abschluss	Was lernen wir für die Zukunft? Wie können wir in anderen Prozessen/Produkten diesem vorbeugen?

Die 8D-Methode wird vor allem dann angewendet, wenn die Ursache eines Problems unbekannt ist oder belegt werden muss und die Lösung des Problems über die Kenntnisse einer Einzelperson hinausgeht. Meist ist in diesem Fall ein Team erforderlich, das sich aus Vertretern verschiedener Abteilungen zusammensetzt.
Da die Abarbeitung des 8D-Berichts wie ein kleines Projekt zu sehen ist, muss dieses im 8. Schritt verbindlich abgeschlossen werden. Das Team soll in diesem letzten Schritt auch eine entsprechende Anerkennung für die geleistete Arbeit erfahren.

1) siehe Lernfeld 13 2) siehe Lernfeld 11 Kap. 1.4.2

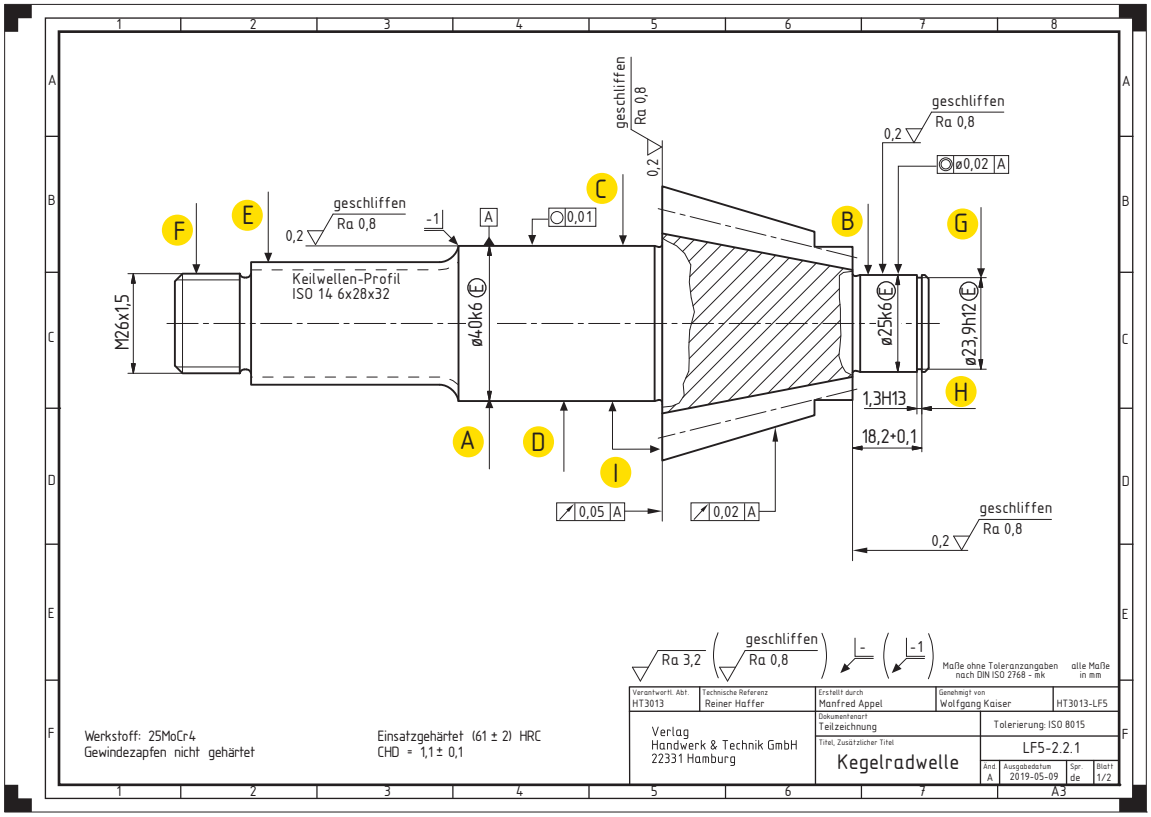
handwerk-technik.de

2 Qualitätsmerkmale, Prüfmerkmale und Prozessqualität

2.1 Qualitätsmerkmale

Der Käufer einer Maschine erwartet eine störungsfreie Nutzung während einer bestimmten Betriebsstundenzahl oder sogar während der gesamten Lebensdauer.

Die Hersteller versuchen diese Erwartungen zu erfüllen.
Die angegebene Maximalforderung – störungsfreier Betrieb während der Nutzungsdauer – kann sich auch auf einzelne Baueinheiten wie z. B. ein Getriebe beziehen. Die einzelnen Bauteile wie z. B. die Kegelradwelle sind dann in der entsprechenden Qualität zu konstruieren und zu fertigen.
Für diese Aufgabe sind zunächst die Beanspruchungen zu untersuchen, denen das Bauteil ausgesetzt ist.
Am Beispiel der Kegelradwelle (Bild 1) und ihrer Lagerung werden nachfolgend zwei Beanspruchungsarten[1)] betrachtet:



Prüfmerkmal	Kennzeichen	Messmittel	Prüfschärfe[1)]	Dokumentation
Lagersitz ∅40k6	A	Feinzeigermessschraube	20	1/S[2)]
Lagersitz ∅25k6	B	Feinzeigermessschraube	20	1/S
Formtoleranz	C	Messmaschine	1/S	1/S
Rautiefe	D	Rautiefenmessgerät	100	
Keilwellenprofil	E	Grenzlehrringe	40	
Außengewinde	F	Gewindegrenzlehrring	40	
Einstichdurchmesser	G	Messschieber	100	
Lagetoleranz	I	Messmaschine	1/S	1/S
Lagetoleranz	J	Messmaschine	1/S	1/S

1) Die Prüfschärfe gibt an, in welchen Abständen die Werkstücke zu kontrollieren sind, z. B. jedes 20. Teil oder 1 mal pro Schicht 2) 1/S: einmal pro Schicht

***1** Prüfplan für die Kegelradwelle*

1) siehe Lernfeld 6 Kap. 2.1

Auf Drehmaschine gefertigte Teile

Auf Schleifmaschine gefertigte Teile

Es zeigt sich, dass die rechnergestützte Auswertung in einigen Punkten von den vorherigen Ergebnissen abweicht. Es fällt z. B. auf, dass sich das Histogramm der Drehmaschine deutlich vom Histogramm der gleichen Maschine in Bild 3 auf Seite 528 unterscheidet. Dies liegt offensichtlich daran, dass die Software die Klassenweite *W* nach einer anderen Formel berechnet hat. Im Histogramm auf Seite 528 sind 6 Balken gegenüber 8 Balken der rechnergestützten Auswertung enthalten.
In der Tabelle sind die Werte aus dem Wahrscheinlichkeitsnetz und die der rechnergestützten Auswertung gegenübergestellt.

Kennwert	Wahrscheinlichkeitsnetz	Rechnergstützte Auswertung
Standardabweichung *s*	0,0027 mm	0,0025186 mm
Ausschuss unter UGW	0,19 %	0,06867 %
Ausschuss über OGW	0,07 %	0,08093 %
Ausschuss insgesamt	0,26 %	0,1496 %
Mittelwert $\bar{x}$	40,0095 mm	40,01 mm

Es gibt in allen Positionen Abweichungen. Sie sind darauf zurückzuführen, dass die Werte aus dem gezeichneten Diagramm nicht die Genauigkeit der rechnergestützten Auswertung erreichen kann.
Für eine erste Einschätzung sind die Werte aus dem Wahrscheinlichkeitsnetz trotzdem gut geeignet.

4.2 Prozessfähigkeit

4.2.1 Stufen zur Prozessfähigkeit

Die Prozessfähigkeit wird in mehreren Stufen *(steps)* erreicht. Es sind folgende Tests durchzuführen:

a) **Nachweis der Maschinenfähigkeit** *(evidence of machine capability)* (vgl. Kap. 4.1)
Eine Maschine wird unter optimalen Bedingungen auf ihre Qualitätsfähigkeit geprüft. Dabei wird festgestellt, ob sich die Maschine für die vorgesehene Aufgabe eignet.

b) **Vorläufige Prozessfähigkeit** *(provisional process capability)*. Bei der vorläufigen Prozessfähigkeit wird die Maschine oder die Anlage unter Produktionsbedingungen getestet.

c) **Ständige Prozessüberwachung** *(permanent process control)*. Wenn die Fertigung freigegeben wurde, ist der Prozess zu überwachen – die Prozessfähigkeit ist also ständig nachzuweisen.

Die geforderten Fähigkeitswerte sind bei der Maschinenfähigkeitsuntersuchung am größten (Tab. Bild 1), weil die Fertigungs-

Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU) **Vor dem Serienlauf**	**Vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU)** **Serie in der Testphase**	**Ständige Prozessfähigkeitsuntersuchung** **Serie**
Die MFU ist eine Kurzzeituntersuchung, in der die Qualitätsfähigkeit der Maschine festgestellt wird (C_m; C_{mk})	Bei der PFU wird die Qualitätsfähigkeit des Prozesses und die Prozessbeherrschung untersucht (P_p; P_{pk}; C_p; C_{pk})	
		Nach ca. 20 Produktionstagen: Überprüfung des Prozesses mit den vorliegenden Daten. Evtl. Korrekturen erforderlich (s. u.)
z. B.: $C_m > 1{,}8 \Rightarrow$ Maschine ist fähig $C_{mk} > 1{,}75 \Rightarrow$ Maschine ist beherrscht	z. B.: $P_p > 1{,}66 \Rightarrow$ Prozess ist fähig[1)] $P_{pk} > 1{,}66 \Rightarrow$ Prozess ist beherrscht[1)]	z. B.: $C_p > 1{,}33 \Rightarrow$ Prozess ist fähig[1)] $C_{pk} > 1{,}33 \Rightarrow$ Prozess ist beherrscht[1)]
Mindestumfang: 50 Teile in Folge fertigen	Mindestumfang: 25 Stichproben, je Probe mindestens $n = 5$ Teile ($n \geq 3$ Teile)	Regelmäßige Überprüfung von Stichproben mithilfe von Qualitätsregelkarten
Die 5M-Einflussgrößen konstant halten.	Fertigung unter Produktionsbedingungen, d. h., die Störgrößen können wirken.	

[1)] Die Prozessfähigkeit wird mit anderen Indizes angegeben:
P_p und P_{pk} : vorläufige Prozessfähigkeit bis zur endgültigen Übernahme
C_p und C_{pk}: Langzeitfähigkeit

1 *Vergleich von Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchung*