

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.

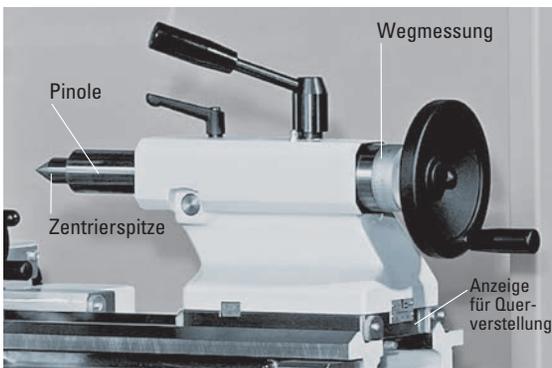
Viele konventionelle Werkzeugmaschinen besitzen elektronische Wegmesssysteme. Das Ablesen der digitalen Anzeigen ist sicherer als das der Rundskalen.

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.

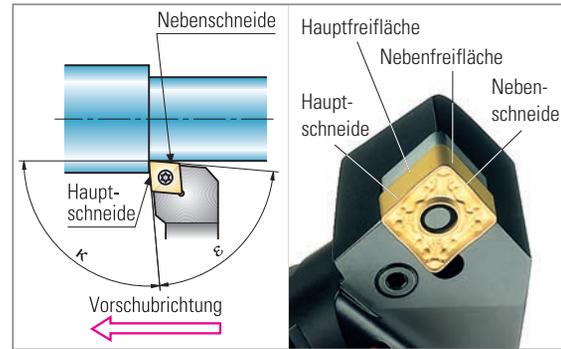


1 Reitstock

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

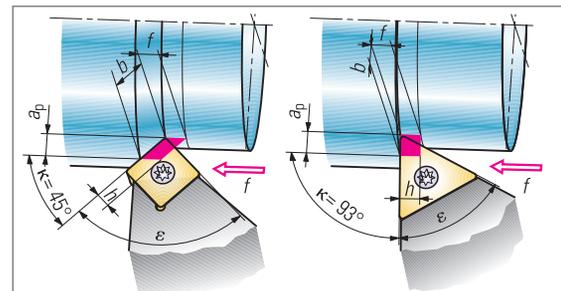
2.4.1 Ecken-, Einstell- und Neigungswinkel

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 **Spannungsbreite** b (*undeformed chip width*) der **Schnitttiefe** a_p . Mit abnehmendem Einstellwinkel vergrößert sich die Spannungsbreite b bei gleicher Schnitttiefe a_p . Dadurch verlängert sich die im Eingriff stehende Hauptschneide. Gleichzeitig verteilt sich die zum Zerspanen erforder-



$h = \sin \kappa \cdot f$	$b = \frac{a_p}{\sin \kappa}$	a_p : Schnitttiefe f : Vorschub h : Spannungsdicke b : Spannungsbreite
---------------------------	-------------------------------	---

3 Einfluss des Einstellwinkels auf die Spannungsdicke und Spannungsbreite

3 Fräsen

3.1 Fräsverfahren

Die Einteilung der Fräsverfahren (*milling methods*) erfolgt nach

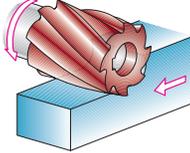
- der Art der Fläche,
- der Bewegung beim Zerspanvorgang und
- der Werkzeugform.

Überlegen Sie!

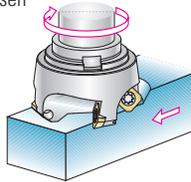
Ordnen Sie den Pfeilen bei den dargestellten Fräsverfahren die Begriffe „Schnittbewegung“, „geradlinige Vorschubbewegung“ und „kreisförmige Vorschubbewegung“ zu (vgl. Seite 2).

Planfräsen (*transverse milling*)

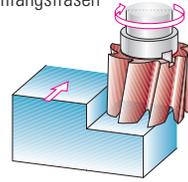
Umfangsfräsen



Stirnfräsen

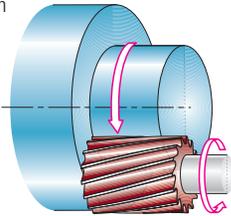


Stirn-Umfangsfräsen

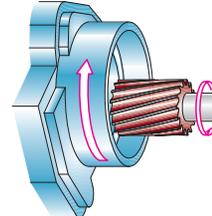


Rundfräsen (*cylindrical milling*)

Außen-Rundfräsen

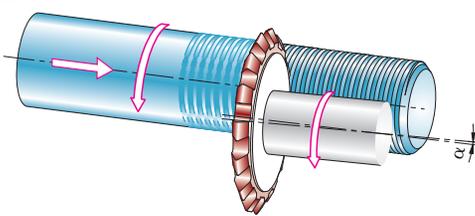


Innen-Rundfräsen

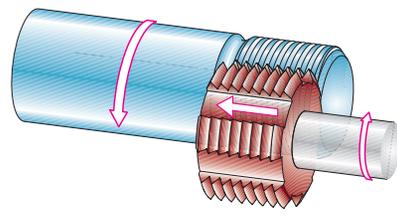


Schraubfräsen (*screw milling*)

Langgewindefräsen

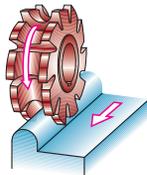


Kurzwende fräsen

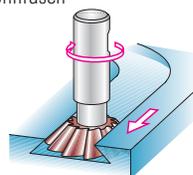


Profilfräsen (*profile milling*)

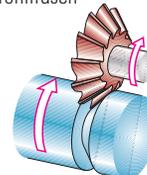
Längs-Profilfräsen



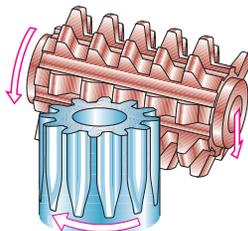
Form-Profilfräsen



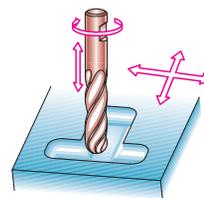
Rund-Profilfräsen



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.

M E R K E

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 Schmieröberfläche 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

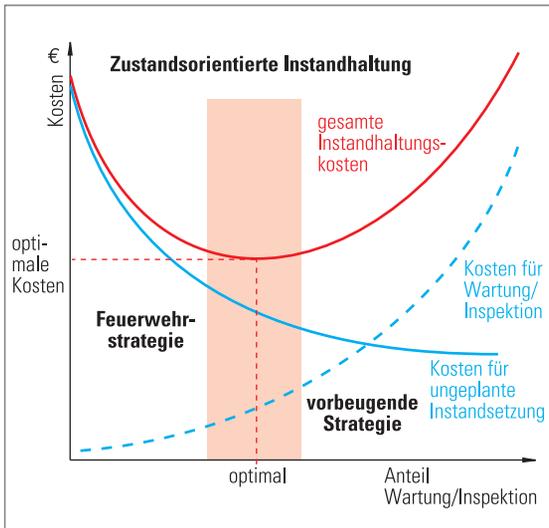
1 Kennwerte von Schmierölen

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, Labyrinth
5	130 ... 160	sehr fest	Dichtfette für Armaturen, Labyrinth
6	85 ... 115	extrem fest	Dichtfette für Armaturen, Labyrinth

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



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

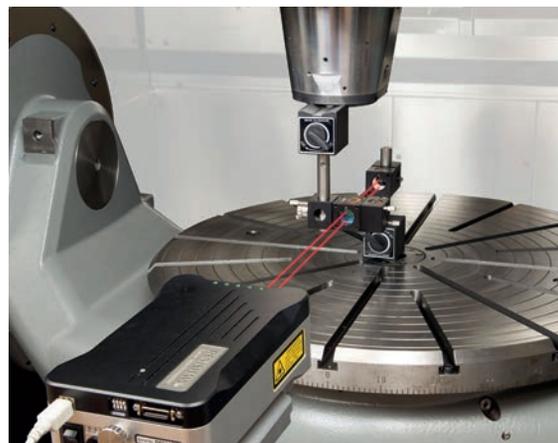
Die elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Komponenten dürfen nur von autorisiertem Personal angeschlossen werden.

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 Peripherieeinrichtungen 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



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:

- 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 Gegenlauf-fräsen

- Translate the text by using your English-German vocabulary list and your dictionary as well as the words in the box above.
- 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):

- Look at the 6 small figures below the maintenance overview and find the correct order for the translations:
 - Austausch
 - Kontrolle, bei Bedarf ergänzen
 - ölen, Öl wechseln
 - Reinigung, bei Bedarf austauschen
 - fetten (über Schmiernippel)
 - Generalüberholung
- Which parts require exchange?
- Which parts have to be checked if necessary?
- How many components have got a grease nipple for applying lubricant?
- Which parts require an oil change?
- Which elements have to be cleaned?
- 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

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)

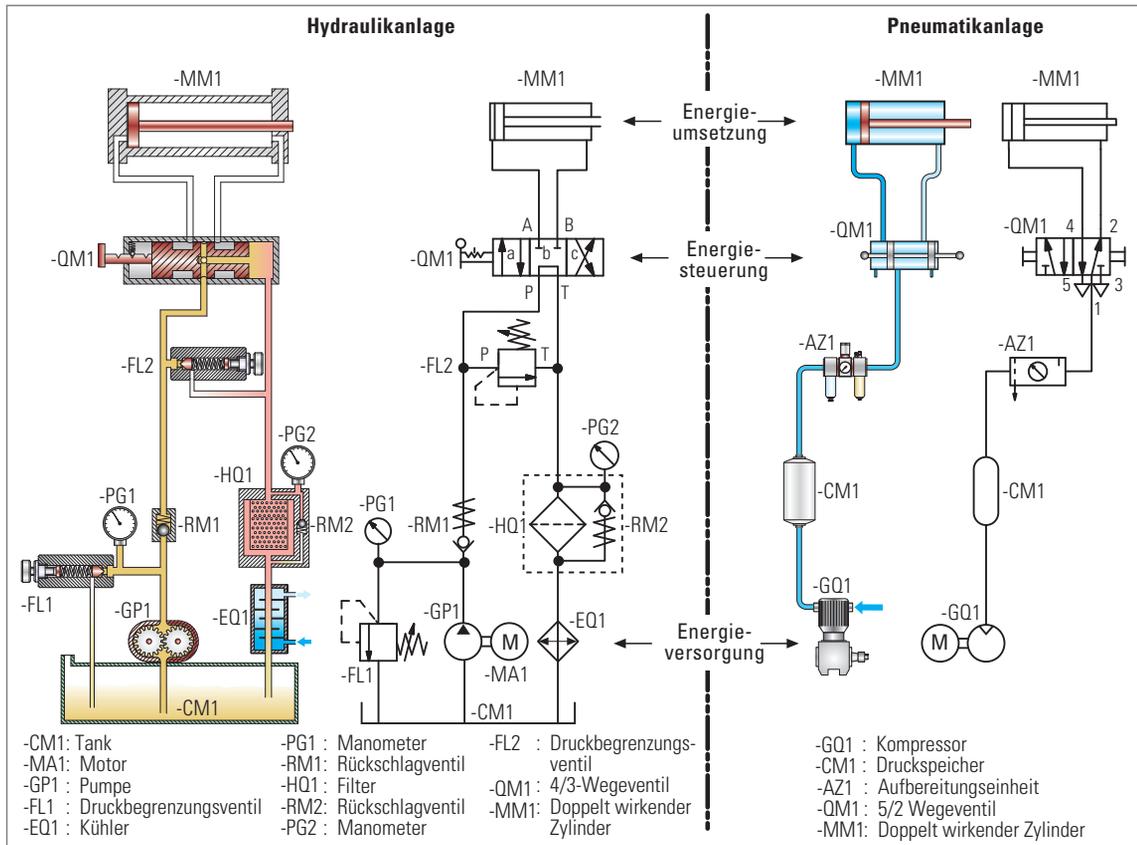
Das **Druckbegrenzungsventil** (*pressure control valve*)(OV1) soll im Aggregat die Pumpe vor Überlastung schützen. Deshalb ist es auf den maximalen Pumpendruck von z. B. 180 bar eingestellt.

Für die Funktion und für die Lebensdauer der Anlage ist es sehr wichtig, Schmutzteile durch einen Filter (OZ2) zu entfernen. Das **Manometer** (*manometer*)(OZ1) 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

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).

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.

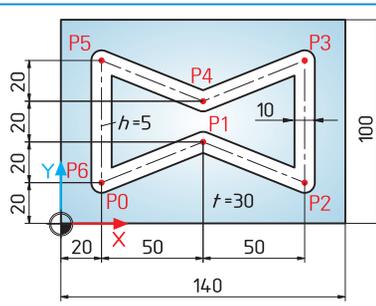
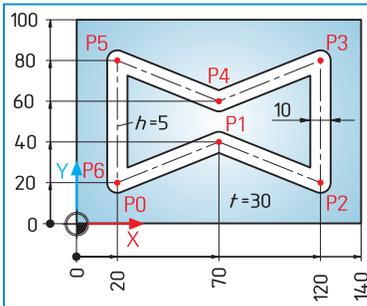
Wegbedingung	Bedeutung
G4	Verweilzeit, zeitlich vorbestimmt
G17	Ebenenauswahl (X-Y-Ebene)
G18	Ebenenauswahl (Z-X-Ebene)
G19	Ebenenauswahl (Y-Z-Ebene)
G33	Gewindeschneiden, Steigung konst.
G40	Aufheben der Werkzeugkorrektur
G41	Werkzeugbahnkorrektur, links
G42	Werkzeugbahnkorrektur, rechts
G43	Werkzeugkorrektur, 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

MERKE

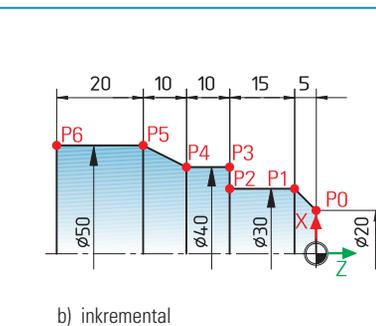
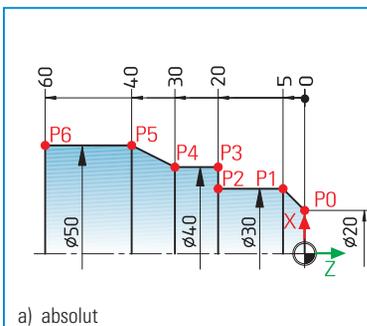
Durch die Eingabe von G91 wird bestimmt, dass es sich bei den folgenden Koordinatenwerten um inkrementale Maßangaben handelt, die sich jeweils auf die derzeitige Werkzeugposition (*position of tool*) beziehen.

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



Punkt	Maßangabe	
	G90	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



Punkt	Maßangabe	
	G90	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 Fräasers 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.

4.2.6 An- und Abfahren beim Schlichten der Kontur

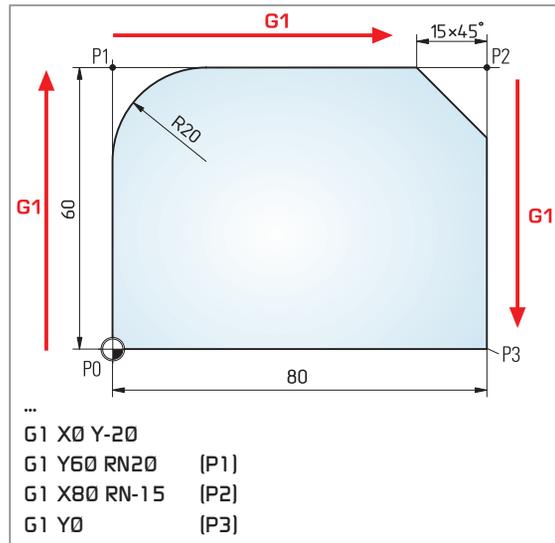
Beim rechtwinkligen Anfahren der Kontur (Bild 2) steht eine CNC-Achse beim Erreichen des Zielpunktes für einen kurzen Moment still, bevor die Konturbearbeitung erfolgt. Das führt dazu, dass der Fräser freischneidet und die Kontur beschädigt wird.

MERKE

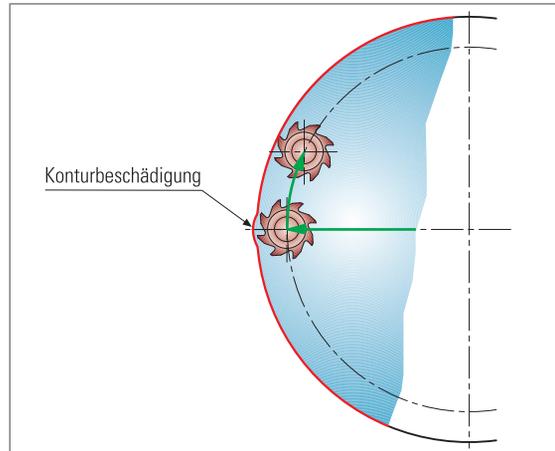
Beim Schlichten (*smoothing*) müssen die Konturen (*contours*) so angefahren werden, dass keine Konturbeschädigungen entstehen.

Bei Außenkonturen besteht oft die Möglichkeit, die Kontur geradlinig anzufahren (Bild 3) und auch abzufahren. Bei Innenkonturen ist das meist nicht der Fall.

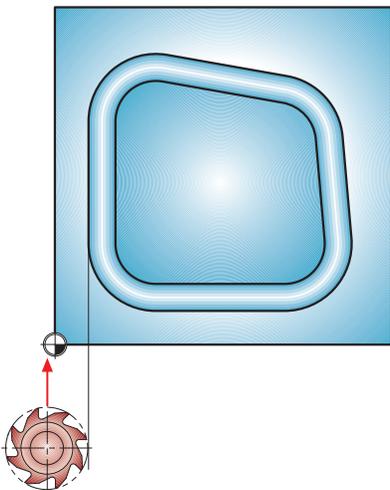
Durch tangentiales An- und Abfahren (Bild 4) werden Konturbeschädigungen vermieden. Bei einigen Steuerungen gibt es besondere G-Funktionen für unterschiedliche An- und Abfahrbewegungen.



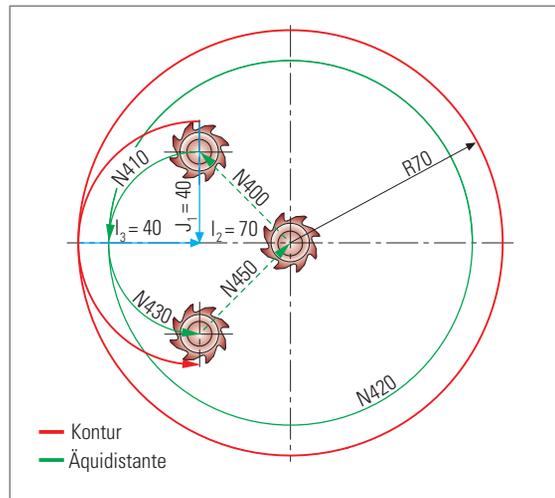
1 Übergangsradius und -fase



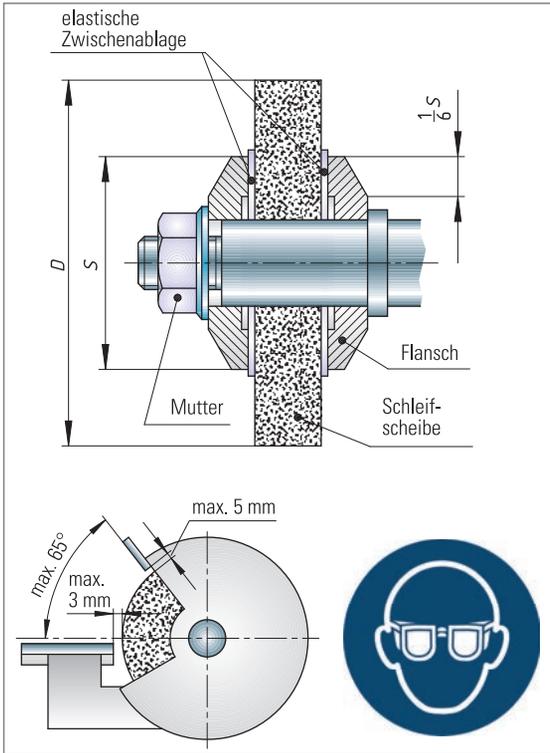
2 Konturbeschädigung durch rechtwinkliges Anfahren



3 Geradliniges Anfahren der Kontur



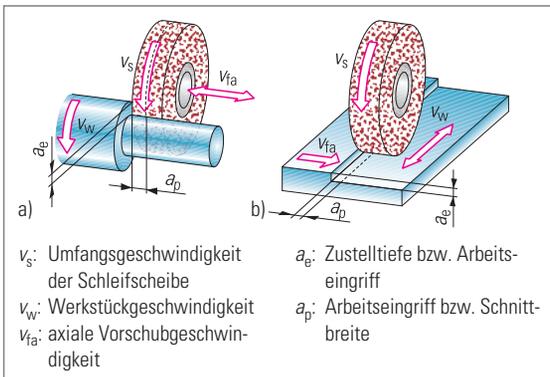
4 Tangentiales An- und Abfahren der Kontur im Viertelkreis



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.

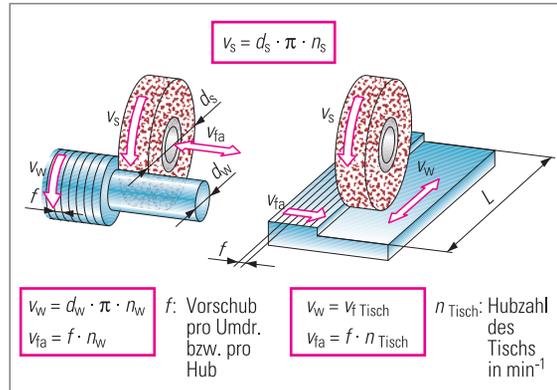


2 Einstellgrößen beim a) Außenrund- und b) Planschleifen

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

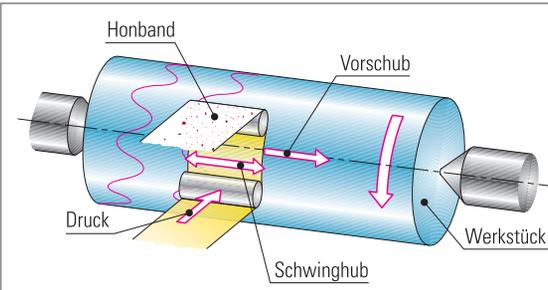
- verändert nicht die Hauptnutzungszeit
- senkt die Schnittkraft
- vermindert den Schleifscheibenverschleiß
- erhöht die Maß- und Formgenauigkeit
- verbessert die Oberflächenqualität und
- erhöht die Randzonenbeeinflussung¹⁾

Die zulässige maximale Umfangsgeschwindigkeit darf aus Sicherheitsgründen niemals überschritten werden²⁾.

1.5.2 Vorschubgeschwindigkeit

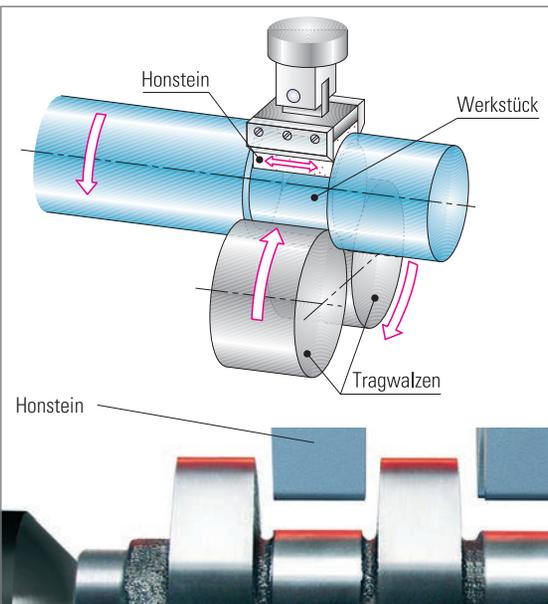
Die axiale Vorschubgeschwindigkeit v_{fa} (feed rate) wird z. B. beim Außenrundschleifen vom Vorschub f und der Umdrehungsfrequenz des Werkstücks n_w bestimmt (Bild 3). Beim Planschleifen entspricht sie der axialen Werkstückgeschwindigkeit, die durch die Tischnutzahl pro Minute n_{Tisch} und den Vorschub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

1) siehe Kap. 1.5.6 2) siehe BGV D12



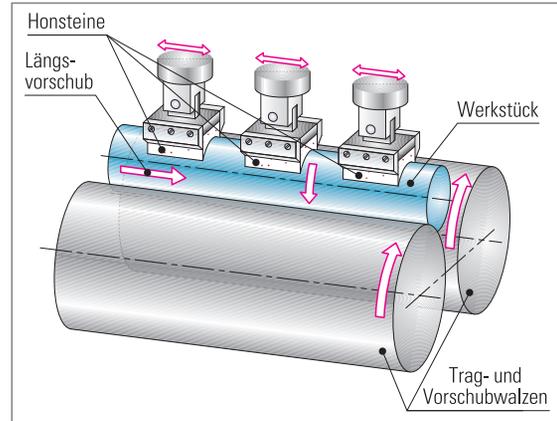
1 Kurzhubhonen mit Honband

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.

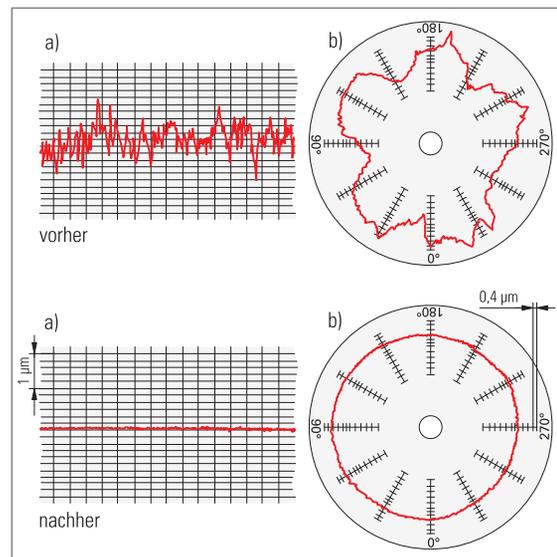


3 Spitzenloses Kurzhubhonen im Durchlaufverfahren

M E R K E

Mit dem Kurzhubhonen sind

- eine sehr hohe Oberflächenqualität (R_z bis $0,1 \mu\text{m}$),
- eine erhebliche Verbesserung der Rundheit (Bild 4),
- aber keine nennenswerte Verbesserung der Zylinderform möglich.

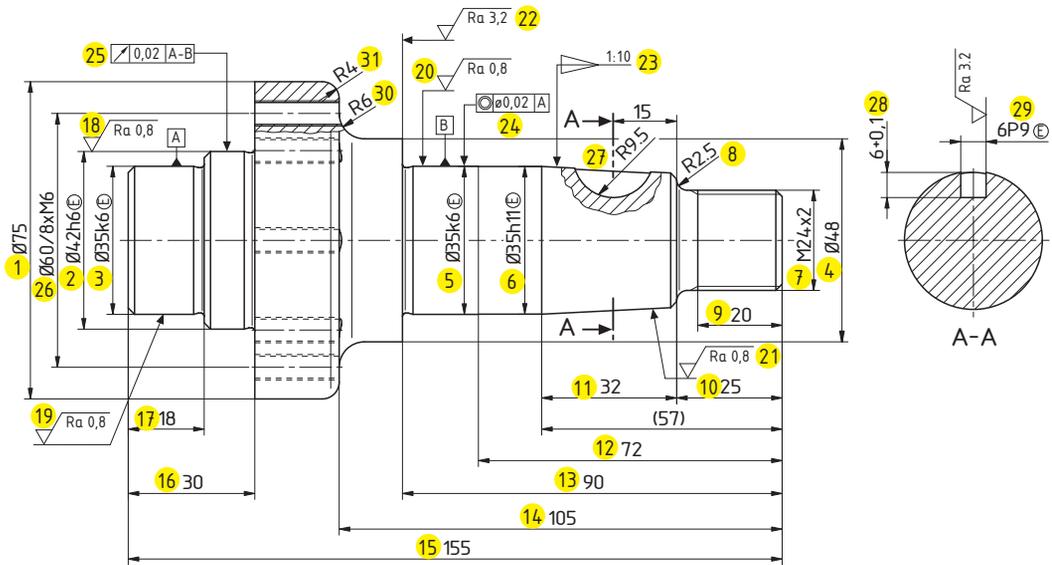


4 Oberflächengüte a) und Rundheit b) vor und nach der Bearbeitung

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	$\varnothing 75$	$\pm 0,3$	Messschieber
2	$\varnothing 42h6$	$-0,016/0$	Messschraube oder Grenzrachenlehre
3	$\varnothing 35k6$	$+0,002/+0,018$	Messschraube oder Grenzrachenlehre
4	$\varnothing 48$	$\pm 0,3$	Messschieber
5	$\varnothing 35k6$	$+0,002/+0,018$	Messschraube oder Grenzrachenlehre
6	$\varnothing 35h11$	$-0,16/0$	Messschraube oder Grenzrachenlehre
7	$M24 \times 2$		Gewindelehrring
8	$R2,5$		Radiuslehre
9	20	$\pm 0,2$	Messschieber
10	25	$\pm 0,2$	Messschieber
11	32	$\pm 0,3$	Messschieber
12	72	$\pm 0,3$	Messschieber
13	90	$\pm 0,3$	Messschieber
14	105	$\pm 0,3$	Messschieber
15	155	$\pm 0,5$	Messschieber
16	30	$\pm 0,2$	Messschieber
17	18	$\pm 0,2$	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	Koaxialität $\varnothing 0,02$		3D-Messmaschine
25	Rundlauf $0,02$		3D-Messmaschine
26	$\varnothing 60/8 \times M6$		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

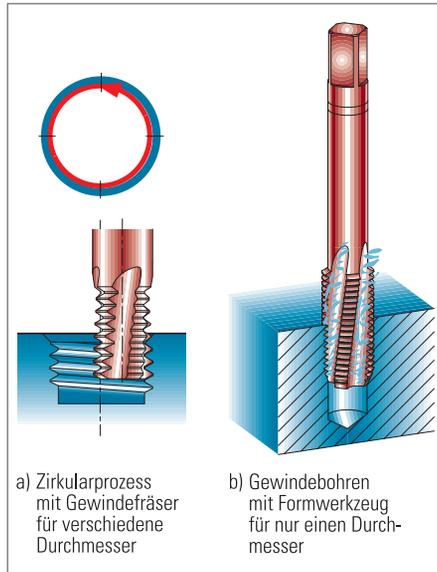
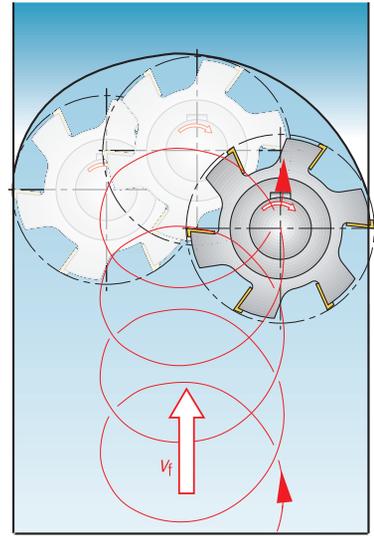
Bei Zirkularprozessen können verschiedene Geometrielemente mit nur **einem** Werkzeug, d. h., mit geringen Werkzeugwechselzeiten erzeugt werden.

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 Hauptnutzzeit reduziert (Bild 4).

1 Zirkularprozess bei der Trochoidbearbeitung



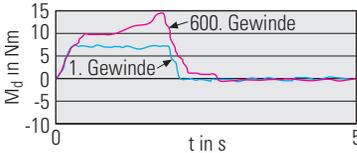
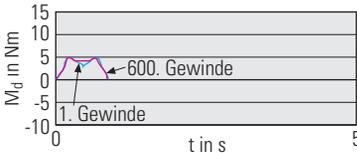
2 Vergleich von Zirkularprozess und formgebundenem Werkzeug



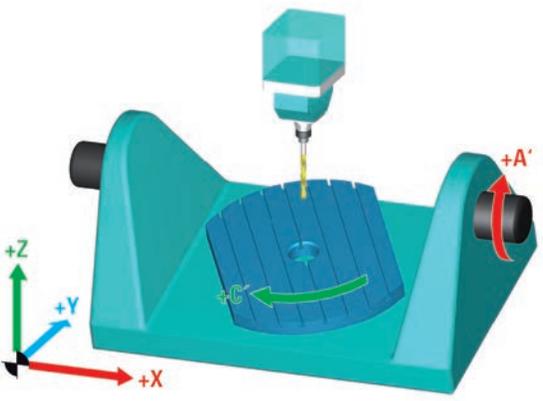
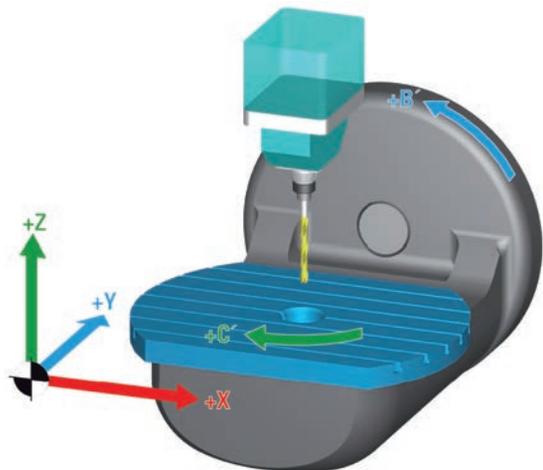
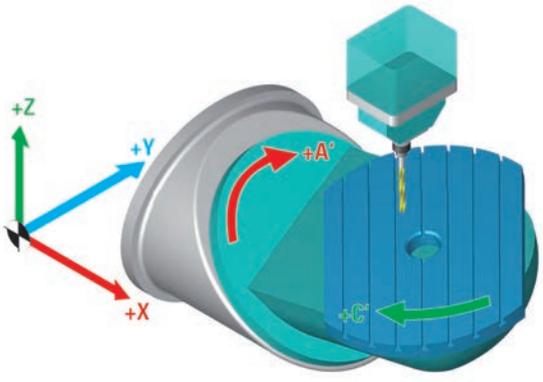
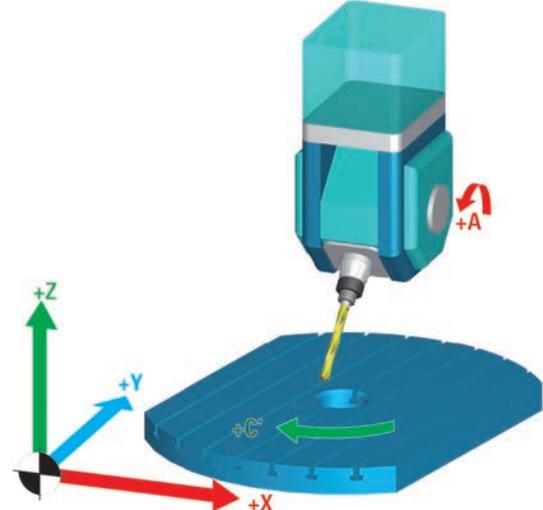
3 Zirkularprozess Gewindefräsen



407_1

 <p>Gewindebohrer</p>		<p>Gewindebohren</p> <p>$t_c = 5,8 \text{ m/min}$ $v_c = 8 \text{ min}^{-1}$ $n = 260 \text{ min}^{-1}$ Minimalmengen Kühlschmierung</p>
 <p>Gwindefräser</p>		<p>Gwindefräsen</p> <p>$t_c = 0,8 \text{ m/min}$ $v_c = 80 \text{ min}^{-1}$ $n = 3315 \text{ min}^{-1}$ Minimalmengen Kühlschmierung</p>

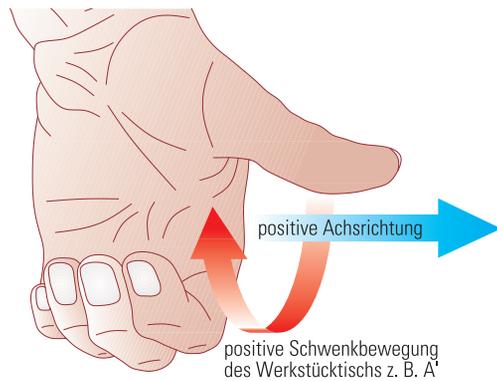
4 Vergleich Gewindebohren – Gewindefräsen

Drehachsen für das Werkstück	
<p>Schwenk- und Drehtisch A'- und C'-Achse</p> 	<p>Schwenk- und Drehtisch B'- und C'-Achse</p> 
<p>45°-Schwenkdrehtisch A'- und C'-Achse</p> 	<p>Eine Drehachse für das Werkzeug und eine für das Werkstück</p> 

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 bezeichnet¹⁾. 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

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.

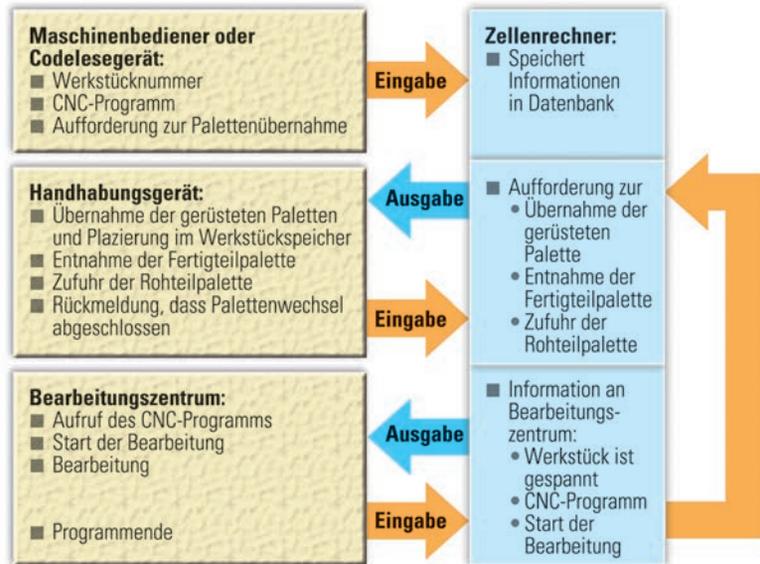
In der Datenbank des Zellenrechners werden z. B. der Maschinenbediener, die Zeit der Palettenauf- und -entnahme, die Bearbeitungszeiten, das CNC-Programm und die genutzten Werkzeuge sowie die Wartezeiten im Speicher und die genutzten Werkzeugspeicherpositionen festgehalten. Diese Daten können über ein Netzwerk vom übergeordneten Produktdatenmanagement¹⁾ übernommen und ausgewertet werden. Dadurch ist zu jedem Zeitpunkt zu erkennen, wie weit der Produktionsfortschritt eines jeden Werkstücks ist.

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-Werkzeugmaschine²⁾ bzw. des CNC-Bearbeitungszentrums³⁾. 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 Bear-



1 Funktion des Zellenrechners im Hinblick auf die Werkstückhandhabung



2 Hintergrundwerkzeugmagazin mit Linearroboter für ca. 200 Werkzeuge

beitung vom Hintergrundwerkzeugmagazin ins Hauptwerkzeugmagazin und umgekehrt.

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



3 Bearbeitungszentrum mit Hintergrundwerkzeugmagazin für verschiedene Maschinentypen

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 werden¹⁾.

Die Bilder 2 bis 4 zeigen beispielhaft die Optimierung der Ma-

schinenbelegung (*machine utilisation*) von vier Fertigungsaufträgen an vier Maschinen.

In einer gut organisierten 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 Fertigungsaufgabe²⁾ (*analysis of abandonment of production*)
- die Erstellung von Fertigungsunterlagen (*preparation of engineering data*)
- die Bereitstellung des Materials (*provision of material*)

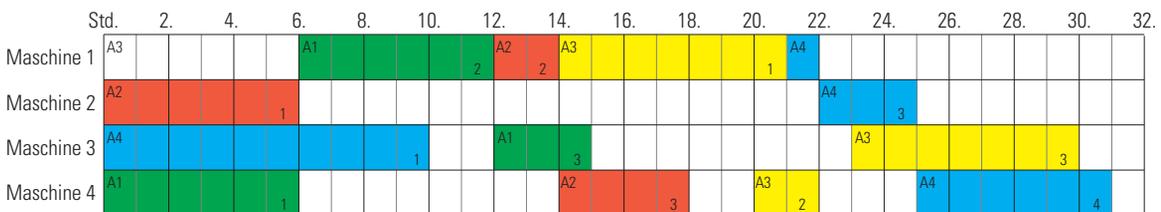
Liegen bereits alle Fertigungsunterlagen vor, ist eine grundlegende Analyse des Auftrags nicht mehr zwingend erforderlich. Eine Fachkraft für Zerspanungstechnik zeichnet sich aber gerade dadurch aus, dass sie auch vorhandene Fertigungsunterlagen kritisch hinterfragt und Verbesserungen vorschlägt bzw. vornimmt³⁾.

M E R K E

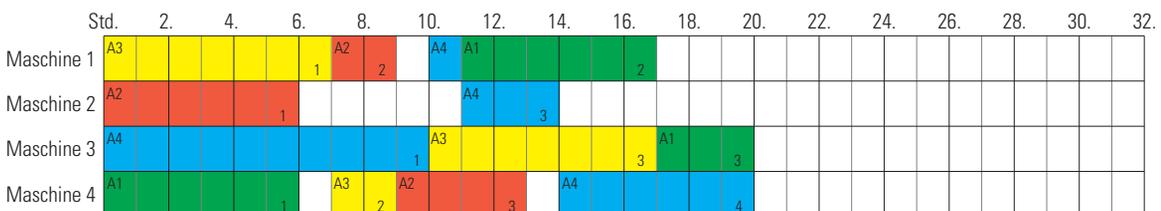
Eine gründliche Planung des Einsatzes von Mitarbeitern und Produktionsmitteln optimiert nicht nur den Produktionsausstoß, sondern verringert auch Belastungsspitzen.

	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

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 unmittelbare 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.

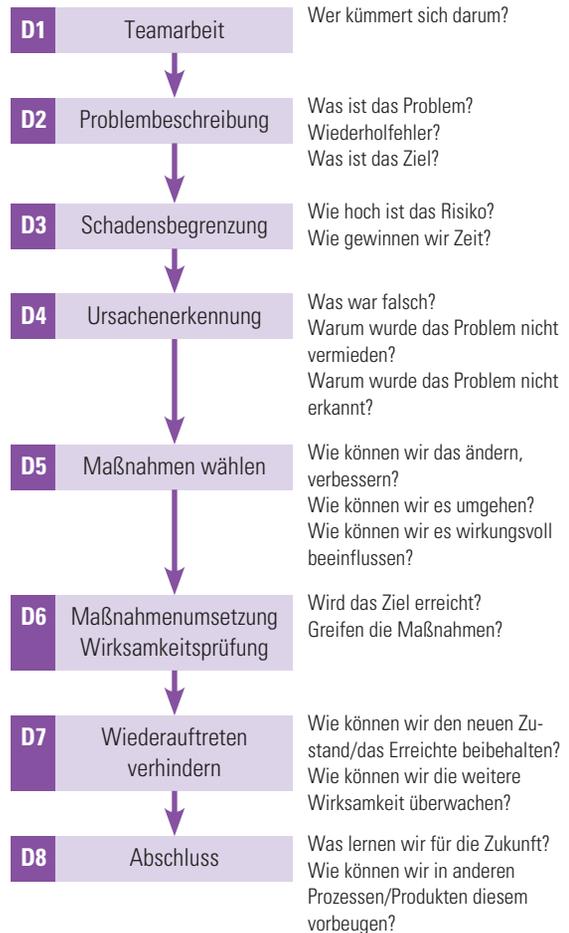
Wird vom Kunden ein 8D-Report verlangt, bedeutet das für den Lieferanten zwar einen erheblichen Arbeitsaufwand (*amount of*

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:



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