Wissenswertes für CNC-Interessierte

sinumerik

Wir gehören zur Werkstatt

SIEMENS

3. überarbeitete Auflage

Diese Broschüre wurde erstellt in Zusammenarbeit zwischen der

SIEMENS AG
Automatisierungs- und Antriebstechnik
Motion Control Systeme

Erlangen
Weitere Informationen finden Sie unter:

http://www.siemens.de/SINUMERIK
http://www.siemens.de/jobshop

und der

R. & S. KELLER GmbH
Didaktik + Technik

Wuppertal

Vorwort

Diese Broschüre wendet sich an alle, die Interesse an modernen Fertigungsverfahren haben. Sie unterstützt die Siemens-Werkstatt-Initiative namens JobShop, deren Ziel eine attraktive Facharbeit an Dreh- und Fräsmaschinen ist.

Dem Laien soll das Heft Anregung sein, sich mit der vielschichtigen Materie eines zukunftsorientierten Berufszweigs zu befassen. Der Kenner wird die „lockere Aufmachung“ der ihm vertrauten Themen genießen.

Beide, Laie und Fachmann, können sich über die neue Steuerung SINUMERIK 810 D mit ShopMill und ShopTurn informieren.

Deren grafische Oberfläche ermöglicht einen sehr leichten Einstieg und gleichzeitig hochproduktives Arbeiten mit CNC-Maschinen.

Lassen Sie sich von dem Titel „Wir gehören zur Werkstatt“ einbeziehen in eine Partnerschaft mit Siemens im Sinne einer attraktiven, zukunftsorientierten und wirtschaftlichen Gestaltung des Arbeitsplatzes Werkstatt.

Erlangen / Wuppertal, im Januar 2001

Wir gehören zur Werkstatt

1 Technik im Dienste des Menschen

Siemens-Technik weltweit 7
Technik um uns herum 8
Die Technik der Fertigung 9
Ideen 10

2 Maschinen machen moderne Technik möglich

Ein Blick zurück 12
Auf dem Weg zur Perfektion 13
Der Facharbeiter und seine Maschine 14
Die Vielfalt der CNC-Dreh- und Fräsmaschinen 15
SINUMERIK-Steuerungen gestern und heute 16
Die Achsen - Keine Zerspanung ohne Bewegung 18
Die Antriebe - Keine Leistung ohne starke Muskeln 19

3 Arbeit will geplant sein

Das NC-Programm - Wie sag ich’s meiner Maschine? 20
Bewegte Gedanken 21
Der Ort des Geschehens: Raum für Bewegungen. 22
Auf den Punkt gebracht. 23
Wenn es schnell gehen soll 24

4 Wie Werkstücke geformt sind ...

Konturen bestehen aus Geraden und Bögen 25
Wie Geraden nach DIN programmiert werden 26
Grundlagen zum Programmieren von Bögen 28
Wie Bögen nach DIN programmiert werden 30
Grafische Programmierung 32
Konturen und Werkzeugwege 34

5 ... und wie sie gefertigt werden

Werkzeuge heute 36
Werkzeuge im Einsatz* 40
Wenn sich etwas dreht* 42
Drehzahl und Zeit 43
Die Umfangsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Durchmessern 44
Die Umfangsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Drehzahlen 45
Die Schnittgeschwindigkeit: Wenn ein Werkzeug schneidet 46
Vorschub und Oberflächengüte 47
Konstante Schnittgeschwindigkeit von Hand regeln 48

6 Auf die richtige Technik kommt es an

Fräsen mit ShopMill 50
Drehen mit ShopTurn 64
Qualität im Detail ergibt Funktion im Ganzen 78

Sachwortverzeichnis

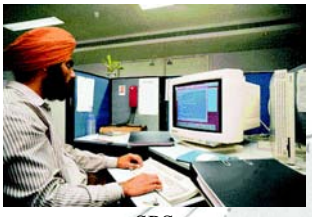
. 82

Bildnachweis

. 85

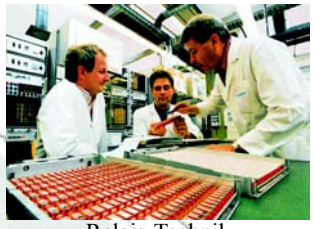
1 Technik im Dienste des Menschen

1.1 Siemens-Technik weltweit



SPS

Steuerungs-Technik



Relais-Technik

Kommunikation

Speed-HighTech-Competition

Mikroelektronik

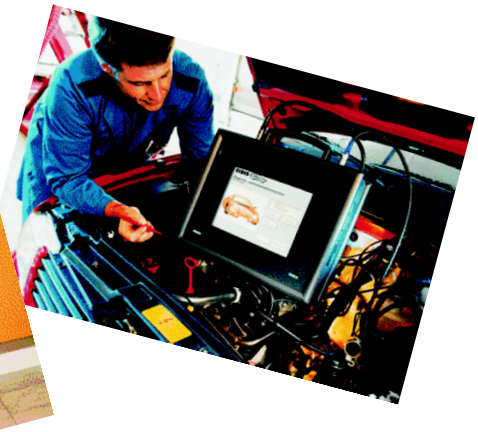
Hausgeräte

ICE 3

Kraftwerk-Technik

Siemens als Motor des Fortschritts - auf allen Kontinenten

1.2 Technik um uns herum

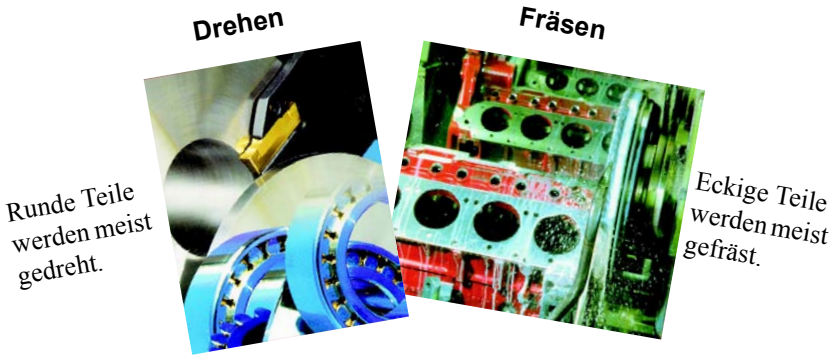


Die Dinge um uns herum
bestehen aus den verschiedensten Bauteilen.
Diese unterscheiden sich nicht nur in den
Werkstoffen, sondern auch durch ihre Formen.

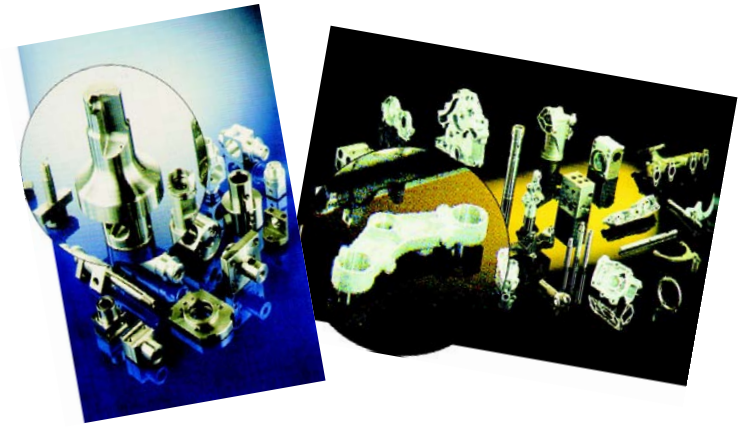
In dieser Broschüre werden Sie die wichtigsten
Verfahren zur Herstellung dieser
"runden" und "eckigen" Bauteile
kennenlernen.

1.3 Die Technik der Fertigung

Die wichtigsten Fertigungsverfahren zur Herstellung dieser Bauteile sind:



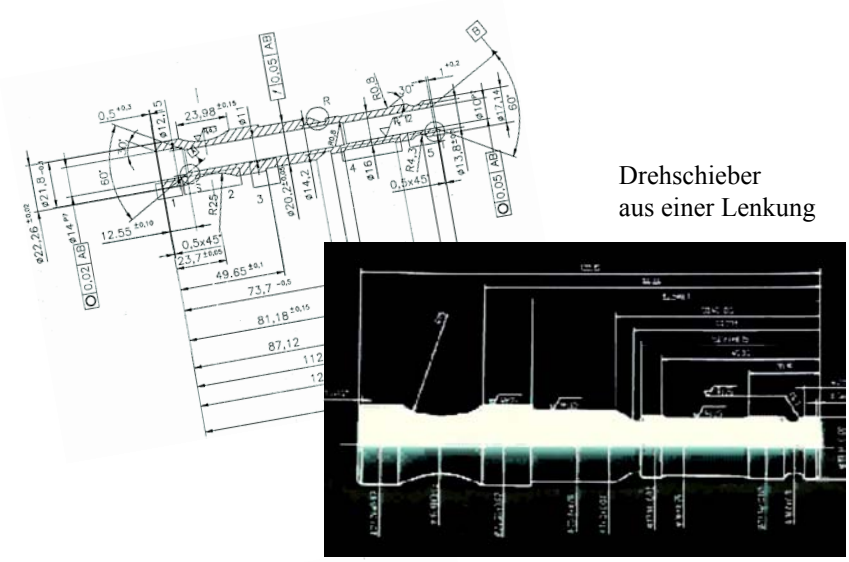
Durch Drehen und Fräsen können die Werkstücke passend zu den verschiedensten Anforderungen gefertigt werden.



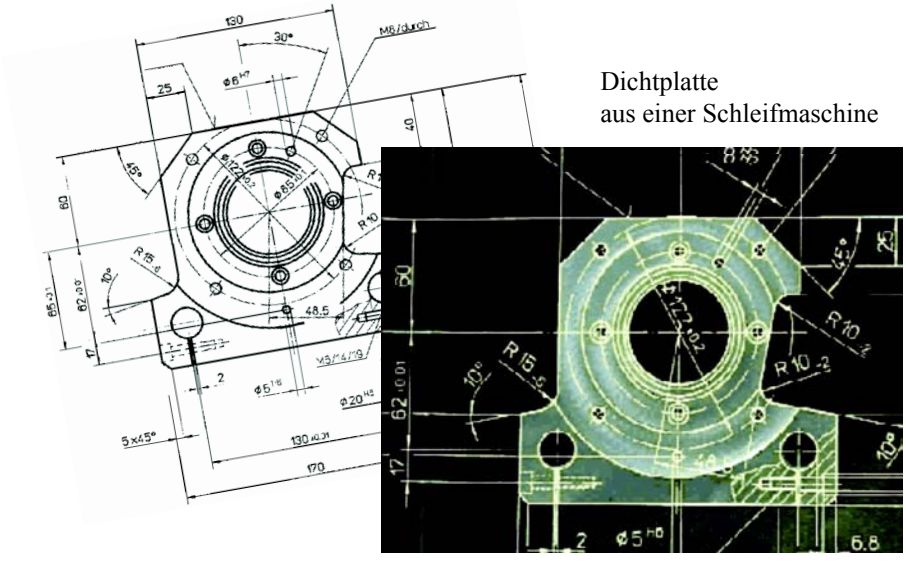
Die Werkstücke können auf den Dreh- und Fräsmaschinen mit einer Wiederholgenauigkeit von wenigen Mikrometern und spiegelglatten Oberflächen gefertigt werden. Die Genauigkeit ist dabei um ein Vielfaches größer als das menschliche Haar dick ist (0,05 mm).

1.4 Ideen ...

Der Konstrukteur legt die Maße und die Oberflächengüte des Werkstückes fest.



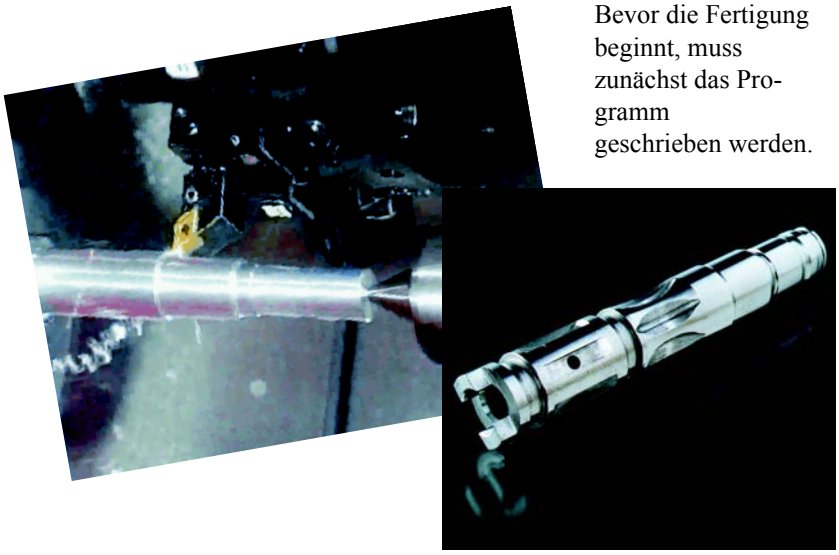
Drehschieber
aus einer Lenkung



Dichtplatte
aus einer Schleifmaschine

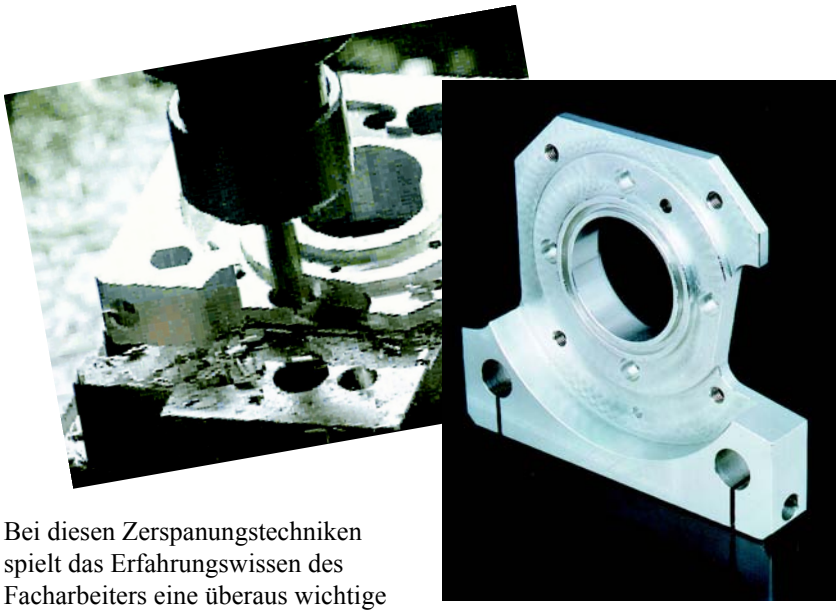
Der Technische Zeichner erstellt daraus die technische Zeichnug als Grundlage für die Fertigung.

... durch Technik verwirklichen



Bevor die Fertigung beginnt, muss zunächst das Programm geschrieben werden.

Das Programm wird danach direkt in Späne umgesetzt.



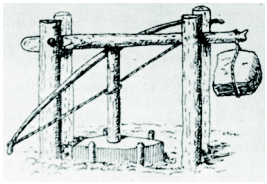
Bei diesen Zerspanungstechniken spielt das Erfahrungswissen des Facharbeiters eine überaus wichtige

Rolle.

2 Maschinen machen moderne Technik möglich

2.1 Ein Blick zurück

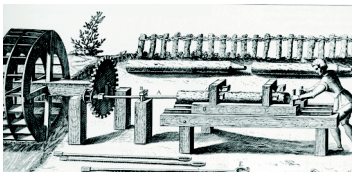
Als der Mensch anfing, Steine zu bearbeiten und dafür Werkzeuge herzustellen, musste er vor allen Dingen Vorrichtungen zum Bohren konstruieren.
Das kann als Beginn der Entwicklung von Werkzeugmaschinen angesehen werden.



Bohrapparat mit Fiedelantrieb (5.Jahrtausend v.Chr.)

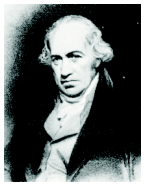
Drechsler an der Wippendrehbank (um 1425)

Den ersten Schwerpunkt in der Weiterentwicklung bildet das Mittelalter mit den Dreh- und Bohrgeräten des Handwerks.Die Hauptbewegung erfolgt durch Menschen- oder Wasserkraft.



Bohrmaschine mit Wasserantrieb (um 1615)

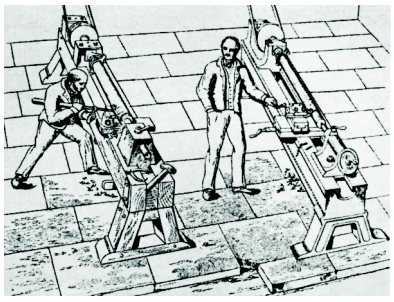
Den zweiten Schwerpunkt bildet die Industrielle Revolution im 18./19. Jahrhundert: Die Dampfmaschine als "kräftiger Antrieb" und der Kreuzsupport sind Meilensteine in der Geschichte der Werkzeugmaschinen.



James Watt (1736 bis 1819), Erfinder der Dampfmaschine

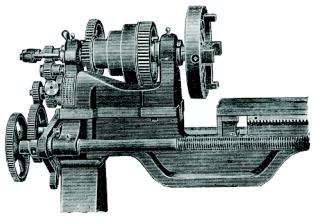
Henry Maudslay (1771 bis 1831) Erfinder des Kreuzsupportes

Die Abbildung soll das mühselige Arbeiten mit dem Handmeißel und die bequeme Arbeitsweise mit dem Kreuzsupport veranschaulichen, der von den konservativen Drehern verächtlich "going car" (Laufkarren) genannt wurde.



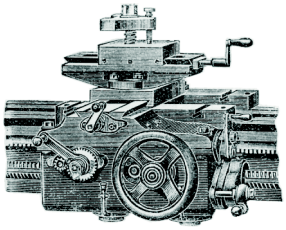
Alte Drehbank und Zugspindeldrehbank

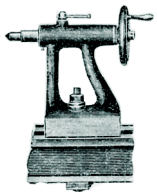
2.2 Auf dem Weg zur Perfektion



Stufenscheibe mit Rädervorgelege

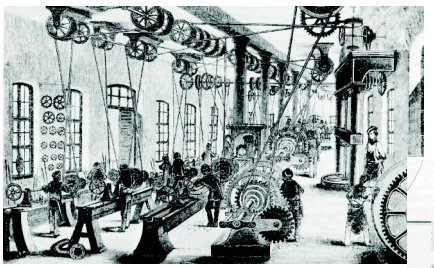
Kreuzsupport





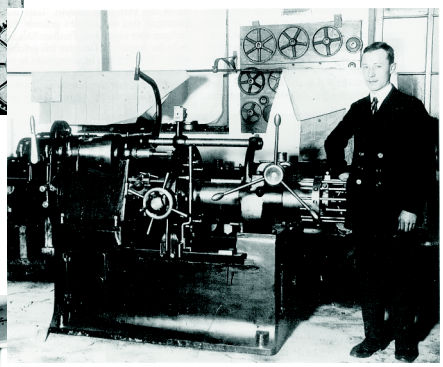
Reitstock

Durchdachte Mechanik bei allen wichtigen Baugruppen der Werkzeugmaschinen sind die wesentlichen Kennzeichen der technischen Weiterentwicklung im 19. Jahrhundert.



Dreherei (um 1850)

Zunächst wurden die Maschinen von einem zentralen Antrieb aus über Transmissionsriemen in Bewegung versetzt.



Drehbank (um 1916)

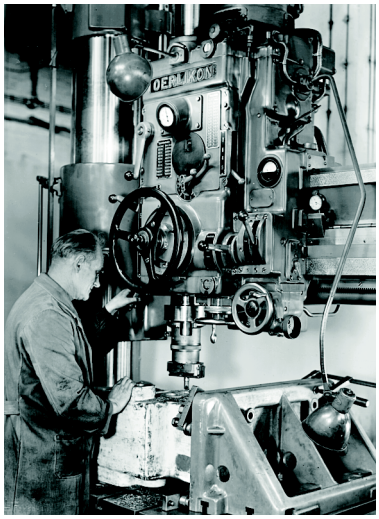
Dreherei (um 1950)

Später bekamen die Werkzeugmaschinen Einzelantriebe, wodurch eine höhere Produktivität in der Kombination Mensch/Maschine erreicht wurde.

2.3 Der Facharbeiter und seine Maschine

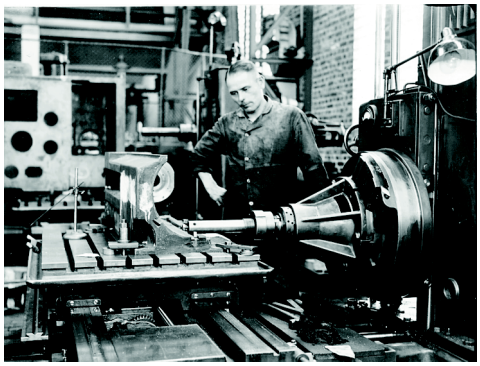
Konventionelles Drehen (um 1950)

Wer heute über Messen geht, könnte glauben, dass die Werkzeugmaschinen-Welt nur noch aus CNC-Maschinen* besteht. Das stimmt aber nicht.



Konventionelles Bohren (um 1950)

Auch heute noch werden weltweit mehr konventionelle Maschinen als CNC-Maschinen gebaut.



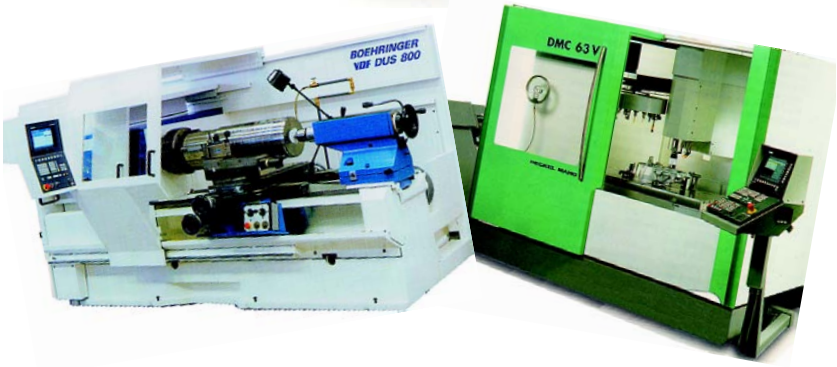
Konventionelles Fräsen (um 1950)

Konventionelle Werkzeug-maschinen sind heute noch wegen ihres niedrigen Preises und bei einfachen Werkstücken wirtschaftlich.

* CNC bedeutet: "Computer Numerical Control", das ist also eine Maschine, die einen Computer hat, der mittels numerischer Daten die Maschine steuert.

2.4 Die Vielfalt der CNC-Dreh- und Fräsmaschinen

... mit einer zentralen Lösung für alle.

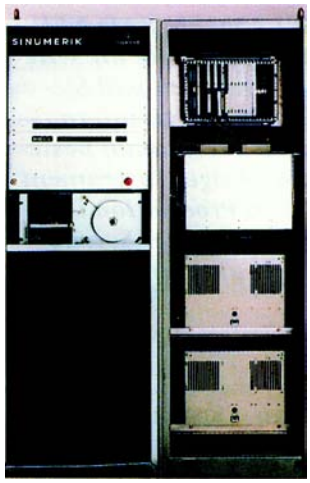


2.5 SINUMERIK-Steuerungen gestern und heute

1952 Massachusetts Institute of Technology (MIT)
Hier wurde die erste numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine gebaut (Steuerung noch mit Elektronenröhren), um die immer komplizierter werdenden Teile der Flugzeugindustrie einfacher fertigen zu können.

1960 Siemens NC-Steuerung
In diesem Jahr wurde die erste numerische Steuerung in Relaistechnik gebaut.

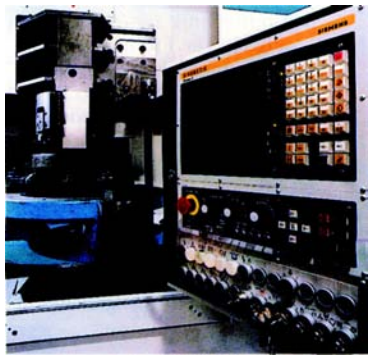
1967 SINUMERIK System 200
Erste Punkt- und Streckensteuerung für die Technologien Drehen und Fräsen.

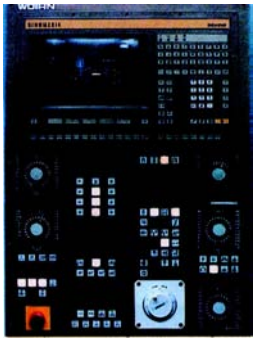


1976 SINUMERIK System 7
Die Relaistechnik wird von der ersten Bahnsteuerung auf Mikroprozessorbasis und Halbleiterspeichern abgelöst.

1977 SINUMERIK Sprint T
Die Werkstatt-Programmierung hält Einzug in die Welt der CNC-Bahnsteuerungen. Zuerst im Drehbereich.

1981 SINUMERIK System 3
Es wurde eine modulare CNC-Bahnsteuerung für die Dreh-, Bohr- und Fräsbearbeitung bis zu vier Achsen entwickelt, eine Steuerung mit größtem Breiteneinsatz.





1984 SINUMERIK 810
Für die Dreh- und Fräsbearbeitung entstand erstmals eine kompakte CNC-Bahnsteuerung für vier Achsen und eine Spindel.

1986 SINUMERIK 880
Mit bis zu 24 Achsen und sechs Spindeln (16 Kanäle) erreichte diese modulare CNC-Bahnsteuerung den oberen Leistungsbereich.

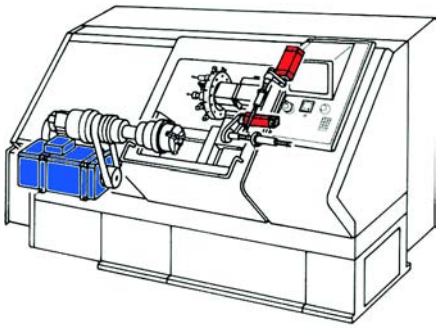
1994 SINUMERIK 840D
Für eine noch flexiblere und kostengünstige Fertigung entstand dieses modulare Steuerungskonzept, in die Aufbauform des Antriebs integriert. Sie beinhaltet sowohl eine hardwareunabhängige Software als auch
Schnittstellen zu den digitalen Antrieben. Die Nurbs-Interpolation wurde von Siemens für die CNC-Technik erstmals entwickelt und realisiert.

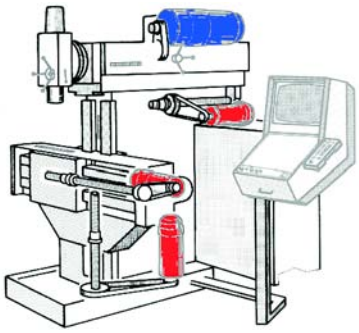
1996 SINUMERIK 810D
In konsequenter Weiterentwicklung werden die NC-Steuerung und der Antrieb in einem Modul vereinigt. Die Steuerungssoftware basiert auf der SINUMERIK 840D.

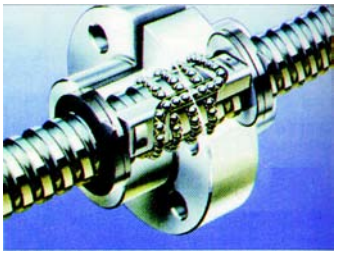
1998 ShopMill
2000 ShopTurn
Eine moderne, facharbeiter- und werkstattgerechte Programmieroberfläche macht die Fertigung der Teile auf Dreh- und Fräsmaschinen ganz einfach. Auf der 810D-Basis wurde dieses Konzept im Fräsbereich mit ShopMill und im Drehbereich mit ShopTurn verwirklicht.

2.6 Die Achsen - Keine Zerspanung ohne Bewegung

Moderne Fertigung auf Dreh- und Fräsmaschinen benötigt in hohem Maße bewegliche Werkstücke bzw. Werkzeuge. Deshalb sind die heutigen Werkzeugmaschinen mit Hauptantrieb (blau dargestellt) und mit Achsantrieben (rot dargestellt) für die verschiedenen Bewegungsrichtungen ausgestattet.

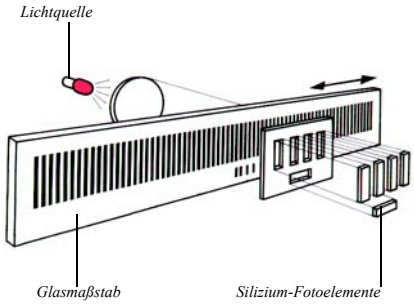




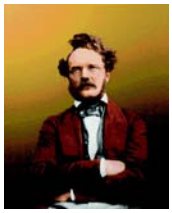


Die Kugelgewindetriebe mit den Antriebsmotoren bilden...

...mit den Messsystemen wesentliche Bestandteile eines Regelkreises für hochpräzise Fertigung.

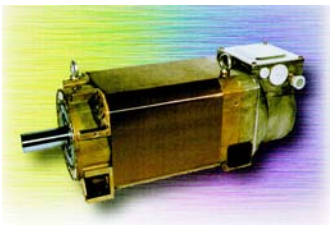


2.7 Die Antriebe - Keine Leistung ohne starke Muskeln



Vater der Antriebe ist Werner von Siemens (1816-1892), der mit seiner Erfindung der Dynamo-Maschine im Jahr 1866 eine neue Ära der Energieumwandlung einleitete.

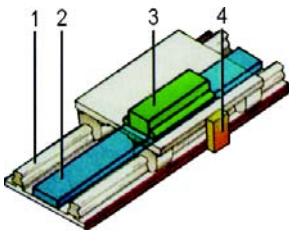
Voraussetzung für eine schnelle und präzise Fertigung sind leistungsstarke, drehzahlregelbare Motoren für den Hauptantrieb ...



Siemens Hauptspindelmotor mit einer Motor-Nennleistung bis zu 37 kW

... und Vorschubmotoren.

Siemens Achsantriebsmotoren mit Beschleunigungen bis zu 450 m/s²



1 Führungssystem
2 Sekundärteil
3 Primärteil
4 Lineares Wegmesssystem

Prinzipdarstellung des Linearmotors

Als innovativer zukünftiger Antrieb gilt der Linearmotor. Durch den Verzicht auf mechanische Übertragungselemente lassen sich höhere Beschleunigungen und Geschwindigkeiten (bis zu120 m/min bei Werkzeugmaschinen) erreichen.

3 Arbeit will geplant sein

3.1 Das NC-Programm - Wie sag ich’s meiner Maschine?

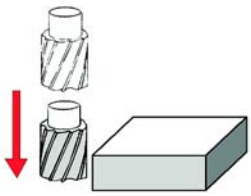
Ob früher als Lochstreifen ...

... oder morgen als
Spracheingabe ...

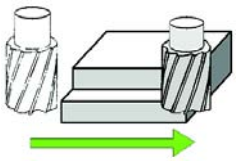
...ohne geordnete Befehle, die von der Steuerung verstanden werden, bewegt sich auch heute nichts.

3.2 Bewegte Gedanken

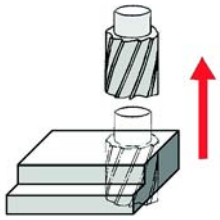
Stellen Sie sich folgende Aufgabe vor: Der Fräser soll sich mit einer Drehzahl von 1650 Umdrehungen pro Minute drehen, und zwar rechts herum.



Er soll zunächst schnell senkrecht nach unten auf eine Tiefe von 10 mm fahren und danach die gesamte Längsseite rechts am Werkstück vorbeifräsen. Dabei soll eine glatte, glänzende Fläche am Werkstück entstehen. Das wird durch eine Vorschubgeschwindigkeit von 100 Milimetern pro Minute erreicht.



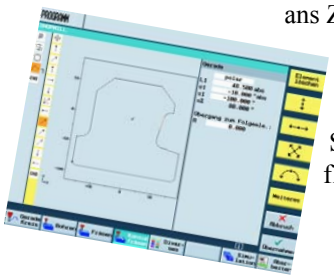
Zum Schluss soll das Werkzeug wieder schnell auf die Ausgangshöhe zurückfahren. Fertig!

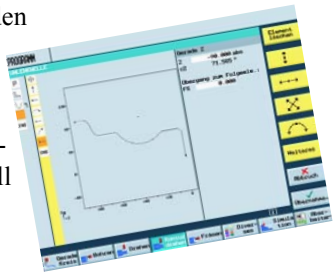


Wie immer führen verschiedene Wege zum Ziel:
Einer der kürzesten Wege ist eine "besondere" Sprache, die der Fachmann des Werkzeugmaschinenbereichs **DIN 66025** nennt.
Die oben genannte Aufgabe wird in dieser Sprache wie folgt beschrieben:

N1 F100 S1650 T24 M3
N2 G0 Z-10
N3 G42
N4 G1 X0 Y15
N5 G1 X74,3
N5 G40
N6 G0 Z100 M30

Diese weit verbreitete Sprache ist aber recht abstrakt. Außerdem stößt man mit ihr bei kompliziert geformten Werkstücken schnell an Grenzen und muss Punkte berechnen. Einfacher und schneller kommt man heute mit **grafischer Programmierung** ans Ziel, im folgenden zu sehen anhand der Siemens-Steuerungsoberflächen ShopMill und ShopTurn.

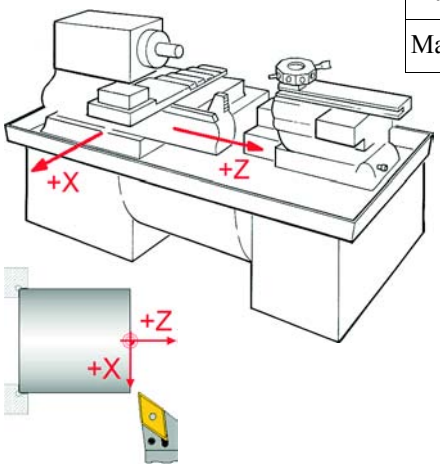




3.3 Der Ort des Geschehens: Raum für Bewegungen

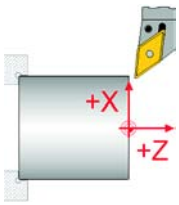
Nicht jedes Werkstück passt auf jede Maschine.

Max. Dreh-Durchmesser	Achse X
Max. Dreh-Länge	Achse Z



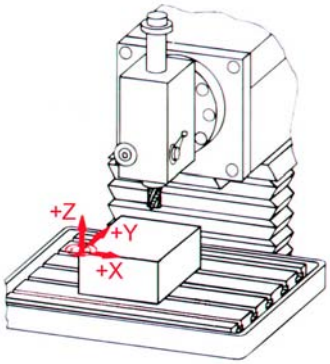
Flachbett-Maschine

(alle folgenden Darstellungen beziehen sich auf diesen Maschinen-Typ)



Schrägbett-Maschine

(ShopTurn wird meist auf diesem Maschinen-Typ eingesetzt)

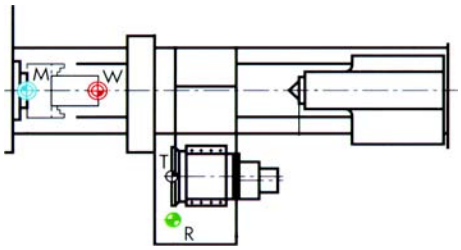


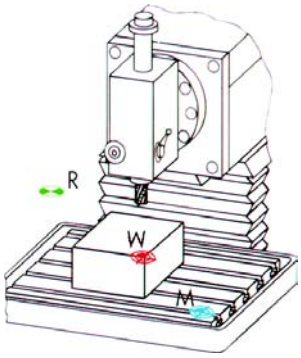
Max. Werkstück-Länge	Achse X
Max. Werkstück-Breite	Achse Y
Max. Werkstück-Höhe	Achse Z

Die maximalen Werkstück-Abmessungen entsprechen in etwa dem möglichen Verfahrweg des Werkzeuges in der jeweiligen Achse.

3.4 Auf den Punkt gebracht

In jeder CNC-Maschine gibt es einige wichtige Bezugspunkte, die für den Programmablauf von großer Bedeutung sind.





Maschinen-Nullpunkt M

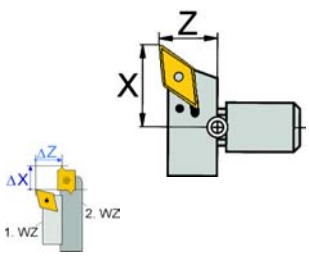
Der Maschinen-Nullpunkt M wird vom Hersteller festgelegt und kann nicht verändert werden.
Er liegt im Ursprung des Maschinen-Koordinatensystems.

Werkstück-Nullpunkt W

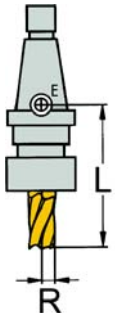
Der Werkstück-Nullpunkt W (auch Programm-Nullpunkt genannt) ist der Ursprung des Werkstück-Koordinatensystems. Er kann frei gewählt werden und sollte dort angeordnet werden, von wo in der Zeichnung die meisten Maße ausgehen.

Referenz-punkt R

Der Referenzpunkt R wird zum Nullsetzen des Messsystems angefahren, da der Maschinen-Nullpunkt meist nicht angefahren werden kann. Die Steuerung findet so ihren Zählanfang in ihrem inkrementalen Wegmesssystem.

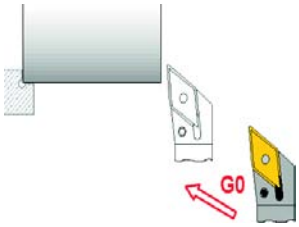


Alle Werkzeuge haben nach ihrem Einbau einen festen Maßbezugspunkt. Die Abmessungen X und Z bzw. R und L müssen der Steuerung bekannt sein, damit diese unterschiedlichen Maße beim Positionieren individuell berücksichtigt werden können.



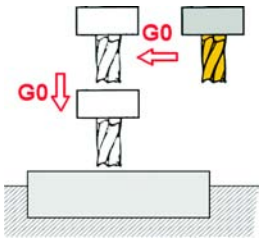
3.5 Wenn es schnell gehen soll

Da auch bei der CNC-Maschine das Motto "Zeit ist Geld" Gültigkeit hat, muss das Werkzeug schnell vom Startpunkt an das Werkstück fahren.

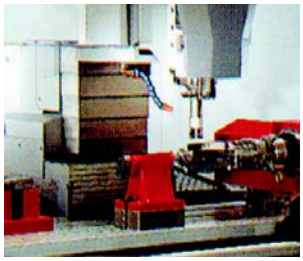


G0* heißt Eilgang

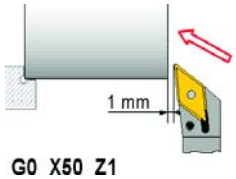
* G0 ist die Abkürzung für G00



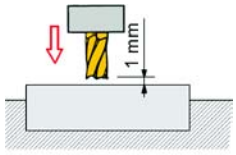
Bei den heutigen CNC-Werkzeugmaschinen werden sehr hohe Eilgang-Geschwindigkeiten erreicht.
Obwohl diese nur der Geschwindigkeit eines Fußgängers entsprechen, reicht dieses für eine Werkzeugmaschine aufgrund der meist kurzen Wege völlig aus: Das Ziel wird in Sekundenschnelle erreicht - und zwar ohne sichtbaren Bremsweg.
Wie auf der Fahrt zur täglichen Arbeit muss auch beim Verfahren des Werkzeuges auf Hindernisse geachtet werden.



Um Zeit zu sparen, wird das Werkzeug so nah wie möglich an das Werkstück herangefahren. Wenn dieser Vorgang "hautnah" erlebt wird, zollt dem Ganzen selbst der Profi Respekt.



G0 X50 Z1

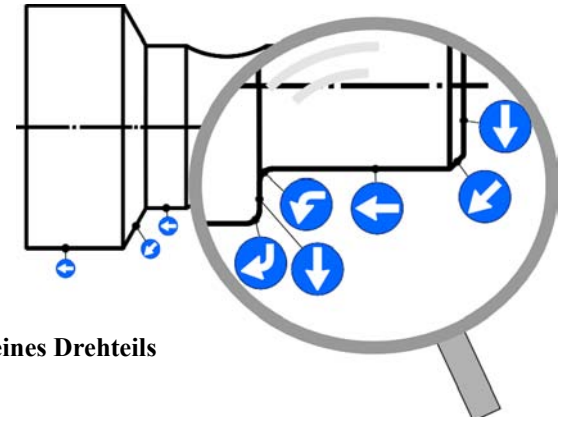


G0 Z1

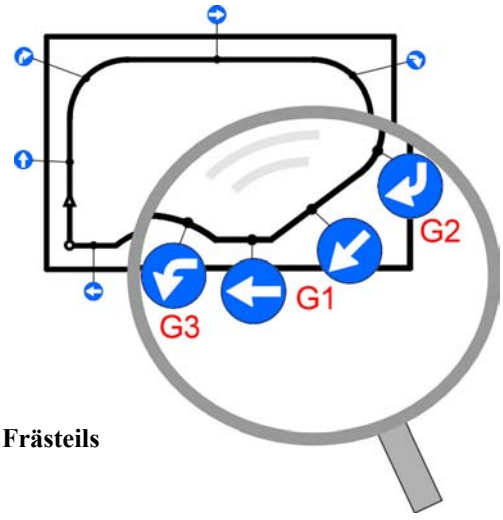
4 Wie Werkstücke geformt sind ...

4.1 Konturen bestehen aus Geraden und Bögen

Dreh- und Fräswerkstücke und damit ihre Konturen können in den meisten Fällen durch Geraden und Bögen beschrieben werden.



Kontur eines Drehteils

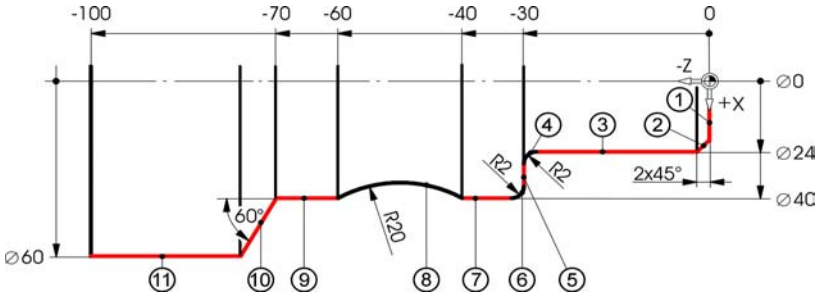


Kontur eines Frästeils

Jeder Bogen kann rechts- oder links herum gefertigt werden, ähnlich einer Kurve im Straßenverkehr, die je nach Fahrtrichtung eine Rechts- oder Linkskurve ist.

4.2 Wie Geraden nach DIN programmiert werden

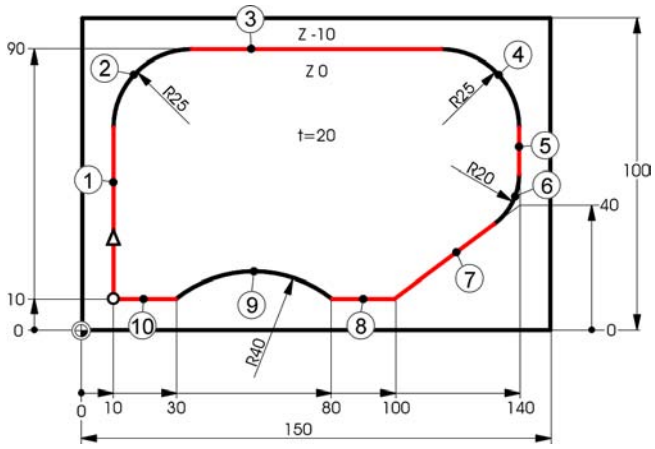
Nach DIN 66025 werden alle Geraden mit der Funktion G1 (Kurzform von G01) programmiert, wobei der Endpunkt in X und Z meist in absoluten Koordinaten angegeben wird.



Der Startpunkt der Kontur ist X0 / Z0.

1	G1	X20		Beginn des Fase (24-2*2)
2	G1	X24	Z-2	
3	G1		Z-28	Beginn des Bogens (30-2)
4	Bogen			
5	G1	X36		Beginn des Bogens (40-2*2)
6	Bogen			
7	G1		Z-40	
8	Bogen			
9	G1 oder G91 G1		Z-70 Z-10	Absolut ("ABS") G91 steht für inkremental ("INK")
10	(G90)G1	X60	Z-75,774	Der Z Wert kann mit der Tangens-Funktion ermittelt werden, da DIN keine Winkeleingabe zulässt.
11	G1		Z-100	

Beim Fräsen werden mit der Funktion G1 die Achsen X und Y programmiert (und bei Tiefenzustellungen auch die Achse Z).

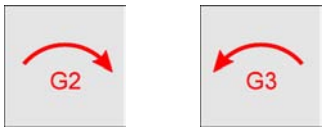


1	**G1**		**Y65**	Beginn des Bogens (90-25)
2	**Bogen**			
3	**G1**	**X115**		Beginn des Bogens (140-25)
4	**Bogen**			
5	**G1**		**Y50**	Dieser Wert kann mit trigonometrischen Funktionen ermittelt werden.
6	**Bogen**			
7	**G1**	**X100**	**Y10**	
8	**G1** oder **G91 G1**	**X80** **X20**		Absolut ("ABS") G91 steht für inkremental ("INK")
9	**(G90)**	**Bogen**		
10	**G1**	**X10**		

4.3 Grundlagen zum Programmieren von Bögen

Soll ein Bogen programmiert werden, so muss zunächst der Drehsinn festgelegt werden. Nach DIN gilt:

G2* Im Uhrzeigersinn

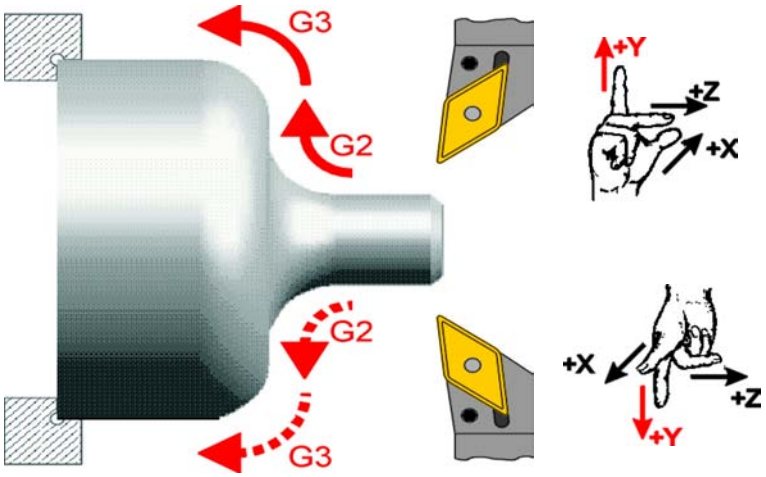


G3* Gegen den Uhrzeigersinn

*Abkürzung für G02 / G03

Während bei CNC-Fräsmaschinen diese Definition leicht verständlich ist, gibt es bei CNC-Drehmaschinen wegen der unterschiedlichen Maschinentypen Flachbett- bzw. Schrägbettmaschine ein "Problem":

Was ist G2, was ist G3?



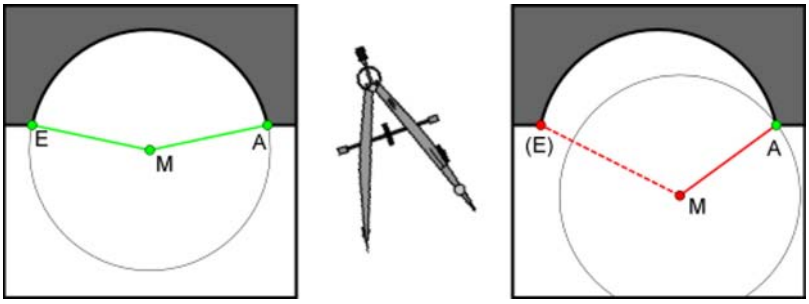
Wegen der recht komplizierten, aus der DIN-Norm abgeleiteten "3-Finger-Regel" bzw. "Rechte-Hand-Regel" kann G2 und G3 auch so definiert werden:

- **G2** ist ein **Innen**-Bogen,
- **G3** ist ein **Außen**-Bogen.

Beim Programmieren von Bögen muss außer dem Endpunkt (und dem Drehsinn) auch noch der Mittelpunkt angegeben werden.

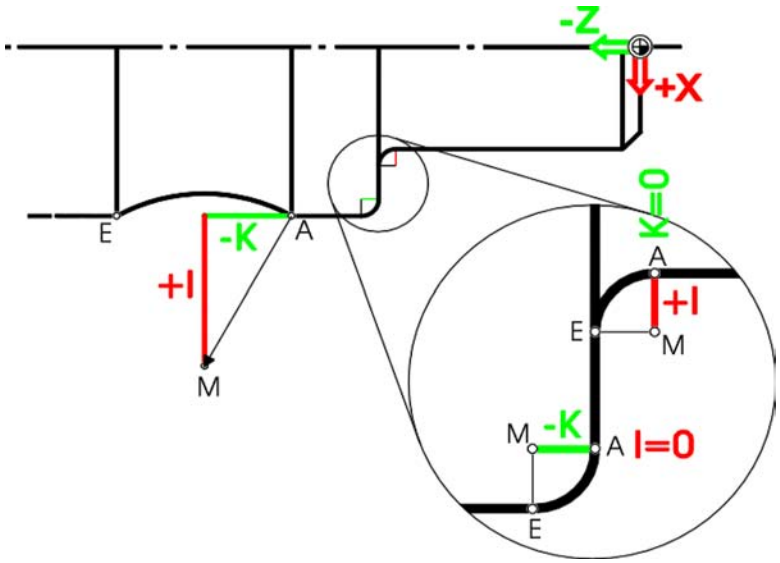
Wie beim Arbeiten mit dem Zirkel müssen der Anfangspunkt **A**, der Mittelpunkt **M** und der Endpunkt **E** exakt "zusammenpassen".

passt **passt nicht**



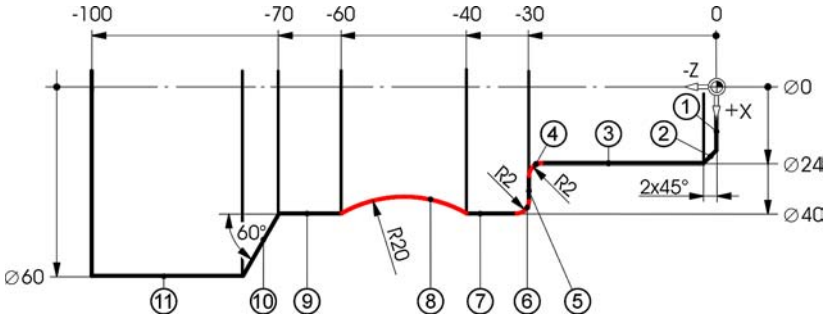
Der Mittelpunkt **M** wird immer in bezug auf den Anfangspunkt **A** angegeben: Dabei gilt:

- **I** gehört zu **X**, **K** gehört zu **Z**.
- Zur Bestimmung des Vorzeichens immer von A nach M schauen und mit den Koordinaten-Achsen vergleichen.



4.4 Wie Bögen nach DIN programmiert werden

Drehteil

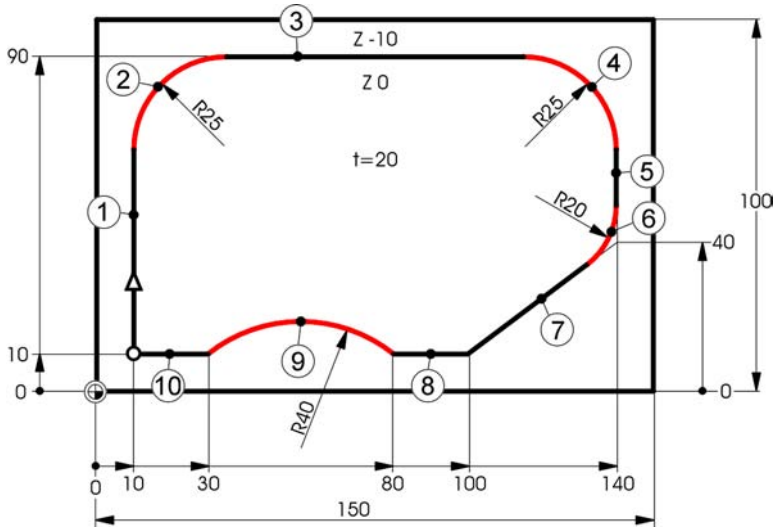


Bisher wurden die einzelnen Kontur-Abschnitte im Programm mit a, s, d usw. bezeichnet. Nach DIN muss jedoch **N1**, **N2**, **N3** usw. geschrieben werden.

Das NC-Programm für die obige Kontur:

N1	**G1**	**X20**				
N2	**G1**	**X24**	**Z-2**			
N3	**G1**		**Z-28**			
N4	**G2**	**X25**	**Z-30**	**I2**	**K0**	K ist 0, weil der Anfangs- und der Mittelpunkt denselben Z Wert haben.
N5	**G1**	**X36**				
N6	**G3**	**X40**	**Z-32**	**I0**	**K-2**	I ist 0, weil der Anfangs- und der Mittelpunkt denselben X Wert haben.
N7	**G1**		**Z-40**			
N8	**G2**	**X40**	**Z-60**	**I17,321**	**K-10**	Der I Wert kann mit dem Lehrsatz des Pythagoras berechnet werden
N9	**G1**		**Z-70**			
N10	**G1**	**X60**	**Z-75,774**			(siehe Seite 26)
N11	**G1**		**Z-100**			

Frästeil



Das NC-Programm für die obige Kontur:

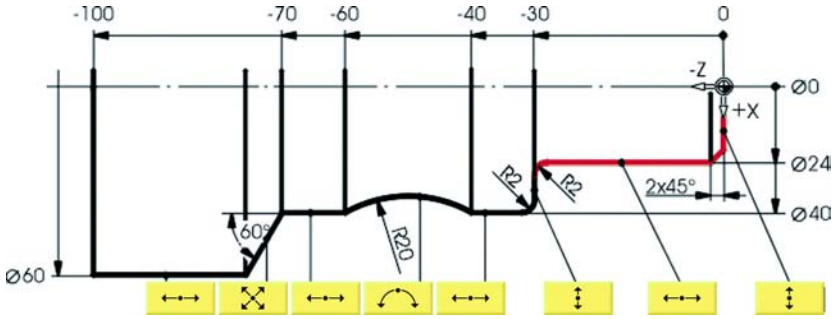
N1	**G1**		**Y65**			
N2	**G2**	**X35**	**Y90**	**I25**	**J0**	J ist 0, weil der Anfangs- und der Mittelpunkt den selben Y Wert haben.
N3	**G1**					
N4	**G2**	**X115**	**Y65**	**I0**	**J-25**	I ist 0, weil der Anfangs- und der Mittelpunkt den selben X Wert haben.
N5	**G1**		**Y50**			(siehe Seite 27)
N6	**G2**	**X132**	**Y34**	**I-20**	**J0**	Die Werte für X und Y können mit trigonometrischen Funktionen ermittelt werden.
N7	**G1**	**X100**	**Y10**			
N8	**G1**	**X80**				
N9	**G3**	**X30**	**Y10**	**I-25**	**J-31,225**	Der Wert für J kann mit dem Lehrsatz des Pythagoras berechnet werden.
N10	**G1**	**X10**				

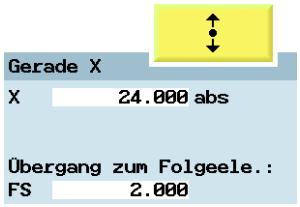
4.5 Grafische Programmierung

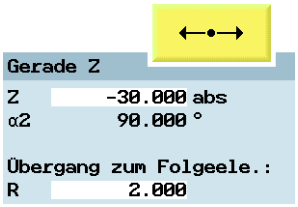
Auf den vorigen Seiten haben Sie erfahren, wie schwierig es teilweise ist, eine Kontur nach DIN zu programmieren.

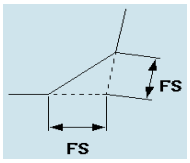
Im folgenden erfahren Sie am Beispiel von ShopTurn und ShopMill, wie einfach es ist, Konturen grafisch zu programmieren.

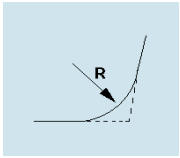
Grafisches Programmieren einer Dreh-Kontur mit ShopTurn







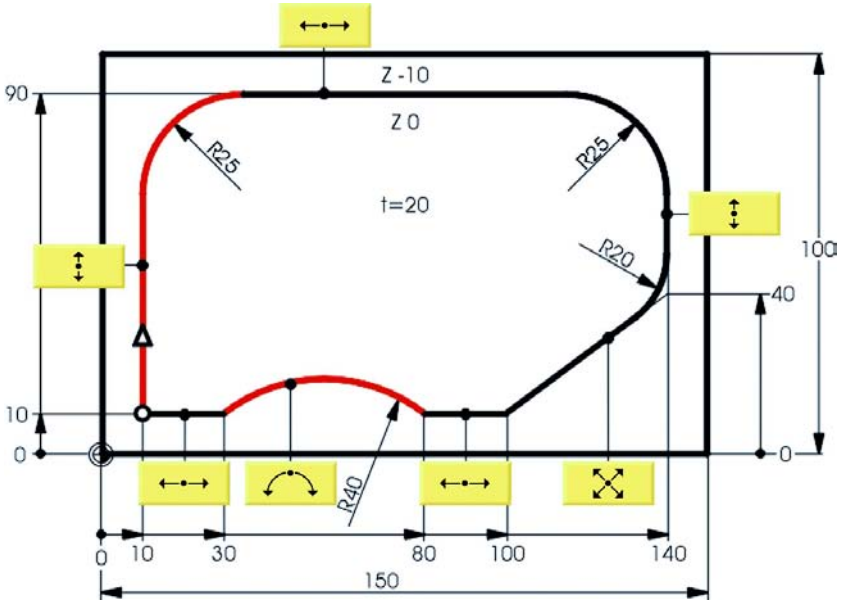


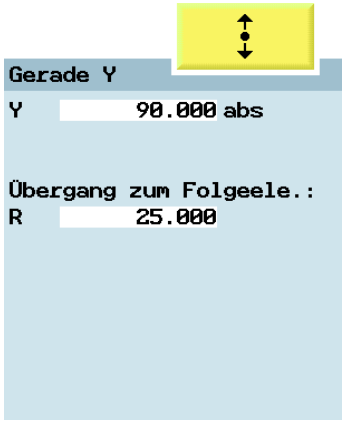


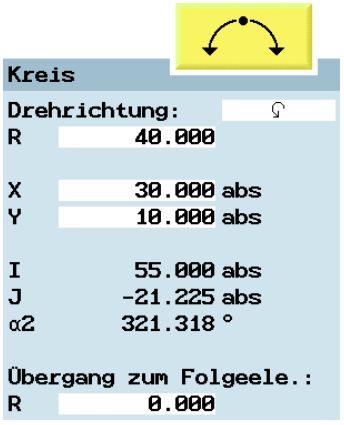
Die Fase 2*45° wird einfach an die Strecke "angehängt".

Die Rundung R2 wird einfach an die Strecke "angehängt".

Das grafische Programmieren mit ShopTurn ist nicht nur leichter, sondern es geht auch viel schneller, besonders bei komplexen Konturen.





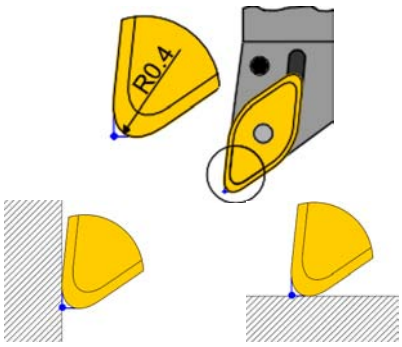


Die Rundung R25 wird einfach an die Strecke "angehängt".

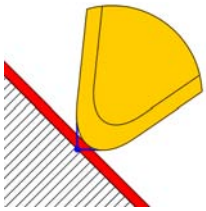
4.6 Konturen und Werkzeugwege

Damit ein maßhaltiges Werkstück entsteht, müssen sowohl beim Drehen als auch beim Fräsen die Werkzeug-Geometrien beachtet werden.

Drehwerkzeug

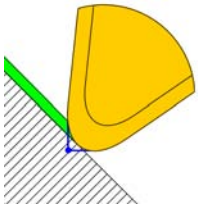


Beim Längsdrehen und beim Plandrehen treten trotz abgerundeter Schneide **keine Maßabweichungen** auf.



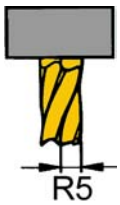
Werkzeugweg NICHT korrigiert

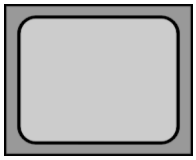
Beim Kegel- und auch beim Radien-Drehen treten **Maßabweichungen** auf, wenn der Werkzeugweg nicht korrigiert wird.



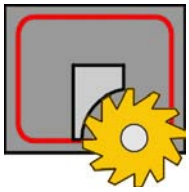
Werkzeugweg korrigiert.

Fräswerkzeug



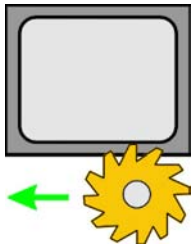


Stellen Sie sich vor, der Fräser würde mit seinem Mittelpunkt auf der Kontur fahren.



Werkzeugweg NICHT korrigiert

Je größer der Radius, desto kleiner würde das Restvolumen.

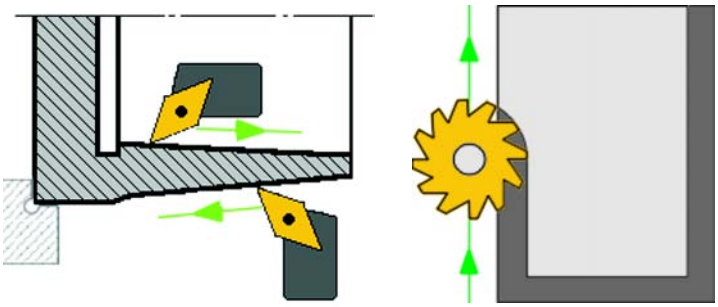


Werkzeug korrigiert.

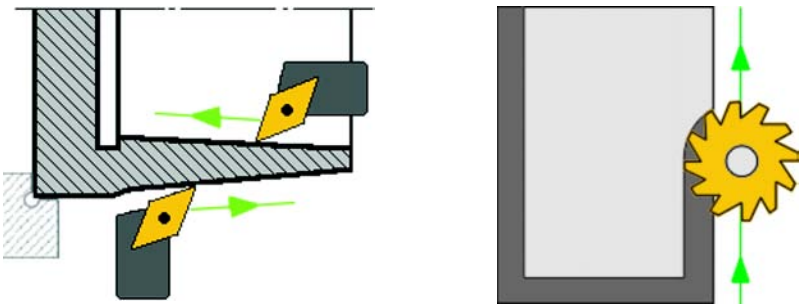
Wird das Werkzeug durch die Steuerungs-"Intelligenz" korrigiert (statt der mühsamen Berechnung des Werkzeugweges in der konturparallelen Bahn), so spricht der Fachmann von

Schneidenradius-Kompensation und **Fräserradius-Korrektur**

Diese Kompensation bzw. Korrektur wird durch die beiden Funktionen **G41** bzw **G42** bewirkt:



G41



G42

Bewegungsrichtung = Blickrichtung

G41 Werkzeug befindet sich **links** von der Kontur.

G42 Werkzeug befindet sich **rechts** von der Kontur.

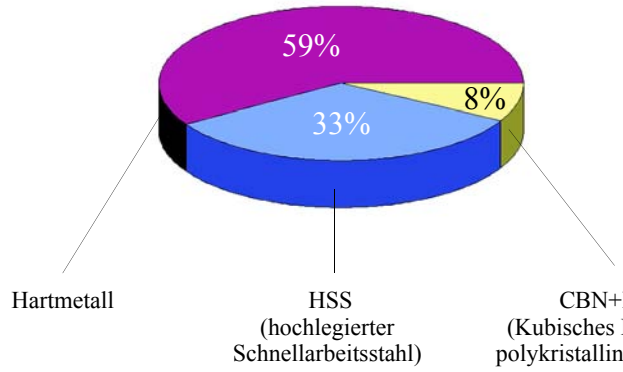
G40 hebt **G41** bzw. **G42** auf.

5 ... und wie sie gefertigt werden

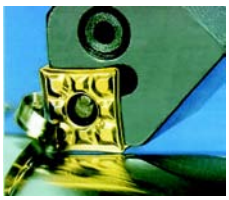
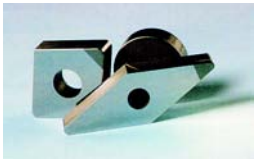
5.1 Werkzeuge heute

Beim Drehen und Fräsen sind, wie bei jeder spanenden Bearbeitung, die verwendeten Schneidstoffe und ihre Beständigkeit gegen Verschleiß besonders wichtig.

Während früher die unlegierten und legierten Werkzeugstähle dominierten, gilt im Sommer 1998 folgende Verteilung:



Der Anteil der Schneidstoffe aus Keramik liegt unter 1%.

Hartmetall	HSS	CBN
		
Der zunehmende Einsatz dieser beschichteten Sinterwerkstoffe resultiert daraus, dass mit sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten gefertigt werden kann.	Spiralbohrer, Senker, Reibahlen, ... Die Fertigung erfolgt mit niedrigen Schnittgeschwindigkeiten.	Für das Schruppen und Schlichten von gehärtetem Stahl und für Grauguss geeignet.

Produktivitätssteigerung durch modernste Werkzeuge

Unter der Überschrift "Kosten einfach abgedreht - Wie sich beim Zerspanen sparen lässt" berichtet die Zeitschrift PRODUKTION Nr.24 vom 10.6.98 aus dem "Nähkästchen" eines Werkzeugherstellers.
Der Bericht enthält Aussagen, die dem "normalen" Metaller unglaublich erscheinen:

> **"Versuche bei SECO haben ergeben, dass bei der Schlichtbearbeitung von GG-Bremsscheiben Keramikschneidstoffe bei einer Schnittgeschwindigkeit von 500 $^{m}/_{min}$ eine Standmenge von etwa 40 Scheiben erreichen.**
> **Bei der gleichen Schnittgeschwindigkeit erzielen CBN-30-Schneiden eine Standmenge von 500 Scheiben; wird die Schnittgeschwindigkeit verdoppelt, versechsfacht sich die Standmenge auf 3.000 Scheiben!"**

Nach einer Rückfrage SECO, wie "so etwas" zu erklären sei, wurde gesagt:

"Dies sind Erfahrungswerte aus der Praxis. Eine letztendliche Erklärung kann noch nicht gegeben werden."

Richtig ist auf jeden Fall, dass das Verschleißverhalten beim Bearbeiten von GG-25 mit CBN umso besser ist, je höher die Schnittgeschwindigkeit gewählt wird!

Diese "unglaublichen" Aussagen können verglichen werden mit den "Widersprüchen", aus denen die Hartmetalle entstehen:

Einzelwerkstoffe mit ihren jeweiligen Eigenschaften werden so zusammengefügt, dass sich ein neuer Werkstoff Hartmetall ergibt, der nur die gewünschten Eigenschaften der Einzelwerkstoffe enthält.

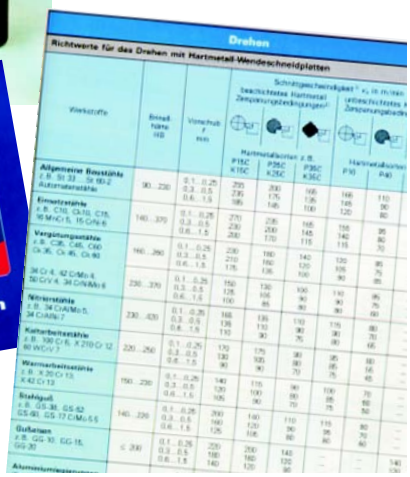
Titan-/Wolfram-Karbide	+	**Cobalt**	→	**Hartmetall**
hart		**weich**		**hart**
spröde		**zäh**		**zäh**

Die Hartmetall-Wendeplatten werden für die unterschiedlichsten Materialien (Stahl, Guss, Aluminium, ...) und in unterschiedlichen Geometrien hergestellt. Auch die Bearbeitungsart (Grob- oder Fein-Bearbeitung) bestimmt die Wahl der Hartmetallsorte.

Für den optimalen Einsatz der Wendeplatten sind umfangreiche Schnittdaten-Kataloge von allen Werkzeug-Herstellern vorhanden.

Die Wahl des Klemmsystems und des Klemmhaltertyps richtet sich nach dem vorgegebenen Bearbeitungsfall, der Beschaffenheit des Werkstückes sowie dem Wendeplattentyp.

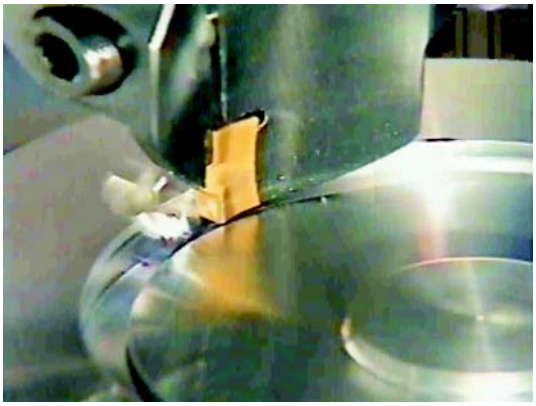
Der Name Wendeplatte kommt daher, dass diese Platten, wenn sie an einer Schneidkante verschlissen sind, im Klemmhalter umgeklemmt werden können, so dass eine neue Schneidkante für die Bearbeitung zur Verfügung steht.

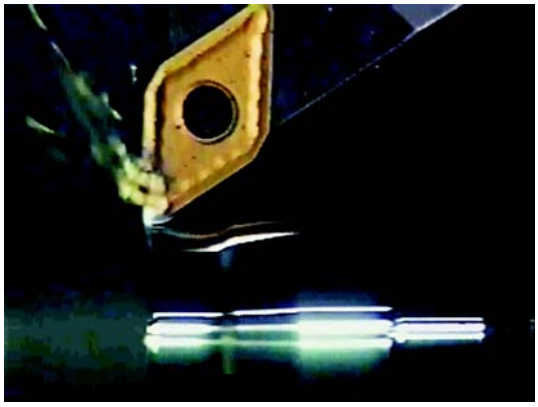


Allgemeine Richtwerte für die Bearbeitung mit Hartmetall-Wendeplatten finden Sie in Tabellenbüchern.

5.2 Werkzeuge im Einsatz*

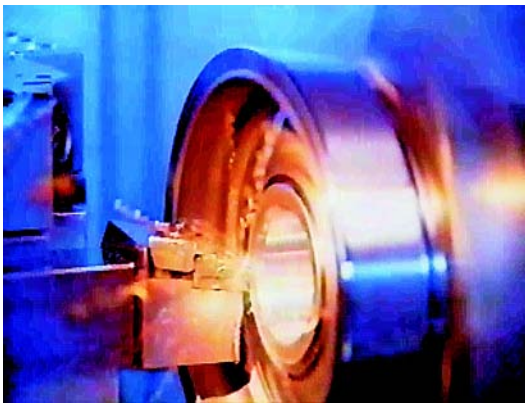
Plan-Stechen
mit einem 3 mm
breiten Stechmeißel





Längs-Schruppen
mit einer 55° -Platte

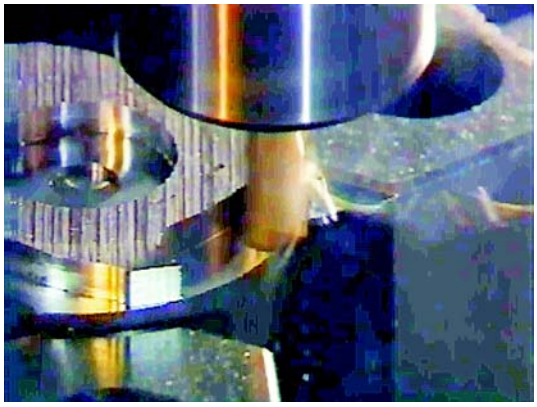
Innen-Plandrehen



* Die Abbildungen auf dieser und der nächsten Seite sind Video-Sequenzen aus der Siemens-CD "Wir gehören zur Werkstatt".

Schrupp-Bearbeitung
einer Außenkontur

Horizontal-Bearbeitung
mit NC-Rundtisch

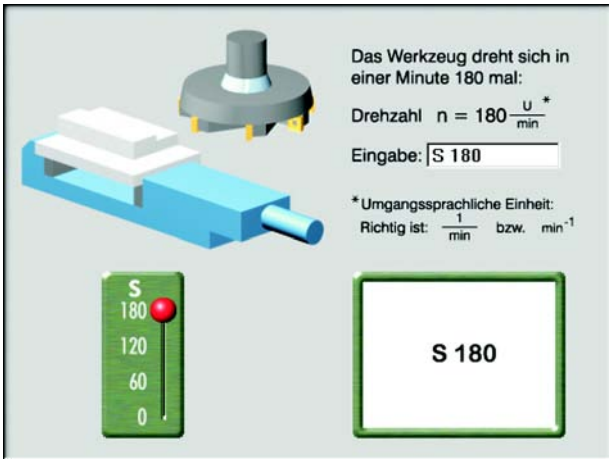


Schlicht-Bearbeitung
eines hochlegierten
Stahles

5.3 Wenn sich etwas dreht*

Die Drehzahl des **Werkstückes** beim Drehen ...

... und die Drehzahl des **Werkzeuges** beim Fräsen ...



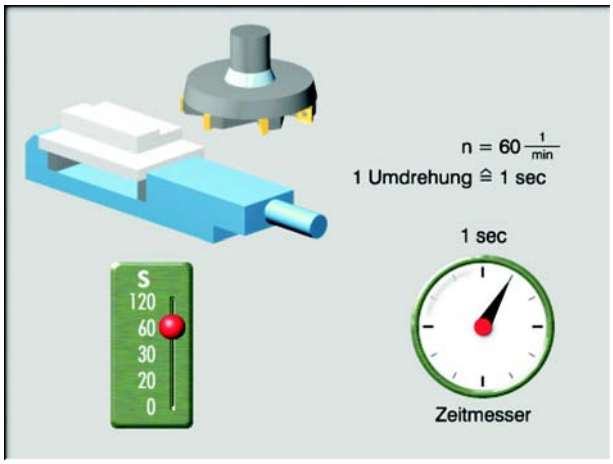
... sind Voraussetzung für das Fertigen.

* Die Abbildungen auf den Seiten 42-49 sind der Siemens-CD "Wir gehören zur Werkstatt" entnommen, auf der diese Inhalte interaktiv mit Original-Ton erlebbar sind.

5.4 Drehzahl und Zeit

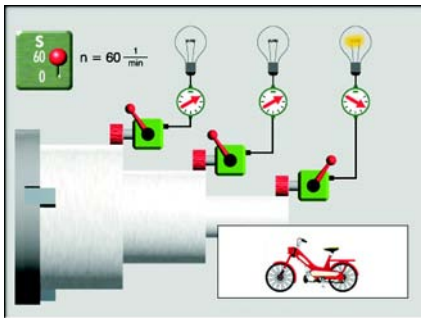
Je höher die Drehzahl, desto weniger Zeit vergeht, bis sich das Werkstück bzw. das Werkzeug 1x gedreht hat.

Bei einer Drehzahl von n = 30 $^{1}/_{min}$ dauert eine Umdrehung 2 Sekunden.



Bei einer Drehzahl von n = 60 $^{1}/_{min}$ dauert eine Umdrehung 1 Sekunde.

5.5 Die Umfangsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Durchmessern

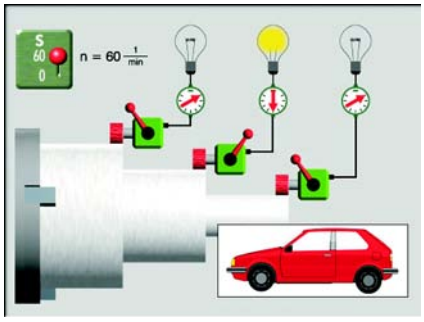


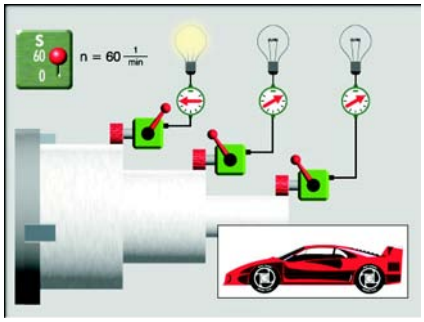
Bei
kleinem Durchmesser
(und konstanter Drehzahl)
ist die Umfangsgeschwindigkeit
niedrig.

Die Umfangsgeschwindigkeit
kann nach der Formel

$$v = d * \pi * n$$

berechnet werden.



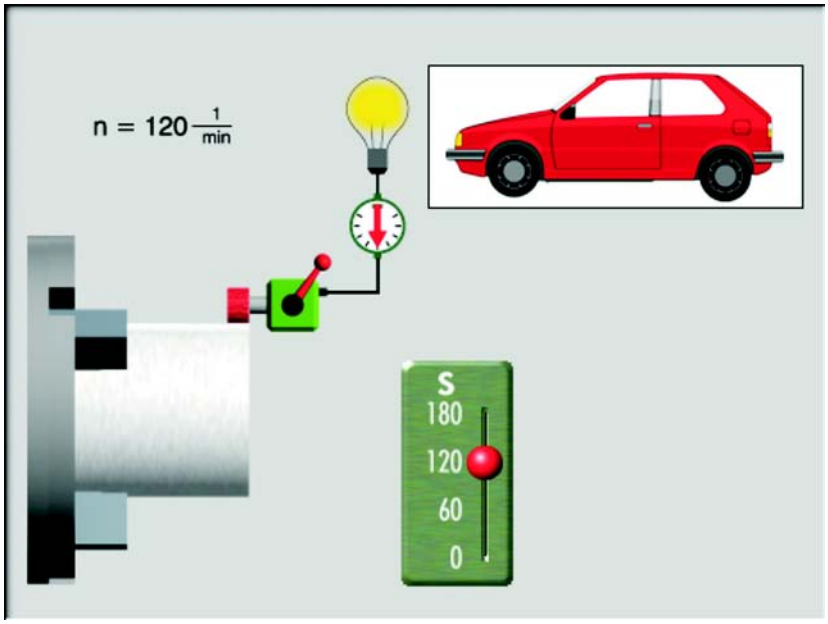


Bei
großem Durchmesser
(und konstanter Drehzahl)
ist die Umfangsgeschwindigkeit
hoch.

5.6 Die Umfangsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Drehzahlen

Bei steigender Drehzahl (und gleichbleibendem Durchmesser) wird die Umfangsgeschwindigkeit größer.

Die Umfangsgeschwindigkeit wird meist in der Einheit $^{m}/_{min}$ angegeben.



Bei einem angenommenen Durchmesser d = 60 mm (0,06 m)
und einer Drehzahl n = 120 $^{1}/_{min}$ ergibt sich:

$$v = d * \pi * n$$

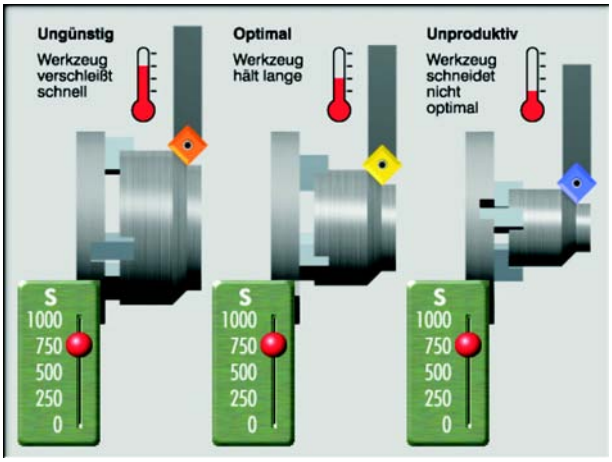
$$v = 0{,}06m * 3{,}14 * 120\ ^{1}/_{min}$$

$$v = 22{,}6\ ^{m}/_{min}$$

5.7 Die Schnittgeschwindigkeit: Wenn ein Werkzeug schneidet

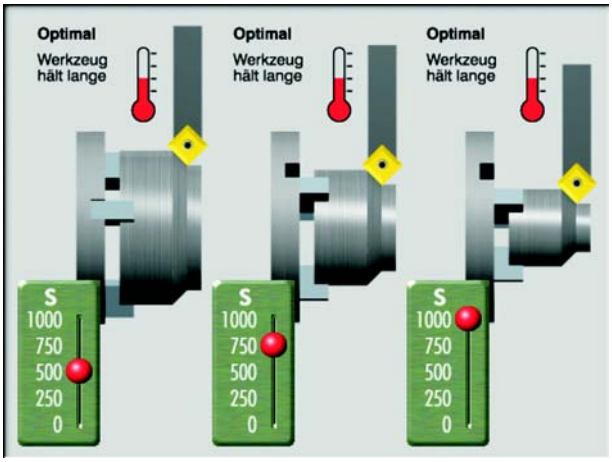
Der Unterschied zur Umfangsgeschwindigkeit ist, dass bei der Schnittgeschwindigkeit ein Werkzeug im Einsatz ist.

Bei gleicher Drehzahl n = 750 $^{1}/_{min}$ ist die Schnittgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Werkstück-Durchmessern unterschiedlich.

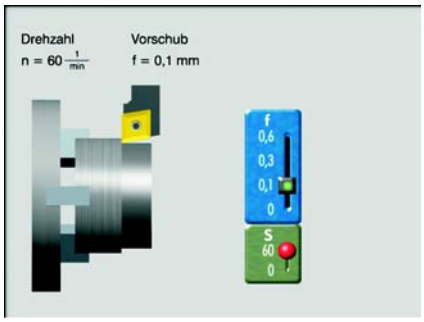


Um den jeweils optimalen Einsatz des Werkzeuges zu erreichen, müssen unterschiedliche Drehzahlen eingestellt werden:

Größerer Durchmesser = kleinere Drehzahl usw.



5.8 Vorschub und Oberflächengüte



Außer der Schnittgeschwindigkeit (und dem Schneidenradius) beeinflusst besonders der Vorschub die Oberflächengüte.

Im allgemeinen gilt:

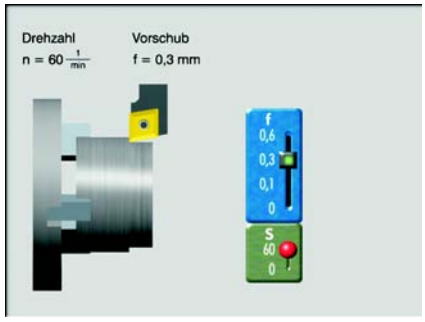
Je kleiner der Vorschub, desto besser ist die Oberfläche.

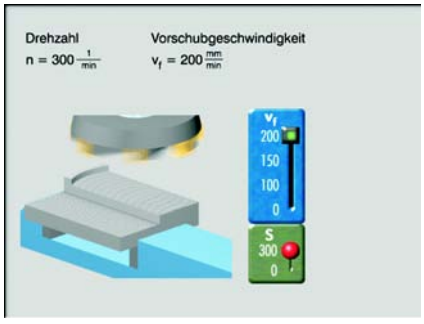
Beim Drehen wird der **Vorschub** in mm angegeben:

$f = 0{,}3$ mm

Eingabe beim Programmieren:

F 0.3





Beim Fräsen wird die **Vorschubgeschwindigkeit** in $^{mm}/_{min}$ angegeben:

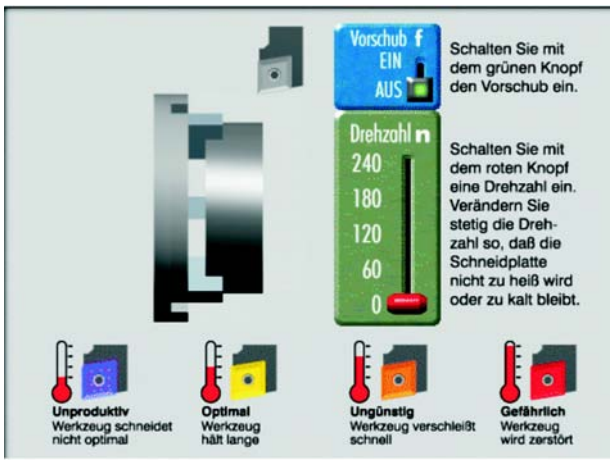
$v_f = 200\ ^{mm}/_{min}$

Eingabe beim Programmieren:

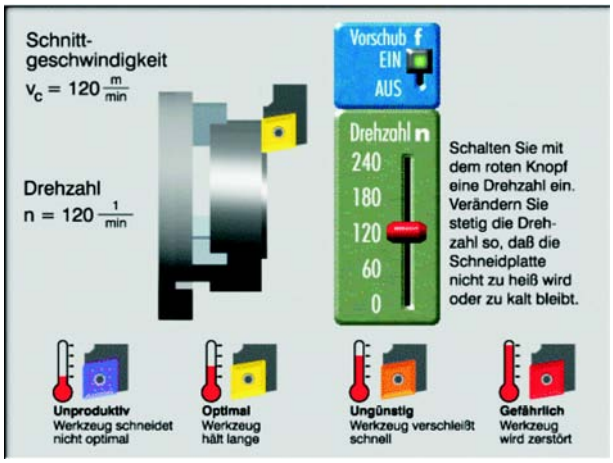
F 200

5.9 Konstante Schnittgeschwindigkeit von Hand regeln

Es ist mühsam, beim Plandrehen durch einen entsprechenden Wechsel der Drehzahl das Werkzeug immer optimal im Einsatz zu halten.



Bei einer zu hohen Drehzahl ($n = 240\ ^1/_{min}$) wird das Werkzeug zerstört, bei einer zu niedrigen Drehzahl ($n = 60\ ^1/_{min}$) schneidet das Werkzeug nicht optimal.



Für besonders Interessierte:

$$v = d \cdot \pi \cdot n$$

$$d = \frac{v}{\pi \cdot n}$$

$$d = \frac{120000\frac{mm}{min}}{3,14 \cdot 120\frac{1}{min}}$$

$$\underline{\underline{d = 318mm}}$$

wäre der momentane Durchmesser, auf dem das Werkzeug schneidet.

Bei der Drehzahl $n = 120\ ^1/_{min}$ schneidet das Werkzeug optimal, danach müssen in immer schnellerem Wechsel die höheren Drehzahlen geschaltet werden.

Konstante Schnittgeschwindigkeit durch die Steuerung

Bei allen CNC-Drehmaschinen kann mit konstanter Schnittgeschwindigkeit zerspant werden:

Die Steuerung berechnet in Abhängigkeit vom jeweiligen (Ist-)Durchmesser die entsprechende Drehzahl.

Der Facharbeiter braucht nur die gewünschte Schnittgeschwindigkeit anzugeben, hier

$v_c = 120$ m/min.

In der Fachsprache heißt diese Angabe

G96 S120

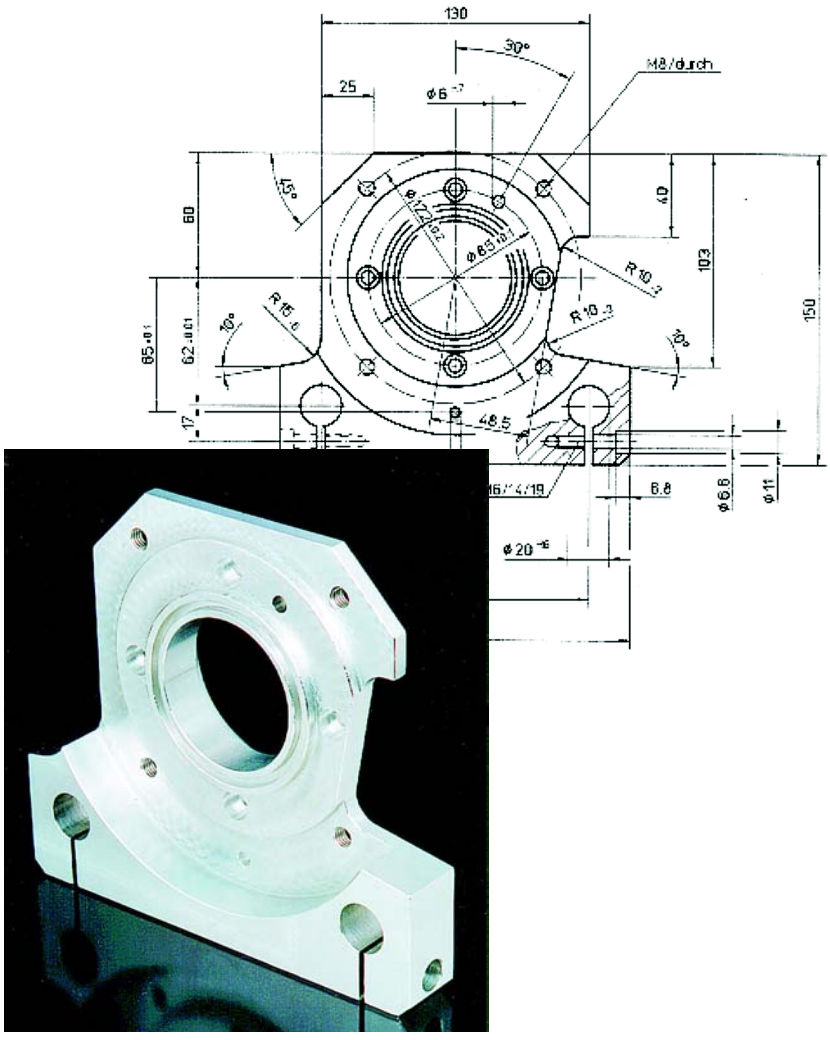
Die Schnittgeschwindigkeit (ein Erfahrungs- oder "Tabellenbuch"-Wert) hängt von vielen Vorgaben ab, z. B.:

- Werkstoff des Werkzeuges
- Werkstoff des Werkstückes
- Gewünschte Oberflächengüte
- Kühlschmiermittel
- Maschine (Stabilität, ...)
- Spannsituation (Auskragung, ...)

6 Auf die richtige Technik kommt es an

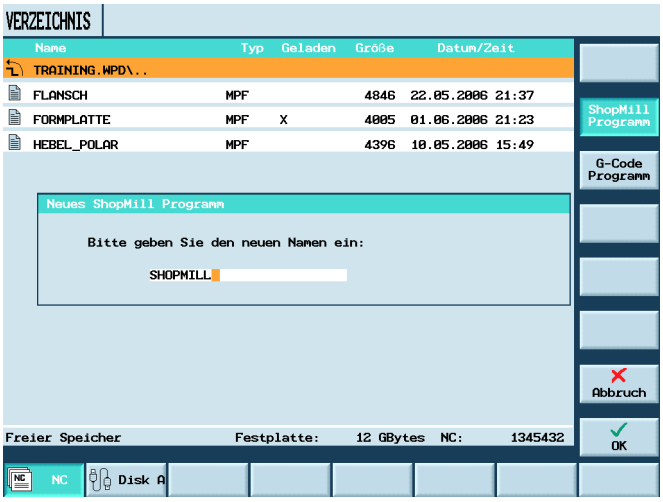
6.1 Fräsen mit ShopMill

Im folgenden sehen Sie anhand einer Dichtplatte aus einer Scheifmaschine, wie Sie mit ShopMill grafisch unterstützt ohne Programmierkenntnisse schnell von der Zeichnung zu Ihrem Frästeil kommen.

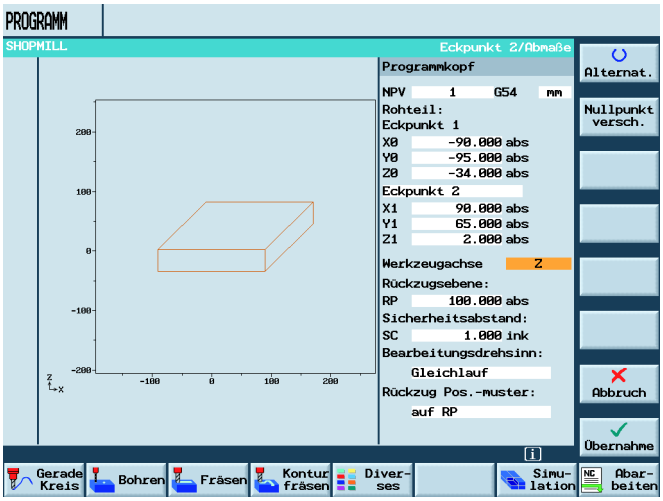


Bevor’s losgeht ...

Zunächst muss das Kind einen Namen haben.
Das gilt auch für ShopMill-Programme.
Wie das Kind bekommt auch das Programm keine schnöde Nummer, sondern einen sprechenden Namen. Im Klartext, wie alles bei ShopMill.

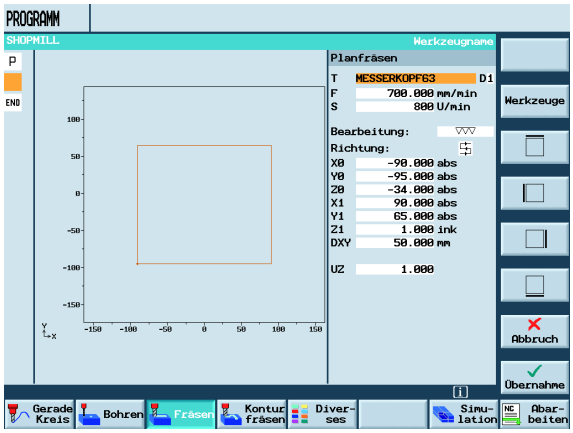


Im ersten Schritt definieren Sie die Rohteilabmessungen, die Rückzugsebene und die Sicherheitsabstände und legen die Hauptspindelachse fest.

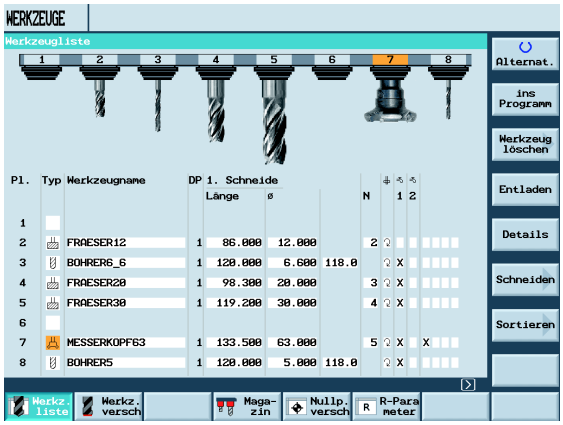


Planbearbeitung

Im ersten Bearbeitungsschritt soll das Werkstück geplant werden.
Hier wird bereits ein Messerkopf für die Planbearbeitung vorgeschlagen ...

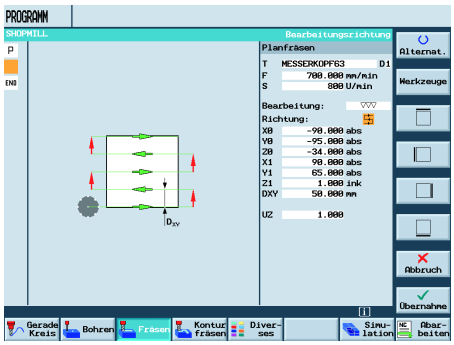


... Sie könnten aber natürlich auch ein anderes Werkzeug aus der Liste wählen.
Hinter dem Werkzeugnamen finden Sie alle Parameter, die sie brauchen:
Geometrie- und Technologiewerte, Kühlmittel, Druckluft ...
Eine Überwachung der Zeit, die ein Werkzeug in Benutzung ist, findet ebenfalls statt – die Standzeitüberwachung.



Auch sogenannte Schwesterwerkzeuge und flexibel codierte Werkzeugmagazine können verwaltet werden. Bei übergroßen Werkzeugen werden automatisch die Nachbarplätze berücksichtigt.

Hilfsgrafiken zu jeder Eingabe

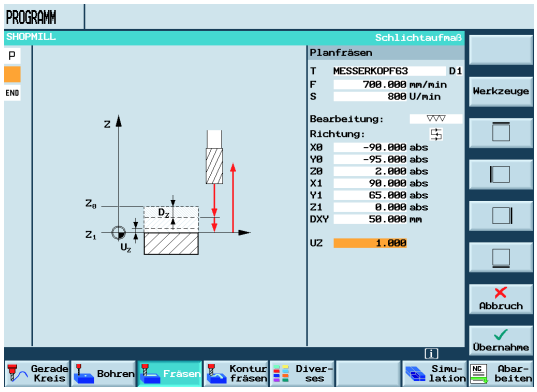


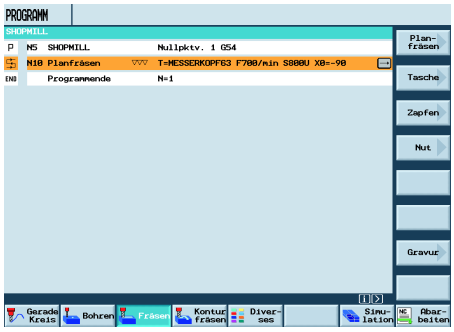
Bleiben wir bei dem gewählten 63er-Messerkopf.

Nun sind die Schnittdaten für die Planbearbeitung anzugeben. Zu jedem Eingabefeld gibt es eine Klartextanzeige und bei Bedarf ein Hilfebild.

Sie können also fast ohne Lernzeit in ShopMill einsteigen.

Es gibt keine Codierung oder Programmierung im herkömmlichen Sinne. Alle Eingaben erfolgen über Eingabemasken mit grafischer Unterstützung.



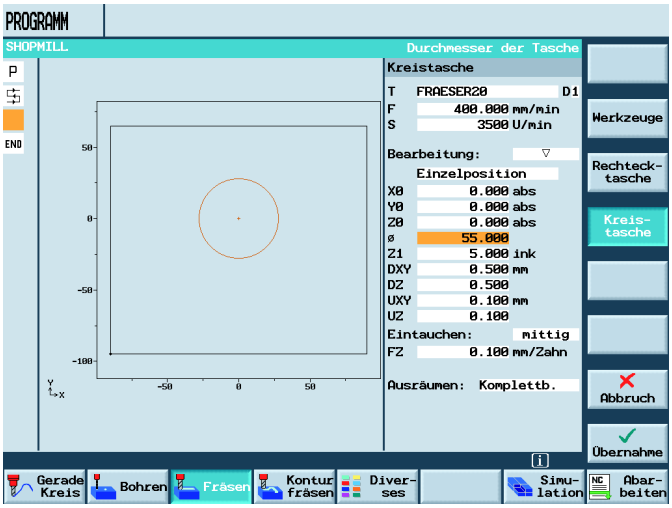


Der erste Bearbeitungsschritt wurde inzwischen in die Arbeitsschritt-Liste übernommen.

Ein Piktogramm symbolisiert das Planfräsen. Die wichtigsten Daten des entsprechenden Bearbeitungsschrittes haben Sie daneben immer kompakt und übersichtlich im Blick.

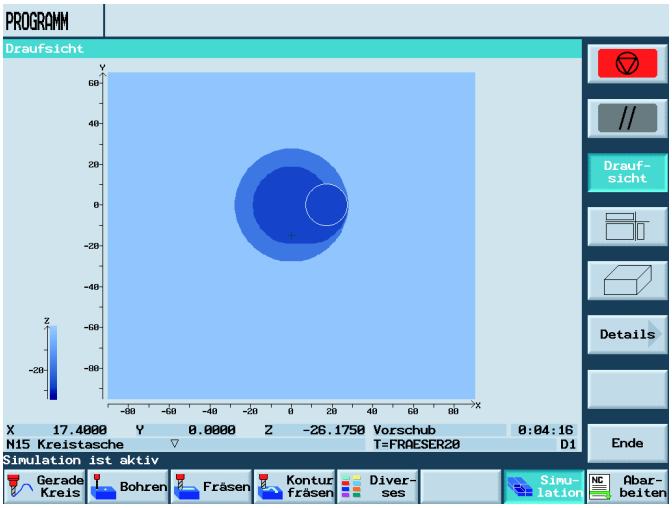
Kreistasche

Als nächstes ist die durchgehende Kreistasche in der Mitte auszufräsen.



Dafür stehen Ihnen die verschiedensten Eintauchstrategien zur Verfügung. Je nachdem, was Ihr Werkzeug am besten “verträgt”, kann mittig, pendelnd oder spiralförmig zugestellt werden.

Anhand einer Simulationsgrafik können Sie Ihre Eingaben überprüfen.

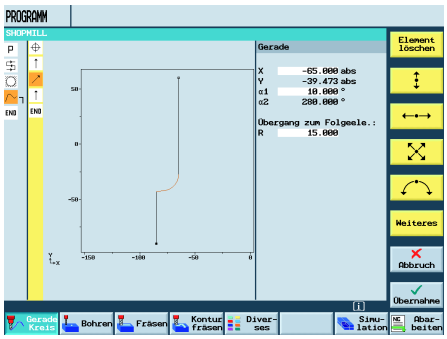


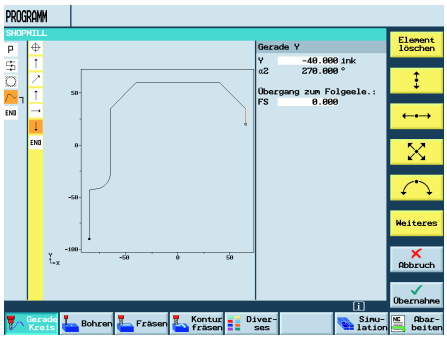
Komplexe Konturen erstellen

Sie meinen, mit der komplexen Außenkontur wird es aber etwas komplizierter?

Weit gefehlt! Ist eine Zeichnung nicht NC-gerecht bemaßt, greifen Ihnen der Konturrechner von ShopMill und die Grafikanzeige unter die Arme.

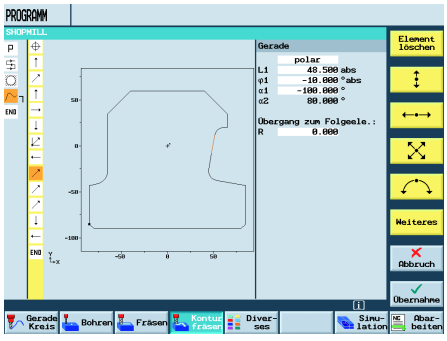
Verrundungen und Fasen sind gar kein Problem. Sie sind einfach an das vorhergehende Element "angehängt".





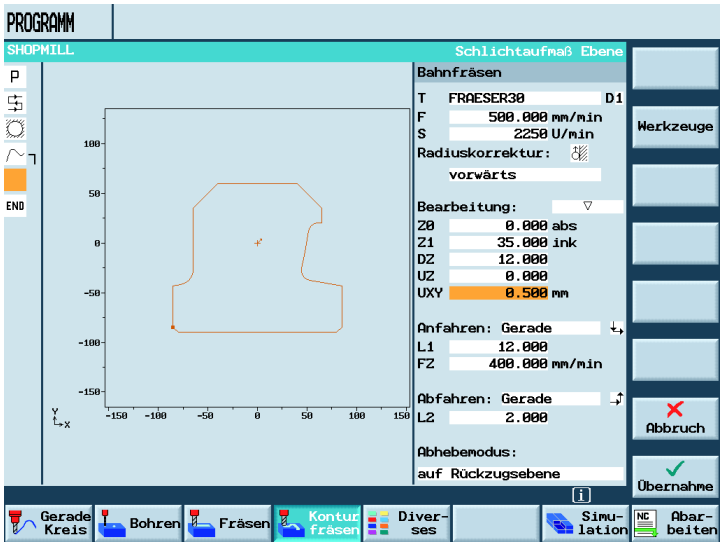
Es ist auch egal, ob ein Maß absolut oder inkremental in der Zeichnung bemaßt ist.
Mit einem Klick haben Sie die Alternative. Außerdem kann aus jedem Eingabefeld heraus ein integrierter Taschenrechner aufgerufen werden.

Wenn ein Kontur-Element nicht vollständig bemaßt ist, kann es über die nachfolgenden Elemente bestimmt werden.
Sobald alle Maße bekannt sind, wird die Grafik nachgeführt.
In Minutenschnelle ist die Kontur fertig definiert - ohne jede Mathematik.

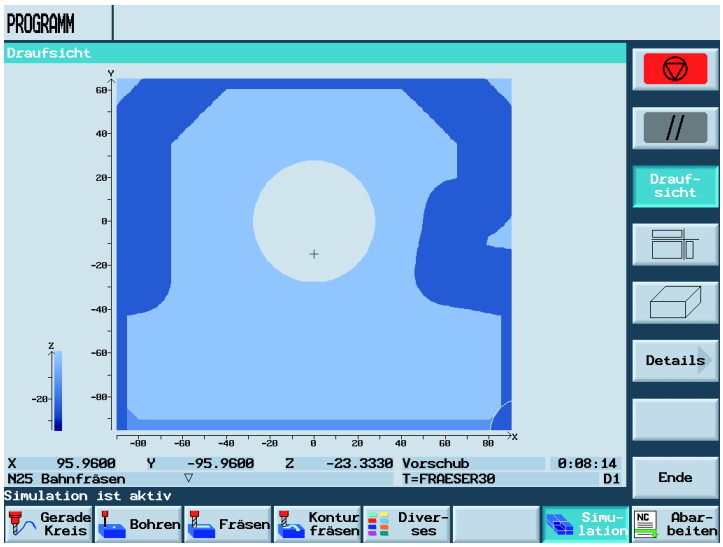


Schruppen entlang einer Kontur

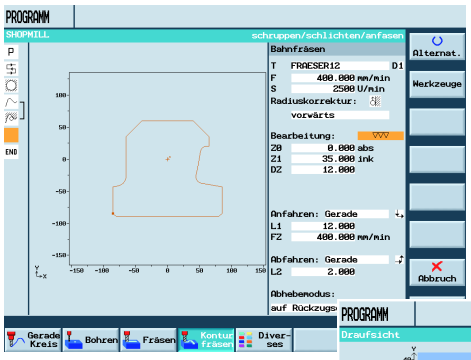
Mit einem 30er-Fräser soll nun entlang der Kontur vorgeschruppt werden.



Der Bearbeitungsschritt wird simuliert.

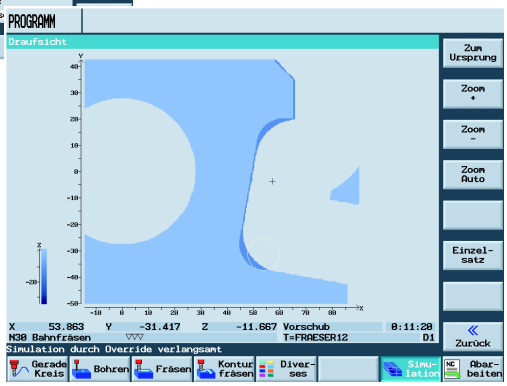


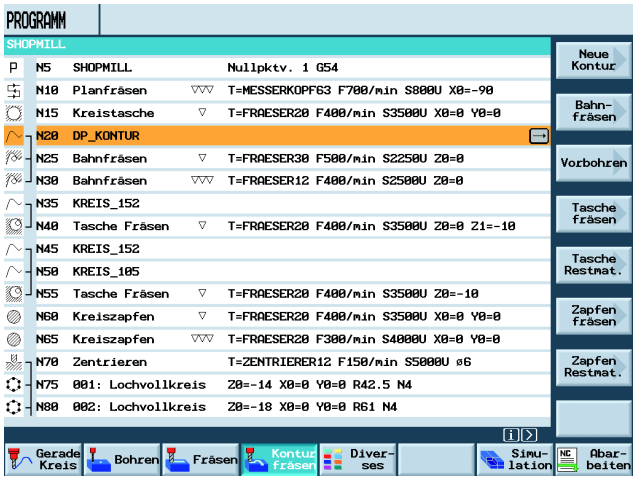
Schlichten entlang einer Kontur



Anschließend wird mit einem 12er-Fräser die Kontur geschlichtet.

Das Bild zeigt den Schlichtvorgang an einer „markanten“ Stelle des Werkstücks in einer vergrößerten Darstellung.

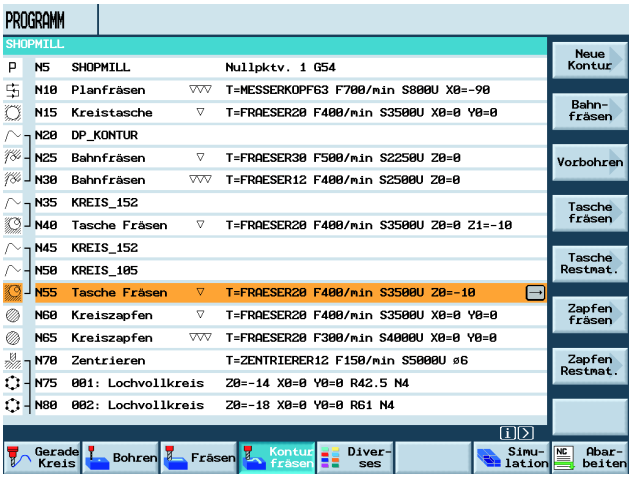




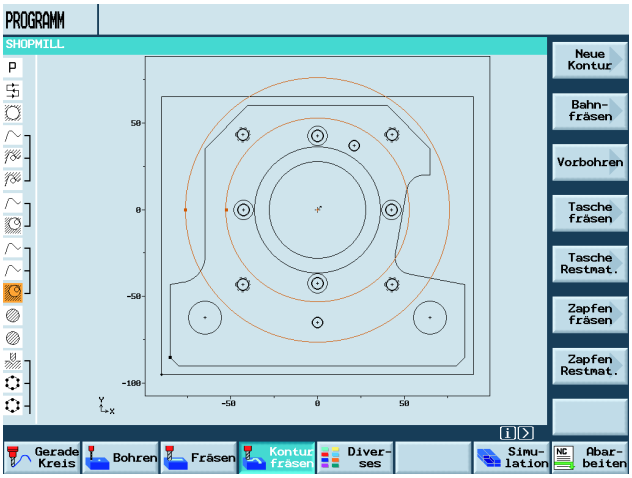
Eine Klammer symbolisiert die Verknüpfung zwischen der Kontur und den Bearbeitungsschritten.

Taschen mit Inseln

Hier ist es einmal andersrum, zwei Konturen verkettet mit einer Bearbeitung. Die erste Kontur beschreibt eine Tasche, die zweite eine Insel innerhalb dieser Tasche.

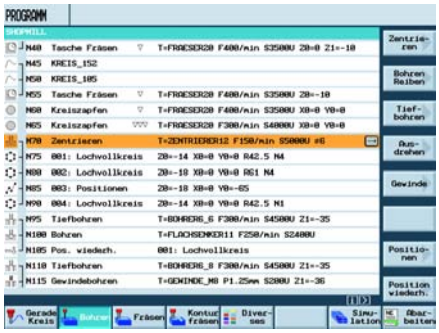


Mit ShopMill können Taschen mit bis zu 12 komplexen Inseln konturparallel ausgeräumt werden - inklusive Erkennen und Ausräumen des Restmaterials, wenn mit einem großen Fräser vorgeschruppt wurde. So sparen Sie Zeit!



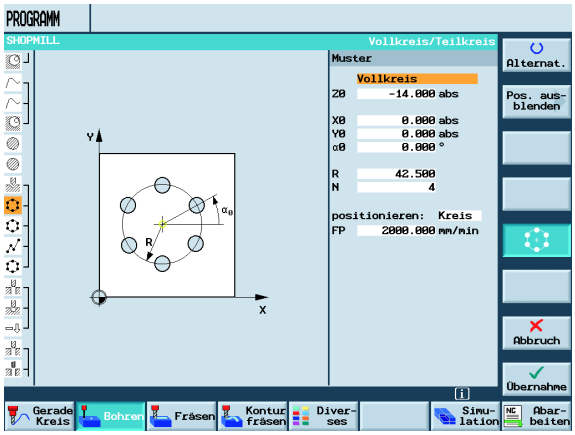
Zwischen der Anzeige der Arbeitsschritte und der Grafik können Sie jederzeit mit einem Klick hin- und herwechseln.

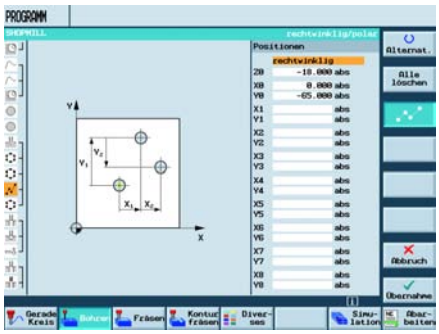
Bohrbilder verketten



Nachdem alle Fräsarbeiten abgeschlossen sind, geht es an die Bohrungen.
Um frühzeitige Werkzeugwechsel zu sparen, werden zunächst alle Bohrbilder und Einzelbohrungen zentriert. In dieser Liste der Bearbeitungsschritte sehen Sie auch hier anschaulich die Verkettung.

Das Bild zeigt die Eingabemaske zur Definition eines Bohrmusters „Kreis“ mit Hilfebild.



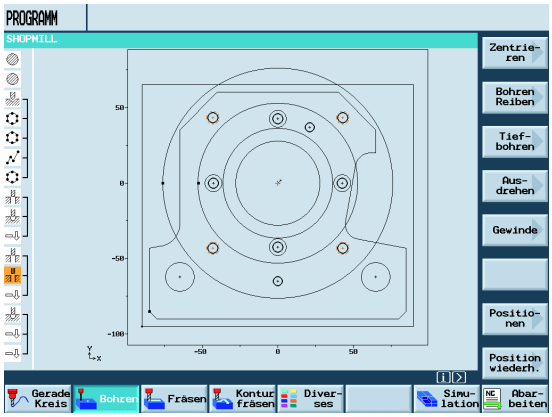


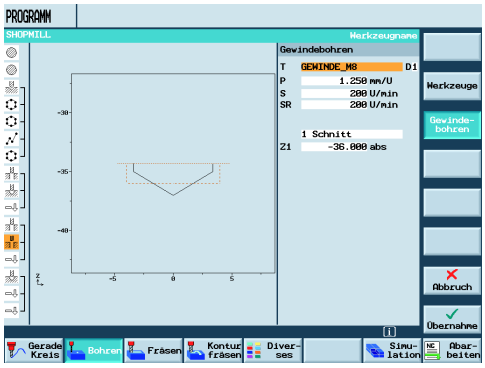
Die Positionen von Bohrungen, Taschen, Nuten ... können Sie schnell und einfach einzeln über diese Maske eingeben.

Bohrbearbeitungen verketten

Ein Positionsmuster kann mit verschiedenen Bearbeitungen verknüpft werden.

Die beiden technologischen Elemente (Bohren und Gewindebohren) können zur optischen Kontrolle der Eingaben nicht nur in der Draufsicht ...



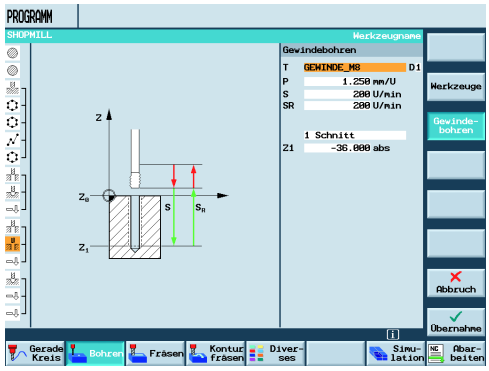


... sondern auch in der Seitenansicht dargestellt werden.

So können Sie unmittelbar sehen, ob Sie die richtigen Bohrdurchmesser und Bohrtiefen angegeben haben.

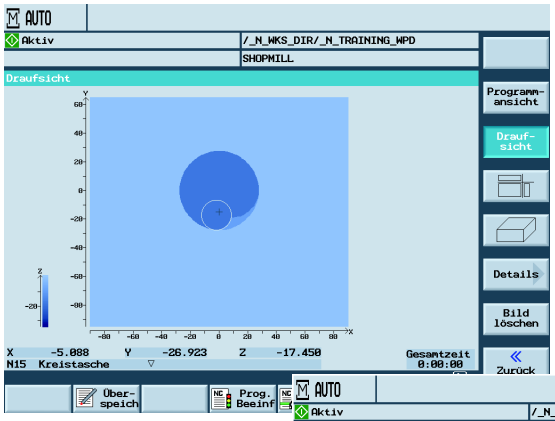
Aller guten Dinge sind drei:

Zusätzlich zur Draufsicht und Seitenansicht gibt es natürlich auch für diese Eingabemaske ein Hilfebild.

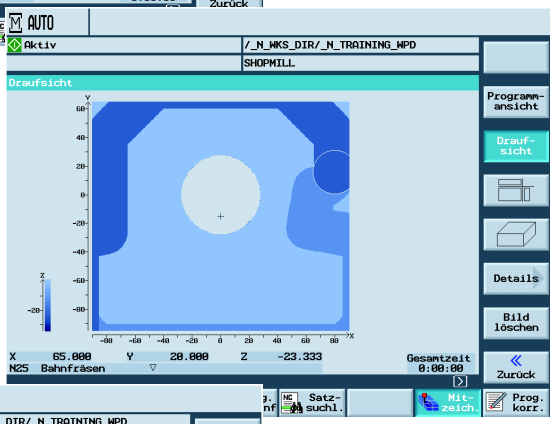


Simulation

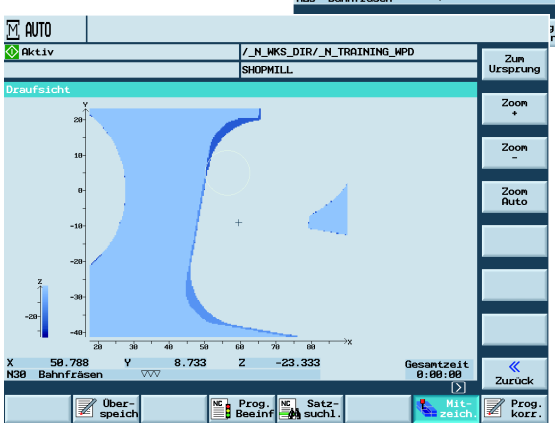
Nach dem letzten Bearbeitungsschritt lassen Sie alles noch einmal zur Kontrolle simulieren:



Zunächst die Kreistasche...



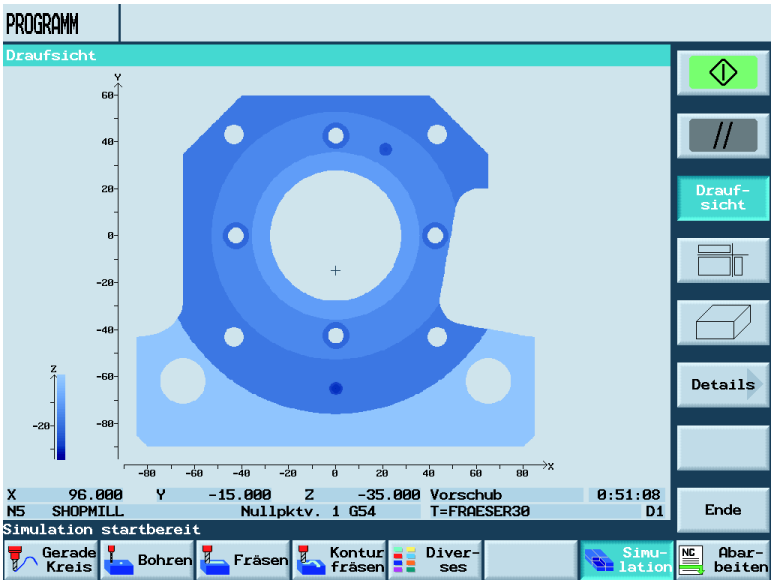
... dann die Außenkontur mit einem 30-er Fräser schruppen...



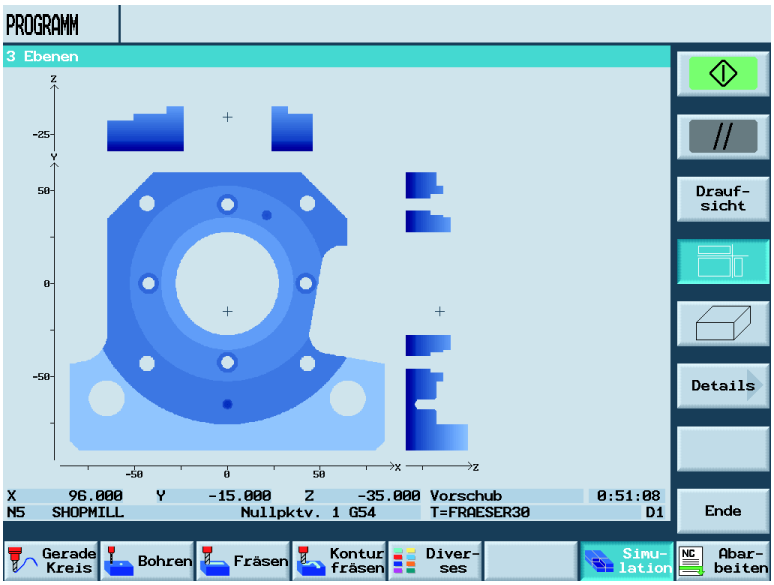
... und dann diese Kontur mit einem 12-er Fräser schlichten usw.

Das fertige Werkstück in 2D

Die Bilder zeigen das Teil am Ende der Bearbeitung in der Draufsicht ...

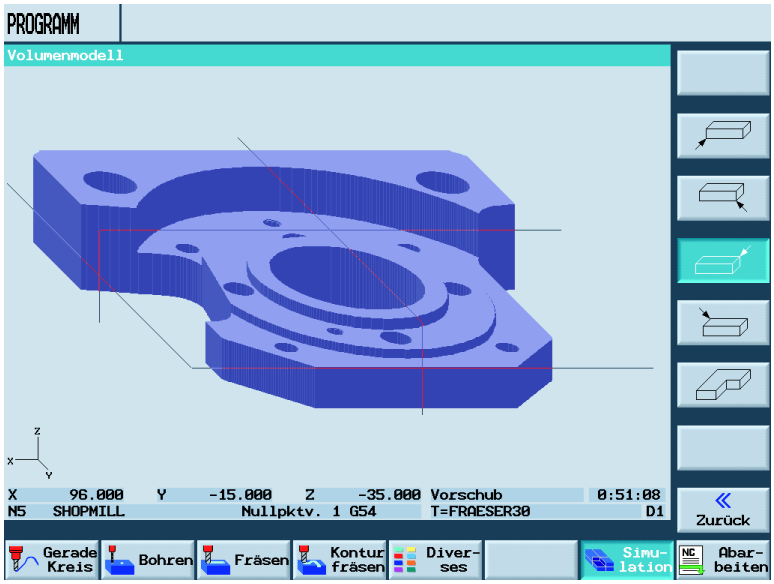


... oder in der Ansicht von drei Seiten.

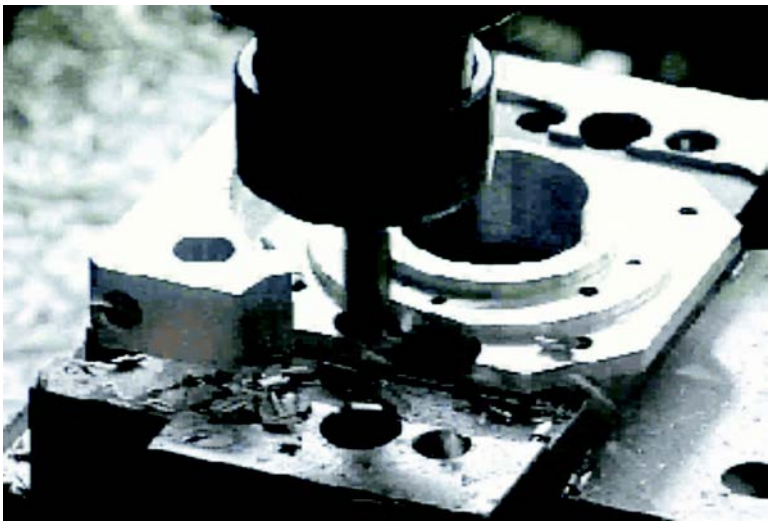


Das fertige Werkstück in 3D

Besonders anschaulich ist das 3D-Bild. Sie können sich das Werkstück dabei von verschiedenen Seiten und im Schnitt betrachten.

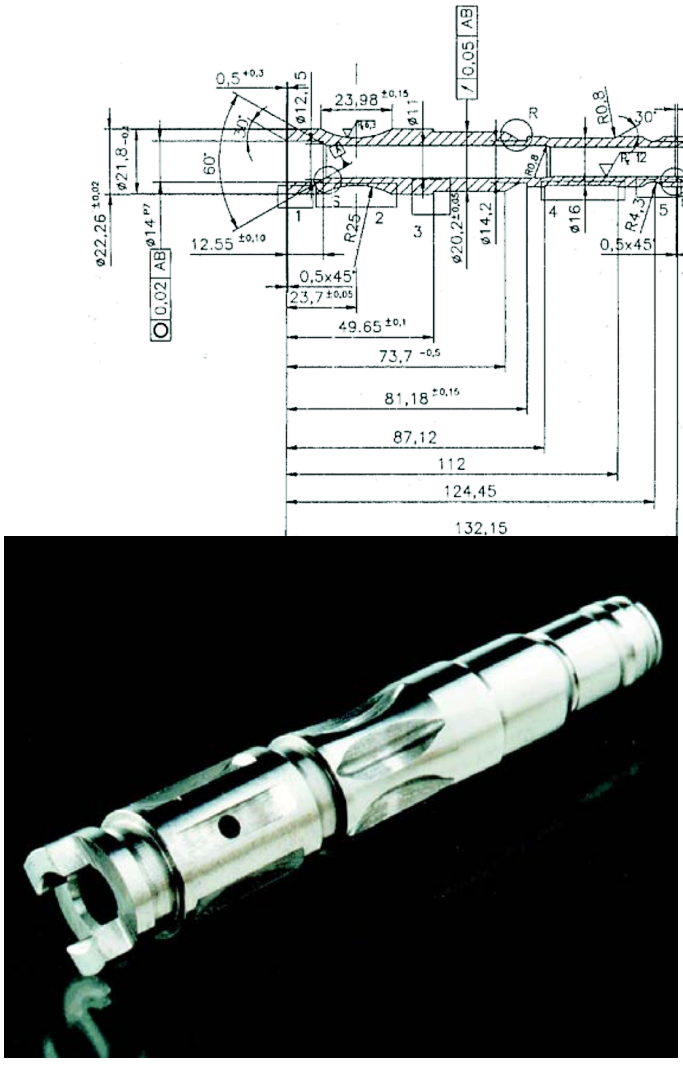


Und wie immer: Nach der Theorie die Praxis!



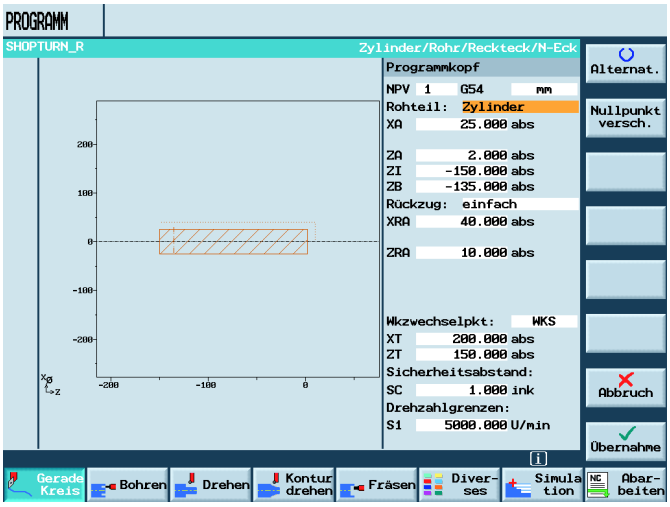
6.2 Drehen mit ShopTurn

Im folgenden sehen Sie anhand eines Drehschiebers aus einer Lenkung, wie Sie mit ShopTurn grafisch unterstützt ohne Programmierkenntnisse schnell von der Zeichnung zum Drehteil kommen.

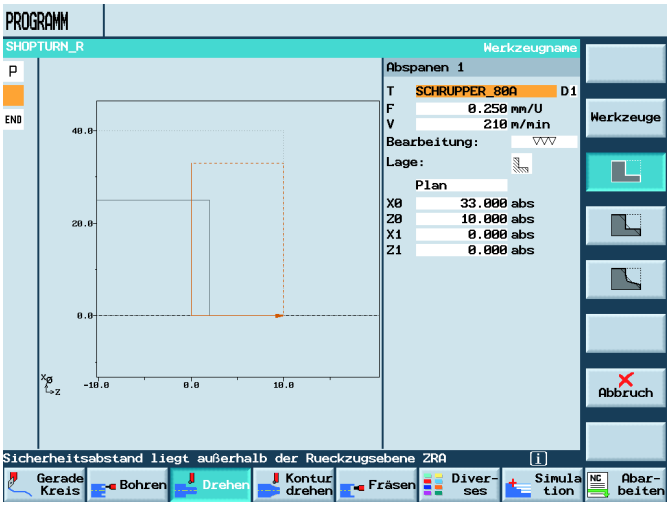


Bevor’s losgeht ...

Im ersten Schritt definieren Sie den Rohteiltyp, die Rohteilabmessungen, die Rückzugsebene und den Werkzeugwechselpunkt. Außerdem können Sie die Drehzahlgrenzen für bis zu drei Spindeln festlegen.

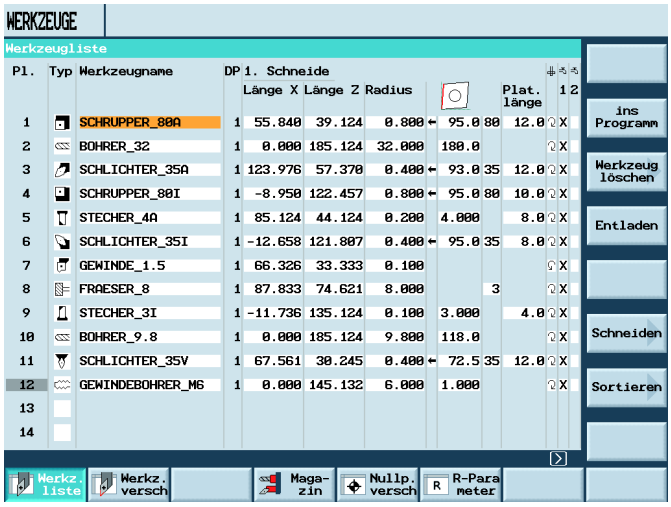


Zuerst soll das Werkstück plangedreht werden. Hier wird bereits ein 80°-Drehwerkzeug für die Planbearbeitung vorgeschlagen ...

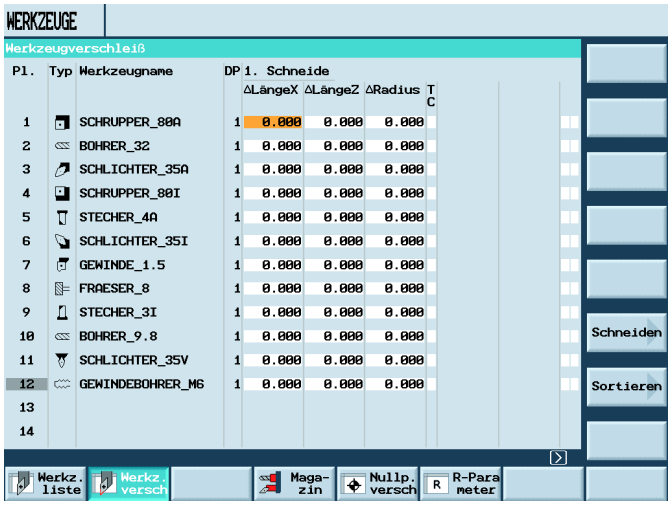


Werkzeugliste

... Sie könnten aber natürlich auch ein anderes Werkzeug aus der Liste wählen. Hinter dem Werkzeugnamen finden Sie alle Geometrie- und Technologiewerte, die Sie brauchen ...

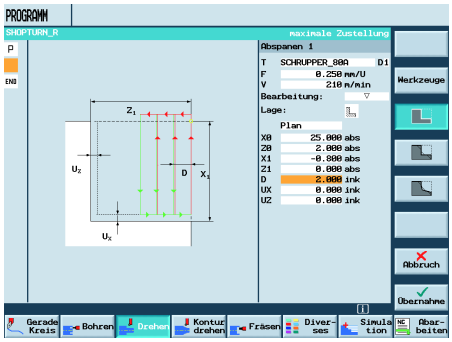


... Selbstverständlich können Sie den Werkzeugverschleiß über Feinkorrekturen kompensieren und die Werkzeugstandzeit sowie die Anzahl der Werkzeugeinsätze überwachen.



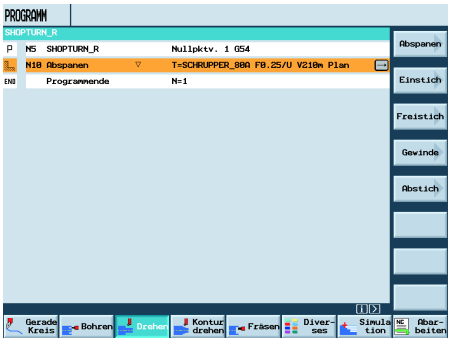
Planen

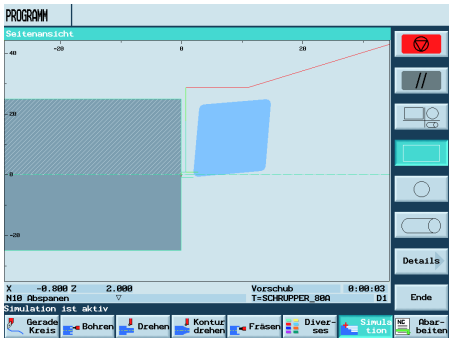
Nachdem das Werkzeug ausgesucht wurde, sind nun die Technologie- und Geometriedaten einzugeben. Dabei gibt es zu jedem Bild bei Bedarf ein anschauliches Hilfebild.



Es ist keine Codierung oder Programmierung notwendig. So können Sie fast ohne Lernzeit in ShopTurn einsteigen.

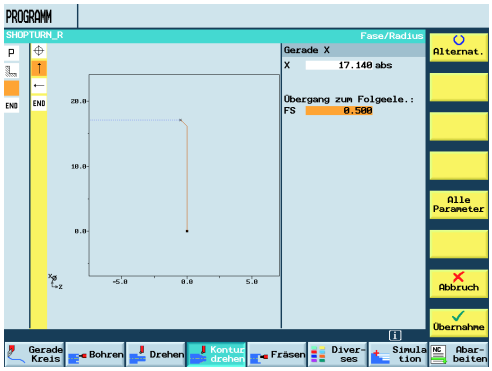
Der erste Bearbeitungsschritt wurde inzwischen in die Arbeitsschritt-Liste übernommen. Ein Piktogramm symbolisiert das Abspanen mit den Daten zum Plandrehen. Die wichtigsten Technologiedaten des Arbeitsschrittes haben Sie daneben immer kompakt und übersichtlich im Blick.





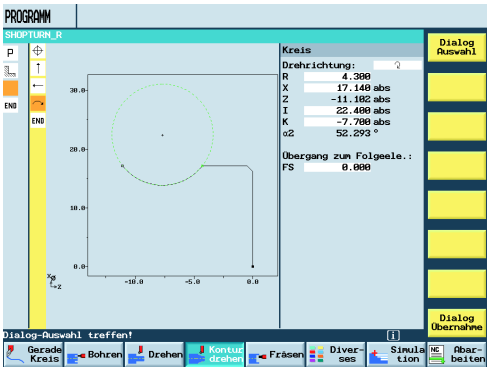
Anhand der Simulationsgrafik können Sie Ihre Eingaben überprüfen. Hier können Sie auch die Gesamtzeit der Fertigung ablesen.

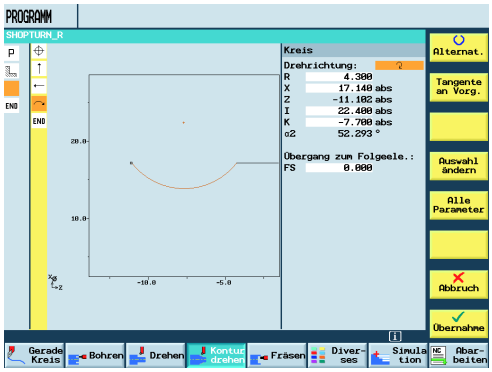
Komplexe Konturen erstellen



Sie meinen, mit der komplexen Außenkontur wird es aber etwas komplizierter? Weit gefehlt! Ist eine Zeichnung nicht NC-gerecht bemaßt, greift Ihnen der Konturrechner von ShopTurn unter die Arme. Verrundungen und Fasen sind gar kein Problem. Sie sind einfach an das vorhergehende Element "angehängt".

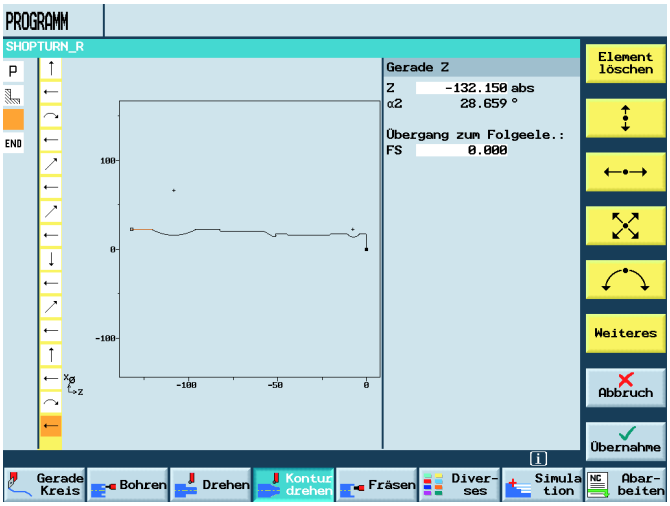
Wenn die Bemaßung Ihrer Zeichnung verschiedene geometrische Lösungen zulässt, ..





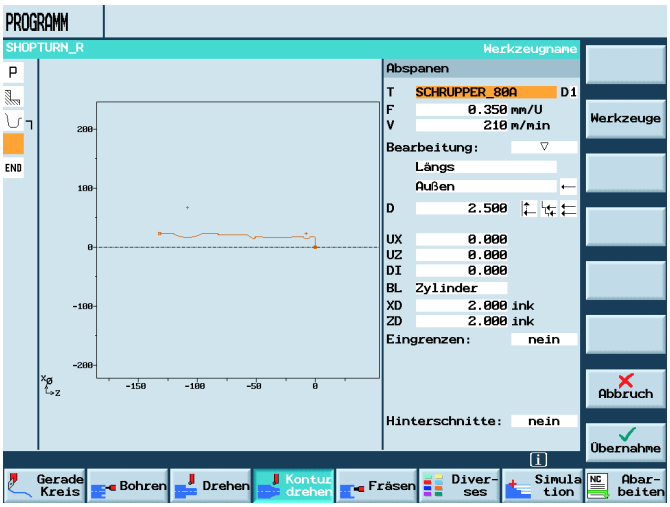
... suchen Sie sich einfach grafisch die richtige Lösung aus.

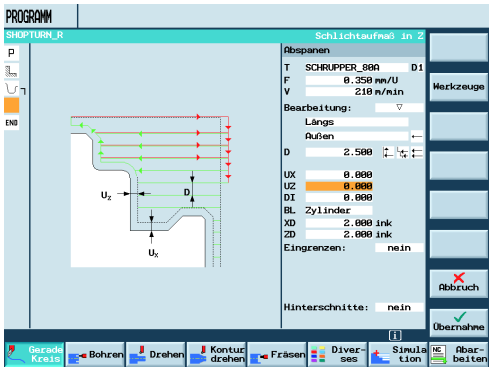
So sind auch komplexe Geometrien über anschauliche Symbole und verständliche Eingaben schnell fertiggestellt.



Abspanen gegen die Kontur

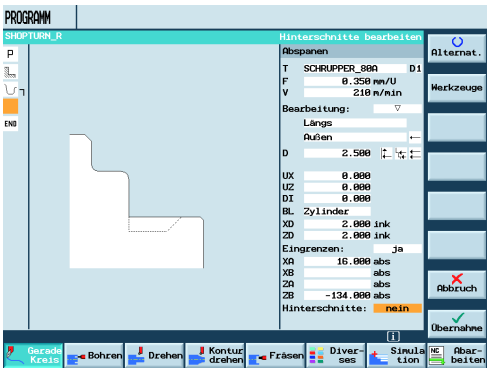
Mit dem 80°-Drehwerkzeug soll nun gegen die Kontur geschruppt werden.

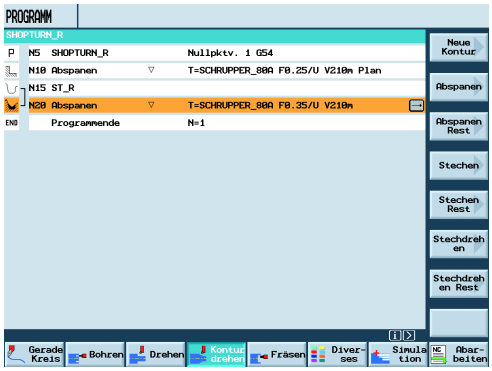




Weil die Kontur nicht geschlichtet werden soll, wird hier das Schlichtaufmaß auf Null gesetzt.

Da die abfallenden Konturen mit dem 80°-Drehwerkzeug nicht bearbeitet werden können, wird das Feld Hinterschnitte auf nein gesetzt.

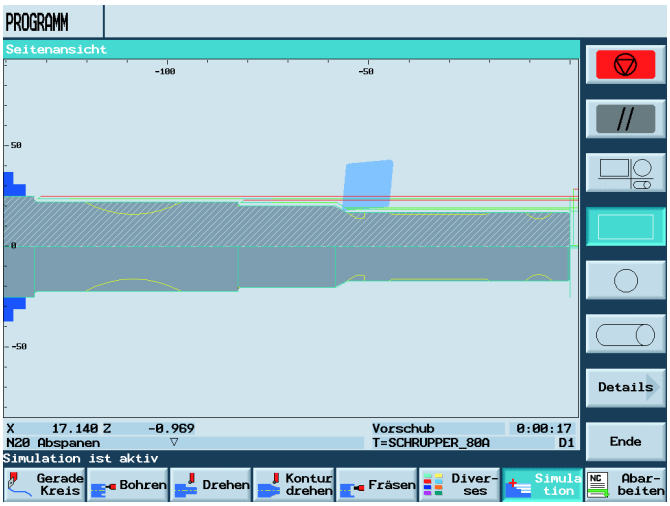




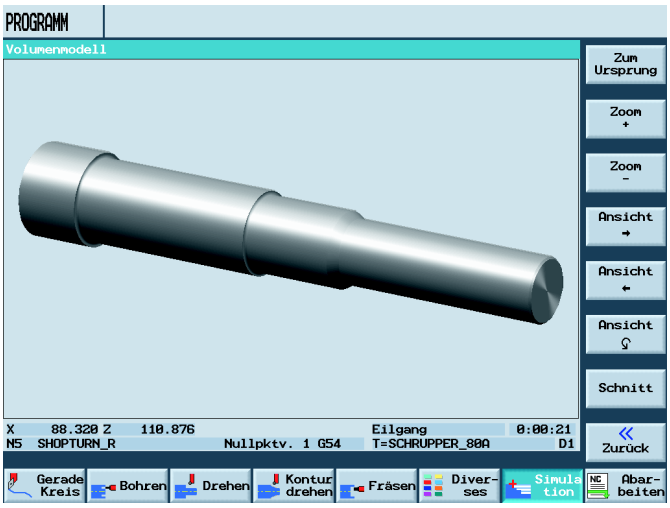
Eine Klammer symbolisiert die Verknüpfung zwischen der in Zeile N15 eingegebenen Kontur und dem Bearbeitungsschritt.

Simulation

Wie immer zeigt Ihnen die Simulation das Ergebnis Ihrer Eingaben ...

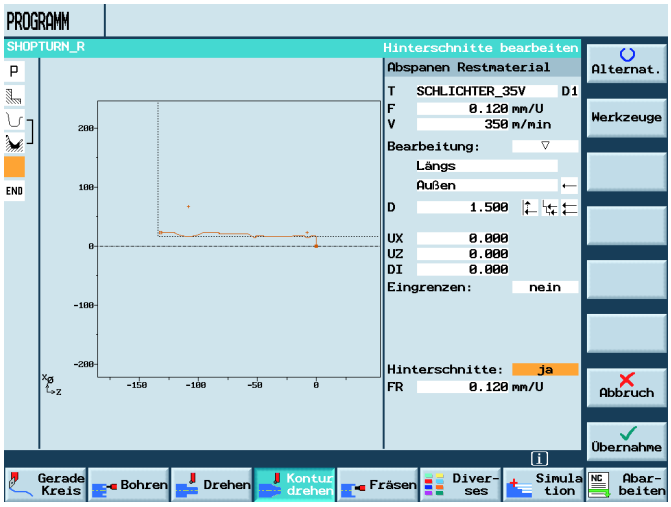


... und in der 3D-Ansicht können Sie den aktuellen Werkstück-Zustand anschaulich betrachten.

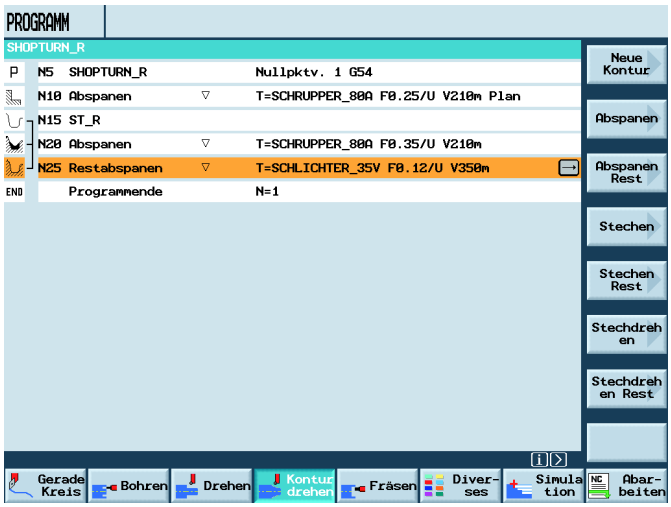


Bearbeiten der Restmengen

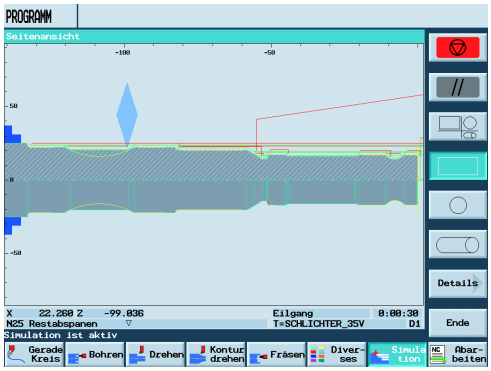
Jetzt sollen noch die abfallenden Konturen mit dem 35°-V-Meißel ausgearbeitet werden, weil nur dieses Werkzeug alle Restmengen zerspanen kann.



Auch dieser Arbeitsschritt wird automatisch mit der in Zeile N15 eingegebenen Kontur verbunden.

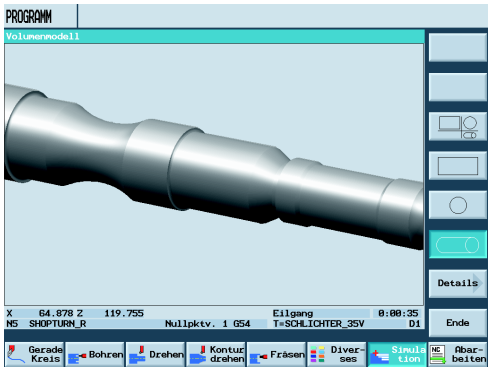


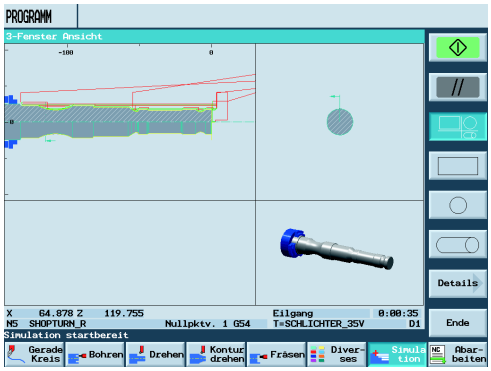
Verschiedene Werkstück-Ansichten



Und immer wieder zur Sicherheit die Simulation ...

.... mit anschließendem 3D-Bild zur Kontrolle.

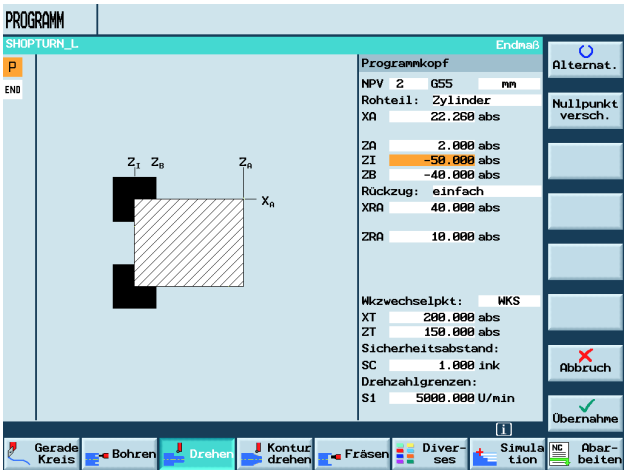




In der ebenfalls verfügbaren 3-Fenster-Ansicht bekommen Sie noch einmal einen gesamten Überblick über Ihre Fertigungssituation.

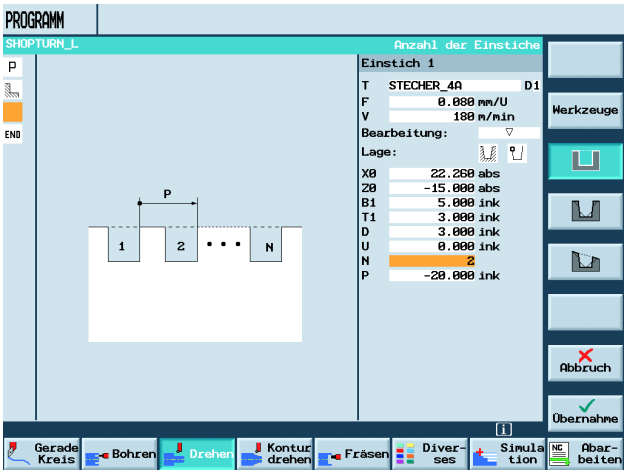
Umspannen

Auf der linken Seite des Werkstückes müssen außer einer Bohrung und den Einstichen auch noch zwei Zapfen angefräst werden. Deshalb wird ein neuer Arbeitsplan mit einem kurzen Rohteil angelegt.

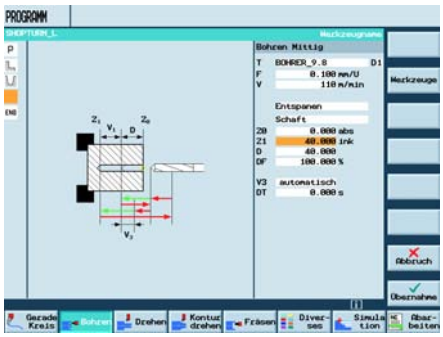


Erstellen der Einstiche

Wenn Sie mehrere gleichartige Einstiche anlegen wollen, kein Problem! Geben Sie einfach die Anzahl der Einstiche und den Abstand dazwischen ein, den Rest erledigt ShopTurn für Sie.

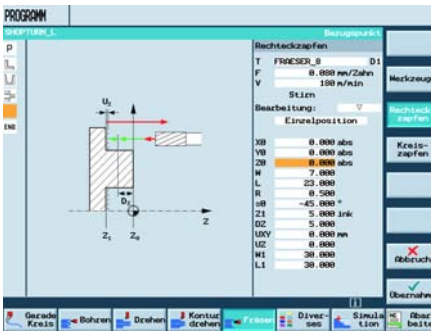


Bohren



Auch beim Bohren wird zu jedem Eingabefeld neben einem Hilfebild oben rechts ein Hilfetext anezeigt.

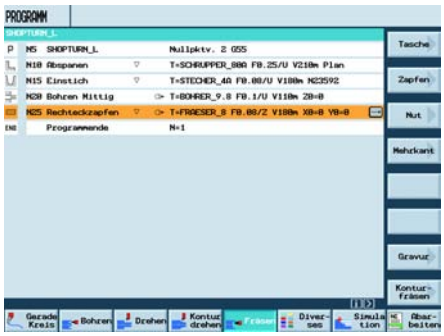
Fräsen auf der Drehmaschine



Keine Angst vor dem Fräsen auf einer Drehmaschine!

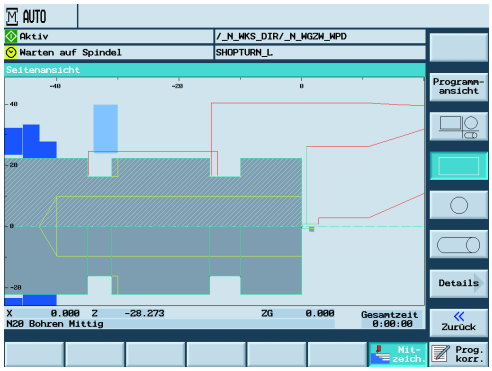
Mit ShopTurn geht auch dieses ganz einfach und unkompliziert. Abgeleitet von ShopMill steht Ihnen neben dem hier gezeigten einfachen Rechteckzapfen auch die Möglichkeit zur Bearbeitung komplexer Taschen und Inseln zur Verfügung. Und das sowohl auf Stirn- als auch auf Mantelflächen!

Der Arbeitsplan mit Komplettbearbeitung

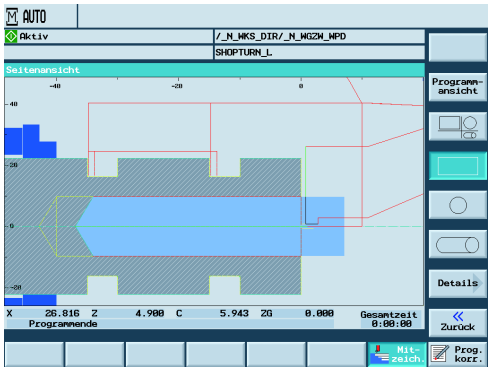


Dies ist der Arbeitsplan ...

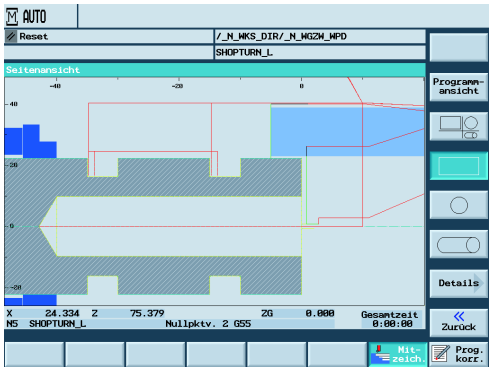
... mit den Einstichen ...



... und der Bohrung ...

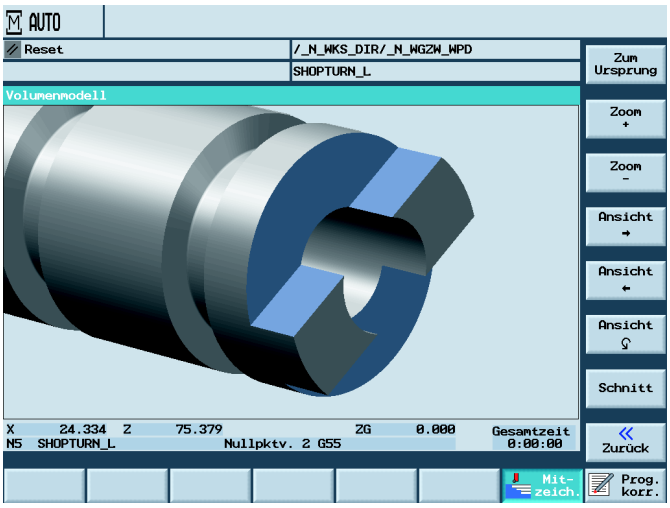


... und mit dem Fräsen auf der Stirnfläche!

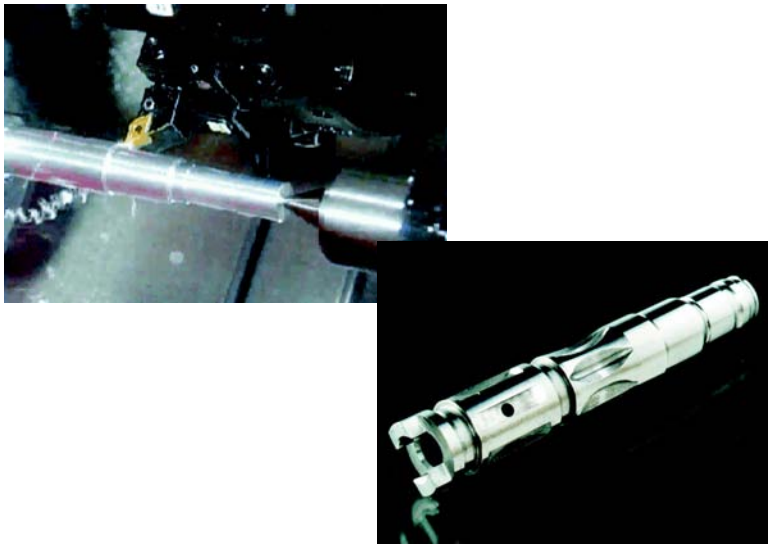


Der selbst für komplexe Werkstücke einfach zu erstellende Arbeitsplan in Kombination mit solch anschaulichen 3D-Grafiken ermöglicht es Ihnen, sogar die Komplett-bearbeitung leicht und schnell in Ihre Fertigung zu integrieren.

Und schon fliegen die Späne!



Nach der Theorie folgt wie immer die Praxis ...

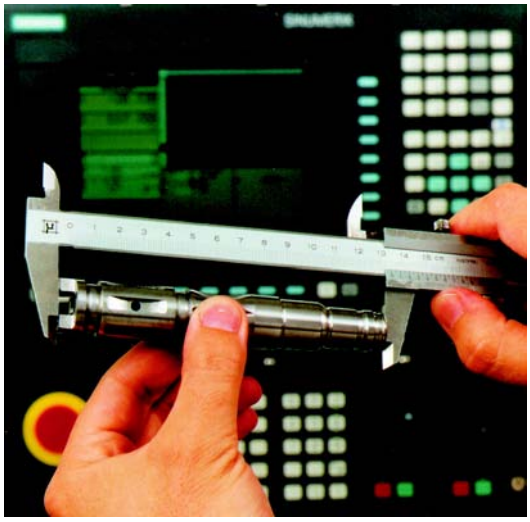


... die mit ShopTurn zum Vergnügen wird!

6.3 Qualität im Detail ergibt Funktion im Ganzen

Trotz modernster Fertigungstechnik können z.B. durch abgenutzte Werkzeuge, Schwingungen etc. Maßfehler am Werkstück entstehen.

Der Mensch muss (zumindest stichprobenhaft) kontrollieren, ob das Werkstück den Zeichnungsvorgaben entspricht.



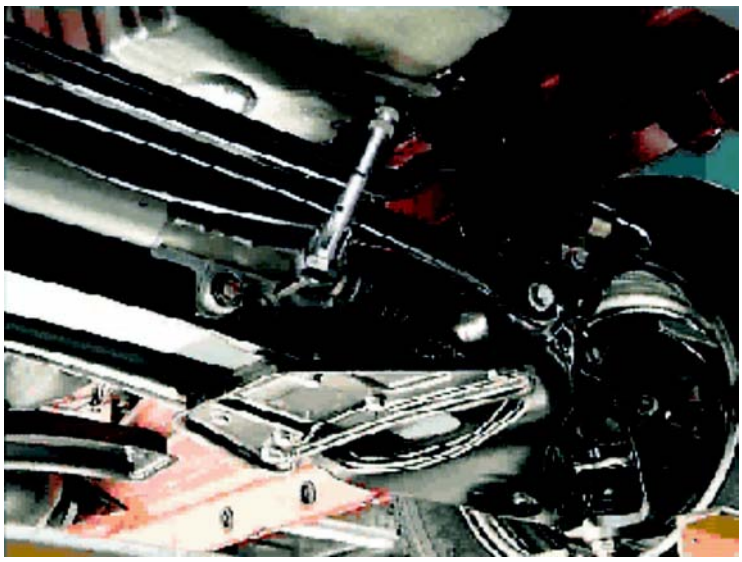
Messen

der Gesamtlänge von 132,15 mm des Werkstückes mit einem **Messschieber**

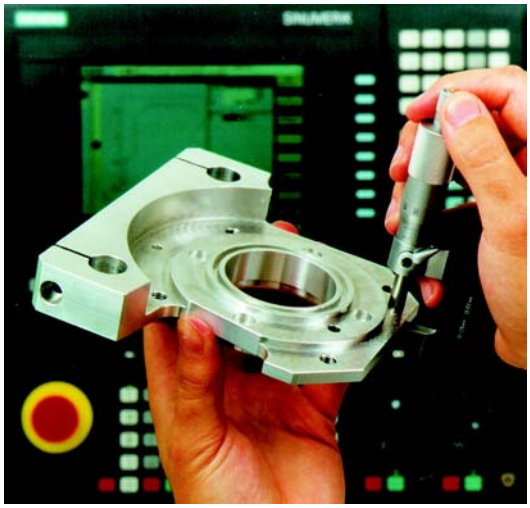
Prüfen

des Durchmessers $20{,}2^{\,G0{,}03}$ mm mit einer **Grenzrachenlehre**

In einer Fotomontage ist der Drehschieber in seiner Einbaulage innerhalb der Lenkungseinheit zu sehen.



Für diesen Transporter wird die oben gezeigte Lenkung verwendet.



Messen

der Plattendicke mit einer
Bügelmessschraube

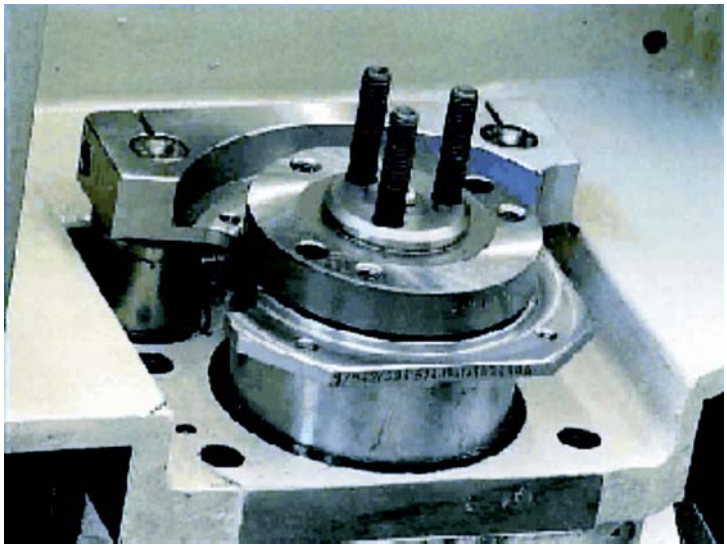
Beim **Messen** wird ein konkretes Maß ermittelt. Die Messgenauigkeit hängt vom Messgerät ab (Messschieber, Bügelmessschraube, ...).

Prüfen

der Bohrung mit einem
Grenzlehrdorn

Beim **Prüfen** wird kein konkretes Maß ermittelt. Es wird festgestellt, ob das Werkstück an der geprüften Stelle "GUT" oder "AUSSCHUSS" ist.

Eingebaute Dichtplatte auf dem Antriebsmotor der Schleifscheibe



Gesamtansicht der Werkzeug-Schleifmaschine mit Blick auf den Antriebsmotor

Sachwortverzeichnis

A

Absolute Bamaßung 26
Achsantrieb 18
Achsen 18
Arbeitsplan 57, 72
Arbeitsschritt-Liste 53
Außen-Bogen 28

B

Baugruppen 13
Befehle 20
Bezugspunkte 23
Bogen 28
Bohrbilder verketten 59
Bohren 60, 75
Bohrmaschine 12

C

CBN 36
CNC-Bahnsteuerung 17
CNC-Drehmaschinen 15
CNC-Fräsmaschinen 15
Cobalt 37

D

Dampfmaschine 12
DIN 66025 . . . . . 21, 26, 27, 28
Drehbearbeitung 40
Drehsinn 28
Drehteil 25, 26, 27
Drehwerkzeug 34
Drehzahl 42, 43
Dynamo-Maschine 19

E

Eilgang 24
Einstiche 74
Einzelantriebe 13
Elektronenröhren 16
Erfahrungswissen 11

F

F-Adresse 21, 47
Fase 26, 32
Flachbett-Maschine 22, 28
Fräsbearbeitung 41
Fräserradiuskorrektur 35
Frästeil 25, 26, 27
Fräswerkzeug 34

G

G0 24
G1 . . . . . 26, 27
G2, G3 28
G40, G41, G42 35
G90, G91 26
G96 49
Geraden 26, 27
Geschwindigkeit 19
Grafische Programmierung 32, 33, 55, 68

H

Halbleiterspeicher 16
Hartmetall 36, 37
Hauptantrieb 18, 19
Hilfsgrafiken 53
HSS 36

I

Inkrementale Bemaßung 26
Inkrementales-Wertmesssystem 23
Innen-Bogen 28
Innendrehen 40
Inseln 58

K

Klemmhalter 39
Komplettbearbeitung 75
Komplexe Konturen 55, 68
Kontur 25
Konturfräsen 40
Konventionelle Maschinen 14
Kreisendpunkt 29
Kreismittelpunkt 29
Kreistasche 54
Kreuzsupport 12
Kugelgewindetrieb 18
Kühlschiermittel 49

L

Längsschruppen 40
Linearmotor 19
Lochstreifen 20

M

M3 21
M30 21
Maschinen-Nullpunkt 23
Maßabweichung 34
Maßbezugspunkt 23
Maße 10
Maudsley, Henry 12
Messsystem 18
Mikroprozessor 16
MIT 16
Motoren 19

N

NC-Programm 11, 19, 30
Nurbs-Interpolation 17
Nutenfräsen 41

O

Oberflächengüte 10, 47

P

PKD 36
Plandrehen 40, 65, 67
Planstechen 40
Produktivität 13
Programmieroberfläche 17
Punkt- und Streckensteuerung 16
Pythagoras 30

R

Referenzpunkt 23
Regelkreis 18
Relaistechnik 16
Restmengen 72
Rohteilabmessungen 51, 65
Rundung 32, 33

S

S-Adresse 21, 42
Schlichtaufmaß 70
Schlichten 41, 57
Schneide 34
Schneidenradiuskompensation 35
Schneidkante 39
Schneidstoffe 36
Schnittgeschwindigkeit 37, 46, 47
Schnittgeschwindigkeit, konstante . 48, 49
Schrägbrett-Maschine 22, 28
Schruppen 40, 41, 56
ShopMill 17, 33

ShopTurn 17, 32, 64
Siemens, Werner von 19
Simulation 61, 71
Sinterwerkstoffe 36
SINUMERIK 16, 17
Spracheingabe 20

T

Tabellenbuch 39
T-Adresse 21
Tangens-Funktion 26
Technische Zeichnung 10
Titan-Karbide 37
Transmissionsriemen 13
Trigonometrische Funktionen 26, 27

U

Umdrehung 43
Umfangsgeschwindigkeit 44, 45
Umspannen 74

V

Vorschub 47
Vorschubmotor 19

W

Watt, James 12
Wendeplatten 37, 39
Werkstatt-Programmierung 16
Werkstück-Ansichten 73
Werkstück-Nullpunkt 23
Werkzeuge 36, 37
Werkzeughersteller 37
Werkzeugliste 52, 66
Werkzeugmaschinen 12, 13, 14
Werkzeugstähle 36
Werkzeugwege 34, 35
Wiederholgenauigkeit 8
Wippendrehbank 12
Wolfram-Karbide 37

Z

Zugspindeldrehbank 12

Bildnachweis

Wir danken den unten angegebenen Firmen und Institutionen für die Zurverfügungstellung der Fotos auf den Seiten ...

Boehringer, Göppingen 15

Bridgeport, Weiterstadt 15

Deutsches Museum, München 12, 13, 14

Deutsches Werkzeugmuseum/Historisches Zentrum, Remscheid 12, 13, 14

DMG, Bielefeld 15

Hanser-Verlag, München 9

Hochschuldidaktisches Zentrum der RWTH Aachen 10

Index, Esslingen 15

Iscar, Ettlingen 36, 38, 39, 40, 41

Klingelnberg, Hückeswagen 10, 11

Konradin-Verlag / INDUSTRIE Anzeiger, Leinfelden-Echterdingen . . . 19

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen 7, 20

Mercedes-Benz Lenkungen GmbH, Düsseldorf 10, 11

NC-Verlag, Hannover 9

Sandvik, Düsseldorf 36, 38, 39, 40, 41

Seco, Düsseldorf 36, 38, 39, 40, 41

Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten 39