

HANSER



Leseprobe

zu

Die CNC-Programmierung im Kontext der Digitalisierung

von Karl-Heinz Engels, Eric Engels

Print-ISBN: 978-3-446-46739-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-47005-7

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446467392>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die klassische G-Code-Programmierung ist immer noch die Grundlage der modernen CNC-Programmierung. Vielleicht heute mehr denn je.

Die schon längst totgesagte Form der CNC-Programmierung erlebt über die Prozesskette CAD – CAM – VR bis zur Maschine eine Neuauflage. Mit den neuen digitalen Möglichkeiten ändern sich auch die Möglichkeiten, CNC-Programme zu erstellen und zu visualisieren.

Dieses Buch wendet sich an Ausbilder, Auszubildende und alle CNC-Interessierten. Es nimmt Sie mit auf eine „etwas andere“ Reise in die Programmierwelt von CNC-Maschinen, unter besonderer Berücksichtigung neuer Technologien.

Die Autoren zeigen, wie spannend dieses Thema jetzt und in Zukunft ist und welche Wege uns hier durch die Digitalisierung eröffnet werden.

Nein, das Programmieren ist nicht ein langweiliges Aneinanderreihen von Codes.

Ja, um Werkzeugmaschinen zu Programmieren muss eine neue Sprache erlernt werden.

Die Sprache der CNC-Maschinen.

Diese „alte Sprache“ eröffnet dem, der Sie kennt, in der digitalen Welt neue Möglichkeiten.

Lassen Sie sich überraschen!

Karl-Heinz Engels

Eric Engels

Die Autoren

■ Karl-Heinz Engels

- Ausbildung zum Feinmechaniker
- Abschluss als staatlich geprüfter Maschinenbau-techniker
- Seit 20 Jahren bei der Siemens AG im Technologie-center

Aufgaben:

Erstellen von Schulungsunterlagen für die SINUMERIK, die CNC-Steuerung von Siemens.

Entwicklung und Umsetzung neuer Trainingsformen für den Bereich Bedienen und Programmieren. Ein Beispiel: Cloudbasierte Trainings mit Einbindung von digitalen Zwillingen.

Mitarbeit bei einem Team zur Entwicklung neuer Software rund um die SINUMERIK.



■ Eric Engels

- Ausbildung zum Werkzeugmechaniker Fachrichtung Formentechnik
- Aktuell in der Weiterbildung zum Handwerks-meister für Feinwerktechnik

Aufgaben:

Beruflich in der Planung/Umsetzung im Bereich Prototypen- und Sondermaschinenbau für Medizin und Luft- und Raumfahrttechnik tätig.



Inhalt

Vorwort	v
Die Autoren	vii
1 Was ist eine CNC-Maschine?	1
1.1 Das Koordinatensystem	6
1.2 Fragen zum Kapitel	8
2 Die Sprache der Maschine, Grundlagen	9
2.1 Der G-Code aus DIN 66035/ISO 6983	9
2.2 Der Werkstück-Nullpunkt	11
2.3 Aufbau eines CNC-Programms	16
2.3.1 Der Programmkopf	20
2.3.1.1 Die Arbeitsebene	22
2.3.1.2 Das Maßsystem	23
2.3.1.3 Maßangaben absolut oder inkrementell	24
2.3.2 Fahrbefehle und Werkzeugaufruf	26
2.3.2.1 Der Werkzeugaufruf	27
2.3.2.2 Die Technologiedaten für das Werkzeug	30
2.3.2.3 Der Eilgang	31
2.3.2.4 Linear Verfahren mit Vorschub	32
2.3.2.5 Verfahren im Kreisbogen mit Vorschub	34
2.3.2.6 Die Werkzeug-Radiuskorrektur	36
2.3.3 Das Programmende	38
2.4 Fragen zum Kapitel	39

3 Nullpunkte und Frames	41
3.1 Einleitung	41
3.2 Wie erstelle ich ein Programm mit der SINUMERIK	44
3.3 Erweitertes Wissen über das Koordinatensystem und die Frames	48
3.3.1 Der Basisbezug	50
3.3.2 Die Feinverschiebung	52
3.3.3 Die programmierbaren Verschiebungen/Frames	54
3.3.4 Unterdrücken von Frames	63
3.3.5 Übung zum Thema programmierbare Transformationen	65
3.4 Fragen zum Kapitel	70
4 Einführung in die flexible Programmierung	71
4.1 Die lineare CNC-Programmierung	71
4.2 Die flexible Programmierung	72
4.3 Flexibel programmieren mit Unterprogrammen	76
4.4 Flexibel programmieren mit Variablen	82
4.4.1 R-Parameter/R-Variablen	82
4.4.2 Anwendervariablen und Systemvariablen	87
4.5 Die flexible Programmierung und der digitale Zwilling	97
4.6 Fragen zum Kapitel	99
5 Die 5-Achs-Programmierung im Kontext der Digitalisierung ..	101
5.1 Was genau versteht man unter einer 5-Achs-Programmierung?	101
5.1.1 Die 3+2-Achsenbearbeitung	101
5.1.2 Der Zyklus für die 5-Achs-Positionierung	104
5.1.3 Die 5-Achs-Simultanbearbeitung	106
5.1.4 Die maschinenunabhängige Programmierung	111
5.1.4.1 Die Richtungsvektoren	112
5.1.4.2 Beispielprogramm mit Richtungsvektoren	113
5.1.4.3 Eine weitere Möglichkeit der 5-Achs-Programmierung ..	120
5.1.4.4 Weitere Befehle zur Optimierung eines 5-Achs-Programms	121
5.1.4.5 Freiformflächen	125

5.2	Vom Modell zur Bearbeitung	126
5.2.1	Das Erstellen eines Modells im CAD	126
5.2.2	Die Bearbeitung im CAM erstellen	127
5.2.3	Der Postprozessor	128
5.2.4	Der digitale Zwilling	130
5.3	Fragen zum Kapitel	133
6	Ergänzende Übungen	135
6.1	Aufgabe: G-Code nach DIN 66025/ISO 6983	135
6.2	Aufgabe: Hochsprache mit falschem Werkzeugtyp	141
6.3	Aufgabe: 3+2-Programmierung (2½ D-Bearbeitung)	148
6.4	Aufgabe: 5-Achs-Simultanprogrammierung mit Vektoren	163
Index	169

1

Was ist eine CNC-Maschine?

In diesem Buch sprechen wir über Werkzeugmaschinen, genauer gesagt über CNC-Maschinen (Computerized Numerical Control). Grundsätzlich betrachtet sind CNC-Maschinen Werkzeugmaschinen mit einer Steuerung, über die sie bedient, programmiert und verfahren werden. Es ist ein Zusammenspiel zwischen Mechanik, Elektrik, Elektronik und Software.

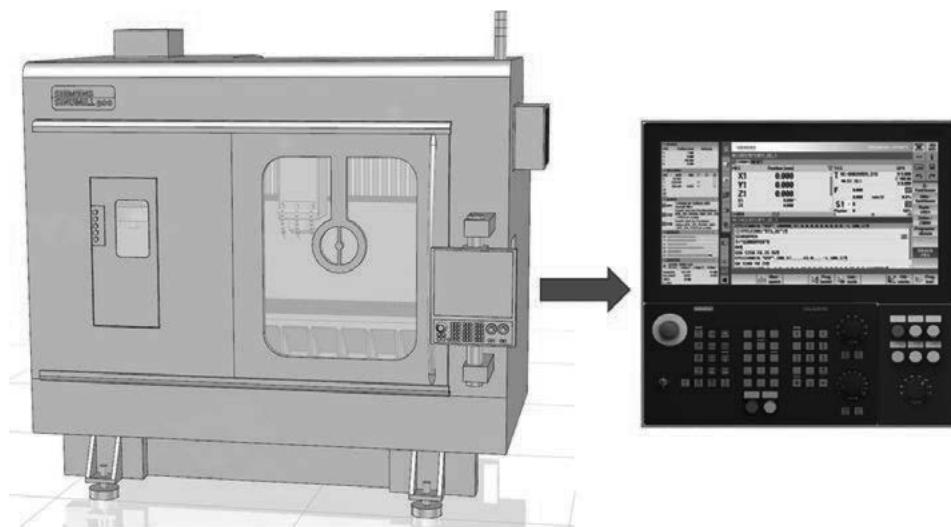


Bild 1.1 Das Modell einer CNC-3-Achs-Fräsmaschine mit einer SINUMERIK-Steuerung von Siemens

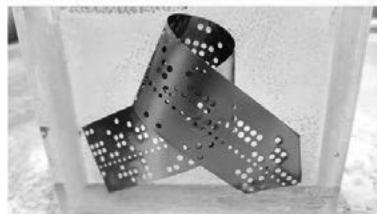
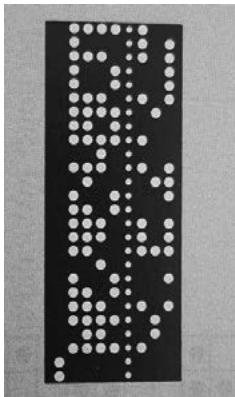
Dieses Zusammenspiel ermöglicht eine hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit beim Abarbeiten von CNC-Programmen.

Da in diesem Buch die Programmierung einer solchen Werkzeugmaschine im Vordergrund steht, wird auf die Mechanik und Elektronik nicht eingegangen. Wir verweisen hier auf das CNC-Handbuch vom Hanser Verlag.

Gerne wird für die *CNC-Maschine* auch der Begriff *NC-Werkzeugmaschine* oder einfach NC-Maschine verwendet. Dies ist nicht korrekt, da der Begriff *NC für Numerical Control steht*; also ohne Computer.

NC-Werkzeugmaschinen sind die Vorgänger der heutigen CNC-Maschinen.

Der Unterschied: Die „Numerischen Maschinen“ erhielten ihre Befehle über Lochstreifen, welche binär verarbeitet wurden. Die Maschinenbefehle konnten somit abgebildet und das Programm erstellt werden.



Ziffern	Lochkombinationen
0	11111111
1	11111100
2	11111010
3	11111001
4	11110111
5	11110110
6	11110101
7	11110100
8	11101111
9	11101110
.	11101101
,	11101100
+	11101011
-	11101010
*	11101001
/	11101000
G01	00000000
G02	00000001
G03	00000010
G17	00000011
G18	00000100
G19	00000101
G21	00000110
G28	00000111
G36	00001000
G37	00001001
G38	00001010
G39	00001011
G40	00001100
G41	00001101
G42	00001110
G43	00001111
G44	00010000
G45	00010001
G46	00010010
G47	00010011
G48	00010100
G49	00010101
G50	00010110
G51	00010111
G52	00011000
G53	00011001
G54	00011010
G55	00011011
G56	00011100
G57	00011101
G58	00011110
G59	00011111
G60	00100000
G61	00100001
G62	00100010
G63	00100011
G64	00100100
G65	00100101
G66	00100110
G67	00100111
G68	00101000
G69	00101001
G70	00101010
G71	00101011
G72	00101100
G73	00101101
G74	00101110
G75	00101111
G76	00110000
G77	00110001
G78	00110010
G79	00110011
G80	00110100
G81	00110101
G82	00110110
G83	00110111
G84	00111000
G85	00111001
G86	00111010
G87	00111011
G88	00111100
G89	00111101
G90	00111110
G91	00111111

Bild 1.2 Lochstreifen von NC-Maschinen mit einer Code-Tabelle

Das Programmieren eines Lochstreifens erfolgte über eine spezielle Schreibmaschine. Bei kleineren Korrekturen von Programmen, wurden diese mühsam mittels spezieller Klebestreifen und einem Handlocher eingefügt.

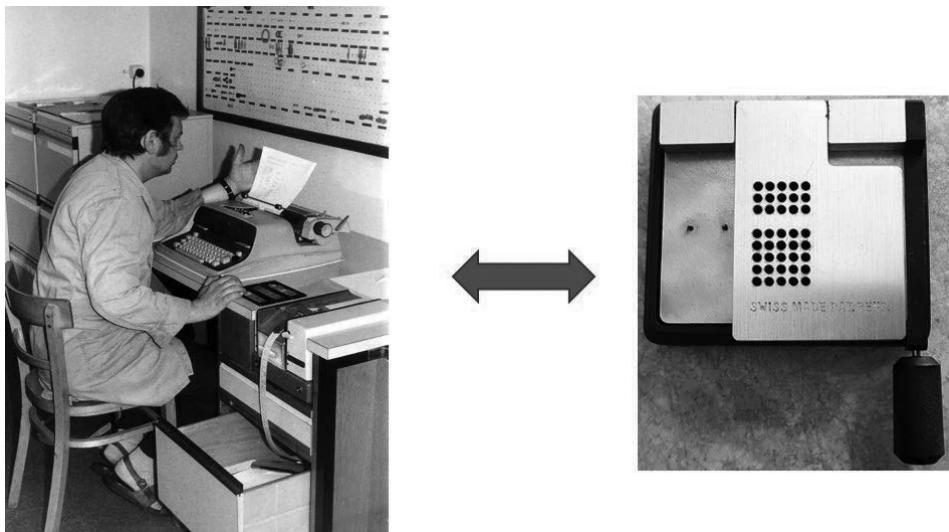


Bild 1.3 Das Programmieren eines Lochstreifens einer NC-Maschine

Der gestanzte Lochstreifen wurde in den Lochstreifenleser der NC-Maschine eingelegt.



Bild 1.4
Einlegen eines Lochstreifens

Das Programm wurde anschließend abgearbeitet.

**Bild 1.5**

Das NC-Programm, hier ein Bohrbild, wird automatisch abgearbeitet

Der Fortschritt gegenüber der konventionellen Maschine war groß, da z. B. die Wiederholgenauigkeit vom Programm her vorhanden war, was bei einer Serienfertigung entscheidend ist. Aber zum heutigen Vergleich, war es schwierig ein einmal erstelltes Programm zu editieren. Da die Lochstreifen aus Papier waren, waren diese auch anfällig gegenüber Schmutz und Öl. Weiterhin war die Lagerung der Programme aufwendig, da hierfür ein trockener, staubfreier Platz vorhanden sein musste.

Damals zeichnete es sich schon ab, dass eine Zwischenebene zwischen der Konstruktion und dem Maschinenbediener immer wichtiger wurde: Die Arbeitsvorbereitung für die Programmierung. Mit immer leistungsfähigeren Computern wurde ab den 1980er Jahren aus der NC-Maschine die heutige CNC-Maschine. Der Lochstreifen war Geschichte.

Der „Computer“, in der Fachsprache „Steuerung“ genannt, ist die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Über die Steuerung wird die Maschine bedient. Die Komplexität von Werkstücken, die Anforderungen an die Leistung der CNC-Maschine und an die Steuerung wächst stetig. Immer mehr Maschinen mit kombinierten Technologien wie z. B. Fräse-Dreh- oder Dreh-Fräsmaschinen finden ihren Einsatz in der Werkstatt. Auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Grund hierfür sind immer komplexere Konturen mit immer kleineren Toleranzen in immer kürzeren Fertigungszeiten. Dies wird vom Markt gefordert. Es ist wichtig zu wissen, wie die Vorgaben umgesetzt werden können.

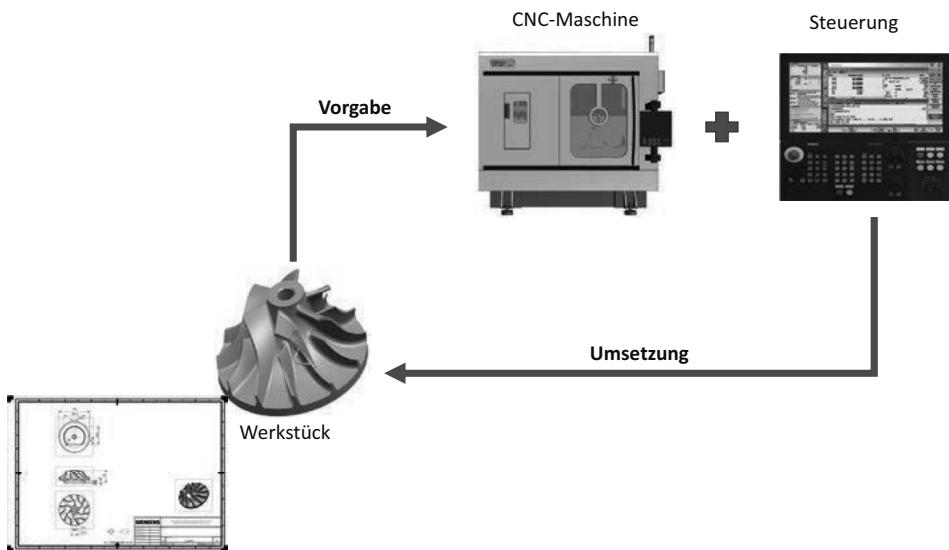


Bild 1.6 Das geforderte Werkstück muss auf einer entsprechenden Werkzeugmaschine mit entsprechender Steuerung gefertigt werden

Die Grundlage für Verfahrbewegungen im Maschinenraum, mit Anfahren von definierten Positionen zum Abarbeiten von Werkstücken ist das kartesische Koordinatensystem. Dabei spielt die Maschinenkinematik keine Rolle. Alle möglichen Kinematiken basieren auf diesem Koordinatensystem.

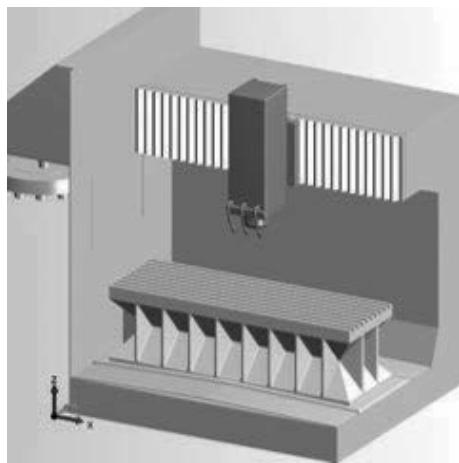


Bild 1.7

Modell einer 3-Achs-Fräsmaschine

Video 1 bit.ly/3dgsyIP



■ 1.1 Das Koordinatensystem

Beim Koordinatensystem im zweidimensionalen Raum stehen die Achsen orthogonal, also 90° zueinander. Die Achsen werden mit der Bezeichnung X = (Abszissenachse) und Z = (Ordinatenachse) definiert. Die hierbei entstehenden vier Felder nennt man Quadranten, welche gegen den Uhrzeigersinn mit Ziffern gekennzeichnet werden. Da die Achsen Geraden und somit endlos sind, kann jeder Punkt im zweidimensionalen Raum über die Koordinaten X/Y und den Quadranten beschrieben werden. Die Ebenen im räumlichen Koordinatensystem sehen wie in Bild 1.8 aus. Man spricht hier auch vom kartesischen Koordinatensystem.

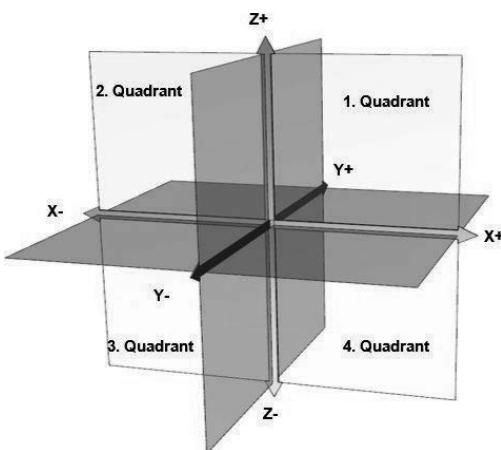


Bild 1.8
Vereinfachte Darstellung eines
kartesischen Koordinatensystems

Die geometrischen Punkte an einer CNC-Maschine werden im kartesischen Koordinatensystem beschrieben. Für das eindeutige Bestimmen der Lage von Punkten im Raum benötigt man drei Koordinaten, für ein räumliches Koordinatensystem folglich eine dritte Achse. Mithilfe eines räumlichen Koordinatensystems kann durch Angabe dreier Werte (X; Y; Z) und des Vorzeichens jeder Punkt im Raum eindeutig zugeordnet werden. Die Achsnamen werden so definiert, wie es an einer Fräsmaschine üblich ist. Bild 1.9 stellt schematisch einen beliebigen Punkt (blau) dar.

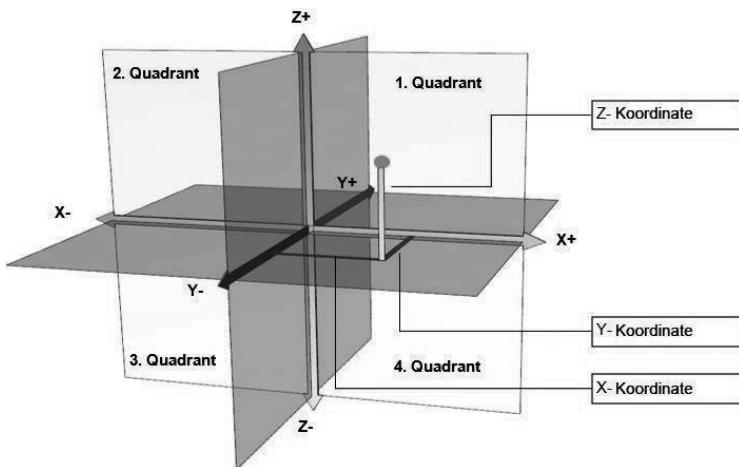


Bild 1.9 Jeder Punkt kann im Koordinatensystem bestimmt werden

Dieses Koordinatensystem ist die Grundlage für die Erstellung eines CNC-Programms und ist in der DIN 66217 für die Programmierung der Werkzeugmaschine festgelegt.

Um sich an der Werkzeugmaschine immer das Koordinatensystem in richtiger Lage vorzustellen, gibt es einen einfachen Trick: die „Rechte-Hand-Regel“. Mit dieser Regel kann man die positiven Richtungen des Maschinen-Koordinatensystems vereinfacht darstellen. Den Achsen (X, Y, Z) ist auch jeweils noch eine Rundachse (A, B, C) zugeordnet. Die Rundachsen drehen sich bei positivem Vorzeichen im Uhrzeigersinn immer in das Plus (+), wenn man in die positive Blickrichtung der Linearachse schaut.

Bei einer vertikalen Werkzeugmaschine: Rechte-Hand-Regel

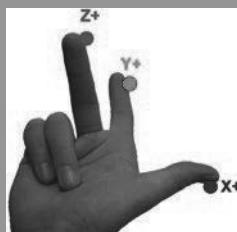


Bild 1.10
Die Rechte-Hand-Regel

Bei einer horizontalen Werkzeugmaschine: Rechte-Hand-Regel

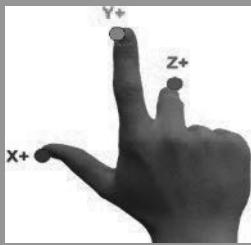


Bild 1.11

Die zweite Möglichkeit der Rechte-Hand-Regel

Um die Achsen (Linear- und Rundachsen) zu programmieren, ist ein Koordinatenwürfel mit den Achsbezeichnungen sehr hilfreich.



Bild 1.12

Darstellung eines Koordinatenwürfels mit Linear und Rundachsen

Bei einem solchen Würfel werden neben den Linearachsen auch die Rundachsen dargestellt.

■ 1.2 Fragen zum Kapitel

Diese Fragen sollte man nun beantworten können:

- Wie werden CNC-Werkzeugmaschinen bedient und programmiert?
- Wie entstanden damals die Programme einer NC-Werkzeugmaschine?
- Was versteht man unter der Rechte-Hand-Regel?

2

Die Sprache der Maschine, Grundlagen

■ 2.1 Der G-Code aus DIN 66035/ISO 6983

Der G-Code ist die Sprache der CNC-Maschinen. Die Basissprache ist in der DIN/ISO-Norm der DIN 66025/ISO 6983 festgelegt. In dieser sind die Grundbefehle fest definiert. Sie bilden die Basis aller CNC-Steuerungen und sind verbindlich für alle Hersteller von Steuerungen.

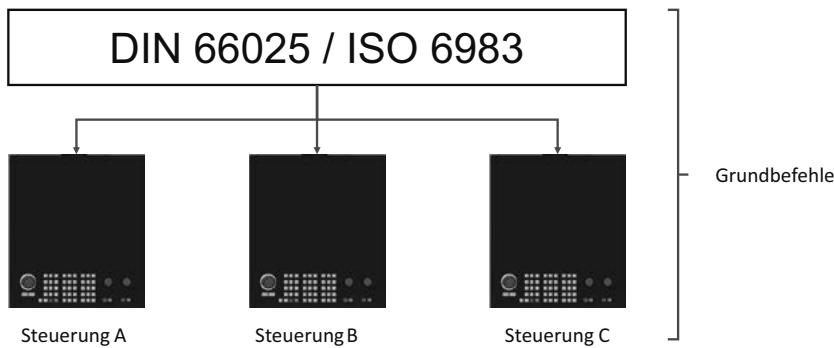


Bild 2.1 Alle Steuerungshersteller arbeiten mit den Grundbefehlen, die in der DIN 66025/ISO 6983 definiert sind. Sie bilden die einheitliche Grundlage der CNC-Programmierung

Neben den Grundbefehlen gibt es für jede Steuerung noch Zusatzbefehle. Diese werden vom Steuerungshersteller definiert.

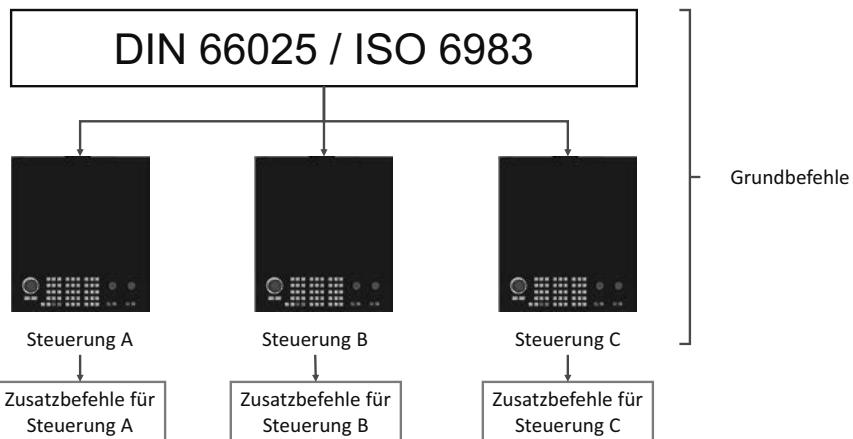


Bild 2.2 Die Zusatzbefehle sind immer steuerungsspezifisch

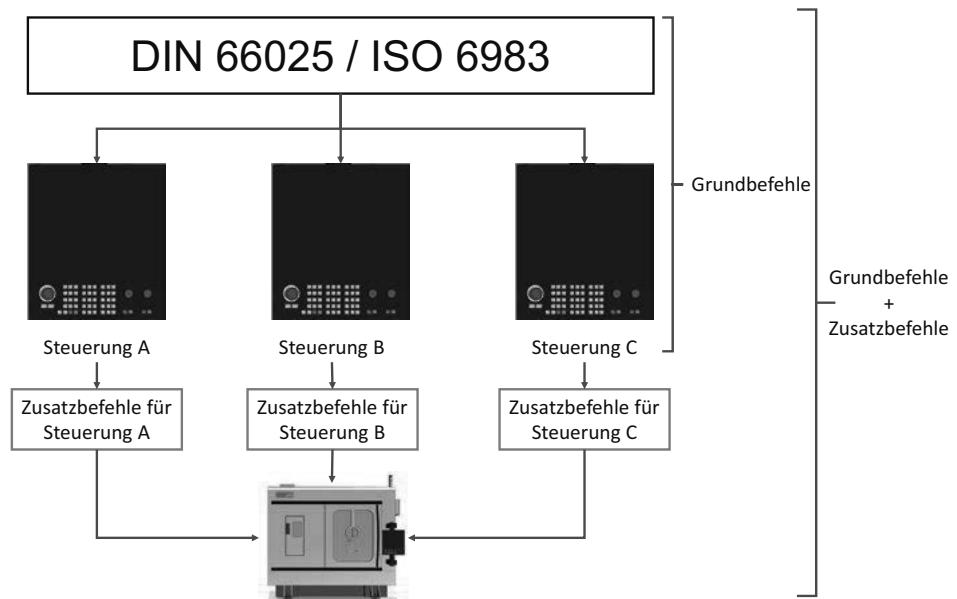


Bild 2.3 Mit den Grund- und Zusatzbefehlen werden die Werkzeugmaschinen individuell für jeden Steuerungstypen und Softwarestand der Steuerung programmiert

■ 2.2 Der Werkstück-Nullpunkt

Ein wichtiger Befehl in der CNC-Programmierung ist der für die Programmierung des Werkstück-Nullpunktes. Auf diesen Nullpunkt bezieht sich normalerweise das CNC-Programm.

Wie bereits erklärt, bewegen sich die Maschinenachsen einer Werkzeugmaschine im kartesischen Koordinatensystem.

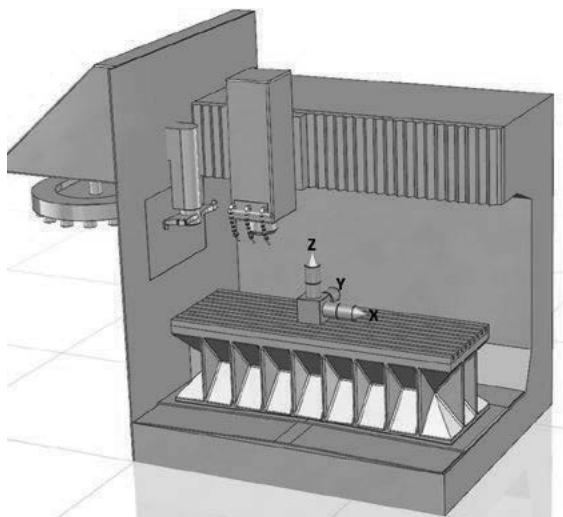


Bild 2.4

Alle CNC-Werkzeugmaschinen beziehen sich immer auf das hier dargestellte Koordinatensystem

Grundsätzlich gibt es an einer Werkzeugmaschine immer ein sogenanntes Maschinenkoordinatensystem (MKS). Mit diesem wird der Arbeitsraum einer CNC-Werkzeugmaschine erfasst. Dieses Koordinatensystem (MKS) liegt irgendwo im Maschinenraum. Die exakte Position wird unter konstruktiven Gesichtspunkten vom Maschinenhersteller festgelegt und kann vom Bediener und Programmierer nicht verändert werden. Alle Achswerte beziehen sich grundsätzlich auf das MKS. Läuft eine Steuerung in der Grundstellung hoch, beziehen sich die Achswerte auf das MKS.

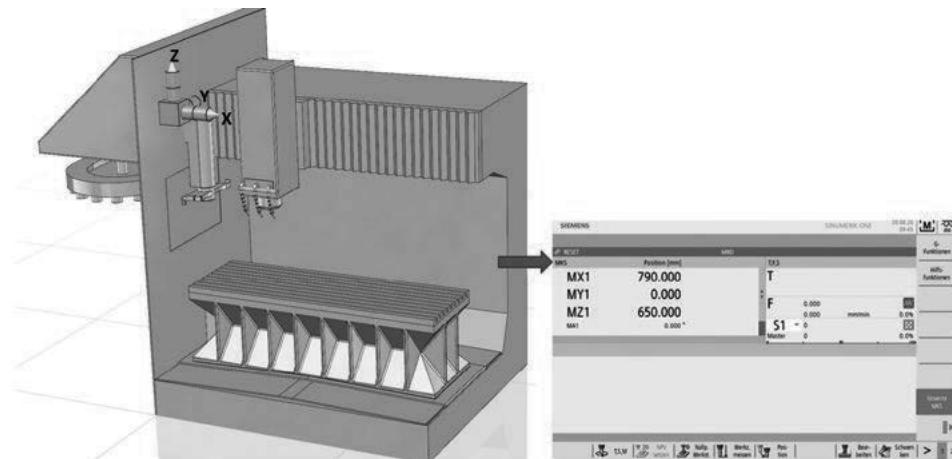


Bild 2.5 Der Bezug zum Koordinatensystem wird beim Hochlauf der Steuerung angezeigt, wie hier an der SINUMERIK. Das Maschinen-Koordinatensystem MKS ist aktiv

Der Maschinenbediener und Programmierer arbeitet mit dem *Werkstück-Koordinatensystem (WKS)*.

Für die Programmierung ist der Werkstück-Nullpunkt maßgebend. Dieser wird bezogen auf den absoluten Maschinenkoordinaten-Nullpunkt so verschoben, dass er bestmöglich zur späteren Bearbeitung passt.

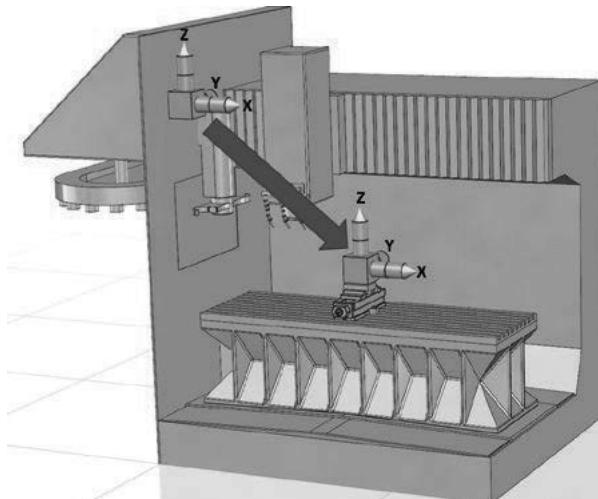


Bild 2.6

Oben links im Bild ist der Maschinen-Nullpunkt und die Verschiebung des Koordinatensystems zum Werkstückkoordinatensystems dargestellt

Für beide Nullpunkte gibt es eine definierte Symbolik. Festgelegt in der DIN 66025.



Der Maschinennullpunkt (MKS)



Der Werkstücknullpunkt (WKS)

Bild 2.7 Symbole der Nullpunkte

In den meisten Fällen wird das WKS so gewählt, dass dieses zur Werkstückzeichnung des zu fertigenden Werkstücks passt. Somit können die später programmierten Positionen einfach der Zeichnung entnommen werden. Daher ist es immer wichtig, dass eine Zeichnung unter fertigungstechnischen Gesichtspunkten erstellt wird.

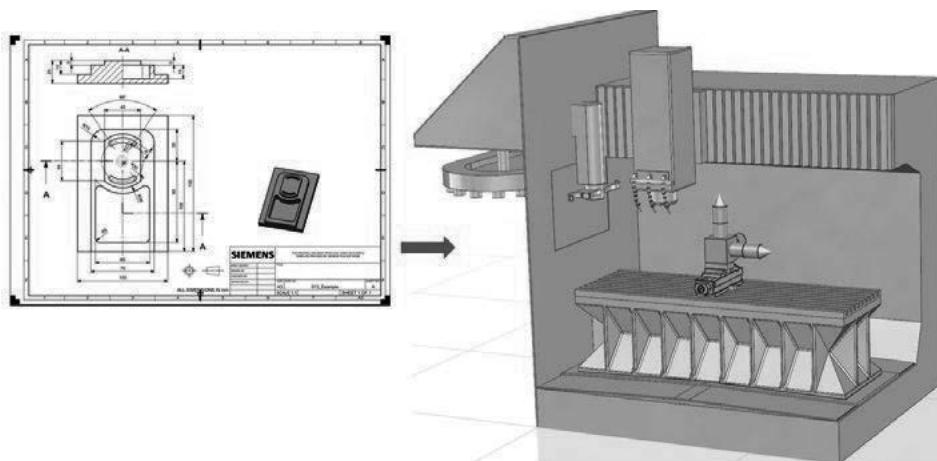


Bild 2.8 Die Lage des Werkstückkoordinatensystems wird immer so verschoben, dass sie für die spätere Programmierung günstig ist

Der Werkstück-Nullpunkt bezieht sich wie der Name schon sagt auf das Werkstück, ausgehend vom Maschinennullpunkt. Der Werkstück-Nullpunkt muss bestimmt werden. In diesem Beispiel wird mithilfe eines automatischen Messtasters die Position des Werkstücks bestimmt.

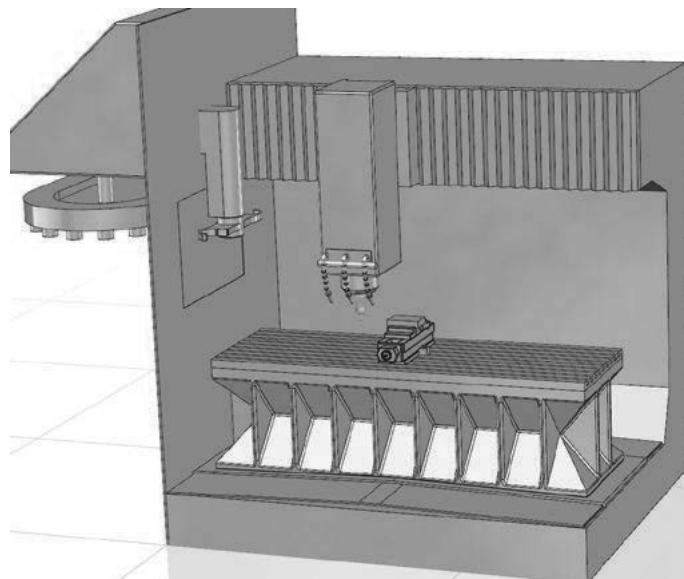


Bild 2.9 In diesem Beispiel wird das Werkstück mit einem automatischen Messtaster vermessen. Ist dieser Messtaster kalibriert, sendet dieser bei Berührung des Werkstücks ein Positionssignal direkt an die Steuerung

In diesem Beispiel wird zuerst die Position des Werkstückes in Z-Richtung vermessen. Berührt der automatische Messtaster die Werkstückoberfläche wird der Wert der Position automatisch in der Steuerung gespeichert.

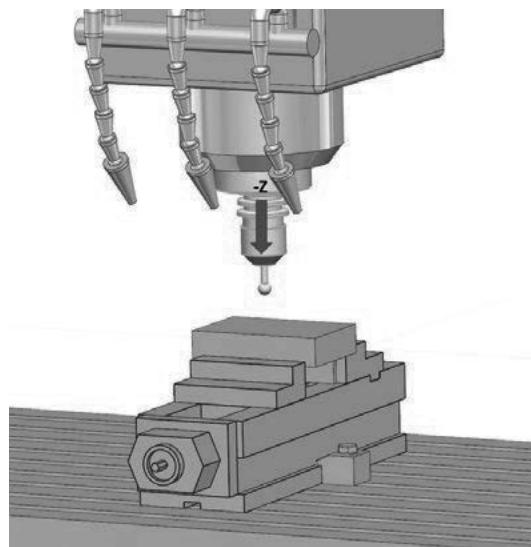


Bild 2.10 Vermessung des Werkstücks in Z-Richtung

Danach wird die Position in Y-Richtung gemessen.

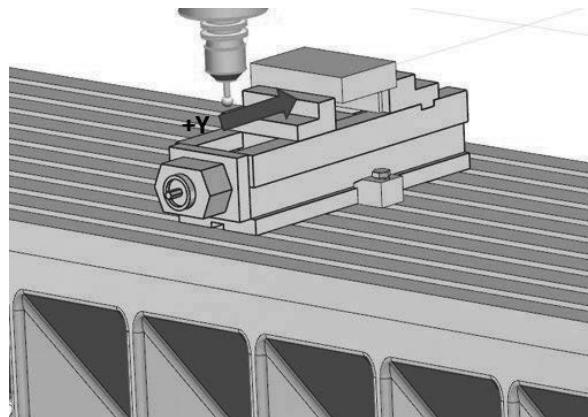


Bild 2.11 Vermessung des Werkstücks in Y-Richtung

Zuletzt wird das Werkstück in der X-Richtung vermessen.

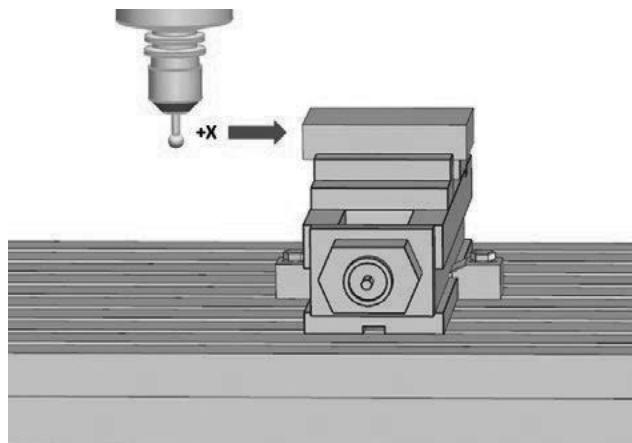


Bild 2.12 Vermessung des Werkstücks in X-Richtung

Mit den drei Werten in X, Y, und Z ist die Lage des Werkstückes im Arbeitsraum ermittelt.

Die Nullpunktverschiebung

Die Position für das Werkstück wird als sogenannte Nullpunktverschiebung gespeichert.

Der Befehl für den Aufruf der Nullpunktverschiebung im Programm heißt zum Beispiel G54. Der Buchstabe „G“ ist in der CNC-Programmierung eine Adresse. Mit diesem wird immer ein Wegbefehl definiert.

Tabelle 2.1 G-Code-Befehl

Adresse	Bedeutung
G	Wegbedingung

Der Aufruf der Nullpunktverschiebung im Programm steht immer am Anfang und ist sehr wichtig, da sich darauf das ganze Programm bezieht.

Da man für die Bearbeitung oftmals mehrere Nullpunkte benötigt, gibt es neben dem Befehl G54 auch weitere Befehle für die Nullpunktverschiebung. Zum Beispiel G55, ..., G59. Grundsätzlich sind diese genannten Befehle in der DIN 66025/ISO 6983 definiert. Über die CNC-Steuerung können falls erforderlich, weitere Nullpunktverschiebungen definiert werden G505, G506, ...

In diesem Beispiel wurden die Koordinaten (X, Y, Z) für das Werkstück vermessen und in der Nullpunktverschiebung gespeichert.

Nullpunktverschiebung - Details: G54 [mm]	
	grob
X	100.000
Y	100.000
Z	200.000

Bild 2.13

Die gemessenen Werte werden in der Nullpunktverschiebung gespeichert

■ 2.3 Aufbau eines CNC-Programms

Wenn man anfängt ein CNC-Programm zu schreiben, gibt es hierbei neben den Befehlen einiges zu beachten.

Zu Beginn ist das Programm ein weißes Blatt. Programmbefehle werden in Zeilen geschrieben.

Befehl A
 Befehl B
 Befehl C

Um ein Programm, welches aus mehreren Zeilen besteht, übersichtlich zu programmieren, werden diese nummeriert. Die Nummerierung erfolgt über die Adresse „N“ mit einer fortlaufenden Nummer.

Tabelle 2.2 G-Code-Befehl

Adresse	Bedeutung
G	Wegbedingung
N	Adresse der Satznummer

N10 Befehl A
 N20 Befehl B
 N30 Befehl C

Der Wert für die fortlaufende Zahl (zweistellig, dreistellig) bleibt dem Programmierer überlassen. Somit kann eine Befehlzeile klar definiert werden. Dies ist wichtig, falls in einer Zeile etwas falsch programmiert wurde. Es erscheint dann eine entsprechende Meldung an der Steuerung. Steht in der Zeile die Zeilennummer, kann der Bediener direkt die Meldung der Zeile zuordnen. Wichtig ist zu wissen, ob ein programmierten Befehl über eine Befehlszeile hinaus aktiv ist, oder nur in der programmierten Zeile. Der Befehl „A“ ist solange aktiv bis Befehl „B“ programmiert wird.

Bei Befehlen die über eine Programmzeile hinaus aktiv sind, spricht man von den sogenannten *modal haltbaren Befehlen*.



Ein Befehl kann über das gesamte Programm aktiv sein und wird am Programmende deaktiviert. Das Programmende wird über einen M-Befehl programmiert. M-Befehle sind Zusatzfunktionen, sogenannte Maschinenbefehle.

Index

Symbolle

5-Achs-Simultanbearbeitung 101

A

absolut 25

aktive Werkzeugnummer 94

aktive Werkzeugschneide 94

AMIRROR 60

Anwendervariable 87

AROT 58

ASCALE 62

ATRANS 56

Auskommentieren 84

B

Basisbezug 50

C

CNC-Maschine 2

CYCLE800 104

D

DEF INT 89

E

Eulerwinkel 120

EXTCALL 79

F

Feinverschiebung 52

Frame 48

Freiformflächen 34

G

G53 63

G70 42

G71 42

G153 63

G500 64

G700 43

G701 43

G-Code 9

G-Code-Gruppe 19

Geradeninterpolation 33

Gesamtverschiebung 51

GOTO 89

GOTOB 89

GOTOF 89

Grundbefehle 9

H

Hochsprache 71

Hochsprache der SINUMERIK 55

K

kartesisches Koordinatensystem

5, 11

Kettenbemaßung 25

Klartextname 46
Kreisinterpolation 34

L

LABEL: 89
Lochstreifen 2

M

M17 80
maschinenabhängige CNC-
Programmierung 110
maschinenunabhängige CNC-
Programme 111
Meldetexte 86
MIRROR 59
modal haltbare Befehle 17
MPF 77

N

NC-Werkzeugmaschine 2
Nullebene 28
Nullpunktverschiebung 16

R

Rechte-Hand-Regel 7, 101
RET 80
Richtungsvektoren 112
Rohteil 47
ROT 58
R-Parameter 82
R-Parameterliste 84

S

SCALE 61
Schneidennummer 30

Schnittgeschwindigkeit 31
Sehnenfehler 108
Simulation 48
SINUMERIK 42
SPF 77
SUPA 63
Systemvariable 87, 91

T

Technologiedaten 29
TRAFOOF 109
TRANS 56
TRAORI 109

U

Unterprogrammen 76

V

Verfahrerbewegung 5
Vorschub 30

W

Werkstattprogrammierung
24
Werkstück-Nullpunkt 11, 13
Werkzeugdurchmesser 29
Werkzeulgänge 28
Werkzeugspindel 27
Werkzeugspitze 108
Werkzeugtyp 93
Werkzeugverwaltung 46
Wertebereich 53

Z

Zusatzbefehle 9