

Karl-Heinz Engels
Eric Engels



Die CNC-Programmierung im Kontext der Digitalisierung

Vom G-Code zum Digitalen Zwilling



HANSER

HANSER

Karl-Heinz Engels
Eric Engels

Die CNC-Programmierung im Kontext der Digitalisierung

Vom G-Code zum Digitalen Zwilling

Der Autoren:

Karl-Heinz Engels ist staatlich geprüfter Maschinenbautechniker bei der Siemens AG.
Eric Engels ist Werkzeugmechaniker in Fachrichtung Formentechnik, aktuell in der Weiterbildung zum Handwerksmeister.

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2021 Carl Hanser Verlag München, www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelmotiv: © gettyimages.de/Phuchit

Coverrealisation: Max Kostopoulos

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

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

ePub-ISBN: 978-3-446-47215-0

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
Technologecenter

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 Handwerksmeister für Feinwerktechnik

Aufgaben:

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

Raumfahrttechnik tätig.

Inhalt

Titelei

Impressum

Inhalt

Vorwort

Die Autoren

1 Was ist eine CNC-Maschine?

1.1 Das Koordinatensystem

1.2 Fragen zum Kapitel

2 Die Sprache der Maschine, Grundlagen

2.1 Der G-Code aus DIN 66035/ISO 6983

2.2 Der Werkstück-Nullpunkt

2.3 Aufbau eines CNC-Programms

2.3.1 Der Programmkopf

2.3.1.1 Die Arbeitsebene

2.3.1.2 Das Maßsystem

2.3.1.3 Maßangaben absolut oder inkrementell

2.3.2 Fahrbefehle und Werkzeugaufruf

2.3.2.1 Der Werkzeugaufruf

2.3.2.2 Die Technologiedaten für das Werkzeug

2.3.2.3 Der Eilgang

2.3.2.4 Linear Verfahren mit Vorschub

2.3.2.5 Verfahren im Kreisbogen mit Vorschub

2.3.2.6 Die Werkzeug-Radiuskorrektur

2.3.3 Das Programmende

2.4 Fragen zum Kapitel

3 Nullpunkte und Frames

3.1 Einleitung

3.2 Wie erstelle ich ein Programm mit der SINUMERIK

3.3 Erweitertes Wissen über das Koordinatensystem und die Frames

3.3.1 Der Basisbezug

3.3.2 Die Feinverschiebung

3.3.3 Die programmierbaren Verschiebungen/Frames

3.3.4 Unterdrücken von Frames

3.3.5 Übung zum Thema programmierbare Transformationen

3.4 Fragen zum Kapitel

4 Einführung in die flexible Programmierung

4.1 Die lineare CNC-Programmierung

4.2 Die flexible Programmierung

4.3 Flexibel programmieren mit Unterprogrammen

4.4 Flexibel programmieren mit Variablen

4.4.1 R-Parameter/R-Variablen

4.4.2 Anwendervariablen und Systemvariablen

4.5 Die flexible Programmierung und der digitale Zwilling

4.6 Fragen zum Kapitel

5 Die 5-Achs-Programmierung im Kontext der Digitalisierung

5.1 Was genau versteht man unter einer 5-Achs-Programmierung?

5.1.1 Die 3+2-Achsenbearbeitung

5.1.2 Der Zyklus für die 5-Achs-Positionierung

5.1.3 Die 5-Achs-Simultanbearbeitung

5.1.4 Die maschinenunabhängige Programmierung

5.1.4.1 Die Richtungsvektoren

5.1.4.2 Beispielprogramm mit Richtungsvektoren

5.1.4.3 Eine weitere Möglichkeit der 5-Achs-
Programmierung

5.1.4.4 Weitere Befehle zur Optimierung eines 5-Achs-
Programms

5.1.4.5 Freiformflächen

5.2 Vom Modell zur Bearbeitung

5.2.1 Das Erstellen eines Modells im CAD

5.2.2 Die Bearbeitung im CAM erstellen

5.2.3 Der Postprozessor

5.2.4 Der digitale Zwilling

5.3 Fragen zum Kapitel

6 Ergänzende Übungen

6.1 Aufgabe: G-Code nach DIN 66025/ISO 6983

6.2 Aufgabe: Hochsprache mit falschem Werkzeugtyp

6.3 Aufgabe: 3+2-Programmierung (2 ½ D-
Bearbeitung)

6.4 Aufgabe: 5-Achs-Simultanprogrammierung mit Vektoren

Videoübersicht

VIDEONUMMER	VIDEOINHALT	KURZLINK
Video 1	Das Verfahren der Maschinenachsen im Koordinatensystem	bit.ly/3dgsylP
Video 2	Einwechseln eines Werkzeugs	bit.ly/3wW0HiE
Video 3	Der Eilgang	bit.ly/2QpeCgo
Video 4	Linear Verfahren im Vorschub	bit.ly/3siqxcQ
Video 5	Verfahren im Kreisbogen	bit.ly/2Q0QssE
Video 6	Fräsen ohne Werkzeugradiuskorrektur	bit.ly/3mJU99Q
Video 7	Fräsen links der Kontur mit G 41	bit.ly/3dhjv3T
Video 8	Fräsen rechts der Kontur mit G 42	bit.ly/3tiyVKZ
Video 9	Übung zum Thema: Programmierbare Transformationen	bit.ly/2PV26FA
Video 10	Das Grundprogramm	bit.ly/3gaWhhY
Video 11	R-Parameter, R-Variable	bit.ly/3mJRgOB

Video 12	Werkstück 3-Achsen Fräsen	bit.ly/2QkLNS8
Video 13	Werkstück 3-Achsen Freiformflächen	bit.ly/2OSLhuo
Video 14	5-Achs-Positionierung	bit.ly/3a8QENT
Video 15	Kreistasche Fräsen mit Sehnenfehler	bit.ly/3e0mUDB
Video 16	Kreistasche Fräsen ohne Sehnenfehler	bit.ly/3aag6C7
Video 17	Beispielprogramm mit Richtungsvektoren	bit.ly/3mMi94f
Video 18	Das Schwenken der A- Achse	bit.ly/3dYNLzP
Video 19	Der digitale Zwilling	bit.ly/3skklRI
Video 20	Übung G-Code nach DIN 66025/ISO 6983	bit.ly/3wUrxAQ
Video 21	Übung: Hochsprache	bit.ly/3mJBKSE
Video 22	Übung: 3+2 Programmierung	bit.ly/3tj3xvU
Video 23	5-Achs- Simultanprogrammierung mit Vektoren	bit.ly/3uSECPV

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.

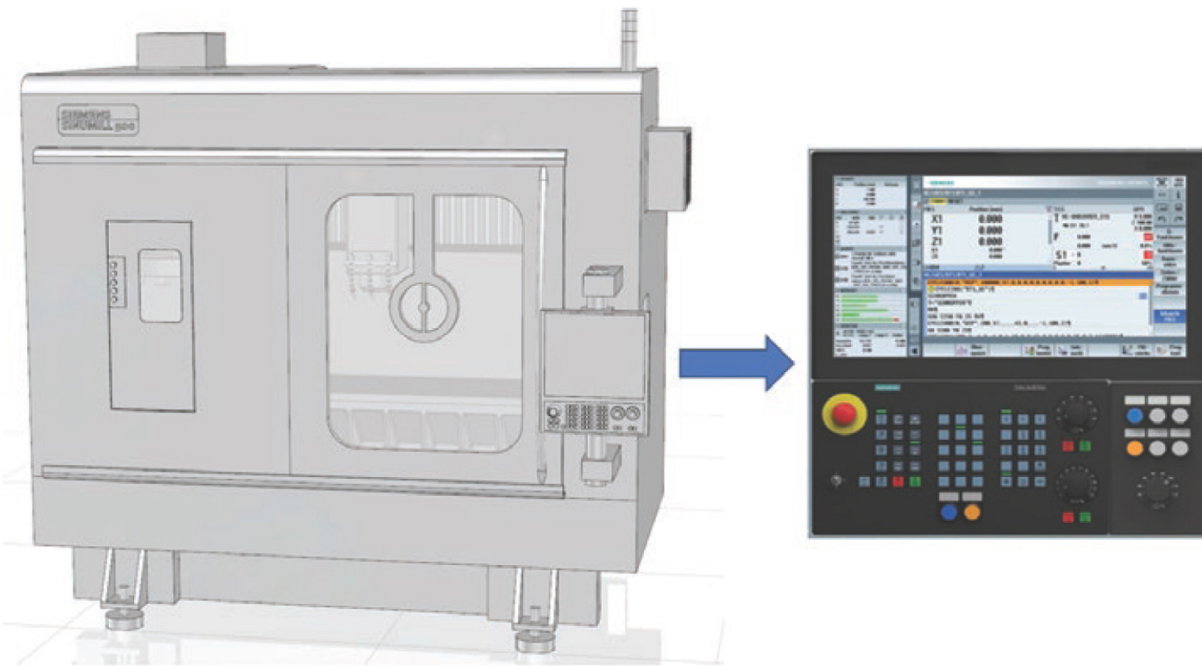


Bild 1.1 Das Modell einer CNC-3-Achs-Fräsmaschine mit einer SINUMERIK-Steuerung von Siemens

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.



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. Fräs-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.

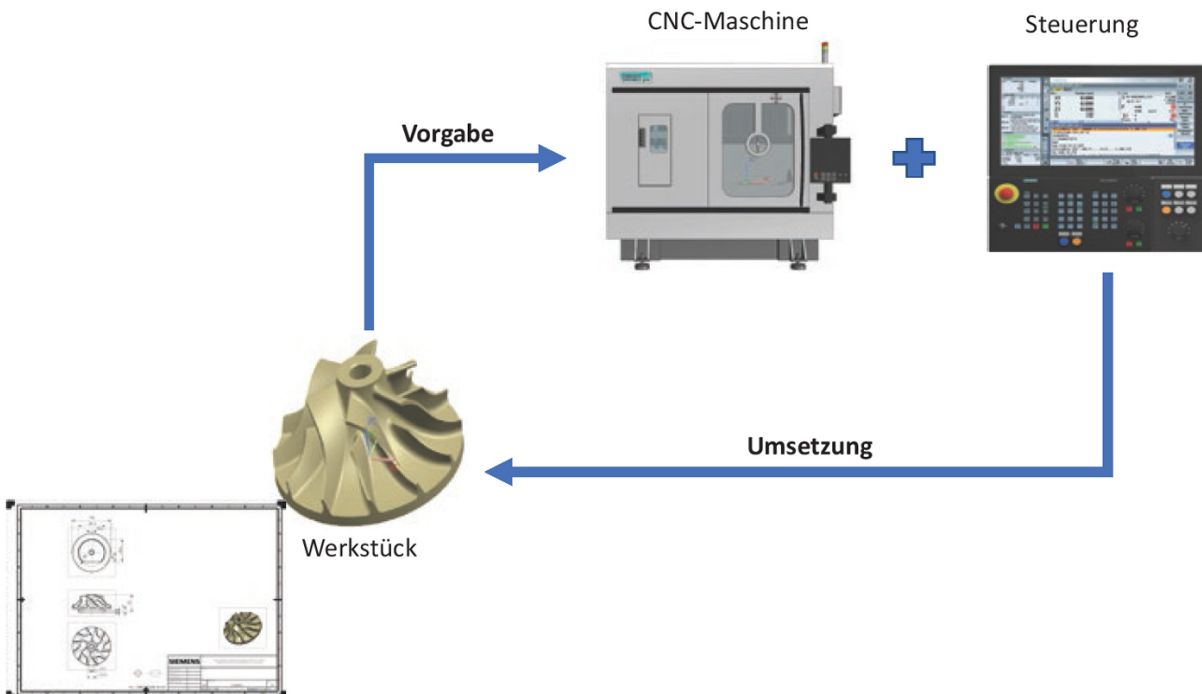


Bild 1.6 Das geforderte Werkstück muss auf einer entsprechenden Werkzeugmaschine mit entsprechender Steuerung gefertigt werden

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.

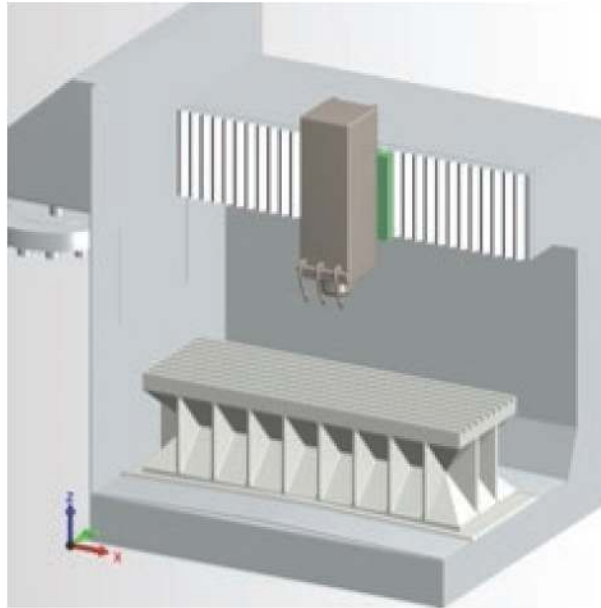


Bild 1.7 Modell einer 3-Achs-Fräsmaschine



Video 1 bit.ly/3dgsylP

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.

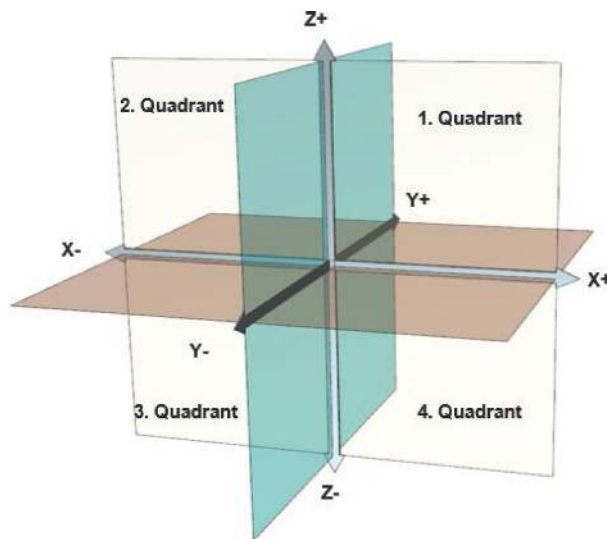


Bild 1.8 Vereinfachte Darstellung eines kartesischen Koordinatensystems

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.

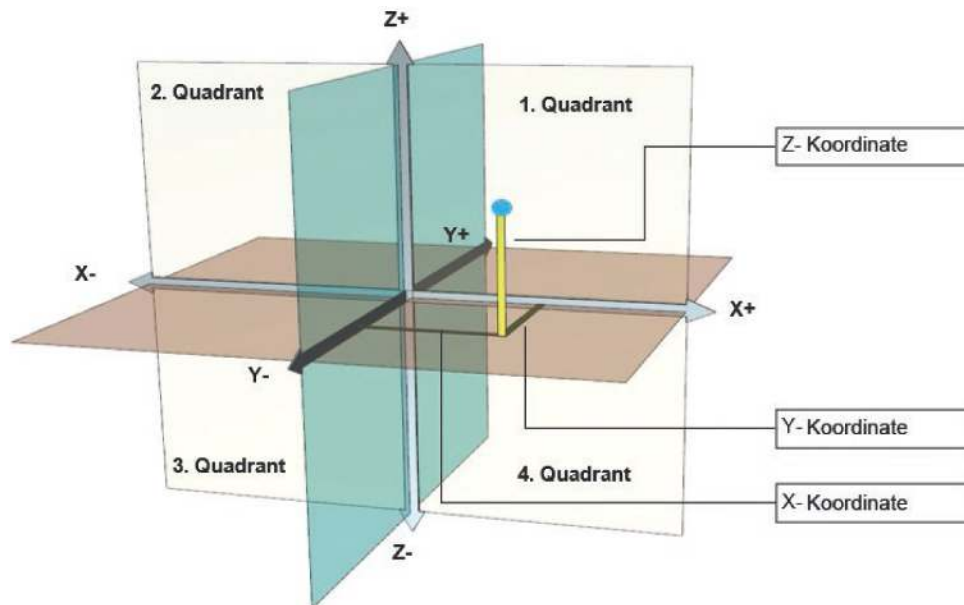


Bild 1.9 Jeder Punkt kann im Koordinatensystem bestimmt werden

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-Koordinatensystem 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

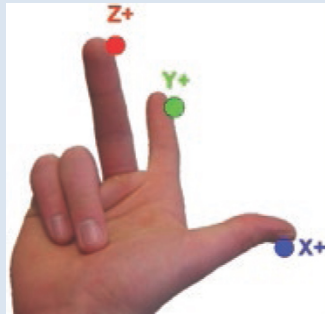


Bild 1.10 Die Rechte-Hand-Regel

Bei einer horizontalen Werkzeugmaschine: Rechte-Hand-Regel

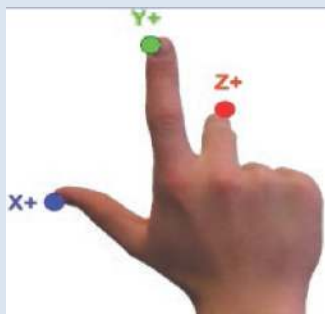


Bild 1.11 Die zweite Möglichkeit der Rechte-Hand-Regel