



# Vorwort zur 5. Auflage

Rationalisierungsmaßnahmen auf breiter Ebene und der Zwang, international konkurrenzfähig zu bleiben, haben bewirkt, dass sich CNC-Maschinen selbst in Kleinbetrieben durchgesetzt haben. Konventionelle Fräs- und Drehmaschinen sind heute eher zu einer Seltenheit geworden. Leistungsfähige und bedienerfreundliche Steuerungen haben es ermöglicht, selbst Einzelteile wirtschaftlich auf CNC-Maschinen zu fertigen.

Der Lehrgang wendet sich in erster Linie an Auszubildende der Mechatronik und Metalltechnik und an Facharbeiter innerhalb der Fort- und Weiterbildung. Die Unterlagen basieren auf jahrelanger betrieblicher Praxis und Lehrtätigkeit des Autors in der Facharbeiter- und Erwachsenenbildung.

Das Lehrprogramm gliedert sich in zwei große Bereiche:

**Grundlagen der CNC-Technik (Kap. 1–5)**  
**Programmierung von CNC-Maschinen (Kap. 6–13)**  
**Programmierung nach PAL (Kap. 14)**

Im ersten Teil werden die steuerungs- und maschinenspezifischen Grundlagen behandelt.

Der zweite Teil befasst sich ausführlich mit der Erstellung von Programmen und gibt eine umfassende Übersicht über die verschiedenen Programmstrukturen und Programmier Techniken. Das letzte Kapitel behandelt die Programmierung nach dem PAL-Modus.

Der Lehrgang unterteilt sich in Informations-, Arbeits- und Übungsblätter.

Die Informationsblätter vermitteln das Grundwissen über die CNC-Technik.

Den Inhalt der Arbeitsblätter erarbeitet der Lehrer oder Ausbilder zusammen mit den Lernenden, vorzugsweise am Tageslichtprojektor oder Beamer.

Die Übungsblätter mit den Übungsaufgaben vertiefen den zuvor erarbeiteten Stoff und dienen zugleich der Lernzielkontrolle.

Der Autor dankt der Firma SL Automatisierungstechnik, Iserlohn, für die Unterstützung bei der Bearbeitung der PAL-Zyklen.

Die Inhalte des Kapitels „PAL-Zyklen“ richten sich nach den Veröffentlichungen der PAL-Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle der IHK Region Stuttgart.

Albstadt, Frühjahr 2017

Michael Grotz

# Inhaltsverzeichnis CNC-Lehrgang

<b>1</b>	<b>Aufbau von CNC-Maschinen</b>	<b>6</b>
1.1	Aufbau einer CMC-Maschine .....	6
1.2	Aufbau einer CNC-Steuerung .....	7
1.3	Lageregelung .....	8
1.4	Führungen und Kugelgewindetriebe .....	9
1.5	Wegmesssysteme .....	10
1.5.1	Übersicht .....	10
1.5.2	Glasmaßstab mit Durchlichtverfahren .....	11
1.6	Werkzeuge .....	12
1.6.1	Werkzeugrevolver .....	12
1.6.2	Werkzeugmagazine .....	12
1.6.3	Angetriebene Werkzeuge und Doppelschlitten .....	12
<b>2</b>	<b>Flexible Fertigungssysteme</b>	<b>13</b>
2.1	Aufbau flexibler Fertigungssysteme .....	13
2.2	Flexible Fertigungszellen .....	14
2.3	Fertigungsinseln und Transferstraßen .....	15
2.3.1	Flexible Transferstraßen .....	15
<b>3</b>	<b>Koordinatensysteme</b>	<b>16</b>
3.1	Koordinatensystem nach DIN 66 217 .....	16
3.2	Koordinatenachsen bei Drehmaschinen .....	17
3.3	Koordinatenachsen bei Fräsmaschinen .....	18
3.4	Übungsaufgabe – Koordinatenachsen .....	19
3.5	Maschinen- und Werkzeugbewegungen .....	20
<b>4</b>	<b>Bezugspunkte</b>	<b>21</b>
4.1	Maschinennullpunkt M .....	21
4.2	Referenzpunkt R .....	21
4.3	Werkstücknullpunkt W .....	22
4.4	Bestimmung des Werkstücknullpunktes .....	23
4.5	Programmstartpunkt P0 .....	27
4.6	Anschlagpunkt A .....	27
4.7	Werkzeugwechsellpunkt Ww .....	27
4.8	Werkzeugeinstellpunkt E .....	27
4.9	Werkzeugaufnahmepunkt N .....	27
4.10	Werkzeugschneidenpunkt P .....	27
4.11	Übungsaufgabe – Bezugspunkte bei Drehmaschinen .....	28
4.12	Übungsaufgabe – Bezugspunkte bei Fräsmaschinen .....	29
<b>5</b>	<b>Steuerungsarten</b>	<b>30</b>
5.1	Steuerungen allgemein .....	30
5.2	Punktsteuerungen .....	30
5.3	Streckensteuerungen .....	30
5.4	Bahnsteuerungen .....	30
5.4.1	2D- und 2½D-Steuerungen .....	31
5.4.2	3D-Steuerungen .....	31
5.4.3	3D-Steuerungen vier- und fünfachsig .....	32
<b>6</b>	<b>Programmierung</b>	<b>33</b>
6.1	AV-Programmierung .....	33
6.2	Werkstattprogrammierung .....	33
6.3	Werkstattorientierte Produktionsunterstützung (WOP) .....	33

<b>7</b>	<b>Programmaufbau</b>	<b>35</b>
7.1	Entstehung eines CNC-Programms (Frästeil) . . . . .	35
7.2	Entstehung eines CNC-Programms (Drehteil) . . . . .	36
7.3	Formaler Programmaufbau . . . . .	37
7.3.1	Aufbau eines Programms . . . . .	37
7.3.2	Aufbau eines Satzes . . . . .	38
7.3.3	Aufbau eines Wortes . . . . .	38
7.3.4	Adressbuchstaben und Sonderzeichen nach DIN 66 025 . . . . .	39
7.3.5	Weginformationen . . . . .	40
7.3.6	Technologische Anweisungen . . . . .	41
7.3.7	Zusatzfunktionen . . . . .	42
7.3.8	Übungsaufgabe . . . . .	44
<b>8</b>	<b>Programmierverfahren</b>	<b>45</b>
8.1	Absolutprogrammierung . . . . .	45
8.2	Relativprogrammierung . . . . .	46
8.3	Übungsaufgabe Fräsen . . . . .	47
8.4	Übungsaufgabe Drehen . . . . .	48
<b>9</b>	<b>Arbeitsbewegungen</b>	<b>49</b>
9.1	Geraden-Interpolation G01-Fräsen . . . . .	49
9.1.1	Übungsaufgabe . . . . .	49
9.1.2	Übungsaufgaben . . . . .	50
9.2	Geraden-Interpolation G01-Drehen . . . . .	52
9.2.1	Übungsaufgabe . . . . .	52
9.2.2	Übungsaufgabe . . . . .	53
9.3	Kreis-Interpolation G02-Fräsen . . . . .	54
9.3.1	Übungsaufgabe Bearbeitungsbeispiel . . . . .	54
9.4	Kreis-Interpolation G03-Fräsen . . . . .	55
9.4.1	Übungsaufgabe Bearbeitungsbeispiel . . . . .	55
9.5	Übungsaufgaben . . . . .	56
9.6	Kreis-Interpolation G02-Drehen . . . . .	58
9.6.1	Übungsaufgabe Bearbeitungsbeispiel . . . . .	58
9.7	Kreis-Interpolation G03-Drehen . . . . .	59
9.7.1	Übungsaufgabe Bearbeitungsbeispiel (ohne technologische Anweisungen und Zusatzfunktionen) . . . . .	59
9.8	Drehen vor der Drehmitte . . . . .	60
9.9	Übungsaufgabe Außen- und Innenkontur . . . . .	61
<b>10</b>	<b>Werkzeug- und Bahnkorrekturen</b>	<b>62</b>
10.1	Werkzeugkorrekturen beim Fräsen . . . . .	62
10.1.1	Fräserradiuskorrektur (FRK) . . . . .	63
10.1.2	Besonderheiten bei Bahnkorrekturen . . . . .	64
10.1.3	Anfahren an Konturen . . . . .	65
10.1.4	Übungsaufgabe . . . . .	66
10.2	Werkzeugkorrekturen beim Drehen . . . . .	68
10.2.1	Werkzeuginlagen-Korrektur . . . . .	68
10.2.2	Schneidenradiuskompensation (SRK) . . . . .	69
10.2.3	Lage der Schneidenspitze . . . . .	69
10.2.4	Feinkorrekturen . . . . .	69
10.2.5	Korrekturrichtung . . . . .	70
10.2.6	Bahnkorrekturen bei Mehrschlittenmaschinen . . . . .	70
10.2.7	Anfahren an Konturen . . . . .	71
10.2.8	Übungsaufgabe . . . . .	72
<b>11</b>	<b>Bezugspunktverschiebungen</b>	<b>74</b>
11.1	Nullpunktverschiebung (NPV) . . . . .	74
11.1.1	Besonderheiten der NPV . . . . .	74
11.1.2	Programmierbare Nullpunktverschiebung . . . . .	75
11.1.3	Gespeicherte Nullpunktverschiebung . . . . .	76

11.1.4	Übungsaufgabe – gespeicherte Nullpunktverschiebung . . . . .	77
<b>11.2</b>	<b>Koordinatendrehung (KD)</b> . . . . .	78
11.2.1	Programmierbare Koordinatendrehung (KD) . . . . .	78
11.2.2	Gespeicherte Koordinatendrehung (KD) . . . . .	79
11.2.3	Spiegelung und Maßstabsänderung . . . . .	79
<b>11.3</b>	<b>Istwertspeicher setzen</b> . . . . .	80
<b>12</b>	<b>Programmstrukturen</b>	<b>81</b>
<b>12.1</b>	<b>Wiederholung von Programmteilen</b> . . . . .	81
<b>12.2</b>	<b>Unterprogramme (UP)</b> . . . . .	81
12.2.1	Unterprogramme mit programmierbarer Bezugspunktverschiebung . . . . .	82
12.2.2	Inkrementale Schreibweise des Unterprogramms . . . . .	83
12.2.3	Unterprogramme mit Werkzeugkorrekturen . . . . .	83
12.2.4	Anwendungsbeispiel Gesenckfräsen . . . . .	84
12.2.5	Übungsaufgabe . . . . .	84
12.2.6	Unterprogramme mit Parametern . . . . .	86
<b>12.3</b>	<b>Arbeitszyklen bei Industriesteuerungen</b> . . . . .	87
12.3.1	Bohrzyklen (Auswahl) . . . . .	88
12.3.2	Fräszyklen (Auswahl) . . . . .	91
12.3.3	Übungsaufgabe . . . . .	92
12.3.4	Drehzyklen (Auswahl) . . . . .	94
12.3.5	Übungsaufgabe . . . . .	95
<b>13</b>	<b>Erweiterte Programmierung</b>	<b>99</b>
<b>13.1</b>	<b>Polarkoordinaten</b> . . . . .	99
13.1.1	Bearbeitungsebenen und Programmierung . . . . .	99
13.1.2	Beispiele . . . . .	101
13.1.3	Übungsaufgabe . . . . .	101
<b>13.2</b>	<b>Konturzüge</b> . . . . .	102
13.2.1	Konturzugprogrammierung . . . . .	102
13.2.2	Verkettung von Sätzen . . . . .	106
13.2.3	Anfahrstrategien . . . . .	106
13.2.4	Übungsaufgaben . . . . .	107
<b>13.3</b>	<b>Schraubenlinien-Interpolation</b> . . . . .	108
13.3.1	Übungsaufgabe . . . . .	108
<b>13.4</b>	<b>Zylinder-Interpolation</b> . . . . .	109
13.4.1	Zylinder-Interpolation auf Fräsmaschinen . . . . .	109
13.4.2	Beispiele auf Fräsmaschinen . . . . .	110
<b>13.5</b>	<b>Dreh-Fräs-Bearbeitung</b> . . . . .	112
13.5.1	Dreh-Fräs-Bearbeitung mit Rotationsachsen . . . . .	112
13.5.2	Einsatzmöglichkeiten der C-Achse . . . . .	112
13.5.3	Bahn- und Winkelgeschwindigkeiten . . . . .	113
13.5.4	C-Achse als Rotationsachse . . . . .	114
13.5.5	Fräsen an der Planfläche mit G17 . . . . .	115
13.5.6	Fräsen von Zylinderbahnen mit G19 . . . . .	116
13.5.7	C-Achse als Linearachse . . . . .	117
<b>14</b>	<b>Programmaufbau nach PAL<sup>1)</sup></b>	<b>118</b>
<b>14.1</b>	<b>PAL-Funktionen bei Dreh- und Fräsmaschinen</b> . . . . .	118
<b>14.2</b>	<b>Wegbedingungen-Drehen</b> . . . . .	120
14.2.1	Linearinterpolation im Arbeitsgang mit G1 . . . . .	120
14.2.2	Übungsaufgabe . . . . .	122
14.2.3	Kreisinterpolation . . . . .	123
<b>14.3</b>	<b>PAL-Zyklus-Drehen (Auswahl)</b> . . . . .	124
14.3.1	Längsschruppzyklus G81 . . . . .	124
<b>14.4</b>	<b>Wegbedingungen-Fräsen</b> . . . . .	125
14.4.1	Linearinterpolation im Arbeitsgang mit G1 . . . . .	125
14.4.2	Übungsaufgabe . . . . .	127
14.4.3	Kreisinterpolation . . . . .	128
<b>14.5</b>	<b>PAL-Zyklus-Fräsen (Auswahl)</b> . . . . .	129