

# Inhalt

<b>5 Lernfeld 5: Herstellen von Bauelementen durch spanende Fertigung</b>	<b>1</b>		
<b>1 Einflussgrößen beim maschinellen Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide</b>	<b>2</b>		
1.1 Technologische Daten und deren Auswirkungen	2	2.5.3 Spannen zwischen den Spalten	35
1.1.1 Bewegungen und Geschwindigkeiten	2	2.5.4 Spanndorn und Spannzange	35
1.1.2 Winkel an der Werkzeugschneide	3	2.5.5 Setzstock (Lünette)	36
1.1.3 Spanarten und Spanformen	3	2.6 Spezielle Drehverfahren	36
1.1.4 Schrupp- und Schlichtbearbeitung	5	2.6.1 Kegeldrehen	36
1.1.5 Schneidenradius	6	2.6.2 Gewindedrehen	37
1.1.6 Verschleiß, Standzeit, Aufbauschneide	6	3.6.3 Ab- und Einstechen	38
1.2 Schneidstoffe und Wendeschneidplatten	7	2.6.3.1 Abstechen	38
1.2.1 Schnellarbeitsstahl (HSS)	8	2.6.3.2 Einstechen und Nutendrehen	40
1.2.2 Hartmetalle	8	2.6.4 Profildrehen	42
1.2.3 Beschichtete Schneidstoffe	9	2.6.4.1 Profildrehen mit profilierten Drehmeißeln	42
1.2.4 Schneidkeramik	9	2.6.4.2 Profildrehen mit radienförmigen Schneidplatten	42
1.2.5 Wendeschneidplatten	10	2.6.5 Innenbearbeitung	43
1.3 Kühlsmierstoffe	11	2.6.5.1 Bohren	43
1.3.1 Aufgaben der Kühlsmierstoffe	11	2.6.5.2 Innendrehen	44
1.3.2 Kühlsmierstoffarten und -auswahl	12	2.6.6 Rändeln	46
1.3.3 Umgang mit Kühlsmierstoffen	12	2.6.6.1 Rändeln durch Umformen	46
1.3.4 Alternativen zur konventionellen Kühlsmierung	13	2.6.6.2 Rändeln durch Spanen	46
<b>2 Drehen</b>	<b>17</b>	<b>3 Fräsen</b>	<b>52</b>
2.1 Drehverfahren	17	3.1 Fräserfahren	52
2.2 Arbeitsauftrag	18	3.2 Arbeitsauftrag	53
2.2.1 Analyse der Einzelteilzeichnung	20	3.2.1 Analyse der Einzelteilzeichnung	53
2.2.2 Arbeitsplanung	26	3.2.2 Arbeitsplanung	54
2.3 Drehmaschinen	27	3.3 Fräsmaschine	55
2.3.1 Stütz- und Trageeinheiten (Maschinenbett)	27	3.4 Fräserfahren im Vergleich	55
2.3.2 Spindelstock mit Hauptgetriebe und Arbeitsspindel	27	3.4.1 Stirn-Planfräsen und Umfangs-Planfräsen	55
2.3.3 Vorschubgetriebe mit Leit- und Zugspindel	27	3.4.2 Gleichlauf- und Gegenlauffräsen	56
2.3.4 Werkzeugschlitten	29	3.5 Werkzeugauswahl und Werkzeugeinsatz	58
2.3.5 Reitstock	29	3.5.1 Planfräsen	58
2.4 Drehwerkzeuge und deren Auswahl	29	3.5.1.1 Fräserauswahl	58
2.4.1 Ecken-, Einstell- und Neigungswinkel	29	3.5.1.2 Festlegen der Prozessparameter	60
2.4.2 Werkzeugauswahl und technologische Daten	31	3.5.2 Stirn-Umfangsfräsen	62
2.5 Spannmittel	32	3.5.3 Nutenfräsen	63
2.5.1 Kräfte an Werkzeug und Werkstück	32	3.6 Spannen von Werkzeug und Werkstück	64
2.5.2 Backenfutter	33	3.6.1 Spannen der Werkzeuge	64
		3.6.2 Spannen der Werkstücke	67
		3.7 Spezielle Fräserfahren	69
		3.7.1 Teilen	69
		3.7.1.1 Direktes Teilen	69
		3.7.1.2 Indirektes Teilen	69
		3.7.2 Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsfräsen	71

3.7.3	Aufbohren und Stufenbohren	72	7.5.5	Oberflächenqualitäten und Fertigungsverfahren	109
3.7.3.1	Aufbohren	72	7.5.6	Prüfen von Oberflächen	111
3.7.3.2	Stufenbohren	73	7.5.6.1	Subjektives Prüfen	111
3.7.4	Gewindefräsen	73	7.5.6.2	Objektives Prüfen	111
3.7.5	Zahnradfräsen	75	7.5.7	Zusammenhang zwischen Maßtoleranz und Oberflächenbeschaffenheit	113
3.7.5.1	Formfräsen	75	7.6	Fräsen von Form- und Lagetoleranzen	114
3.7.5.2	Wälzfräsen	75	7.6.1	Formtoleranzen	114
3.7.5.3	CAD-CAM-Fräsen	76	7.6.2	Lagetoleranzen	115
<b>4</b>	<b>Räumen</b>	<b>79</b>	7.6.3	Messen mit der Koordinatenmessmaschine	118
<b>5</b>	<b>Kosten im Betrieb</b>	<b>81</b>	7.6.3.1	Messen von Form- und Lagetoleranzen	119
5.1	Kostenarten und Zeiten in der Fertigung	81	7.6.3.2	Prüfen von Zahnrädern	121
5.2	Betriebsmittelhauptnutzungszeit	81	7.7	Acessories for Micrometers	123
5.2.1	Berechnungen mit konstanter Umdrehungsfrequenz	84	<b>8</b>	<b>Werkstofftechnik</b>	<b>126</b>
5.2.2	Drehen mit konstanter Schnittgeschwindigkeit	85	8.1	Auswirkungen der Werkstoffeigenschaften auf die Zerspanbarkeit	126
5.3	Kostenberechnung	88	8.2	Werkstoffarten	128
5.3.1	Lohnkosten	88	8.2.1	Eisenwerkstoffe	128
5.3.2	Materialkosten	88	8.2.1.1	Stahlsorten	128
5.3.3	Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten	89	8.2.1.1.1	Einteilung der Stähle in Hauptgütegruppen nach DIN EN 10020	128
5.3.4	Zuschlagskalkulation	89	8.2.1.1.2	Einteilung der Stähle in verschiedene Stahlsorten	132
5.3.5	Maschinenstundensatz	90	8.2.1.2	Gusseisenwerkstoffe	139
<b>6</b>	<b>Milling Machine and Shell End Mill Arbor</b>	<b>92</b>	8.2.1.3	Stahlguss	141
6.1	Milling Machine	92	8.2.2	Nichteisenmetalle	141
6.2	Shell End Mill Arbor	93	8.2.3	Kunststoffe	144
6.3	Work With Words	94	8.3	Bestimmung von mechanischen und technologischen Werkstoffkennwerten	145
<b>7</b>	<b>Prüftechnik</b>	<b>95</b>	8.3.1	Kennwerte aus den Festigkeitsprüfungen	146
7.1	Prüfen von Bauteilen	95	8.3.2	Härtekennwerte	148
7.1.1	Zeitpunkt des Prüfens und Prüfumfang	95	8.3.2.1	Härteprüfung nach Brinell	149
7.1.2	Prüfen am Fertigteil	95	8.3.2.2	Härteprüfung nach Vickers	149
7.2	Prüfen von Längen	96	8.3.2.3	Härteprüfung nach Rockwell	149
7.2.1	Mechanische Längenmessung	96	8.3.2.4	Härteprüfung von Kunststoffen	150
7.2.2	Pneumatische Längenmessung	99	8.4	Handbook – Charpy Impact Test	149
7.2.3	Elektronische Längenmessung	100	8.5	Work With Words	150
7.3	Prüfen von Gewinden	101	<b>9</b>	<b>Baugruppen und Bauelemente an Werkzeugmaschinen</b>	<b>153</b>
7.4	Prüfen von Kegeln	104	9.1	Lagerungen und Führungen	153
7.5	Prüfen von Oberflächen	106	9.1.1	Lagerungen	153
7.5.1	Oberflächen	106	9.1.1.1	Gleitlager	153
7.5.2	Oberflächenqualität	106	9.1.1.2	Wälzlager	155
7.5.3	Gestaltabweichungen	107			
7.5.4	Kenngrößen für Gestaltabweichungen	107			

9.1.2	Führungen	158	3.4	Schmierpasten	198
9.1.2.1	Geradführungen	158	3.5	Schmierverfahren	199
9.1.2.2	Rundführungen	160	3.5.1	Schmierintervalle	199
9.1.3	Passungen und Passungssysteme	161	3.5.2	Ausführungsarten	199
9.1.3.1	Passungsarten	161	3.6	Beurteilung von Schmierstoffen	200
9.1.3.2	Passungssysteme	162	3.7	Auswahl von Schmierstoffen	201
9.2	Elemente und Baugruppen zur Drehmomentübertragung	164	3.8	Lagerung und Entsorgung von Schmierstoffen Gesundheitsschutz	203
9.2.1	Drehmoment und Drehmomentübertragung	164	<b>4</b>	<b>Wartung und Inspektion von Kühlenschmierstoffen</b>	205
9.2.2	Riementriebe	164	4.1	Kennwerte von Kühlenschmierstoffen	205
9.2.2.1	Flachriementrieb	165	4.2	Austausch von Kühlenschmierstoffen	207
9.2.2.2	Keilriementrieb	167	<b>5</b>	<b>Wartung und Inspektion von Baugruppen</b>	208
9.2.2.3	Zahnriementrieb	168	5.1	Wartung und Inspektion mechanischer Komponenten	208
9.2.3	Zahnradtriebe	169	5.2	Wartung und Inspektion hydraulischer und pneumatischer Komponenten	211
9.2.3.1	Zahnradmaße	169	5.3	Wartung und Inspektion elektrischer Komponenten	211
9.2.3.2	Übersetzungsverhältnis	170	5.4	Wartung und Inspektion von Sicherheits-einrichtungen und peripheren Einrichtungen	211
9.2.3.3	Drehmomentwandlung	172	<b>6</b>	<b>Instandhaltungsstrategien</b>	<b>212</b>
9.2.3.4	Zahnradformen und -darstellung	173	6.1	Vorbeugende Instandhaltung	212
9.2.3.5	Getriebearten	173	6.2	Zustandsorientierte Instandhaltung	214
9.2.4	Kupplungen	177	<b>7</b>	<b>Inbetriebnahme von Werkzeug-maschinen</b>	215
9.2.4.1	Nicht schaltbare Kupplungen	178	7.1	Bearbeitungsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen	217
9.2.4.2	Schaltbare Kupplungen	179	7.2	Sicherheitsbestimmungen für den Betrieb von Werkzeugmaschinen	218
9.2.4.3	Sicherheitskupplungen	180	<b>8</b>	<b>Maintenance Survey of a CNC Milling Centre</b>	219
9.2.5	Welle-Nabe-Verbindungen	181		Work With Words	222
9.2.5.1	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	181	<b>7</b>	<b>Lernfeld 7: Inbetriebnehmen steuerungs-technischer Systeme</b>	223
9.2.5.2	Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	182	<b>1</b>	<b>Steuerungen und Regelungen</b>	224
<b>5</b>	<b>Lernfeld 6: Warten und Inspizieren von Werkzeugmaschinen</b>	185	<b>2</b>	<b>Aufbau von Steuerungen – das EVA-Prinzip</b>	225
<b>1</b>	<b>Bedeutung der Instandhaltung</b>	186	<b>3</b>	<b>Sensoren</b>	226
<b>2</b>	<b>Aufbau von Werkzeugmaschinen</b>		3.1	Berührende Sensoren	226
2.1	Beanspruchungen und Belastungen von Bauteilen	188	3.2	Berührungslose Sensoren	227
2.2	Verschleiß, Reibung, Schmierung (Tribologie)	190			
2.3	Berechnung von Lagerkräften und Flächenpressung	192			
2.3.1	Berechnung von Lagerkräften	192			
2.3.2	Berechnung von Flächenpressungen	193			
<b>3</b>	<b>Schmierstoffe</b>	196			
3.1	Schmieröle	196			
3.2	Schmierfette	197			
3.3	Festschmierstoffe (Trockenschmierstoffe)	198			

<b>4</b>	<b>Einteilung der Steuerungen nach Aufgaben und Signalverarbeitung</b>	229	1.2.1	Maschinennullpunkt	258																																																																					
4.1	Kombinatorische Steuerungen	229	1.2.2	Referenzpunkt	258																																																																					
4.1.1	UND-Funktion	230	1.2.3	Werkstücknullpunkt	258																																																																					
4.1.2	NICHT-Funktion	230	1.2.4	Werkzeugeinstellpunkt	258																																																																					
4.1.3	ODER-Funktion	231	1.3	Konturpunkte an Werkstücken	259																																																																					
4.2	Ablaufsteuerungen	231	1.3.1	Drehteile	259																																																																					
4.2.1	Prozessgeführte Ablaufsteuerungen	231	1.3.2	Frästeile	259																																																																					
4.2.2	Zeitgeführte Ablaufsteuerungen	232	1.4	Steuerungsarten	260																																																																					
4.2.3	Grafische Darstellungsmöglichkeiten für Ablaufsteuerungen	232	1.4.1	Punktsteuerungen	260																																																																					
4.2.3.1	Weg-Schritt-Diagramm	232	1.4.2	Streckensteuerungen	260																																																																					
4.2.3.2	Grafset	233	1.4.3	Bahnsteuerungen	260																																																																					
<b>5</b>	<b>Aktoren</b>	236	1.5	Baueinheiten	261																																																																					
5.1	Pneumatische Aktoren	236	1.5.1	Hauptantrieb	261																																																																					
5.1.1	Pneumatische Signalverarbeitung	236	1.5.1.1	Elektromechanischer Antrieb	261																																																																					
5.1.1.1	Pneumatische Spannvorrichtung an einer Bohrmaschine	236	1.5.1.2	Direktantrieb	261																																																																					
5.1.1.2	Pneumatisches Handhabungsgerät	238	1.5.2	Vorschubantriebe	263																																																																					
5.1.1.3	Pneumatisch betätigtes Dreibackenfutter	239	1.5.2.1	Elektromechanische Antriebe	263																																																																					
5.1.1.4	Nullpunktspannungsysteem	241	1.5.2.2	Direktantrieb	264																																																																					
5.1.2	Elektrische Signalverarbeitung – Elektropneumatik	242	1.5.3	Lage- und Geschwindigkeitsregelkreis	264																																																																					
5.2	Hydraulische Aktoren	243	1.5.4	Wegmesssysteme	266																																																																					
5.2.1	Aufbau einer Hydraulikanlage	243	1.5.5	Anpassteuerung	268																																																																					
5.2.2	Hydraulische Aktoren an Werkzeugmaschinen	244	1.5.6	Anzeige- und Wiederholgenauigkeit	268																																																																					
5.2.2.1	Hydraulisch betätigter Reitstock	244	<b>2</b>	<b>Aufbau von CNC-Programmen</b>	270																																																																					
5.2.2.2	Hydraulisches Spannfutter	246	2.1	Geometrische Informationen (Wegbedingungen)	271	5.3	Elektrische Aktoren	249	2.1.1	Absolute und inkrementale Maßangabe	272	5.3.1	Drehstrommotoren	249	2.1.2	Polarkoordinaten	273	5.3.2	Elektromotoren an Werkzeugmaschinen	250	2.1.3	CNC-gerechte Einzelteilbemaßung	273	5.3.3	Betriebsverhalten von Elektromotoren	252	2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274	<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288
2.1	Geometrische Informationen (Wegbedingungen)	271																																																																								
5.3	Elektrische Aktoren	249	2.1.1	Absolute und inkrementale Maßangabe	272	5.3.1	Drehstrommotoren	249	2.1.2	Polarkoordinaten	273	5.3.2	Elektromotoren an Werkzeugmaschinen	250	2.1.3	CNC-gerechte Einzelteilbemaßung	273	5.3.3	Betriebsverhalten von Elektromotoren	252	2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274	<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288						
2.1.1	Absolute und inkrementale Maßangabe	272																																																																								
5.3.1	Drehstrommotoren	249	2.1.2	Polarkoordinaten	273	5.3.2	Elektromotoren an Werkzeugmaschinen	250	2.1.3	CNC-gerechte Einzelteilbemaßung	273	5.3.3	Betriebsverhalten von Elektromotoren	252	2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274	<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288												
2.1.2	Polarkoordinaten	273																																																																								
5.3.2	Elektromotoren an Werkzeugmaschinen	250	2.1.3	CNC-gerechte Einzelteilbemaßung	273	5.3.3	Betriebsverhalten von Elektromotoren	252	2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274	<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288																		
2.1.3	CNC-gerechte Einzelteilbemaßung	273																																																																								
5.3.3	Betriebsverhalten von Elektromotoren	252	2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274	<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288																								
2.1.4	Berechnen von Bohrungsmittel-, Kontur- und Schnittpunkten	274																																																																								
<b>6</b>	<b>Tool Changing Cycle in a CNC-Machine</b>	253	2.2	Technologische Informationen	277		Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288																														
2.2	Technologische Informationen	277																																																																								
	Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277	<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280	3.1	Arbeitsplanung	280	3.2	Manuelles Programmieren	282	3.2.1	Nullpunktverschiebung	282	3.2.2	Werkzeugwechsel	283	3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283	3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284	3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285	3.2.6	Schneidenradienkompensation	287	3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288	3.2.8	Bearbeitungszyklen	288																																				
2.3	Zusatzinformationen	277																																																																								
<b>3</b>	<b>CNC-Drehen</b>	280																																																																								
3.1	Arbeitsplanung	280																																																																								
3.2	Manuelles Programmieren	282																																																																								
3.2.1	Nullpunktverschiebung	282																																																																								
3.2.2	Werkzeugwechsel	283																																																																								
3.2.3	Drehrichtungen der Arbeitsspindel	283																																																																								
3.2.4	Eilgang und Vorschubbewegung auf einer Geraden	284																																																																								
3.2.5	Vorschubbewegungen auf Kreisbögen	285																																																																								
3.2.6	Schneidenradienkompensation	287																																																																								
3.2.7	Werkzeugbahnnkorrektur	288																																																																								
3.2.8	Bearbeitungszyklen	288																																																																								



## Lernfeld 8: Programmieren und Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen 255

<b>1</b>	<b>Aufbau von CNC-Maschinen</b>	256
1.1	Koordinatensysteme	256
1.1.1	Koordinatensysteme an Werkzeugmaschinen	257
1.2	Bezugspunkte im Arbeitsraum der CNC-Maschine	258

3.2.9	Unterprogrammtechnik	291	1.5.1	Schnittgeschwindigkeit	335
3.3	Werkstattorientierte Programmierung	292	1.5.2	Vorschubgeschwindigkeit	335
3.4	Programmüberprüfung	293	1.5.3	Zustelltiefe	336
3.5	Einrichten der Maschine	293	1.5.4	Zeitspannungsvolumen	336
3.5.1	Einrichten und Vermessen der Werkzeuge	293	1.5.5	Werkstückgeschwindigkeit	336
3.5.2	Einrichten der Spannmittel	295	1.5.6	Kühlschmierung	337
3.6	Zerspanen und Prüfen	296	1.5.7	Wirkhärte	337
3.7	Optimierung	297	1.5.8	Probleme und Problemlösungsvorschläge	338
3.8	Komplettbearbeitung an Drehzentren	299	1.6	Schleifverfahren und Schleifmaschinen	339
<b>4</b>	<b>CNC-Fräsen</b>	<b>301</b>	<b>1.6.1</b>	Planschleifen	<b>339</b>
4.1	Arbeitsplanung	303	1.6.2	Außenrundschleifen	340
4.2	Manuelle Programmierung	304	1.6.3	Innenrundschleifen	340
4.2.1	Werkstücknullpunkt und Bearbeitungsebene	304	1.6.4	Spitzenloses Außenrundschleifen	341
4.2.2	Automatischer Werkzeugwechsel	305	1.6.5	Hochgeschwindigkeitsschleifen	341
4.2.3	Fräsermittelpunkt-Programmierung	306	1.6.6	Konturschleifen	342
4.2.4	Fräsyklen	306	1.6.7	Gewindeschleifen	342
4.2.5	Konturprogrammierung	309	1.6.8	Zahnradenschleifen	342
4.2.6	An- und Abfahren beim Schlichten der Kontur	311	1.7	Fertigungsplanung zum Schleifen	344
4.2.7	Bohrzyklen und Bohrbilder	312	<b>2</b>	<b>Honen</b>	348
4.2.8	Unterprogrammtechnik und Wiederholfunktionen	314	2.1	Langhubhonen	348
4.3	Einrichten der Maschine	316	2.2	Kurzhubhonen	350
4.3.1	Spannen des Werkstücks	316	2.2.1	Kurzhubhonen zwischen den Spitzen	350
4.3.2	Festlegen des Werkstücknullpunkts	316	2.2.2	Spitzenloses Kurzhubhonen	350
4.3.3	Messen der Werkzeuge	317	<b>3</b>	<b>Läppen</b>	352
4.3.4	Einsetzen der Werkzeuge in das Werkzeugmagazin	318	3.1	Prozessparameter	352
4.3.5	Simulation des Zerspanungsprozesses	318	3.2	Läppverfahren	353
4.4	Zerspanen, Prüfen und Optimieren	319	<b>4</b>	<b>Feinschleifen</b>	354
<b>5</b>	<b>CNC Machine – Reference Point Approach</b>	<b>324</b>	<b>5</b>	<b>Gleitschleifen</b>	<b>354</b>
	Work With Words	326	<b>6</b>	<b>Feinbearbeitung gehärteter Stähle durch Drehen und Fräsen</b>	<b>357</b>
<b>9</b>	<b>Lernfeld 9: Herstellen von Bauelementen durch Feinbearbeitungsverfahren</b>	<b>327</b>	6.1	Präzisions-Harddrehen	357
<b>1</b>	<b>Schleifen</b>	<b>328</b>	6.1.1	Schneidstoff und Schneidplattengeometrie	357
1.1	Schleifkörper	329	6.1.2	Stabilität der Werkzeug- und Wendeschneidplattenaufnahme	358
1.2	Abrichten	331	6.1.3	Stabilität des Werkstücks	359
1.3	Auswuchten	333	6.1.4	Stabilität der Spannmittel	359
1.4	Sicherheit und Unfallverhütung	334	6.1.5	Stabilität und Präzision der Werkzeugmaschine	359
1.5	Prozessparameter beim Schleifen	335	6.2	Präzisions-Hartfräsen	359
			6.2.1	Schneidstoff und Schneidplattengeometrie	360
			6.2.2	Stabilität und Rundlauf des Werkzeugs und der Werkzeugaufnahme	360

6.2.3	Werkstückvorbereitung	360	2.2.1	Spanflächenverschleiß	379
6.2.4	Schnittdaten für das Schlichten und die Restbearbeitung	361	2.2.1.1	Kolkverschleiß	379
6.2.5	Stabilität und Präzision der Werkzeugmaschine	362	2.2.1.2	Kerbverschleiß	380
6.2.6	Anforderungen an das CAM-System	362	2.2.2	Freiflächenverschleiß	381
<b>7</b>	<b>Glattwalzen</b>	<b>364</b>	2.2.3	Schneidkantenverschleiß	381
7.1	Grundlagen	364	2.3	Aufbauschneidenbildung	382
7.2	Voraussetzungen und Vorbereitungen	364	2.4	Schneidenbruch	382
7.3	Verfahren	365	2.5	Verschleißkriterien	383
<b>8</b>	<b>Finish-Machining</b>	<b>367</b>	2.6	Werkzeugüberwachung	383
8.1	Grinding Machine	367	2.6.1	Prozessbegleitende Werkzeugüberwachung	383
8.1.1	General Information	367	2.6.2	Postprozess-Werkzeugüberwachung	384
8.1.2	Some Facts and Figures	368	<b>3</b>	<b>Standzeit</b>	386
8.2	Superfinishing	369	3.1	Standzeitberechnung nach Taylor	386
8.2.1	General Information	369	3.2	Kostenoptimale Standzeit	387
8.3	Work With Words	370	3.3	Zeitoptimale Standzeit	387
<b>10</b>	<b>Lernfeld 10: Optimieren des Fertigungsprozesses</b>	<b>372</b>	<b>4</b>	<b>Leistung und Wirkungsgrad bei Zerspanungsprozessen</b>	389
1	<b>Optimieren der Fertigungswirtschaftlichkeit</b>	372	4.1	Wirkungsgrad und Wirkungskette	390
1.1	Optimieren der Fertigungszeit	372	4.2	Schnittleistung und Schnittmoment beim Drehen	390
1.1.1	Rüstzeit	372	4.3	Schnittleistung und Schnittmoment beim Bohren	391
1.1.2	Nebenzeitz	373	4.4	Schnittleistung und Schnittmoment beim Fräsen	391
1.1.3	Werkzeugwechsel	373	4.5	Maximale Zerspanungswerte	392
1.1.4	Hauptnutzungszeit	373	<b>5</b>	<b>Wärmebehandlung und Zerspanbarkeit</b>	394
1.2	Optimieren der Schrubbearbeitung	373	5.1	Wahl von Schneidstoffen und Zerspanungsparametern	394
1.3	Optimieren der Schlichtbearbeitung	375	5.2	Gefügeveränderung durch Glühen	394
1.3.1	Sollgeometrie wird nicht erreicht	375	5.2.1	Spannungsarmglühen	395
1.3.2	Oberflächengüte wird nicht erreicht	375	5.2.2	Normalglühen	395
1.3.2.1	Rautiefe	375	5.2.3	Weichglühen	395
1.3.2.2	Welligkeit	375	5.2.4	Grobkornglühen	396
1.3.3	Optimieren der Fertigungskosten und Fertigungszeit	376	5.2.5	Rekristallisationsglühen	396
1.4	Optimieren unter ökologischem Aspekt	376	5.3	Härten	396
1.4.1	Einsatzstoffe (Betriebs- und Hilfsstoffe)	376	5.3.1	Härten von Stahl (Martensitbildung)	397
1.4.2	Energieeffizienz	378	5.3.2	Anlassen	397
1.4.3	Materialeffizienz	378	5.3.3	Vergüten	397
<b>2</b>	<b>Werkzeugverschleiß</b>	<b>379</b>	5.3.4	Randschichthärten	398
2.1	Verschleißursachen	379	5.3.4.1	Flamm- und Induktionshärten	398
2.2	Verschleißformen	379	5.3.4.2	Einsatzhärten	398

5.3.4.3 Nitrierhärten	399	<b>2. Komplettbearbeitung auf der Drehmaschine</b>	420
5.3.4.4 Carbonitrieren	399	2.1 Drehen mit einer Arbeitsspindel und drei bis vier gesteuerten Achsen	422
5.3.4.5 Laserstrahlhärten	399	2.1.1 Arbeitsplanung	423
<b>6 Maschinenkonzepte</b>	400	2.1.2 Manuelle Programmierung	425
6.1 Grundlegende Bauformen	400	2.1.2.1 Drehbearbeitung	425
6.1.1 Bohrmaschinen	400	2.1.2.2 Stirnlächenbearbeitung	426
6.1.2 Drehmaschinen	401	2.1.2.3 Sehnen- und Mantellächenbearbeitung	427
6.1.3 Fräsmaschinen	401	2.1.3 Grafisch-interaktive Programmierung	429
6.2 Weiterentwicklungen	403	2.1.4 CAD-CAM-Programmierung	431
<b>7 HPC</b>	406	2.2 Drehen mit mehreren Antriebsspindeln	433
7.1 High Performance Cutting	406	2.2.1 Gegenspindeldrehmaschine mit einem Werkzeugrevolver	433
7.2 High Productive Cutting	406	2.2.2 Gegenspindeldrehmaschine mit mehreren Werkzeugrevolvern	435
<b>8 Types of Lathes and Milling Machines</b>	409	2.2.3 Drehfräszentrum mit B-Achse	435
8.1 Lathes	409	2.2.4 CNC-Drehautomaten	438
8.1.1 Flat-Bed Turning Lathes	409	<b>3 5-Achs-Bearbeitung mit Fräsmaschinen</b>	444
8.1.2 Inclined-Bed Turning Lathes	409	3.1 Fräsen mit angestellten Werkzeugen im Positionierbetrieb	447
8.1.3 Vertical Boring and Turning Mills	409	3.1.1 Spannsysteme für das 5-Achs-Fräsen	448
8.2 Milling Machines	410	3.1.2 Manuelle Programmierung	452
8.2.1 Column-and-Knee Milling Machines	410	3.1.2.1 Absolute Drehung des WKS	454
8.2.2 Horizontal-Bed Type Milling Machines	410	3.1.2.2 Relative Drehung des WKS	456
8.2.3 Portal Milling Machines	410	3.1.3 CAD-CAM-Programmierung	458
8.3 Work With Words	411	3.2 Fräsen anspruchsvoller Geometrien	460
<b>11 Lernfeld 11: Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung</b>	412	3.3 5-Achs-Fräsen im Simultanbetrieb	464
<b>1 Rechnereinsatz und Organisieren rechnergestützter Fertigung</b>	413	3.3.1 Ebenenschichten	464
1.1 Produktentstehung im Produktlebenszyklus	413	3.3.2 Profilschichten	564
1.2 Rechnergestützte Anwendungen während der Produktentstehung	413	3.3.3 Äquidistantes Schichten	464
1.2.1 CAD	414	3.3.4 Stirnen	465
1.2.2 CAE	415	3.3.5 Wälzfräsen	465
1.2.3 CAP	415	3.4 Optische 3-D-Messtechnik	465
1.2.4 CAM	415	3.4.1 Laserscannen	465
1.2.5 CAQ	416	3.4.2 Streifenprojektionsverfahren	466
1.3 Produktdatenmanagement (PDM)	416	<b>4 Flexible Fertigungsstellen und -systeme</b>	469
1.4 Product Lifecycle Management (PLM)	417	4.1 Flexible Fertigungsstellen	470
1.4.1 CRM	417	4.1.1 Werkstückhandhabung	470
1.4.2 CSM	418	4.1.1.1 Drehzellen	470
1.4.3 PPS	418	4.1.1.2 Fräszellen	472
		4.1.2 Werkstückverwaltung	474

4.1.3	Werkzeughandhabung	475	<b>3</b>	<b>Prüfen</b>	507
4.1.4	Werkzeugverwaltung	476	<b>4</b>	<b>Einlagerung und Versand</b>	509
4.2	Flexible Fertigungssysteme	478	<b>5</b>	<b>Transport mit Hebezeugen</b>	510
4.2.1	Transportsysteme	478	<b>6</b>	<b>Wareneingang und Qualitätssicherung</b>	513
4.2.1.1	Roboter	479	<b>7</b>	<b>Beurteilung der Prozessqualität</b>	514
4.2.1.2	Rollen- und Gurtförderer	479	<b>8</b>	<b>Eight Disciplines Problem Solving</b>	515
4.2.1.3	Fahrerlose Flurförderzeuge	480		Work With Words	516
4.2.2	Informationssysteme	482			
4.2.2.1	Ebenen des Informationssystems	482			
4.2.2.2	Kommunikationseinrichtungen des Informationssystems	483			
<b>5</b>	<b>Industrieroboter</b>	484	<b>13</b>	<b>Lernfeld 13: Organisieren und Überwachen von Fertigungsprozessen in der Serienfertigung</b>	517
5.1	Industrierobotertypen	484	<b>1</b>	<b>Qualität</b>	518
5.2	Kenngrößen von Industrierobotern	484	1.1	Die Spannweite des Begriffs	518
5.3	Bewegungen von Industrierobotern	486	1.2	Die Bedeutung der Qualität für den Absatz	518
5.4	Aufbau von Industrierobotern	487	1.3	Einflussfaktoren auf die Qualität während der Herstellungsphase	518
5.4.1	Kinematik	487	1.3.1	Verbesserungsvorschläge	519
5.4.2	Steuerung	488	1.3.2	Ursachen für Fehler	519
5.4.3	Antriebe	488	1.3.3	Verantwortung für Fehler	520
5.4.4	Sensorik	489	1.3.4	Toleranz und Qualität	520
5.4.5	Werkzeuge	489	1.3.5	Ausschussquote	521
5.5	Programmierung von Industrierobotern	490	1.4	Qualitätsmanagementsysteme	521
5.5.1	On-Line-Programmierung	490	<b>2</b>	<b>Qualitätsmerkmale, Prüfmerkmale und Prozessqualität</b>	524
5.5.2	Off-Line-Programmierung	490	2.1	Qualitätsmerkmale	524
5.6	Sicherheitsanforderungen	491	2.2	Prüfmerkmale	525
5.6.1	Sicherheit während des Betriebs	491	2.2.1	Einteilung der Prüfmerkmale	525
5.6.2	Sicherheit während der Programmierung	493	2.2.1.1	Variable Merkmale	525
<b>6</b>	<b>CAM – Computer Aided Manufacturing</b>	494	2.2.1.2	Attributive Merkmale	526
6.1	A PC-Programming System	494	2.2.2	Prüfmerkmale der Kegelradwelle	526
6.2	Planning, Optimizing and Programming	495	2.2.3	Messmittel bereitstellen	526
6.3	Work With Words	496	2.3	Prozessqualität	527
<b>12</b>	<b>Lernfeld 12: Vorbereitung und Durchführung eines Einzelfertigungsauftrags</b>	497	<b>3</b>	<b>Statistik in der Fertigungstechnik</b>	528
<b>1</b>	<b>Information und Auftragsplanung</b>	498	3.1	Urwertliste	528
1.1	Auftragsklärung	498	3.2	Histogramm	528
1.2	Auftragsumfang und Auftragsziel analysieren	500	3.2.1	Aufbau eines Histogramms	529
1.2.1	Zeichnungsanalyse	503	3.2.2	Vergleich der beiden Histogramme	529
1.2.2	Rüstplan	503	3.2.3	Verteilformen von Histogrammen	529
<b>2</b>	<b>Fertigung</b>	507	3.2.4	Zeichnen eines Histogramms	530
			3.2.5	Vor- und Nachteile des Histogramms	530
			3.3	Gaußkurve	531
			3.3.1	Vom Histogramm zur Gaußkurve	531

3.3.2	Wahrscheinlichkeitsnetz	531
3.3.3	Besonderheiten der Gaußkurve	533
3.3.4	Vergleich zwischen Histogramm und Gaußkurve	533
3.3.5	Kennzahlen der Gaußkurve	533
3.3.6	Anwendung der Gaußkurve in der Fertigung	534
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Maschinen- und Prozessfähigkeit</b>	538
4.1	Maschinenfähigkeit	538
4.1.1	Bedingungen bei der Maschinen-fähigkeitsuntersuchung	538
4.1.2	Berechnen der Maschinenfähigkeit	538
4.1.3	Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz	540
4.1.4	Rechnergestützte Auswertung	542
4.2	Prozessfähigkeit	543
4.2.1	Stufen der Prozessfähigkeit	543
4.2.2	Ziele der Prüfung	545
4.2.3	Urwertkarte	545
4.2.4	Qualitätsregelkarte	545
4.2.5	Fehlersammelkarte	548
<b>5</b>	<b>Prozessüberwachung</b>	549
5.1	Rechnergestützte Prozessüberwachung	549
5.2	Prozessmodelle	551
5.3	Box Plot	553
5.4	100 %-Kontrolle	553
5.5	Statistische Qualitätsregelung	554
<b>6</b>	<b>Quality Management</b>	556
6.1	Introduction	556
6.2	Information given in a quality management centre	556
	Work With Words	558
	<b>Englisch-deutsche Vokabelliste</b>	559
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	574
	<b>Abkürzungen</b>	585
	<b>Formelzeichen</b>	587
	<b>Formeln</b>	588