

1	Einflussgrößen beim maschinellen Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide	2
1.1	Technologische Daten und deren Auswirkungen	2
1.1.1	Bewegungen und Geschwindigkeiten	2
1.1.2	Winkel an der Werkzeugschneide	3
1.1.3	Spanarten und Spanformen	3
1.1.4	Schrupp- und Schlichtbearbeitung	5
1.1.5	Schneidenradius	6
1.1.6	Verschleiß, Standzeit, Aufbauschneide	6
1.2	Schneidstoffe und Wendeschneidplatten	7
1.2.1	Schnellarbeitsstahl (HSS)	8
1.2.2	Hartmetalle	8
1.2.3	Beschichtete Schneidstoffe	9
1.2.4	Schneidkeramik	9
1.2.5	Wendeschneidplatten	10
1.3	Kühlschmierstoffe	11
1.3.1	Aufgaben der Kühlschmierstoffe	11
1.3.2	Kühlschmierstoffarten und -auswahl	12
1.3.3	Umgang mit Kühlschmierstoffen	13
1.3.4	Alternativen zur konventionellen Kühlschmierung	13
2	Drehen	17
2.1	Drehverfahren	17
2.2	Arbeitsauftrag	18
2.2.1	Analyse der Einzelteilzeichnung	20
2.2.2	Arbeitsplanung	26
2.3	Drehmaschinen	27
2.3.1	Stütz- und Trageinheit (Maschinenbett)	27
2.3.2	Spindelstock mit Hauptgetriebe und Arbeitsspindel	27
2.3.3	Vorschubgetriebe mit Leit- und Zugspindel	27
2.3.4	Werkzeugschlitten	29
2.3.5	Reitstock	29
2.4	Drehwerkzeuge und deren Auswahl	29
2.4.1	Ecken-, Einstell- und Neigungswinkel	29
2.4.2	Werkzeugauswahl und technologische Daten	31
2.5	Spannmittel	32
2.5.1	Kräfte an Werkzeug und Werkstück	32
2.5.2	Backenfutter	33

2.5.3	Spannen zwischen den Spitzen	35
2.5.4	Spanndorn und Spannzanze	35
2.5.5	Setzstock (Lünette)	36
2.6	Spezielle Drehverfahren	36
2.6.1	Kegeldrehen	36
2.6.2	Gewindedrehen	37
2.6.3	Ab- und Einstechen	38
2.6.3.1	Abstechen	38
2.6.3.2	Einstechen und Nutendrehen	40
2.6.4	Profildrehen	42
2.6.4.1	Profildrehen mit profilierten Drehmeißeln	42
2.6.4.2	Profildrehen mit radienförmigen Schneidplatten	42
2.6.5	Innenbearbeitung	43
2.6.5.1	Bohren	43
2.6.5.2	Innendrehen	44
2.6.6	Rändeln	46
2.6.6.1	Rändeln durch Umformen	46
2.6.6.2	Rändeln durch Spanen	46
3	Fräsen	52
3.1	Fräsverfahren	52
3.2	Arbeitsauftrag	53
3.2.1	Analyse der Einzelteilzeichnung	53
3.2.2	Arbeitsplanung	54
3.3	Fräsmaschinen	55
3.4	Fräsverfahren im Vergleich	55
3.4.1	Stirn-Planfräsen und Umfangs-Planfräsen	55
3.4.2	Gleichlauf- und Gegenlaufräsen	56
3.5	Werkzeugauswahl und Werkzeugeinsatz	58
3.5.1	Planfräsen	58
3.5.1.1	Fräserauswahl	58
3.5.1.2	Festlegen der Prozessparameter	60
3.5.2	Stirn-Umfräsen	62
3.5.3	Nutenfräsen	65
3.6	Spannen von Werkzeug und Werkstück	66
3.6.1	Spannen der Werkzeuge	66
3.6.2	Spannen der Werkstücke	67
3.7	Spezielle Fräsverfahren	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	Prüfen 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	Lagetoleranz	115
4	Räumen	79	7.6.3	Messen mit der Koordinatenmessmaschine	118
5	Kosten im Betrieb	81	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 Zahnradern	121
5.2	Betriebsmittelhauptnutzungszeit	81	7.7	Accessories for Micrometers	123
5.2.1	Bearbeitung mit konstanter Umdrehungsfrequenz	84	Work With Words	125	
5.2.2	Drehen mit konstanter Schnittgeschwindigkeit	85	8	Werkstofftechnik	126
5.3	Kostenberechnung	88	8.1	Auswirkungen der Werkstoffeigenschaften auf die Zerspanbarkeit	126
5.3.1	Lohnkosten	88	8.2	Werkstoffarten	128
5.3.2	Materialkosten	88	8.2.1	Eisenwerkstoffe	128
5.3.3	Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten	89	8.2.1.1	Stahlsorten	128
5.3.4	Zuschlagskalkulation	89	8.2.1.1.1	Einteilung der Stähle in Hauptgütegruppen nach DIN EN 10020	128
5.3.5	Maschinenstundensatz	90	8.2.1.1.2	Einteilung der Stähle in verschiedene Stahlsorten	132
6	Milling Machine and Shell End Mill Arbor	92	8.2.1.2	Gusseisenwerkstoffe	139
6.1	Milling Machine	92	8.2.1.3	Stahlguss	141
6.2	Shell End Mill Arbor	93	8.2.2	Nichteisenmetalle	141
6.3	Work With Words	94	2.2.3	Kunststoffe	144
7	Prüftechnik	95	8.3	Bestimmung von mechanischen und technologischen Werkstoffkennwerten	145
7.1	Prüfen von Bauteilen	95	8.3.1	Kennwerte aus den Festigkeitsprüfungen	146
7.1.1	Zeitpunkt des Prüfens und Prüfumfang	95	8.3.2	Härtekennwerte	148
7.1.2	Prüfen am Fertigteil	95	8.3.2.1	Härteprüfung nach Brinell	149
7.2	Prüfen von Längen	96	8.3.2.2	Härteprüfung nach Vickers	149
7.2.1	Mechanische Längenmessung	96	8.3.2.3	Härteprüfung nach Rockwell	149
7.2.2	Pneumatische Längenmessung	99	8.3.2.4	Härteprüfung von Kunststoffen	150
7.2.3	Elektronische Längenmessung	100	8.4	Handbook – Charpy Impact Test	151
7.3	Prüfen von Gewinden	101	8.5	Work With Words	152
7.4	Prüfen von Kegeln	104	9	Baugruppen und Bauelemente an Werkzeugmaschinen	153
7.5	Prüfen von Oberflächen	106	9.1	Lagerungen und Führungen	153
7.5.1	Oberflächen	106	9.1.1	Lagerungen	153
7.5.2	Oberflächenqualität	106	9.1.1.1	Gleitlager	153
7.5.3	Gestaltabweichungen	107	9.1.1.2	Wälzlager	155
7.5.4	Kenngrößen für Gestaltabweichungen	107			

9.1.2	Führungen	158	3.4	Schmierpasten	198
9.1.2.1	Geradführungen	158	3.5	Schmiervverfahren	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	4	Wartung und Inspektion von Kühlschmierstoffen	205
9.2.2	Riementriebe	164	4.1	Kennwerte von Kühlschmierstoffen	205
9.2.2.1	Flachriementrieb	165	4.2	Austausch von Kühlschmierstoffen	207
9.2.2.2	Keilriementrieb	167	5	Wartung und Inspektion von Baugruppen	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 Sicherheitssystemen und peripheren Einrichtungen	211
9.2.3.3	Drehmomentwandlung	172	6	Instandhaltungsstrategien	212
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	7	Inbetriebnahme von Werkzeugmaschinen	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	8	Maintenance Overview of a CNC Milling Centre	219
9.2.5	Welle-Nabe-Verbindungen	181		Work With Words	222
9.2.5.1	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	181	7	Lernfeld 7: Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	223
9.2.5.2	Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	182	1	Steuerungen und Regelungen	224
6	Lernfeld 6: Warten und Inspizieren von Werkzeugmaschinen	185	2	Aufbau von Steuerungen – das EVA-Prinzip	225
1	Bedeutung der Instandhaltung	186	3	Sensoren	226
2	Aufbau von Werkzeugmaschinen	187	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			
3	Schmierstoffe	196			
3.1	Schmieröle	196			
3.2	Schmierfette	197			
3.3	Festschmierstoffe (Trockenschmierstoffe)	198			

4	Einteilung der Steuerungen nach Aufgaben und Signalverarbeitung	229	1.2.1	Maschinennullpunkt	258
4.1	Kombinatorische Steuerungen	229	1.2.2	Referenzpunkt	258
4.1.1	UND-Funktion	229	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 Ablaufsteuerung	231	1.3.2	Frästeile	259
4.2.2	Zeitgeführte Ablaufsteuerung	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	GRAFCET	233	1.4.3	Bahnsteuerungen	260
5	Aktoren	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	Nullpunktspannsystem	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	Anpasssteuerung	268
5.2.2	Hydraulische Aktoren an Werkzeugmaschinen	244	1.5.6	Anzeige- und Wiederholgenauigkeit	268
5.2.2.1	Hydraulisch betätigter Reitstock	244	2	Aufbau von CNC-Programmen	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
6	Tool Changing Cycle in a CNC-Machine	253	2.2	Technologische Informationen	277
	Work With Words	254	2.3	Zusatzinformationen	277
			3	CNC-Drehen	280
			3.1	Arbeitsplanung	280
			3.2	Manuelles Programmieren	282
			3.2.1	Nullpunktverschiebung	282
			3.2.2	Werkzeugwechsel	282
			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	Werkzeugbahnkorrektur	288
			3.2.8	Bearbeitungszyklen	288

1	Aufbau von CNC-Maschinen	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	Werkstatorientierte 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
4	CNC-Fräsen	301	1.6.1	Planschleifen	339
4.1	Arbeitsplanung	303	1.6.2	Außenrundscheifen	340
4.2	Manuelle Programmierung	304	1.6.3	Innenrundscheifen	340
4.2.1	Werkstücknullpunkt und Bearbeitungsebene	304	1.6.4	Spitzenloses Außenrundscheifen	341
4.2.2	Automatischer Werkzeugwechsel	305	1.6.5	Hochgeschwindigkeitsscheifen	341
4.2.3	Fräsermittelpunkt-Programmierung	306	1.6.6	Konturscheifen	342
4.2.4	Fräszyklen	306	1.6.7	Gewindescheifen	342
4.2.5	Konturprogrammierung	309	1.6.8	Zahnradscheifen	342
4.2.6	An- und Abfahren beim Schlichten der Kontur	311	1.7	Fertigungsplanung zum Scheifen	344
4.2.7	Bohrzyklen und Bohrbilder	312	2	Honen	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	3	Läppen	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	4	Feinscheifen	354
5	CNC Machine – Reference Point Approach	324	5	Gleitscheifen	354
	Work With Words	326	6	Feinbearbeitung gehärteter Stähle durch Drehen und Fräsen	357

9

Lernfeld 9: Herstellen von Bauelementen durch Feinbearbeitungsverfahren 327

1	Scheifen	328	6.2	Präzisions-Hartfräsen	359
1.1	Scheifkörper	329	6.2.1	Schneidstoff und Schneidengeometrie	360
1.2	Abrichten	331	6.2.2	Stabilität und Rundlauf des Werkzeugs und der Werkzeugaufnahme	360
1.3	Auswuchten	333			
1.4	Sicherheit und Unfallverhütung	334			
1.5	Prozessparameter beim Scheifen	335			

6.2.3	Werkstückvorbereitung	360
6.2.4	Schnittdaten für das Schlichten und die Restbearbeitung	361
6.2.5	Stabilität und Präzision der Werkzeugmaschine	362
6.2.6	Anforderungen an das CAM-System	362
7	Glattwalzen	364
7.1	Grundlagen	364
7.2	Voraussetzungen und Vorbereitungen	364
7.3	Verfahren	365
8	Finish-Machining	367
8.1	Grinding Machine	367
8.1.1	General Information	367
8.1.2	Some Facts and Figures	368
8.2	Superfinishing	369
8.2.1	General Information	369
8.2.2	Superfinishing Attachments	369
8.3	Work With Words	370

2.2	Verschleißformen	379
2.2.1	Spanflächenverschleiß	379
2.2.1.1	Kolkverschleiß	379
2.2.1.2	Kerbverschleiß	380
2.2.2	Freiflächenverschleiß	381
2.2.3	Schneidkantenverschleiß	381
2.3	Aufbauschneidenbildung	382
2.4	Schneidenbruch	382
2.5	Verschleißkriterien	383
2.6	Werkzeugüberwachung	383
2.6.1	Prozessbegleitende Werkzeugüberwachung	383
2.6.2	Postprozess-Werkzeugüberwachung	384
3	Standzeit	386
3.1	Standzeitberechnung nach Taylor	386
3.2	Kostenoptimale Standzeit	387
3.3	Zeitoptimale Standzeit	387

4	Leistung und Wirkungsgrad bei Zerspanungsprozessen	389
4.1	Wirkungsgrad und Wirkungskette	390
4.2	Schnittleistung und Schnittmoment beim Drehen	390
4.3	Schnittleistung und Schnittmoment beim Bohren	391
4.4	Schnittleistung und Schnittmoment beim Fräsen	391
4.5	Maximale Zerspanungswerte	392

5	Wärmebehandlung und Zerspanbarkeit	394
5.1	Wahl von Schneidstoffen und Zerspanungsparametern	394
5.2	Gefügeveränderungen durch Glühen	394
5.2.1	Spannungsarmglühen	395
5.2.2	Normalglühen	395
5.2.3	Weichglühen	395
5.2.4	Grobkornglühen	396
5.2.5	Rekristallisationsglühen	396
5.3	Härten	396
5.3.1	Härten von Stahl (Martensitbildung)	397
5.3.2	Anlassen	397
5.3.3	Vergüten	397
5.3.4	Randschichthärten	398
5.3.4.1	Flamm- und Induktionshärten	398
5.3.4.2	Einsatzhärten	398

10 **Lernfeld 10: Optimieren des Fertigungsprozesses** 371

1	Optimieren der Fertigun	gswirtschaftlichkeit	372
1.1	Optimieren der Fertigungszeit		372
1.1.1	Rüstzeit		372
1.1.2	Nebenzeit		373
1.1.3	Werkzeugwechselzeit		373
1.1.4	Hauptnutzungszeit		373
1.2	Optimieren der Schruppbearbeitung		373
1.3	Optimieren der Schlichtbearbeitung		375
1.3.1	Sollgeometrie wird nicht erreicht		375
1.3.2	Oberflächengüte wird nicht erreicht		375
1.3.2.1	Rautiefe		375
1.3.2.2	Welligkeit		375
1.3.3	Optimieren der Fertigungskosten und Fertigungszeit		376
1.4	Optimieren unter ökologischem Gesichtspunkt		376
1.4.1	Einsatzstoffe (Betriebs- und Hilfsstoffe)		376
1.4.2	Energieeffizienz		378
1.4.3	Materialeffizienz		378
2	Werkzeugverschleiß		379
2.1	Verschleißursachen		379

5.3.4.3	Nitrierhärten	399
5.3.4.4	Carbonitrieren	399
5.3.4.5	Laserstrahlhärten	399
6	Maschinenkonzepte	400
6.1	Grundlegende Bauformen	400
6.1.1	Bohrmaschinen	400
6.1.2	Drehmaschinen	401
6.1.3	Fräsmaschinen	401
6.2	Weiterentwicklungen	403
7	HPC	406
7.1	High Performance Cutting	406
7.2	High Productive Cutting	406
8	Types of Lathes and Milling Machines	409
8.1	Lathes	409
8.1.1	Flat-Bed Turning Lathes	409
8.1.2	Inclined-Bed Turning Lathes	409
8.1.3	Vertical Boring and Turning Mills	409
8.2	Milling Machines	410
8.2.1	Column-and-Knee Milling Machines	410
8.2.2	Horizontal-Bed Type Milling Machines	410
8.2.3	Portal Milling Machines	410
8.3	Work With Words	411

11 **Lernfeld 11: Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung** 412

1	Rechnereinsatz und Organisieren rechnergestützter Fertigung	413
1.1	Produktentstehung im Produktlebenszyklus	413
1.2	Rechnergestützte Anwendungen während der Produktentstehung	413
1.2.1	CAD	414
1.2.2	CAE	415
1.2.3	CAP	415
1.2.4	CAM	415
1.2.5	CAQ	416
1.3	Produktdatenmanagement (PDM)	416
1.4	Product Lifecycle Management (PLM)	417
1.4.1	CRM	417
1.4.2	SCM	418
1.4.3	PPS	418

2	Komplettbearbeitung auf der Drehmaschine	420
2.1	Drehen mit einer Arbeitsspindel und drei bis vier gesteuerten Achsen	422
2.1.1	Arbeitsplanung	423
2.1.2	Manuelle Programmierung	425
2.1.2.1	Drehbearbeitung	425
2.1.2.2	Stirnflächenbearbeitung	426
2.1.2.3	Sehnen- und Mantelflächenbearbeitung	427
2.1.3	Grafisch-interaktive Programmierung	429
2.1.4	CAD-CAM-Programmierung	431
2.2	Drehen mit mehreren Arbeitsspindeln	433
2.2.1	Gegenspindeldrehmaschine mit einem Werkzeugrevolver	433
2.2.2	Gegenspindeldrehmaschinen mit mehreren Werkzeugrevolvern	435
2.2.3	Drehfräszentrum mit B-Achse	435
2.2.4	CNC-Drehautomaten	438
3	5-Achs-Bearbeitung mit Fräsmaschinen	444
3.1	Fräsen mit angestellten Werkzeugen im Positionierbetrieb	447
3.1.1	Spannsysteme für das 5-Achs-Fräsen	448
3.1.2	Manuelle Programmierung	452
3.1.2.1	Absolute Drehungen des WKS	454
3.1.2.2	Relative Drehungen des WKS	456
3.1.3	CAD-CAM-Programmierung	458
3.2	Fräsen anspruchsvoller Geometrien	460
3.2.1	Schruppen	460
3.2.2	Schlichten	462
3.3	5-Achs-Fräsen im Simultanbetrieb	464
3.3.1	Ebenenschlichten	464
3.3.2	Profilschlichten	464
3.3.3	Äquidistantes Schlichten	464
3.3.4	Stirnen	465
3.3.5	Wälzfräsen	465
3.4	Optische 3-D-Messtechnik	465
3.4.1	Laserscannen	465
3.4.2	Streifenprojektionsverfahren	466
4	Flexible Fertigungszellen und -systeme	469
4.1	Flexible Fertigungszellen	470
4.1.1	Werkstückhandhabung	470
4.1.1.1	Drehzellen	470
4.1.1.2	Fräszellen	472

4.1.2	Werkstückverwaltung	474
4.1.3	Werkzeughandhabung	475
4.1.4	Werkzeugverwaltung	476
4.2	Flexible Fertigungssysteme	478
4.2.1	Transportsysteme	478
4.2.1.1	Roboter	479
4.2.1.2	Rollen- und Gurtförderer	479
4.2.1.3	Fahrerlose Flurförderzeuge	480
4.2.2	Informationssystem	482
4.2.2.1	Ebenen des Informationssystems	482
4.2.2.2	Kommunikationseinrichtungen des Informationssystems	483
5	Industrieroboter	484
5.1	Industrierobotertypen	484
5.2	Kenngrößen von Industrierobotern	484
5.3	Bewegungen von Industrierobotern	486
5.4	Aufbau von Industrierobotern	487
5.4.1	Kinematik	487
5.4.2	Steuerung	488
5.4.3	Antriebe	488
5.4.4	Sensorik	489
5.4.5	Werkzeuge	489
5.5	Programmierung von Industrierobotern	490
5.5.1	On-Line-Programmierung	490
5.5.2	Off-Line-Programmierung	490
5.6	Sicherheitsanforderungen	491
5.6.1	Sicherheit während des Betriebs	491
5.6.2	Sicherheit während der Programmierung	493
6	CAM – Computer Aided Manufacturing	494
6.1	A PC-Programming System	494
6.2	Planning, Optimizing and Programming	495
6.3	Work With Words	496

12

Lernfeld 12: Vorbereiten und Durchführen eines Einzelfertigungsauftrags 497

1	Information und Auftragsplanung	498
1.1	Auftragsklärung	498
1.2	Auftragsumfang und Auftragsziel analysieren	500
1.2.1	Zeichnungsanalyse	503
1.2.2	Rüstplan	503
2	Fertigung	507

3	Prüfen	507
4	Einlagerung und Versand	509
5	Transport mit Hebezeugen	510
6	Wareneingang und Qualitätssicherung	513
7	Beurteilung der Prozessqualität	514
8	Eight Disciplines Problem Solving	515
	Work With Words	516

13

Lernfeld 13: Organisieren und Überwachen von Fertigungsprozessen in der Serienfertigung 517

1	Qualität	518
1.1	Die Spannweite des Begriffs	518
1.2	Die Bedeutung der Qualität für den Absatz	518
1.3	Einflussfaktoren auf die Qualität während der Herstellphase	518
1.3.1	Verbesserungsvorschläge	519
1.3.2	Ursachen für Fehler	519
1.3.3	Verantwortung für Fehler	520
1.3.4	Toleranz und Qualität	520
1.3.5	Ausschussquote	521
1.4	Qualitätsmanagementsysteme	521
2	Qualitätsmerkmale, Prüfmerkmale und Prozessqualität	524
2.1	Qualitätsmerkmale	524
2.2	Prüfmerkmale	525
2.2.1	Einteilung der Prüfmerkmale	525
2.2.1.1	Variable Merkmale	525
2.2.2	Prüfmerkmale der Kegelradwelle	526
2.2.3	Messmittel bereitstellen	526
2.2.1.2	Attributive Merkmale	526
2.3	Prozessqualität	527
3	Statistik in der Fertigungstechnik	528
3.1	Urwertliste	528
3.2	Histogramm	528
3.2.1	Aufbau eines Histogramms	529
3.2.2	Vergleich der beiden Histogramme	529
3.2.3	Verteilformen von Histogrammen	529
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
3.3.5	Anwendung der Gaußkurve in der Fertigung	534
4	Grundlagen der Maschinen- und Prozessfähigkeit	538
4.1	Maschinenfähigkeit	538
4.1.1	Bedingungen bei der Maschinenfähigkeitsuntersuchung	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 zur Prozessfähigkeit	543
4.2.2	Ziele der Prüfung	545
4.2.3	Urwertkarte	545
4.2.4	Qualitätsregelkarte	545
4.2.5	Fehlersammelkarte	548
5	Prozessüberwachung	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
6	Quality Management	556
6.1	Introduction	556
6.2	Information given in a quality management centre	556
	Work With Words	558
	Englisch-deutsche Vokabelliste	559
	Sachwortverzeichnis	574
	Abkürzungen	585
	Formelzeichen	587
	Formeln	588