

Lernfeld 5:  
Fertigen von Einzelteilen mit  
Werkzeugmaschinen

<b>1</b>	<b>Fertigen mit Werkzeugmaschinen</b>	
<b>1.1</b>	<b>Bearbeitungsparameter beim Drehen und Fräsen</b>	14
1.1.1	Schnittgrößen beim Drehen und Fräsen	14
1.1.2	Schneidengeometrie am Drehmeißel und Fräser	17
1.1.3	Spanbildung beim Drehen und Fräsen	18
1.1.4	Verschleiß und Standzeit	20
1.1.5	Schneidstoffe für Drehmeißel und Fräser	22
1.1.6	Wendeschneidplatten für Drehmeißel und Fräser	25
1.1.7	Kühlschmierstoffe (KSS)	27
<b>1.2</b>	<b>Drehen</b>	30
1.2.1	Fertigung des Gewindebolzens auf einer CNC-Drehmaschine	32
1.2.2	Weitere Drehverfahren	40
1.2.3	Drehwerkzeuge	43
1.2.4	Spannmittel für Werkstücke	45
1.2.5	Schnittkraft und Leistung beim Drehen	48
1.2.6	Zeitermittlung beim Drehen	51
1.2.7	Drehmaschinen	57
<b>1.3</b>	<b>Fräsen</b>	61
1.3.1	Fertigung der Konturplatte auf einer CNC-Fräsmaschine	64
1.3.2	Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC-Fräsen)	78
1.3.3	Schnittkraft und Leistung beim Fräsen	80
1.3.4	Zeitermittlung beim Fräsen	83
1.3.5	Teilen mit dem Teilapparat	86
1.3.6	Fräsmaschinen	88
<b>1.4</b>	<b>Räumen</b>	92
1.4.1	Verfahrensvarianten	93
1.4.2	Räummaschinen	94

<b>1.5</b>	<b>Entgraten</b>	95
1.5.1	Methoden und Verfahren (Auswahl)	95
1.5.2	Maschinelies Anfasen, Verrunden und Entgraten	96
<b>1.6</b>	<b>Schleifen</b>	99
1.6.1	Schleifkörper	99
1.6.2	Abrichten und Auswuchten	103
1.6.3	Sicherheit beim Schleifen	104
1.6.4	Einflüsse auf das Schleifergebnis	105
1.6.5	Schleifmaschinen und Schleifverfahren	107
1.6.6	Arbeitsplanung beim Schleifen	112
1.6.7	Zeitermittlung beim Schleifen	115
<b>1.7</b>	<b>Honen</b>	118
1.7.1	Langhubhonen	119
1.7.2	Kurzhubhonen	120
<b>1.8</b>	<b>Läppen</b>	121
<b>1.9</b>	<b>Kosten im Betrieb</b>	124
1.9.1	Kostenrechnung	124
1.9.2	Maschinenstundensatz	127
1.9.3	Belegungszeit/Hauptnutzungszeit	127
1.9.4	Deckungsbeitrag (Teilkostenrechnung)	130
1.10	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz</i>	131
1.11	<i>Discover your profession in English</i>	134

Lernfeld 6:  
Installieren und Inbetriebnehmen  
steuerungstechnischer Systeme

<b>2</b>	<b>Steuerungstechnische Systeme</b>	
<b>2.1</b>	<b>Pneumatiksteuerungen</b>	137
2.1.1	Verknüpfungsteuerungen	137
2.1.2	Ablaufsteuerungen	141
2.1.3	Betriebsartenteil bei Ablaufsteuerungen	149

2.1.4	Vakuumtechnik. . . . .	151
2.1.5	Inbetriebnahmeschritte mit Checkliste	154
<b>2.2</b>	<b>Elektropneumatische Steuerungen</b>	159
2.2.1	Zeit- und Druckfunktionen . . . . .	159
2.2.2	Sensor als Signalelement. . . . .	166
2.2.3	Ablaufsteuerungen – löschende Taktkette. . . . .	174
<b>2.3</b>	<b>Hydraulische Steuerungen</b> . . . . .	179
2.3.1	Physikalische Grundlagen . . . . .	180
2.3.2	Aufbau einer Hydraulikanlage – Komponenten. . . . .	184
2.3.3	Hydromotoren und Hydropumpen. . . .	187
2.3.4	Hydraulikzylinder – linearer Antriebsteil	190
2.3.5	Energieversorgungsteil – Hydraulikaggregat . . . . .	194
2.3.6	Energiesteuerteil – Hydroventile und Schaltungen . . . . .	200
2.3.7	Zubehör (Rohre, Schläuche) – Druckspeicher . . . . .	217
2.4	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.</i> . . . .	225
2.5	<i>Discover your profession in English.</i> . .	234

**Lernfeld 7:**  
**Montieren von technischen  
Teilsystemen**

**3 Maschinentechnik und  
Montage**

<b>3.1</b>	<b>Belastung von Bauteilen</b> . . . . .	236
<b>3.2</b>	<b>Wellen und Achsen, Wellen-Naben- Verbindungen</b> . . . . .	237
3.2.1	Wellen . . . . .	237
3.2.2	Achsen . . . . .	238
3.2.3	Welle-Nabe-Verbindungen . . . . .	239
<b>3.3</b>	<b>Lagerung und Dichtung</b> . . . . .	242
3.3.1	Lager . . . . .	242
3.3.2	Führungen . . . . .	254
3.3.3	Dichtungen. . . . .	256
<b>3.4</b>	<b>Festigkeit</b> . . . . .	258
3.4.1	Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile. . . . .	258

<b>3.5</b>	<b>Passungen</b> . . . . .	260
3.5.1	Passungen in der Montage . . . . .	260
<b>3.6</b>	<b>Montage</b> . . . . .	262
3.6.1	Montageplanung . . . . .	262
3.6.2	Automatisierung der Montage. . . . .	263
3.6.3	Organisationsformen bei der Montage	263
3.6.4	Projektaufgabe: Montage eines Kegelradgetriebes . . . . .	264
3.7	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.</i> . . . .	267
3.8	<i>Discover your profession in English.</i> . .	268

**Lernfeld 8:**  
**Fertigen auf numerisch gesteuerten  
Werkzeugmaschinen**

**4 CNC-Technik**

<b>4.1</b>	<b>Aufbau von CNC-Maschinen</b> . . . . .	271
4.1.1	Antriebseinheiten . . . . .	273
4.1.2	Wegmesssysteme. . . . .	274
4.1.3	Schlittenführungen. . . . .	276
<b>4.2</b>	<b>Koordinatensysteme, Nullpunkte und Bezugspunkte</b> . . . . .	277
4.2.1	Koordinatensysteme . . . . .	277
4.2.2	Null- und Bezugspunkte. . . . .	278
4.2.3	Koordinatenvorzeichen und Verfahrbewegungen . . . . .	279
<b>4.3</b>	<b>Steuerungsarten</b> . . . . .	280
<b>4.4</b>	<b>Werkzeugvermessung</b> . . . . .	281
<b>4.5</b>	<b>Bahnkorrekturen</b> . . . . .	283
<b>4.6</b>	<b>CNC-Programme nach DIN</b> . . . . .	285
4.6.1	Programmaufbau . . . . .	285
4.6.2	Wegbedingungen (G-Wort). . . . .	286
4.6.3	Maßangaben . . . . .	287
4.6.4	Zusatzfunktionen (M-Wort). . . . .	289
4.6.5	Eilgang- und Arbeitsbewegungen nach DIN. . . . .	289
<b>4.7</b>	<b>CNC-Drehen nach PAL</b> . . . . .	293
4.7.1	Arbeitsbewegungen für das CNC- Drehen nach PAL . . . . .	293
4.7.2	CNC-Drehen des Gewindebolzens nach PAL . . . . .	295

<b>4.8</b>	<b>CNC-Drehen mit angetriebenen Werkzeugen und Gegenspindelübernahme</b>	304
4.8.1	CNC-Drehen des Bolzenadapters	305
4.8.2	Umspannen des Werkstücks, Gegenspindelübernahme	305
4.8.3	Drehebene G18	306
4.8.4	Stirnseitenbearbeitungsebene G17	306
4.8.5	Mantelflächen-/ Sehnenflächenbearbeitungsebene G19	307
<b>4.9</b>	<b>CNC-Fräsen nach PAL</b>	311
4.9.1	Arbeitsbewegungen für das Fräsen nach PAL	311
4.9.2	Tangentiales An- und Abfahren an eine Kontur	314
4.9.3	Bearbeitungszyklen für Fräs- und Drehmaschinen mit angetriebenen Werkzeugen nach PAL	315
<b>4.10</b>	<b>CNC-Fräsen der Konturplatte nach PAL</b>	318
<b>4.11</b>	<b>CNC-Fräsen mit Mehr-seitenbearbeitung</b>	323
4.12	Überprüfen Sie Ihre Kompetenz	324
4.13	Discover your profession in English	328

**Lernfeld 9:**  
**Instandsetzen von technischen Systemen**



**Instandhalten von technischen Systemen**

<b>5.1</b>	<b>Elemente der Instandhaltung</b>	331
<b>5.2</b>	<b>Teilbereiche der Instandhaltung</b>	333
5.2.1	Wartung	334
5.2.2	Inspektion	335
5.2.3	Instandsetzung	335
5.2.4	Verbesserung	336
<b>5.3</b>	<b>Instandhaltungskosten</b>	337

<b>5.4</b>	<b>Instandhaltungsstrategien</b>	338
5.4.1	Störungsbedingte (korrektive) Instandhaltung	338
5.4.2	Intervallabhängige Instandhaltung	339
5.4.3	Zustandsabhängige Instandhaltung	339
5.4.4	Auswahl der Instandhaltungsstrategie	339
<b>5.5</b>	<b>Ausfallverhalten</b>	340
<b>5.6</b>	<b>Instandhaltungsplanung</b>	341
<b>5.7</b>	<b>Vereinheitlichen von Instandhaltungsplänen</b>	343
<b>5.8</b>	<b>Instandhaltung mechanischer Bauelemente</b>	346
5.8.1	Führungen	346
5.8.2	Abdeckungen und Abstreifer	347
5.8.3	Lager	348
5.8.4	Zahnstangen und Zahnräder	351
5.8.5	Riementriebe	352
5.8.6	Kettentriebe	354
<b>5.9</b>	<b>Verschleiß und Abnutzung</b>	355
5.9.1	Verschleißmechanismen	355
5.9.2	Ursachen von Abnutzung	356
5.9.3	Korrosion	357
<b>5.10</b>	<b>Reibung und Schmierung</b>	359
5.10.1	Reibungszustände	361
5.10.2	Schmierstoffauswahl	361
5.10.3	Schmieröle	361
5.10.4	Schmierfette	364
5.10.5	Festschmierstoffe	365
5.10.6	Bezeichnungssystem der Schmierstoffe	366
5.10.7	Schmiervverfahren	367
5.10.8	Kühlschmierstoffe (KSS)	369
5.10.9	Dokumentation der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	371
<b>5.11</b>	<b>Instandhaltung hydraulischer und pneumatischer Anlagen</b>	372
5.11.1	Pneumatische Systeme	372
5.11.2	Hydraulische Systeme	374
5.12	Überprüfen Sie Ihre Kompetenz	377
5.13	Discover your profession in English	379

**Lernfeld 10:**  
**Herstellen und Inbetriebnehmen**  
**von technischen Systemen**

**6 Technische Komponenten**

<b>6.1 Getriebe</b>	380
6.1.1 Getriebearten	380
6.1.2 Zahnradgetriebe	380
6.1.3 Stirnradgetriebe	384
6.1.4 Kegelradgetriebe	385
6.1.5 Schneckengetriebe	385
6.1.6 Zahnstangengetriebe	386
6.1.7 Planetengetriebe	386
6.1.8 Harmonic-Drive-Getriebe	387
6.1.9 Herstellung von Zahnrädern	388
6.1.10 Zugmittelgetriebe	389
<b>6.2 Kupplungen</b>	393
6.2.1 Nicht schaltbare Kupplungen	393
6.2.2 Schaltbare Kupplungen	396
<b>6.3 Elektrische Antriebe</b>	401
6.3.1 Elektromagnetismus	401
6.3.2 Wechselspannung	404
6.3.3 Gleichspannung	406
6.3.4 Elektromotoren	407
6.3.5 Universalmotoren	411
<b>6.4 Pumpen</b>	417
6.4.1 Leistungsberechnung einer Pumpe	417
6.4.2 Pumpenbauarten	418
6.4.3 Kreiselpumpen	418
6.4.4 Pumpen für die industrielle Anwendung	419
6.4.5 Pumpen- und Anlagenkennlinien	420
<b>6.5 Fördertechnik</b>	422
6.5.1 Serienhebezeuge	422
6.5.2 Krane	423
6.5.3 Lastaufnahmeeinrichtungen	424
6.5.4 Arbeitssicherheit in der Fördertechnik	428
<b>6.6 Schweißen</b>	429
6.6.1 Schmelzschweißen	430
6.6.2 Pressschweißen	440
6.6.3 Gestaltung und Prüfung von Schweißverbindungen	443

<b>6.7 Kleben</b>	446
6.7.1 Grundlagen der Klebeverbindungen	448
6.7.2 Klebstoffarten	449
6.7.3 Vorbehandlung der Oberflächen	451
6.7.4 Klebstoffverarbeitung	451
6.7.5 Aushärtung von Klebstoffen	451
6.7.6 Weitere Anwendungsbeispiele	452
6.8 <i>Discover your profession in English</i>	453

**Lernfeld 11:**  
**Überwachen der Produkt- und**  
**Prozessqualität**

**7 Qualitätsmanagement (QM)**

<b>7.1 Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000</b>	455
7.1.1 Aufgabenbereiche und Grundsätze des Qualitätsmanagements	456
7.1.2 Qualitätsbegriff und Qualitätsmerkmale	457
7.1.3 Fehler und Fehlermanagement	458
7.1.4 Qualitätslenkung und Qualitätssicherung	459
7.1.5 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	460
7.1.6 Auditierung	461
<b>7.2 Qualitätswerkzeuge</b>	462
7.2.1 Sieben Qualitätswerkzeuge zur Fehlervermeidung: Q7	462
7.2.2 Beispiel: Fehlersammelkarte und Paretoanalyse mit Excel	467
7.2.3 Beispiel: Ursachen-Wirkungs-Diagramm	468
7.2.4 Beispiel: Histogramm	469
<b>7.3 Werkzeuge und Methoden der technischen Statistik</b>	472
7.3.1 Verteilung von Messwerten	472
7.3.2 Die gaußsche Normalverteilung und ihre Kennwerte	474
7.3.3 Berechnung von statistischen Kennwerten	476

7.3.4	Beurteilung einer Stichprobe im Wahrscheinlichkeitsnetz . . . . .	477
7.3.5	Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren. . . . .	480
<b>7.4</b>	<b>Statistische Prozesslenkung (Statistical Process Control, SPC) . .</b>	<b>485</b>
7.4.1	Maschinenfähigkeit . . . . .	486
7.4.2	Prozessfähigkeit . . . . .	494
7.4.3	Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten (QRK) . . . . .	495
7.5	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz. . . . .</i>	<i>502</i>
7.6	<i>Discover your profession in English. . .</i>	<i>506</i>

**Lernfeld 12:  
Instandhalten von technischen  
Systemen**

<b>8</b>	<b>Instandhalten von technischen Systemen</b>	
<b>8.1</b>	<b>Instandhaltung. . . . .</b>	<b>508</b>
8.1.1	Inspektion. . . . .	508
8.1.2	Wartung . . . . .	509
8.1.3	Instandsetzung. . . . .	509
8.1.4	Instandhaltungskonzepte . . . . .	510
8.1.5	Kaufvertrag und Verbraucherschutz . .	511
<b>8.2</b>	<b>Schadens- und Paretoanalyse . . . .</b>	<b>512</b>
<b>8.3</b>	<b>Werkstoffprüfverfahren . . . . .</b>	<b>514</b>
8.3.1	Technologische Prüfverfahren . . . . .	514
8.3.2	Fertigungstechnische Prüfverfahren . .	517
8.3.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren . . . . .	517
8.3.4	Metallografische Prüfverfahren . . . . .	518
8.4	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz. . . . .</i>	<i>519</i>
8.5	<i>Discover your profession in English. . .</i>	<i>522</i>

**Lernfeld 13:  
Sicherstellen der Betriebsfähigkeit  
automatisierter Systeme**

<b>9</b>	<b>Automatisierungstechnik</b>	
<b>9.1</b>	<b>Aufbau und Grundfunktionen der SPS-Systeme . . . . .</b>	<b>525</b>
<b>9.2</b>	<b>Kleinststeuerung (auch Logikmodul oder Steuerrelais) . . . . .</b>	<b>528</b>
<b>9.3</b>	<b>Modulare SPS-Programmierung im TIA-Portal . . . . .</b>	<b>541</b>
9.3.1	Merkmale einer modularen SPS . . . . .	541
9.3.2	Programmierung einer kombinatorischen Aufgabenstellung . .	543
9.3.3	Programmierung einer Ablaufsteuerung mit Betriebsartenteil	554
9.3.4	Sicherheitseinrichtungen . . . . .	562
9.3.5	Schnittstellen und Bussysteme . . . . .	563
<b>9.4</b>	<b>Handhabungstechnik . . . . .</b>	<b>568</b>
9.4.1	Arten von Handhabungsgeräten . . . . .	569
9.4.2	Industrieroboter . . . . .	570
9.4.3	Roboterkenngößen . . . . .	574
9.4.4	Komponenten eines Robotersystems .	576
9.4.5	Programmierung von Industrierobotern . . . . .	580
<b>9.5</b>	<b>Regelungstechnik . . . . .</b>	<b>590</b>
9.5.1	Der Regelkreis . . . . .	590
9.5.2	Regelungsarten . . . . .	591
9.5.3	Reglerarten. . . . .	592
<b>9.6</b>	<b>Proportionalhydraulik . . . . .</b>	<b>595</b>
9.6.1	Steuer- und Regelelektronik. . . . .	595
9.6.2	Proportionalmagnet . . . . .	595
9.6.3	Proportionalventile . . . . .	597
9.7	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenzen. . .</i>	<i>600</i>
9.8	<i>Discover your profession in English. . .</i>	<i>604</i>

Lernfeld 14:  
Planen und Realisieren technischer Systeme

10 Projektmanagement

10.1	Projektdefinition	606
10.1.1	Projektvorbereitung	607
10.2	Projektorganisation	608
10.3	Projektstrukturierung	609
10.4	Projektdurchführung	613
10.5	Projektabschluss	614
10.6	Discover your profession in English...	615

Lernfeld 15:  
Optimieren von technischen Systemen

11 Optimieren von technischen Systemen

11.1	Wirtschaftliche Fertigung	616
11.1.1	Globalisierung	617
11.1.2	Innovation	617
11.2	Organisationsformen der Produktion	620
11.3	Energie- und Ressourceneffizienz	621
11.4	Umweltschutz	622
11.5	Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	623
11.6	Discover your profession in English...	625

Lernfeldübergreifende Inhalte

12 Spezielle Themen

12.1	Geometrische Produktspezifikation (ISO GPS)	627
12.1.1	Das ISO-GPS-Normensystem	627
12.1.2	Spezifikation und Verifikation	630
12.1.3	Tolerierung von Bauteilen	644
12.2	Prüftechnik	678
12.2.1	Koordinatenmesstechnik	679
12.2.2	Optisches und optoelektronisches Messen	684
12.2.3	Form- und Lageprüfung bei rotationssymmetrischen Teilen	692
12.2.4	Kenngrößen und Prüfung von Oberflächen	700
12.3	Wärmebehandlung	708
12.3.1	Aufbau der Metalle	709
12.3.2	Entstehung des Metallgefüges	712
12.3.3	Gefügearten von Eisenwerkstoffen	715
12.3.4	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)	717
12.3.5	Glühverfahren	720
12.3.6	Härten	724
12.3.7	Anlassen	731
12.3.8	Vergüten	733
12.3.9	Oberflächenhärtung	734
12.4	Generative Fertigungsverfahren	741
12.4.1	Rapid Prototyping	742
12.4.2	Selektives Schmelzen	744
12.5	Industrie 4.0	746
	Bildquellenverzeichnis	10
	Sachwortverzeichnis	748