

# Inhaltsverzeichnis

## Erster Themenkreis: Technische Systeme

**Handlungsfeld:** Technische Systeme gestalten ... 13

<b>1</b>	<b>Technische Systeme</b>	14
1.1	Aufbau eines technischen Systems	14
1.2	Unterteilung innerhalb eines technischen Systems	15
1.3	Funktionen technischer Systeme	17
<b>2</b>	<b>Systemanalyse</b>	18
<b>3</b>	<b>Gestaltung, Nutzung und Recycling technischer Systeme</b>	20
3.1	Planung	21
3.2	Entwicklung und Konstruktion	22
3.3	Fertigung	25
3.4	Nutzung	26
3.5	Recycling	26

## Zweiter Themenkreis: Werkstofftechnik

**Handlungsfeld:** Werkstoffe auswählen ..... 29

<b>1</b>	<b>Metallische Werkstoffe</b>	30
1.1	Reines Metall – Gefüge und Aufbau	30
1.1.1	Metallbindung	30
1.1.2	Entstehung des Metallgefüges	31
1.1.3	Gitteraufbau der Metalle	32
1.2	Legierungen	34
1.2.1	Grundlagen	34
1.2.1.1	Legierungen mit vollkommener Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	34
1.2.1.2	Arbeiten mit Zustandsdiagrammen	37
1.2.1.3	Legierungen mit vollkommener Unlöslichkeit im festen Zustand	38
1.2.1.4	Gegenüberstellung von Legierungen mit Mischkristallen und Legierungen mit Kristallgemengen	41
1.2.2	Stähle	45
1.2.2.1	Gefügebestandteile	45
1.2.2.2	Eigenschaften der Stähle in Abhängigkeit vom Gefüge	47
1.2.2.3	Einfluss der Legierungselemente auf die Eigenschaften der Stähle	48
1.2.2.4	Einteilung der Stähle	50
1.2.2.5	Eigenschaften von Stählen	51
1.2.3	Fe-C-Gusswerkstoffe	53
1.2.3.1	Stahlguss (GS)	53
1.2.3.2	Gusseisen mit Lamellengrafit (GJL)	54
1.2.3.3	Gusseisen mit Kugelgrafit (GJS)	56
1.2.3.4	Gusseisen mit Vermiculargrafit (GJV)	57
1.2.3.5	Temperguss (GJM)	57
1.2.4	Aluminium und Aluminiumlegierungen	59
1.2.4.1	Eigenschaften von Reinaluminium	59
1.2.4.2	Aluminiumlegierungen	59
1.2.5	Kupfer und Kupferlegierungen	60
1.2.5.1	Eigenschaften des reinen Kupfers	60
1.2.5.2	Kupferlegierungen	60

1.2.6	Weiter NE-Metalle und ihre Legierungen	61
1.2.6.1	Zink und Zinklegierungen	61
1.2.6.2	Zinn und Zinnlegierungen	62
1.2.6.3	Blei und Bleilegierungen	62
1.2.6.4	Nickel und Nickellegierungen	63
1.2.6.5	Magnesium und Magnesiumlegierungen	64
1.3	Normung metallischer Werkstoffe	66
1.3.1	Normung von Stählen	66
1.3.1.1	Kurznamen von Stählen nach DIN EN 10027	66
1.3.1.2	Werkstoffnummern von Stählen	67
1.3.2	Normung von Fe-C-Gusswerkstoffen	68
1.3.2.1	Kurznamen für Gusswerkstoffe	68
1.3.2.2	Werkstoffnummern für Gusseisenwerkstoffe	68
1.3.3	Normung der NE-Metalle	69
1.3.3.1	Systematische Bezeichnung der Nichteisenmetalle (außer Al)	69
1.3.3.2	Kurzzeichen für Aluminium und Aluminiumlegierungen	69
1.3.3.3	Werkstoffnummern von NE-Metallen Allgemeines Nummerierungssystem	70
1.3.3.4	Werkstoffnummern von Aluminium und Aluminiumlegierungen	70
1.4	Sinterwerkstoffe	71
1.4.1	Herstellung und Aufbereitung der Metallpulver	71
1.4.2	Sinterwerkstoffe und ihre Anwendung	71
1.4.2.1	Sintermetalle	71
1.4.2.2	Hartmetalle	72
1.4.2.3	Keramische Werkstoffe	72
1.5	Korrosion	74
1.5.1	Elektrochemische Grundlagen	74
1.5.1.1	Normalpotenzial	74
1.5.1.2	Galvanische Elemente	75
1.5.2	Elektrochemische Korrosion	75
1.5.3	Chemische Korrosion	77
1.5.4	Korrosionsschutz	78
<b>2</b>	<b>Organische Werk- und Hilfsstoffe</b>	79
2.1	Struktur und Benennung organischer Kohlenstoffverbindungen	79
2.1.1	Ketten- und Ringstrukturen von Kohlenstoffverbindungen	79
2.1.2	Bindungen zwischen Kohlenstoffatomen	80
2.1.3	Schreibweise von Formeln organischer Verbindungen	80
2.1.4	Benennung organischer Verbindungen	81
2.2	Kunststoffe (Plaste)	84
2.2.1	Einteilung der Kunststoffe	84
2.2.2	Eigenschaften der Kunststoffe	85
2.2.3	Polymerisate	86
2.2.3.1	Polyethylen (PE)	88
2.2.3.2	Polypropylen (PP)	88
2.2.3.3	Polyvinylchlorid (PVC)	89
2.2.3.4	Polytetrafluorethylen (PTFE)	89
2.2.3.5	Styrolpolymerisate (PS, ABS)	90
2.2.4	Polykondensate	91
2.2.4.1	Polyester	91
2.2.4.2	Polyamide	93
2.2.4.3	Aminoplaste	94

2.2.4.4	Phenoplaste .....	94
2.2.4.5	Übersicht über die Struktur wichtiger Polykondensate .....	95
2.2.5	Polyaddukte .....	96
2.2.5.1	Polyurethane .....	96
2.2.5.2	Epoxidharze .....	96
2.2.6	Klebstoffe auf Kunststoffbasis .....	97
2.2.6.1	Dispersionsklebstoffe .....	97
2.2.6.2	Lösungsmittelklebstoffe .....	97
2.2.6.3	Schmelzklebstoffe .....	98
2.2.6.4	Kontaktklebstoffe .....	98
2.2.6.5	Reaktionsklebstoffe .....	98
2.2.7	Verbundwerkstoffe .....	99
2.2.7.1	Einteilung .....	99
2.2.7.2	Aufbau .....	99
2.2.8	Kohlenstofffasern .....	101
2.3	Schmierstoffe .....	103
2.3.1	Grundlagen .....	103
2.3.2	Flüssige Schmierstoffe .....	104
2.3.2.1	Mineralöle .....	104
2.3.2.2	Synthetische Flüssigschmierstoffe .....	104
2.3.2.3	Kühlschmierstoffe .....	105
2.3.3	Schmierfette .....	106

### Dritter Themenkreis: Werkstoffprüftechnik

<b>Handlungsfeld: Eigenschaften von Werkstoffen prüfen .....</b>		<b>107</b>
<b>1</b>	<b>Mechanische Prüfverfahren .....</b>	<b>108</b>
1.1	Zugversuch (metallische Werkstoffe) .....	
	DIN EN ISO 6892 .....	108
1.1.1	Versuchsdurchführung .....	108
1.1.2	Bedeutung der Kennwerte des Zugversuchs für die Festigkeitsberechnung .....	112
1.2	Härteprüfverfahren (metallische Werkstoffe) .....	114
1.2.1	Härteprüfung nach Brinell (DIN EN ISO 6506-1) .....	114
1.2.2	Härteprüfung nach Vickers (DIN EN ISO 6507) .....	117
1.2.3	Härteprüfung nach Rockwell (DIN EN ISO 6508) .....	119
1.2.3.1	Härteprüfung nach Rockwell C und Rockwell A .....	119
1.2.3.2	Härteprüfung nach Rockwell B und Rockwell F .....	120
1.3	Kerbschlag-Biegeversuch nach Charpy (DIN EN ISO 148) .....	121
1.4	Dauerschwingversuch .....	124
<b>2</b>	<b>Metallografische Prüfverfahren .....</b>	<b>127</b>
2.1	Makroskopische Untersuchungsverfahren .....	127
2.2	Metallmikroskopie .....	127
<b>3</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfverfahren .....</b>	<b>128</b>
3.1	Kapillar-Verfahren .....	128
3.2	Magnetpulverprüfung .....	129
3.3	Prüfung mit Ultraschall .....	130
3.3.1	Physikalische Grundlagen zur Prüfung mit Ultraschall .....	130
3.3.2	Durchschallungsverfahren .....	131

3.3.3	Impuls-Echo-Verfahren .....	131
3.4	Prüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen .....	132
3.4.1	Prüfung mit Röntgenstrahlen .....	132
3.4.1.1	Erzeugung und Eigenschaften von Röntgenstrahlen .....	132
3.4.1.2	Durchführung der Prüfung mit Röntgenstrahlen .....	132
3.4.2	Prüfung mit Gammastrahlen .....	133
<b>4</b>	<b>Gebrauchsprüfungen .....</b>	<b>134</b>

### Vierter Themenkreis: Prüftechnik und Qualitätsmanagement

<b>Handlungsfeld: Bauteile prüfen .....</b>		<b>136</b>
<b>1</b>	<b>Prüftechnik .....</b>	<b>137</b>
1.1	Grundbegriffe .....	137
1.1.1	Begriffe zum Messvorgang .....	137
1.1.2	Begriffe zum Messverfahren und zur Messeinrichtung .....	139
1.2	Einheiten .....	142
1.2.1	SI-Basiseinheiten (Auszug) .....	142
1.2.2	Kohärente Einheiten .....	142
1.3	Längenprüftechnik .....	142
1.3.1	Längenmessgeräte .....	143
1.3.1.1	Mechanische Längenmessgeräte .....	143
1.3.1.2	Pneumatische Längenmessgeräte .....	144
1.3.1.3	Analoge elektrische Längenmessung .....	145
1.3.1.4	Digital messende Längenmessverfahren .....	147
1.3.2	Endmaße und Lehren .....	149
1.3.2.1	Endmaße .....	149
1.3.2.2	Formlehren .....	149
1.3.2.3	Grenzlehren .....	150
1.4	Toleranzen .....	151
1.4.1	Maßtoleranzen .....	151
1.4.2	Formtoleranzen .....	154
1.4.3	Lagetoleranzen .....	155
1.4.4	Messen von Form- und Lageabweichungen .....	156
1.4.4.1	Symbolische Darstellung von Prüfeinrichtungen .....	156
1.5	Messabweichungen .....	160
1.6	Auswahl von Prüfverfahren und Prüfgeräten .....	162
<b>Handlungsfeld: Überwachen von Produkt- und Prozessqualität .....</b>		<b>164</b>
<b>2</b>	<b>Qualitätsmanagement .....</b>	<b>165</b>
2.1	Einleitung .....	165
2.2	Einflussgrößen auf Qualität .....	166
2.3	Qualitätssicherungsnormen .....	167
2.4	Qualitätssicherung in der Phase der Produktplanung .....	168
2.5	Qualitätssicherung in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase .....	168
2.6	Qualitätssicherung in der Prozessplanung .....	169
2.6.1	Fertigungsplanung .....	169
2.6.2	Prüfplanung .....	172
2.7	Qualitätssicherung in der Fertigung .....	172
2.7.1	Prüfen in der Fertigung .....	172

2.7.1.1	Prüfverfahren	173
2.7.1.2	Datenerfassung in der Fertigung	174
2.8	Statistische Prozessregelung	174
2.8.1	Maschinenfähigkeit, Prozessfähigkeit und Prozessüberwachung	175
2.8.2	Statistische Grundlagen zur Auswertung von Messreihen	176
2.8.2.1	Mittelwerte	176
2.8.2.2	Streuungsmaße	177
2.8.2.3	Statistische Sicherheit	177
2.8.3	Statistische Auswertung von Messungen zur Untersuchung der Maschinen- und Prozessfähigkeit	179
2.8.3.1	Feststellen der Normalverteilung	179
2.8.3.2	Berechnung von Fähigkeitsindizes (Maschinenfähigkeit und Prozessfähigkeit)	180
2.8.4	Prozessfähigkeit und Beherrschbarkeit	182
2.9	Messmittelmanagement	183

### Fünfter Themenkreis: Antriebstechnik

<b>1</b>	<b>Systeme zur Erzeugung von mechanischer Nutzenergie aus Wärmeenergie</b>	<b>186</b>
1.1	Physikalische Grundlagen zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie	186
1.1.1	Erster Hauptsatz der Wärmelehre	186
1.1.2	Allgemeine Zustandsgleichung der Gase	188
1.1.3	Energieumwandlungen bei Zustandsänderungen	189
1.1.3.1	Isobare Zustandsänderung ( $p = \text{const}$ )	189
1.1.3.2	Isochore Zustandsänderung ( $V = \text{const}$ )	190
1.1.3.3	Isotherme Zustandsänderung ( $T = \text{const.}$ )	191
1.1.3.4	Adiabatische Zustandsänderung ( $Q = 0$ )	192
1.2	Thermodynamische Kreisprozesse	194
1.2.1	Grundlagen	194
1.2.2	Carnot-Prozess	194
1.2.3	Verbrennungsmotoren	197
1.2.3.1	Viertakt-Ottomotor	197
1.2.3.2	Viertakt-Dieselmotor	200
<b>2</b>	<b>Systeme zur Erzeugung von mechanischer Nutzenergie aus elektrischer Energie</b>	<b>203</b>
2.1	Kenngrößen von Elektromotoren	203
2.2	Gleichstrommotoren	204
2.2.1	Aufbau und Wirkungsweise von Gleichstrommotoren	205
2.2.2	Drehrichtungsänderung	206
2.2.3	Änderung der Umdrehungsfrequenz	206
2.2.4	Grundsaltungen, Eigenschaften und Verwendung	206
2.3	Wechselstrom- und Drehstrommotoren	207
2.3.1	Wechselstrom und Drehstrom	207
2.3.2	Synchronmotoren	208
2.3.3	Asynchronmotoren	209
2.3.4	Drehrichtungsumkehr bei Drehstrommotoren	211

### Sechster Themenkreis: Fertigungstechnik

<b>Handlungsfeld: Werkstücke fertigen</b>	<b>218</b>
<b>1 Urformen</b>	<b>219</b>
1.1 Gießen	219
1.1.1 Modellbau	220
1.1.2 Formvorgang beim Handformen	221
1.1.3 Weitere Formverfahren	222
1.1.3.1 Vollformgießverfahren	222
1.1.3.2 Maskenformverfahren	222
1.1.3.3 Feingussformverfahren (Wachsausschmelzverfahren)	222
1.1.4 Maschinenformen tongebundener Formstoffe	223
1.1.5 Dauerformen	223
1.1.6 Gießverfahren	224
1.1.6.1 Schwerkraftguss	224
1.1.6.2 Druckguss	224
1.1.6.3 Schleuderguss	225
1.1.7 Grundlagen für die Konstruktion von Gussteilen	226
1.1.7.1 Formgerechte Konstruktion	226
1.1.7.2 Erstarrungsgerechte Konstruktion	227
1.1.7.3 Putzgerechte Konstruktion	229
1.1.7.4 Zusammenfassung der Konstruktionsregeln	229
1.2 Sintern	231
1.2.1 Formgebung der Metallpulver	231
1.2.2 Sintervorgang	231
1.2.3 Grundregeln für die Konstruktion von Sinterwerkstücken	232
1.3 Additiv Fertigen	233
1.3.1 Verfahrensprinzip	233
1.3.2 Datenaufbereitung zur additiven Fertigung	234
1.3.2.1 CAD-Modell	234
1.3.2.2 CAD-Modell im STL-Format	234
1.3.2.3 Slicen und Datenerzeugung im G-Code (DIN 66025)	235
1.3.3 Additive Fertigungsverfahren	236
1.3.3.1 Maschinenaufbau	236
1.3.3.2 Stereolithografie (SL)	236
1.3.3.3 Selektives Laserschmelzen	237
1.3.3.4 Schmelzschiichtung (FDM)	238
1.3.3.5 Übersicht über das Spektrum der additiven Fertigungsverfahren	238
1.3.4 Merkmale und Anwendungsfelder additiver Fertigungsverfahren	239
<b>2 Umformen</b>	<b>241</b>
2.1 Werkstoffkundliche Grundlagen des Umformens	241
2.2 Druckumformverfahren	246
2.2.1 Walzen	246
2.2.2 Durchdrücken	248
2.2.3 Weitere Druckumformverfahren	250
2.2.3.1 Eindrücken	250

2.2.3.2	Freiformen .....	250	3.4.4	Einflussgrößen auf die Oberflächen- beschaffenheit beim Drehen .....	283
2.2.3.3	Gesenkformen .....	250	3.4.4.1	Schnittgeschwindigkeit und Kühlschmierung .....	283
2.3	Zugdruckumformen .....	251	3.4.4.2	Vorschub und Eckenradius .....	283
2.3.1	Durchziehen .....	251	3.4.4.3	Span- und Einstellwinkel .....	283
2.3.2	Tiefziehen .....	251	3.4.5	Berechnungen zum Drehen .....	284
2.4	Zugumformen .....	254	3.4.5.1	Wahl der Schnittgeschwindigkeit und Berechnung der Umdrehungsfrequenz ...	284
2.4.1	Längen .....	254	3.4.5.2	Berechnung der Hauptnutzungszeit $t_h$ ...	285
2.4.2	Weiten .....	254	3.4.5.3	Berechnung des Spanungsquerschnitts $S$	285
2.4.3	Tiefen .....	254	3.4.5.4	Berechnung der Schnittkraft .....	286
2.5	Biegeumformen .....	255	3.4.6	Arbeitsplanung für eine Drehbearbeitung	287
2.5.1	Grundlagen .....	255	3.5	Fertigen auf mechanisch gesteuerten Fräsmaschinen .....	289
2.5.2	Biegeumformverfahren .....	257	3.5.1	Fräsmaschine .....	289
<b>3</b>	<b>Trennen .....</b>	<b>259</b>	3.5.2	Einrichtungen zum Spannen und Stützen der Werkstücke und Werkzeuge .....	289
3.1	Zerteilen .....	259	3.5.2.1	Spannen der Werkstücke .....	289
3.1.1	Scherschneiden .....	259	3.5.2.2	Stützen der Werkstücke .....	290
3.1.2	Messer- und Beißschneiden .....	262	3.5.2.3	Einrichtungen zum Erzeugen von Kreisbögen und Teilungen .....	290
3.2	Spanen .....	264	3.5.2.4	Einrichtungen zum Spannen der Werkzeuge	290
3.2.1	Bewegungen zwischen Werkstück und Werkzeugschneide .....	264	3.5.3	Einteilung und Benennung der Fräsverfahren .....	291
3.2.2	Schneiden und Flächen am Schneidkeil ..	265	3.5.3.1	Einteilung nach der Vorschubbewegung und der Form der zu erzeugenden Fläche	291
3.2.3	Werkzeugbezugssystem .....	266	3.5.3.2	Einteilung nach der Lage der Schneiden zur Vorschubbewegung .....	291
3.2.4	Spanarten und Spanformen .....	268	3.5.3.3	Einteilung nach der Art des Zusammenwirkens von Schnitt- und Vorschubbewegung .....	291
3.2.4.1	Spanarten .....	268	3.5.4	Fräswerkzeuge .....	292
3.2.4.2	Spanformen .....	268	3.5.4.1	Walzenfräser .....	292
3.2.5	Schneidstoffe für maschinelles Spanen ..	269	3.5.4.2	Messerköpfe .....	292
3.2.5.1	Schnellarbeitsstähle .....	269	3.5.4.3	Schaftfräser .....	293
3.2.5.2	Hartmetalle .....	269	3.5.4.4	Profilfräser .....	293
3.2.5.3	Polykristalliner Diamant (PKD) .....	269	3.5.4.5	Scheibenfräser .....	293
3.2.5.4	Keramische Schneidstoffe .....	270	3.5.5	Bestimmen von Arbeitsgrößen beim Fräsen .....	294
3.2.5.5	Normung von Wendschneidplatten .....	270	3.5.5.1	Bewegungen bei der Spanabnahme .....	294
3.3	Fertigen auf Bohrmaschinen .....	271	3.5.5.2	Schnitttiefe und Eingriffsgrößen .....	295
3.3.1	Die Bohrmaschine .....	271	3.5.5.3	Beispiel für die Auswahl von Arbeitsgrößen für einen Fräsauftrag .....	296
3.3.1.1	Aufbau .....	271	3.5.5.4	Berechnender Hauptnutzzeit .....	297
3.3.1.2	Einrichtung zum Spannen der Werkzeuge	271	3.5.5.5	Arbeitsplanung einer Einzelanfertigung auf einer Fräsmaschine .....	299
3.3.1.3	Spannvorrichtungen für Werkstücke .....	271	<b>Aufgaben Spanende Fertigungsverfahren .....</b>	<b>301</b>	
3.3.2	Übersicht über die Arbeitsverfahren auf Bohrmaschinen .....	272	3.6	Abtragen .....	309
3.3.3	Bohren .....	272	3.6.1	Autogenes Brennschneiden .....	309
3.3.3.1	Spiralbohrer .....	272	3.6.2	Plasmaschneiden .....	310
3.3.3.2	Schnittdaten zum Bohren .....	273	3.6.3	Funkenerosives Abtragen .....	311
3.3.4	Senken .....	275	3.6.4	Abtragen durch Laser .....	312
3.3.4.1	Zylindrisches Einsenken .....	275	3.6.4.1	Physikalische Grundlagen .....	312
3.3.4.2	Kegeliges Ansenken .....	275	3.6.4.2	Laserstrahlschneiden .....	313
3.3.4.3	Berechnung der Senktiefe .....	275	3.6.4.3	Laserabtragen (Lasercaving) .....	314
3.3.4.4	Schnittdaten zum Senken .....	275	<b>4</b>	<b>Fügen .....</b>	<b>316</b>
3.3.5	Reiben .....	276	4.1	Passungen .....	317
3.3.5.1	Reibvorgang .....	276	4.1.1	Spiel, Übermaß, Passtoleranz .....	317
3.3.5.2	Reibwerkzeuge .....	276	4.1.2	Toleranzklassen .....	318
3.4	Fertigen auf mechanisch gesteuerten Drehmaschinen .....	277	4.1.3	Passungssysteme .....	319
3.4.1	Drehmaschine .....	277	4.2	Wellen- und Nabenverbindungen .....	320
3.4.1.1	Aufbau .....	277			
3.4.1.2	Einrichtungen zum Spannen der Werkstücke .....	278			
3.4.1.3	Einrichtungen zum Spannen der Drehwerkzeuge .....	278			
3.4.2	Einteilung und Benennung der Drehverfahren .....	279			
3.4.3	Drehwerkzeuge .....	280			
3.4.3.1	Winkel an der Meißelschneide .....	280			
3.4.3.2	Bauarten von Drehmeißeln .....	281			

4.3	Schraubenverbindungen .....	321	2.5.2	Bewegungen im Eilgang .....	359
4.4	Keilverbindungen .....	322	2.5.3	Geradlinige Arbeitsbewegungen .....	359
4.5	Schrumpfen .....	322	2.5.4	Kreisförmige Arbeitsbewegungen .....	360
4.6	Stiftverbindungen .....	323	2.6	Programmierung von	
4.7	Nietverbindungen .....	323		Schaltinformationen .....	362
4.7.1	Arten der Nietverbindungen .....	323	2.6.1	Programmierung von Technologiedaten ..	362
4.7.2	Herstellen der Nietverbindung .....	324	2.6.2	Programmierung von Werkzeugeinsatz	
4.7.3	Beanspruchung der Nietverbindung .....	325		und Zusatzfunktionen. ....	362
4.8	Metallschweißen .....	325	2.6.3	Einwechseln der Werkzeuge .....	363
4.8.1	Pressschweißen .....	326	2.6.4	Zufuhr von Kühlschmiermitteln. ....	363
4.8.1.1	Begriffe des Pressschweißens .....	326	2.7	Zusammenstellung von Programmdaten	
4.8.1.2	Widerstandspressschweißverfahren .....	326		zu Sätzen .....	364
4.8.2	Schmelzschweißverfahren .....	327	<b>3</b>	<b>Programmieren zur Fertigung von</b>	
4.8.2.1	Begriffe des Schmelzschweißens .....	327		<b>Drehteilen</b> .....	365
4.8.2.2	Metall-Lichtbogenschweißen .....	328	3.1	Programmieren von Weginformationen	
4.8.2.3	Lichtbogenhandschweißen .....	329		beim Drehen. ....	365
4.8.2.4	Schutzgasschweißen .....	330	3.1.1	Koordinatensysteme an CNC-	
4.9	Löten .....	331		Drehmaschinen .....	365
4.9.1	Weichlöten .....	331	3.1.2	Nullpunkte und Bezugspunkte .....	365
4.9.2	Hartlöten. ....	332	3.1.3	Drehteile mit geradliniger Kontur .....	366
4.9.3	Gestaltung von Lötverbindungen .....	332	3.1.4	Drehteile mit kreisförmigen	
4.10	Kleben .....	333		Konturanteilen .....	367
<b>5</b>	<b>Beschichten</b> .....	335	3.2	Programmierhilfen beim Drehen .....	368
5.1	Galvanisieren .....	336	3.2.1	Zyklen beim Drehen .....	368
5.2	Thermische Spritzverfahren .....	339	3.2.2	Programmabschnittwiederholungen .....	372
<b>6</b>	<b>Stoffeigenschaft ändern</b> .....	340	3.2.3	Unterprogramme .....	372
6.1	Wärmebehandlung der Stähle .....	340	3.2.4	Einsatz von Unterprogrammen .....	373
6.1.1	Glühverfahren .....	340	3.3	Werkzeuge und Werkzeugmaße beim	
6.1.1.1	Weichglühen .....	340		Drehen .....	375
6.1.1.2	Normalglühen .....	341	3.3.1	Aufbau von Drehwerkzeugen .....	375
6.1.1.3	Spannungsarmglühen .....	341	3.3.2	Werkzeugmaße .....	375
6.1.1.4	Rekristallisationsglühen .....	342	3.3.3	Schneidenradiuskompensation .....	377
6.1.2	Härten und Anlassen .....	343	<b>4</b>	<b>Programmieren zur Fertigung von</b>	
6.1.2.1	Martensitbildung .....	343		<b>Frästeilen</b> .....	378
6.1.2.2	Anlassen und Vergüten .....	344	4.1	Programmieren von Weginformationen	
6.1.2.3	Z-T-U-Schaubilder .....	345		beim Fräsen .....	378
6.1.2.4	Randschichthärten .....	346	4.1.1	Achsrichtungen bei Fräsarbeiten .....	378
			4.1.2	Maschinennullpunkt und Referenzpunkt .	379
			4.1.3	Werkstücknullpunkte .....	379
			4.1.4	Werkzeugbahnkorrekturen .....	380
			4.2	Programmierhilfen beim Fräsen .....	381
			4.2.1	Zyklen beim Fräsen .....	381
			4.2.2	Zyklenaufrufe auf verschiedenen	
				Startpositionen .....	386
			4.2.3	Manipulation von Programmteilen .....	388
			4.2.4	Unterprogramme .....	389
			4.2.5	Einbau von Unterprogrammen und	
				Zyklen in Hauptprogramme .....	389
			4.3	Werkzeugdaten .....	390
			4.3.1	Werkzeugmaße .....	390
			4.3.2	Werkzeugmaßkorrekturen .....	390
			4.3.3	Werkzeugcodierung .....	391
			4.3.4	Werkzeugüberwachungssysteme .....	391
			4.4	Programmierung von	
				Schaltinformationen .....	392
			<b>5</b>	<b>Werkstatorientierte</b>	
				<b>Programmierung (WOP)</b> .....	393
			<b>6</b>	<b>Angetriebene Werkzeuge und</b>	
				<b>Mehrseitenbearbeitung</b> .....	395
			6.1	CNC-Drehen mit angetriebenen	
				Werkzeugen .....	395

**Siebter Themenkreis:**  
**Grundlagen der CNC-Technik**

**Handlungsfeld:** Werkstücke auf CNC-Maschinen  
fertigen .....

351

<b>1</b>	<b>CNC-Werkzeugmaschinen</b> .....	352
1.1	Datenfluss in CNC-Maschinen .....	352
1.2	Koordinatensysteme an CNC-Maschinen .....	353
1.3	Lageregelung an CNC-Maschinen .....	354
1.4	Bahnsteuerungen an CNC-Maschinen ..	355
<b>2</b>	<b>Grundlagen zur manuellen</b>	
	<b>Programmierung</b> .....	356
2.1	Arbeitsablauf beim manuellen	
	Programmieren .....	356
2.2	Werkstückkoordinatensystem .....	356
2.3	Wahl des Werkstücknullpunktes .....	357
2.4	Bemaßungsarten für die Programmierung .....	357
2.4.1	Absolutbemaßung .....	357
2.4.2	Inkrementalbemaßung .....	358
2.4.3	Polarkoordinatenbemaßung .....	358
2.5	Programmierung von Bahnbewegungen ..	359
2.5.1	Bearbeitungsrichtung .....	359

6.1.1	Komplettbearbeitung .....	395
6.1.2	Ebenen und Achsen an Maschinen mit angetriebenen Werkzeugen .....	395
6.1.3	Maschinenaufbau und Fertigungsmöglichkeiten .....	395
6.1.4	Stirnseitenbearbeitung .....	397
6.1.5	Mantel- und Sehnenflächenbearbeitung .....	399
6.2	Mehrseitenbearbeitung auf Fräsmaschinen .....	401
6.2.1	Einführung .....	401
6.2.2	Standardebenen G17, G18 und G19 .....	402
6.2.3	Wechsel der Standardebenen bei einer 2½D-Bearbeitung .....	403
6.2.4	Festlegen von Bearbeitungsebenen über maschinenfeste Raumwinkel .....	404
6.2.5	Weitere Möglichkeiten zur Ebenenanwahl .....	406

**Achter Themenkreis:  
Statik, Dynamik und Festigkeitslehre**

<b>Handlungsfeld: Belastungen in einem technischen System ermitteln .....</b>		<b>410</b>
<b>1</b>	<b>Statik .....</b>	<b>411</b>
1.1	Kräfte .....	411
1.2	Moment und Kräftepaar .....	413
1.3	Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften in der Ebene mit gemeinsamem Angriffspunkt .....	414
1.3.1	Zeichnerische Lösung .....	414
1.3.2	Rechnerische Lösung .....	415
1.4	Zusammensetzung von Kräften in der Ebene mit verschiedenen Angriffspunkten .....	417
1.4.1	Zeichnerische Lösung .....	417
1.4.2	Rechnerische Lösung .....	418
1.5	Körper in der Ebene im Gleichgewicht .....	420
1.5.1	Gleichgewichtsbedingungen .....	420
1.5.2	Freimachen von Bauteilen .....	421
1.5.3	Ermittlung von Gleichgewicht haltenden Lagerkräften .....	424
1.5.3.1	Träger mit Einzellasten .....	424
1.5.3.2	Träger mit Streckenlasten .....	426
1.5.4	Kräfte an der schiefen Ebene .....	427
1.6	Schnittgrößen .....	429
1.7	Stabkräfte in ebenen Fachwerken .....	431
1.7.1	Zeichnerische Ermittlung von Stabkräften .....	431
1.7.2	Rechnerische Ermittlung von Stabkräften (rittersches Schnittverfahren) .....	434
<b>2</b>	<b>Dynamik .....</b>	<b>438</b>
2.1	Bewegungsänderungen .....	438
2.1.1	Geradlinige Bewegung .....	438
2.1.2	Kreisbewegung .....	439
2.2	Grundgesetz der Dynamik .....	440
2.2.1	Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung (Translation) .....	440
2.2.2	Gleichmäßig beschleunigte Drehbewegung (Rotation) .....	441
2.3	Gewichtskraft und Fallbeschleunigung .....	444
2.4	Kräfte bei Horizontalbewegung .....	444
2.5	Kräfte bei Bewegung auf geneigter Ebene .....	445
2.6	Kräfte bei Drehbewegung .....	446

<b>Handlungsfeld: Bauteilmaße berechnen .....</b>		<b>450</b>
<b>3</b>	<b>Festigkeitslehre .....</b>	<b>451</b>
3.1	Grundlagen zur Festigkeitsberechnung .....	451
3.1.1	Beanspruchungsarten .....	451
3.1.2	Belastungsarten – Belastungsfälle .....	451
3.1.3	Reaktionen des Werkstoffes auf Beanspruchung .....	452
3.1.4	Zulässige Spannung und Sicherheit .....	453
3.1.4.1	Wahl der Grenzspannung für die Festigkeitsberechnung .....	453
3.1.4.2	Wahl der Sicherheit für die Festigkeitsberechnung .....	453
3.1.4.3	Zulässige Nennspannungen für Werkstoffe des Maschinenbaus in N/mm <sup>2</sup> .....	454
3.2	Zugbeanspruchung .....	455
3.3	Druckbeanspruchung .....	456
3.4	Scherbeanspruchung .....	458
3.5	Biegebeanspruchung .....	459
3.5.1	Spannungen beim Biegen .....	459
3.5.2	Biegemoment und Querkraft am Träger mit Einzellasten .....	459
3.5.3	Biegemoment und Querkraft am Träger mit Streckenlasten .....	462
3.5.4	Biegegleichung .....	464
3.5.5	Widerstandsmoment ( $W_x$ ) .....	465
3.5.6	Berechnung biegebeanspruchter Werkstücke .....	468
3.6	Verdrehbeanspruchung (Torsion) .....	470
3.6.1	Spannungen beim Verdrehen .....	470
3.6.2	Äußere Beanspruchung beim Verdrehen .....	470
3.6.3	Polares Widerstandsmoment ( $W_p$ ) .....	470
3.6.4	Berechnung auf Verdrehung beanspruchter Bauteile .....	471

**Neunter Themenkreis:  
Baulemente**

<b>Handlungsfeld: Baulemente auswählen .....</b>		<b>477</b>
<b>1</b>	<b>Verbindungselemente .....</b>	<b>478</b>
1.1	Federn .....	478
1.2	Schrauben und Muttern .....	481
1.2.1	Kraftübersetzung an der Schraube .....	481
1.2.2	Arbeit an der Schraube .....	483
1.2.3	Verspannungsdiagramm .....	483
1.2.4	Gewinde, Schrauben und Muttern .....	484
1.2.5	Festigkeitsklassen für Schrauben und Muttern .....	487
1.2.6	Berechnung von Befestigungsschrauben .....	487
1.2.7	Berechnung der Einschraubtiefe (Mutternhöhe) .....	488
1.3	Keile .....	491
1.4	Stifte .....	492
1.4.1	Arten von Stiften .....	492
1.4.2	Berechnung von Stiften .....	492
1.5	Niete .....	493
1.5.1	Beanspruchung der Nietverbindung .....	493
1.5.2	Berechnung einfacher Nietverbindungen .....	494
1.6	Schweißnaht .....	495
1.6.1	Nahtformen .....	495
1.6.2	Berechnung einfacher Schweißverbindungen .....	496

<b>2</b>	<b>Übertragungs- und Lagerungselemente</b>	498	<b>2.1.5</b>	<b>Normiertes Strom- und Spannungssignal als Abbild der Messgröße</b>	531
2.1	Achsen und Wellen	498	2.2	Sensoren	532
2.1.1	Begriffe	498	2.2.1	Dehnungsmessstreifen	532
2.1.2	Berechnung von Achsen und Wellen	498	2.2.2	Induktiver Durchflusssensor	533
2.2	Lager	500	2.2.3	Kapazitive Sensoren	534
2.2.1	Begriffe	500	2.2.4	Induktive Näherungsschalter	535
2.2.2	Gleitlager	500	2.2.5	Kapazitive Näherungsschalter	535
2.2.2.1	Schmierung von Gleitlagern	500	2.2.6	Piezoelektrischer Sensor	536
2.2.2.2	Bemessung der Gleitlager	501	2.2.7	Thermoelemente	537
2.2.3	Wälzlager	502	2.2.8	Temperatursensor Pt-100	538
2.2.3.1	Grundlagen	502	2.2.9	Optoelektronische Sensoren	538
2.2.3.2	Berechnung von Wälzlagern	503	2.2.9.1	pn-Übergang	538
2.3	Wellenkupplungen	505	2.2.9.2	Fotodiode	539
2.3.1	Nicht schaltbare Kupplungen	505	2.2.9.3	Fotowiderstand	540
2.3.2	Mechanisch übertragende, schaltbare Kupplungen	506	2.2.9.4	Lichtschranken	540
		506	2.2.9.5	Sensorsysteme zur Bilderkennung und Bildverarbeitung	541
2.3.3	Selbsttätig schaltende Kupplungen	507	2.3	Anschluss technik für Sensoren	543
2.4	Getriebe	508	2.3.1	Anschluss techniken für passive Sensoren	543
2.4.1	Übersicht über mechanische Getriebe	508	2.3.1.1	Mehrleiterschaltungstechnik	543
2.4.2	Berechnungsgrundlagen für Getriebe	509	2.3.1.2	Brückenschaltungstechnik	544
2.4.2.1	Umdrehungsfrequenz und Umfangsgeschwindigkeit	509	2.3.2	Anschluss techniken für aktive Sensoren	545
2.4.2.2	Übersetzungsverhältnis	509	2.3.3	Anpassungen des Sensorsignals mit konfigurierbaren Messumformern	545
2.4.2.3	Drehmoment	510	2.4	Digitalisierung und Signalverarbeitung	546
2.4.2.4	Wirkungsgrad	511	2.4.1	Signalformen und Messsignalumformer	546
2.4.3	Zugmittelgetriebe	512	2.4.1.1	Analoge Signale	546
2.4.3.1	Kraftschlüssige Riemengetriebe	512	2.4.1.2	Digitale Signale	546
2.4.3.2	Formschlüssige Riemengetriebe	513	2.4.1.3	Signalarten	546
2.4.3.3	Kettengetriebe	513	2.4.1.4	Analog-digital-Wandler	547
2.4.3.4	Vergleich der Zugmittelgetriebe	514	2.4.2	Signalübertragung	548
2.4.4	Zahnradgetriebe	514	<b>3</b>	<b>Steuerungstechnik</b>	551
2.4.4.1	Zahnradmaße und ihre Berechnung	514	3.1	Steuerungsarten	552
2.4.4.2	Zahnflankenformen	515	3.1.1	Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen	552
2.4.4.3	Formen von Zahnradgetrieben	517	3.1.2	Verbindungs- und speicherprogrammierte Steuerungen	553
2.4.5	Verstellbare Getriebe	522	3.2	Grundlagen zum Entwurf von Steuerungen	554
2.4.5.1	Verstellbare Zahnradstufengetriebe	522	3.2.1	Verknüpfungsfunktionen	554
2.4.5.2	Stufenlos verstellbare Reibradgetriebe	522	3.2.2	Funktionstabelle	556
2.4.5.3	Verstellbare Umschlingungsgetriebe	523	3.2.3	Ablaufbeschreibung (GRAFCET)	557
2.4.5.4	Kugelscheibengetriebe	523	3.2.3.1	Aufbau des GRAFCET-Planes	557
			3.2.3.2	Darstellung von Strukturelementen im GRAFCET-Plan	558
			3.2.3.3	Beispiel für den GRAFCET-Plan einer Steuerung	559
			3.3	Pneumatische Steuerungen	561
			3.3.1	Symbole und Benennungen in der Pneumatik	562
			3.3.1.1	Symbole für Elemente zur Druckerzeugung, -speicherung, -aufbereitung und -leitung (Auszug, DIN ISO 1219)	562
			3.3.1.2	Symbole für Elemente zur Energiesteuerung	562
			3.3.1.3	Symbole für Elemente zur Arbeits verrichtung	566
			3.3.2	Schaltpläne für pneumatische Steuerungen	566
			3.3.2.1	Aufbau von Schaltplänen	566

## Zehnter Themenkreis: Automatisierungstechnik

**Handlungsfeld:** Entwickeln von Steuerungen . . . . 525

<b>1</b>	<b>Identifikationssysteme</b>	526
1.1	Identifikation von Personen und Berechtigungsnachweisen	526
1.2	Identifikation von Gegenständen und gleichzeitiger Datentransport	527
1.3	Identifikation von Produkten	528
1.3.1	Strichcode Interleaved 2/5 ITF	528
1.3.2	QR-Code	528
<b>2</b>	<b>Sensortechnik</b>	529
2.1	Einteilung der Sensoren	529
2.1.1	Überblick über Sensoren und Messprinzipien	529
2.1.2	Aktive und passive Sensoren	530
2.1.3	Messende und schaltende Sensoren	530
2.1.4	Smarte (intelligente) Sensoren	531

3.3.2.2	Grundschaltungen zum Erzielen des Vor- und Rücklaufes eines Kolbens .....	568	1.2	Energiebilanz der Erde .....	616
3.3.2.3	Grundschaltungen zur Geschwindigkeitsbeeinflussung von Arbeitselementen .....	569	1.3	Klimaerwärmung .....	617
3.3.2.4	Grundschaltungen zur Schaltverzögerung und Signalabschaltung .....	570	1.4	Globalstrahlung in Deutschland .....	618
3.3.3	Funktionsdiagramme .....	572	1.5	Solarthermie .....	618
3.3.4	Erstellen von Schaltplänen .....	574	1.5.1	Nichtkonzentrierende Solarthermische Systeme .....	618
3.4	Elektromechanische Steuerungen .....	579	1.5.2	Konzentrierende Solarthermische Systeme .....	620
3.4.1	Bauelemente zur Signaleingabe .....	579	1.6	Photovoltaik .....	621
3.4.1.1	Schalter und Taster .....	579	1.6.1	Physikalische Grundlagen .....	621
3.4.1.2	Sensoren .....	579	1.6.2	Typen von Silizium-Solarzellen .....	622
3.4.2	Bauelemente zur Signalverarbeitung .....	579	1.6.3	Solarmodule .....	622
3.4.3	Aktoren .....	580	1.6.4	Ertrag von Photovoltaikanlagen .....	622
3.4.4	Grundschaltungen zur Signalverarbeitung .....	581	1.6.5	Batteriespeichersysteme für Photovoltaikanlagen .....	624
3.4.4.1	Stromlaufplan .....	581	<b>2</b>	<b>Windkraft</b> .....	626
3.4.4.2	Logische Funktionen .....	581	2.1	Grundlagen .....	626
3.4.4.3	Speicherschaltung .....	582	2.1.1	Windenergie .....	626
3.4.4.4	Signalabschaltung .....	582	2.1.2	Aerodynamik .....	627
3.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) .....	584	2.1.2.1	Luftwiderstand .....	627
3.5.1	Baugruppe der SPS .....	584	2.1.2.2	Aerodynamischer Auftrieb .....	628
3.5.2	Arbeitsweise der SPS .....	585	2.2	Aufbau von Windkraftanlagen .....	629
3.5.3	Programmieren speicherprogrammierbarer Steuerungen .....	586	2.2.1	Windkraftanlagen mit horizontaler Achse .....	629
3.5.3.1	Programmiersprachen .....	586	2.2.1.1	Tragende Struktur einer Großwindkraftanlage .....	629
3.5.3.2	Programmieren kombinierter Verknüpfungen .....	588	2.2.1.2	Energieumformung am Rotor .....	629
3.5.3.3	Speicherverhalten .....	588	2.2.1.3	Triebstrang und Generator .....	631
3.5.3.4	Zählfunktion .....	589	2.2.1.4	Weiterleitung elektrischer Energie .....	631
3.5.3.5	Zeitfunktionen .....	591	2.2.2	Windkraftanlagen mit vertikaler Achse .....	631
3.5.4	Sicherheit von Steuerungen .....	592	2.3	Leistung von Anlagen .....	632
3.5.5	Entwurf speicherprogrammierter Ablaufsteuerungen .....	593	<b>3</b>	<b>Wasserkraft</b> .....	635
<b>4</b>	<b>Regeln</b> .....	597	3.1	Grundlagen .....	635
4.1	Funktionseinheiten und Größen im Regelkreis .....	597	3.2	Turbinen .....	637
4.2	Arten der Regelung .....	597	3.2.1	Pelton-Turbine .....	637
4.2.1	Unterscheidungsmerkmale .....	597	3.2.2	Francis-Turbine .....	638
4.2.2	Unstetige Regler .....	598	3.2.3	Kaplan-Turbine .....	638
4.2.3	Stetige Regler .....	599	3.3	Wasserkraftwerke .....	639
<b>5</b>	<b>Robotertechnik</b> .....	603	3.3.1	Laufwasserkraftwerke .....	639
5.1	Teilsysteme eines Industrieroboters .....	603	3.3.2	Speicherwasserkraftwerke .....	639
5.2	Achsen eines Industrieroboters .....	603	3.3.3	Pumpspeicherkraftwerke .....	640
5.3	Bauarten von Industrierobotern .....	604	3.3.4	Meerwasserkraftwerke .....	641
5.4	Programmierung von Industrierobotern .....	605	<b>4</b>	<b>Geothermie</b> .....	643
5.4.1	Grundbestandteile von Roboterprogrammen .....	605	4.1	Erdwärme .....	643
5.4.2	Programmierverfahren .....	606	4.2	Nutzung der Erdwärme .....	643
5.4.3	Steuerung von Industrierobotern .....	607	4.2.1	Oberflächennahe Geothermie .....	643
5.4.4	Planung einer Programmerstellung .....	609	4.2.2	Tiefe Geothermie .....	644
5.5	Ziel: Industrie 4.0 .....	612	4.2.3	Wärmepumpe .....	645
			4.2.4	Geothermische Kraftwerke .....	646
			<b>5</b>	<b>Biomasse</b> .....	647
			5.1	Energetisch nutzbare Biomasse .....	647
			5.2	Feste Bioenergieträger .....	647
			5.2.1	Nutzung im Wohnbereich .....	647
			5.2.2	Industrielle Anwendung .....	648
			5.3	Flüssige Bioenergieträger .....	648
			5.4	Gasförmige Bioenergieträger .....	649
			5.5	Blockheizkraftwerke .....	650
			<b>6</b>	<b>Speichersysteme</b> .....	651
			6.1	Kenngrößen von Speichersystemen .....	651
			6.2	Mechanische Speicher .....	651

**Elfter Themenkreis:  
Erneuerbare Energien**

**Handlungsfeld:** Erneuerbare Energien  
in Nutzenergie überführen ..... 614

<b>1</b>	<b>Sonnenenergie</b> .....	615
1.1	Fusionsenergie aus der Sonne .....	615



## 12 Inhaltsverzeichnis

6.2.1	Pumpspeicher .....	651
6.2.2	Schwungradspeicher .....	652
6.2.3	Druckluftspeicher .....	652
6.3	Elektrische Speicher .....	653
6.3.1	Kondensatoren .....	653
6.3.2	Supraleitende Spulen .....	653
6.4	Elektrochemische Speicher .....	654
6.4.1	Blei-Säure-Akkumulatoren .....	654
6.4.2	Lithium-Ionen-Akkumulatoren .....	655
6.5	Chemische Speicher .....	656
6.6	Thermische Speicher .....	657
6.6.1	Sensible Wärmespeicher .....	657
6.6.2	Latentwärmespeicher .....	657
6.6.3	Thermochemische Speicher .....	657
6.6.4	Energiespeichertechnologien 2021 (Auszug aus s. unten) .....	658
	<b>Gesamtaufgaben</b> .....	659
	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	667
	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	673