

Inhaltsverzeichnis

Erster Themenkreis:			
Technische Systeme			
Handlungsfeld: Technische Systeme gestalten ...	13		
1 Technische Systeme	14	1.2.6 Weiter NE-Metalle und ihre Legierungen	61
1.1 Aufbau eines technischen Systems	14	1.2.6.1 Zink und Zinklegierungen	61
1.2 Unterteilung innerhalb eines technischen Systems	15	1.2.6.2 Zinn und Zinnlegierungen	62
1.3 Funktionen technischer Systeme	17	1.2.6.3 Blei und Bleilegierungen	62
2 Systemanalyse	18	1.2.6.4 Nickel und Nickellegierungen	63
3 Gestaltung, Nutzung und Recycling technischer Systeme	20	1.2.6.5 Magnesium und Magnesiumlegierungen	64
3.1 Planung	21	1.3 Normung metallischer Werkstoffe	66
3.2 Entwicklung und Konstruktion	22	1.3.1 Normung von Stählen	66
3.3 Fertigung	25	1.3.1.1 Kurznamen von Stählen nach DIN EN 10027	66
3.4 Nutzung	26	1.3.1.2 Werkstoffnummern von Stählen	67
3.5 Recycling	26	1.3.2 Normung von Fe-C-Gusswerkstoffen	68
Zweiter Themenkreis:		1.3.2.1 Kurznamen für Gusswerkstoffe	68
Werkstofftechnik		1.3.2.2 Werkstoffnummern für Gusseisenwerkstoffe	68
Handlungsfeld: Werkstoffe auswählen	29	1.3.3 Normung der NE-Metalle	69
1 Metallische Werkstoffe	30	1.3.3.1 Systematische Bezeichnung der Nichteisenmetalle (außer Al)	69
1.1 Reines Metall – Gefüge und Aufbau	30	1.3.3.2 Kurzzeichen für Aluminium und Aluminiumlegierungen	69
1.1.1 Metallbindung	30	1.3.3.3 Werkstoffnummern von NE-Metallen Allgemeines Nummerierungssystem	70
1.1.2 Entstehung des Metallgefüges	31	1.3.3.4 Werkstoffnummern von Aluminium und Aluminiumlegierungen	70
1.1.3 Gitteraufbau der Metalle	32	1.4 Sinterwerkstoffe	71
1.2 Legierungen	34	1.4.1 Herstellung und Aufbereitung der Metallpulver	71
1.2.1 Grundlagen	34	1.4.2 Sinterwerkstoffe und ihre Anwendung	71
1.2.1.1 Legierungen mit vollkommener Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	34	1.4.2.1 Sintermetalle	71
1.2.1.2 Arbeiten mit Zustandsdiagrammen	37	1.4.2.2 Hartmetalle	72
1.2.1.3 Legierungen mit vollkommener Unlöslichkeit im festen Zustand	38	1.4.2.3 Keramische Werkstoffe	72
1.2.1.4 Gegenüberstellung von Legierungen mit Mischkristallen und Legierungen mit Kristallgemengen	41	1.5 Korrosion	74
1.2.2 Stähle	45	1.5.1 Elektrochemische Grundlagen	74
1.2.2.1 Gefügebestandteile	45	1.5.1.1 Normalpotenzial	74
1.2.2.2 Eigenschaften der Stähle in Abhängigkeit vom Gefüge	47	1.5.1.2 Galvanische Elemente	75
1.2.2.3 Einfluss der Legierungselemente auf die Eigenschaften der Stähle	48	1.5.2 Elektrochemische Korrosion	75
1.2.2.4 Einteilung der Stähle	50	1.5.3 Chemische Korrosion	77
1.2.2.5 Eigenschaften von Stählen	51	1.5.4 Korrosionsschutz	78
1.2.3 Fe-C-Gusswerkstoffe	53	2 Organische Werk- und Hilfsstoffe	79
1.2.3.1 Stahlguss (GS)	53	2.1 Struktur und Benennung organischer Kohlenstoffverbindungen	79
1.2.3.2 Gusseisen mit Lamellengrafit (GJL)	54	2.1.1 Ketten- und Ringstrukturen von Kohlenstoffverbindungen	79
1.2.3.3 Gusseisen mit Kugelgrafit (GJS)	56	2.1.2 Bindungen zwischen Kohlenstoffatomen	80
1.2.3.4 Gusseisen mit Vermiculargrafit (GJV)	57	2.1.3 Schreibweise von Formeln organischer Verbindungen	80
1.2.3.5 Temperguss (GJM)	57	2.1.4 Benennung organischer Verbindungen	81
1.2.4 Aluminium und Aluminiumlegierungen	59	2.2 Kunststoffe (Plaste)	84
1.2.4.1 Eigenschaften von Reinaluminium	59	2.2.1 Einteilung der Kunststoffe	84
1.2.4.2 Aluminiumlegierungen	59	2.2.2 Eigenschaften der Kunststoffe	85
1.2.5 Kupfer und Kupferlegierungen	60	2.2.3 Polymerisate	86
1.2.5.1 Eigenschaften des reinen Kupfers	60	2.2.3.1 Polyethylen (PE)	88
1.2.5.2 Kupferlegierungen	60	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	3.3.3	Impuls-Echo-Verfahren	131
2.2.4.5	Übersicht über die Struktur wichtiger Polykondensate	95	3.4	Prüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen	132
2.2.5	Polyaddukte	96	3.4.1	Prüfung mit Röntgenstrahlen	132
2.2.5.1	Polyurethane	96	3.4.1.1	Erzeugung und Eigenschaften von Röntgenstrahlen	132
2.2.5.2	Epoxidharze	96	3.4.1.2	Durchführung der Prüfung mit Röntgenstrahlen	132
2.2.6	Klebstoffe auf Kunststoffbasis	97	3.4.2	Prüfung mit Gammastrahlen	133
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**

	Handlungsfeld: Eigenschaften von Werkstoffen prüfen	107			
1	Mechanische Prüfverfahren	108			
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			
2	Metallografische Prüfverfahren	127			
2.1	Makroskopische Untersuchungsverfahren	127			
2.2	Metallmikroskopie	127			
3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	128			
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			
	Handlungsfeld: Bauteile prüfen	136			
1	Prüftechnik	137			
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 Prüferäten	162			
	Handlungsfeld: Überwachen von Produkt- und Prozessqualität	164			
2	Qualitätsmanagement	165			
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			

6 Inhaltsverzeichnis

2.7.1.1	Prüfverfahren.....	173	2.4	Wechselstrommotoren.....	212
2.7.1.2	Datenerfassung in der Fertigung	174	2.5	Schrittmotoren.....	212
2.8	Statistische Prozessregelung	174	2.6	Linearmotoren.....	213
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			

Sechster Themenkreis: Fertigungstechnik

Handlungsfeld: Werkstücke fertigen

1	Urformen.....	219
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 (Wachsaußschmelzverfahren).....	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	Schmelzsichtung (FDM).....	238
1.3.3.5	Übersicht über das Spektrum der additiven Fertigungsverfahren	238
1.3.4	Merkmale und Anwendungsfelder additiver Fertigungsverfahren	239
2	Umformen	241
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

Fünfter Themenkreis: Antriebstechnik

1	Systeme zur Erzeugung von mechanischer Nutzenergie aus Wärmeenergie	186
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
2	Systeme zur Erzeugung von mechanischer Nutzenergie aus elektrischer Energie	203
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	Grundschaltungen, 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

2.2.3.2	Freiformen	250	3.4.4	Einflussgrößen auf die Oberflächenbeschaffenheit beim Drehen	283
2.2.3.3	Gesenkformen	250	3.4.4.1	Schnittgeschwindigkeit und Kühlsmierung	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
3	Trennen	259	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 Fräsvorverfahren	291
3.2.2	Schneiden und Flächen am Schneidekeil	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 Wendeschneidplatten	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	Aufgaben Spanende Fertigungsverfahren	301	
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	Plasmarschneiden	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	4	Fügen	316
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 Nabenvorbindungen	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	2.6.1	Schaltinformationen	362
4.7.1	Arten der Nietverbindungen	323	2.6.2	Programmierung von Technologiedaten ..	362
4.7.2	Herstellen der Nietverbindung	324	2.6.3	Programmierung von Werkzeugeinsatz	
4.7.3	Beanspruchung der Nietverbindung	325	2.6.4	und Zusatzfunktionen	362
4.8	Metallschweißen	325	2.7	Einwechseln der Werkzeuge	363
4.8.1	Pressschweißen	326		Zufuhr von Kühlschmiermitteln	363
4.8.1.1	Begriffe des Pressschweißens	326		Zusammenstellung von Programmdaten	
4.8.1.2	Widerstandspressschweißverfahren	326		zu Sätzen	364
4.8.2	Schmelzschweißverfahren	327	3	Programmieren zur Fertigung von	
4.8.2.1	Begriffe des Schmelzschweißens	327		Drehteilen	365
4.8.2.2	Metall-Lichtbogenschweißen	328		Programmieren von Weginformationen	
4.8.2.3	Lichtbogenhandschweißen	329	3.1	beim Drehen	365
4.8.2.4	Schutzgasschweißen	330		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
5	Beschichten	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
6	Stoffeigenschaft ändern	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	Härteln und Anlassen	343	4	Programmieren zur Fertigung von	
6.1.2.1	Martensitbildung	343		Frästeinen	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	Randschichthärteln	346	4.1.1	Achsrichtungen bei Fräserarbeiten	378
Siebter Themenkreis:			4.1.2	Maschinennullpunkt und Referenzpunkt ..	379
Grundlagen der CNC-Technik			4.1.3	Werkstücknullpunkte	379
Handlungsfeld: Werkstücke auf CNC-Maschinen			4.1.4	Werkzeugbahnnkorrekturen	380
fertigen			4.2	Programmierhilfen beim Fräsen	381
1	CNC-Werkzeugmaschinen	352	4.2.1	Zyklen beim Fräsen	381
1.1	Datenfluss in CNC-Maschinen	352	4.2.2	Zyklenurufe auf verschiedenen	
1.2	Koordinatensysteme an CNC-Maschinen	353	4.2.3	Startpositionen	386
1.3	Lageregelung an CNC-Maschinen	354	4.2.4	Manipulation von Programmteilen	388
1.4	Bahnsteuerungen an CNC-Maschinen	355	4.2.5	Unterprogramme	389
2	Grundlagen zur manuellen			Einbau von Unterprogrammen und	
Programmierung				Zyklen in Hauptprogramme	389
2.1	Arbeitsablauf beim manuellen		4.3	Werkzeugdaten	390
2.2	Programmieren	356	4.3.1	Werkzeugmaße	390
2.3	Werkstückkoordinatensystem	356	4.3.2	Werkzeugmaßkorrekturen	390
2.4	Wahl des Werkstücknullpunktes	357	4.3.3	Werkzeugcodierung	391
2.4.1	Bemaßungsarten für die Programmierung	357	4.3.4	Werkzeugüberwachungssysteme	391
2.4.2	Absolutbemaßung	357	4.4	Programmierung von	
2.4.3	Inkrementalbemaßung	358		Schaltinformationen	392
2.5	Polarkoordinatenbemaßung	358	5	Werkstattorientierte	
2.5.1	Programmierung von Bahnbewegungen	359		Programmierung (WOP)	393
	Bearbeitungsrichtung	359	6	Angetriebene Werkzeuge und	
				Mehrseitenbearbeitung	395
			6.1	CNC-Drehen mit angetriebenen	
				Werkzeugen	395

Inhaltsverzeichnis

6.1.1	Komplettbearbeitung	395	Handlungsfeld: Bauteilmaße berechnen.	450
6.1.2	Ebenen und Achsen an Maschinen mit angetriebenen Werkzeugen	395	3 Festigkeitslehre	451
6.1.3	Maschinenaufbau und Fertigungsmöglichkeiten	395	3.1 Grundlagen zur Festigkeitsberechnung	451
6.1.4	Stirnseitenbearbeitung	397	3.1.1 Beanspruchungsarten	451
6.1.5	Mantel- und Sehnenflächenbearbeitung	399	3.1.2 Belastungsarten – Belastungsfälle	451
6.2	Mehrseitenbearbeitung auf Fräsmaschinen	401	3.1.3 Reaktionen des Werkstoffes auf Beanspruchung	452
6.2.1	Einführung	401	3.1.4 Zulässige Spannung und Sicherheit.	453
6.2.2	Standardebenen G17, G18 und G19.	402	3.1.4.1 Wahl der Grenzspannung für die Festigkeitsberechnung	453
6.2.3	Wechsel der Standardebenen bei einer 2½D-Bearbeitung	403	3.1.4.2 Wahl der Sicherheit für die Festigkeitsberechnung	453
6.2.4	Festlegen von Bearbeitungsebenen über maschinenfeste Raumwinkel	404	3.1.4.3 Zulässige Nennspannungen für Werkstoffe des Maschinenbaus in N/mm ²	454
6.2.5	Weitere Möglichkeiten zur Ebenenwahl	406	3.2 Zugbeanspruchung	455
Achter Themenkreis: Statik, Dynamik und Festigkeitslehre				
Handlungsfeld: Belastungen in einem technischen System ermitteln.				
1	Statik	411	3.3 Druckbeanspruchung	456
1.1	Kräfte.	411	3.4 Scherbeanspruchung	458
1.2	Moment und Kräftepaar	413	3.5 Biegebeanspruchung	459
1.3	Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften in der Ebene mit gemeinsamem Angriffspunkt	414	3.5.1 Spannungen beim Biegen	459
1.3.1	Zeichnerische Lösung	414	3.5.2 Biegemoment und Querkraft am Träger mit Einzellasten	459
1.3.2	Rechnerische Lösung	415	3.5.3 Biegemoment und Querkraft am Träger mit Streckenlasten	462
1.4	Zusammensetzung von Kräften in der Ebene mit verschiedenen Angriffspunkten	417	3.5.4 Biegegleichung	464
1.4.1	Zeichnerische Lösung	417	3.5.5 Widerstandsmoment (W_x)	465
1.4.2	Rechnerische Lösung	418	3.5.6 Berechnung biegebeanspruchter Werkstücke	468
1.5	Körper in der Ebene im Gleichgewicht	420	3.6 Verdrehbeanspruchung (Torsion)	470
1.5.1	Gleichgewichtsbedingungen	420	3.6.1 Spannungen beim Verdrehen	470
1.5.2	Freimachen von Bauteilen	421	3.6.2 Äußere Beanspruchung beim Verdrehen	470
1.5.3	Ermittlung von Gleichgewicht haltenden Lagerkräften	424	3.6.3 Polares Widerstandsmoment (W_p)	470
1.5.3.1	Träger mit Einzellasten	424	3.6.4 Berechnung auf Verdrehung beanspruchter Bauteile	471
1.5.3.2	Träger mit Streckenlasten	426		
1.5.4	Kräfte an der schießen 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		
2	Dynamik	438		
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		
Neunter Themenkreis: Bauelemente				
Handlungsfeld: Bauelemente auswählen				
1	Verbindungselemente	478		
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		

2	Übertragungs- und Lagerungselemente	498	2.1.5	Normiertes Strom- und Spannungssignal als Abbild der Messgröße	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		
2.3.3	Selbsttätig schaltende Kupplungen	507	2.2.9.5	Sensorsysteme zur Bilderkennung und Bildverarbeitung	541		
2.4	Getriebe	508	2.3	Anschlusstechnik für Sensoren	543		
2.4.1	Übersicht über mechanische Getriebe	508	2.3.1	Anschlusstechniken für passive Sensoren	543		
2.4.2	Berechnungsgrundlagen für Getriebe	509	2.3.1.1	Mehrleiterschaltungstechnik	543		
2.4.2.1	Umdrehungsfrequenz und Umfangsgeschwindigkeit	509	2.3.1.2	Brückenschaltungstechnik	544		
2.4.2.2	Übersetzungsverhältnis	509	2.3.2	Anschlusstechniken für aktive Sensoren	545		
2.4.2.3	Drehmoment	510	2.3.3	Anpassungen des Sensorsignals mit konfigurierbaren Messumformern	545		
2.4.2.4	Wirkungsgrad	511	2.4	Digitalisierung und Signalverarbeitung	546		
2.4.3	Zugmittelgetriebe	512	2.4.1	Signalformen und Messsignalumformer	546		
2.4.3.1	Kraftschlüssige Riemengetriebe	512	2.4.1.1	Analoge Signale	546		
2.4.3.2	Formschlüssige Riemengetriebe	513	2.4.1.2	Digitale Signale	546		
2.4.3.3	Kettengerüste	513	2.4.1.3	Signalarten	546		
2.4.3.4	Vergleich der Zugmittelgetriebe	514	2.4.1.4	Analog-digital-Wandler	547		
2.4.4	Zahnradgetriebe	514	2.4.2	Signalübertragung	548		
2.4.4.1	Zahnradmaße und ihre Berechnung	514	3	Steuerungstechnik	551		
2.4.4.2	Zahnflankenformen	515	3.1	Steuerungsarten	552		
2.4.4.3	Formen von Zahnradgetrieben	517	3.1.1	Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen	552		
2.4.5	Verstellbare Getriebe	522	3.1.2	Verbindungs- und speicherprogrammierte Steuerungen	553		
2.4.5.1	Verstellbare Zahnradstufengetriebe	522	3.2	Grundlagen zum Entwurf von Steuerungen	554		
2.4.5.2	Stufenlos verstellbare Reibradgetriebe	522	3.2.1	Verknüpfungsfunktionen	554		
2.4.5.3	Verstellbare Umschaltungsgetriebe	523	3.2.2	Funktionstabelle	556		
2.4.5.4	Kugelscheibengetriebe	523	3.2.3	Ablaufbeschreibung (GRAFCET)	557		
Zehnter Themenkreis:					3.2.3.1	Aufbau des GRAFCET-Planes	557
Automatisierungstechnik					3.2.3.2	Darstellung von Strukturelementen im GRAFCET-Plan	558
Handlungsfeld: Entwickeln von Steuerungen					3.2.3.3	Beispiel für den GRAFCET-Plan einer Steuerung	559
1	Identifikationssysteme	526	3.3	Pneumatische Steuerungen	561		
1.1	Identifikation von Personen und Berechtigungsnachweisen	526	3.3.1	Symbole und Benennungen in der Pneumatik	562		
1.2	Identifikation von Gegenständen und gleichzeitiger Datentransport	527	3.3.1.1	Symbole für Elemente zur Druckerzeugung, -speicherung, -aufbereitung und -leitung (Auszug, DIN ISO 1219)	562		
1.3	Identifikation von Produkten	528	3.3.1.2	Symbol für Elemente zur Energiesteuerung	562		
1.3.1	Strichcode Interleaved 2/5 ITF	528	3.3.1.3	Symbol für Elemente zur Arbeitsverrichtung	566		
1.3.2	QR-Code	528	3.3.2	Schaltpläne für pneumatische Steuerungen	566		
2	Sensortechnik	529	3.3.2.1	Aufbau von Schaltplänen	566		
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	2	Windkraft	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	3	Wasserkraft	635
4	Regeln	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
5	Robotertechnik	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	4	Geothermie	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
	Elfter Themenkreis:		4.2.4	Geothermische Kraftwerke	646
	Erneuerbare Energien		5	Biomasse	647
	Handlungsfeld: Erneuerbare Energien		5.1	Energetisch nutzbare Biomasse	647
	in Nutzenergie überführen	614	5.2	Feste Bioenergieträger	647
1	Sonnenenergie	615	5.2.1	Nutzung im Wohnbereich	647
1.1	Fusionsenergie aus der Sonne	615	5.2.2	Industrielle Anwendung	648
			5.3	Flüssige Bioenergieträger	648
			5.4	Gasförmige Bioenergieträger	649
			5.5	Blockheizkraftwerke	650
			6	Speichersysteme	651
			6.1	Kenngrößen von Speichersystemen	651
			6.2	Mechanische Speicher	651

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
	Gesamtaufgaben	659
	Sachwortverzeichnis	667
	Quellenverzeichnis	673