

A ARBEITS- UND UMWELTSCHUTZ

A1 GESUNDHEITSSCHUTZ 11

Allgemeine Sicherheitsregeln	11
Warn- und Hinweisschilder	12
Arbeitssicherheit an Werkzeugmaschinen	13
Allgemeine Sicherheitsregeln	13
Arbeitssicherheit beim Drehen und Fräsen	14
Arbeitssicherheit beim Schleifen	15
Arbeitssicherheit beim Bohren	15
Sicheres Arbeiten mit Hebezeugen und Anschlagmitteln	15
Sicherheitsanforderungen an Fertigungssysteme	17
Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen	18
Umgang mit Kühlschmiermitteln	20
Brandschutz	24

A2 UMWELTSCHUTZ 25

Energieeinsparung	25
Abfälle und Kreislaufwirtschaft	26

A3 ERSTE HILFE 27

G GRUNDLAGEN

G1 MECHANIK 29

G2 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN 30

Masse, Dichte und Volumen	30
Kraft und Kraftarten	30
Kraftwirkungen	30
Die Gewichtskraft	31
Reibungskraft	32
Gleichförmige Bewegung	33
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	33
Kraft und Beschleunigung	33
Drehmoment	34
Energie und Arbeit	35
Leistung	36
Wirkungsgrad	36

G3 CHEMISCHE GRUNDLAGEN 37

Metalle	37
Metalllegierungen	38
Mischkristall	38
Kristallgemisch	38

G4 ELEKTROTECHNISCHE GRUNDLAGEN 39

Der elektrische Stromkreis	39
----------------------------------	----

Die elektrische Spannung	39
Der elektrische Strom	40
Der elektrische Widerstand	41
Schaltung von Widerständen	42
Reihenschaltung von Widerständen	42
Parallelschaltung von Widerständen	43
Stromarten	44
Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	45
Überstrom-Schutzeinrichtungen	46
Fehler an elektrischen Anlagen	47
Schutzmaßnahmen bei elektrischen Maschinen	48
Hinweise für den Umgang mit Elektrogeräten	50

G5 FESTIGKEITSLERE 51

Aufgaben und Ziele	51
Grundbelastungsfälle	52
Beanspruchung auf Zug	52
Zugspannung	52
Flächenpressung	53

W WERKSTOFFTECHNIK

W1 EINTEILUNG DER WERKSTOFFE 54

Einteilung und Bezeichnung der Eisenwerkstoffe	54
--	----

W2 STAHLWERKSTOFFE 55

Stahlerzeugende Industrie	55
Stähle für den Stahlbau	56
Stähle für den Maschinenbau	56
Stähle für den Druckbehälterbau	57
Einsatzstähle	57
Vergütungsstähle	57
Nitrierstähle	57
Automatenstähle	58
Hochlegierte korrosionsbeständige Stähle	58
Warmfeste Stähle	58
Warm- und Kaltarbeitsstähle	59
Federstähle	59
AFP-Stähle	59
Stahlnormung	60
Normung der Schnellarbeitsstähle	61

W3 GUSSEISENWERKSTOFFE 62

Gusseisen mit Lamellengraphit	62
Gusseisen mit Kugelgraphit	62
Temperguss	63
Gusseisen mit Vermiculargraphit	63
Hartguss	64

Austenitisches Gusseisen	64
Stahlguss	64

W4 NICHTEISENMETALLE 65

Aluminium	65
Aluminiumlegierungen	65
Bezeichnungssystem Aluminiumlegierungen	66
Aushärtung	66
Kupferlegierungen	67
Bezeichnungssystem Kupferlegierungen	67
Magnesiumlegierungen	68
Nickelbasislegierungen	68
Titanlegierungen	68

W5 SINTERMETALLE 69

W6 KUNSTSTOFFE 70

Einteilung der Kunststoffe	70
Thermoplaste	70
Duroplaste	71

W7 WERKSTOFFPRÜFTECHNIK 72

Werkstoffprüfung metallischer Werkstoff durch zerstörende Prüfverfahren	72
Zugversuch	72
Druckversuch	74
Kerbschlagbiegeversuch	74
Prüfung der Dauerschwingfestigkeit	74
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	77
Werkstoffprüfung von Kunststoffen	78
Zugprüfung	78
Härteprüfung	78

W8 WÄRMEBEHANDLUNG VON EISENWERKSTOFFEN 79

Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	79
Wärmebehandlungsverfahren	80
Glühverfahren der Eisenwerkstoffe	81
Weichglühen	81
Normalglühen	81
Spannungsarmglühen	81
Diffusionsglühen	82
Grobkornglühen	82
GKZ- Glühen	82
Rekristallisationsglühen	82
Anlassen	82
Härteverfahren für Stahlwerkstoffe	83
Umwandlungshärteverfahren	83
Vergüten	84
Diffusionshärteverfahren	84
Einsatzhärten	84
Carbonitrieren	85
Nitrieren	85
Vakuumhärten	85

W9 HALBZEUGE 86

Stahlprofile (Auswahl)	86
Aluminiumprofile (Auswahl)	86
Herstellung von Halbzeugen	87
Stahlerschmelzung	87
Strangguss	87
Warmwalzen	87
Kaltwalzen	87
Kaltziehen	87
Strangpressen	88

W10 ZERSPANBARKEIT 89

Technologische Beschreibung	89
Zerspanbarkeit der Stahlwerkstoffe	89
Legierter Stahl	90
Nichtrostende Stähle	91
Gusseisenwerkstoffe	92
Schwer zerspanbare Werkstoffe	93
Nickel- und Nickelbasislegierungen	93
Graphit	93
Bearbeitung harter Eisenwerkstoffe	94
Aluminium-Legierungen	95
Kunststoffe	96
Verbundwerkstoffe (Composites)	96

F FERTIGUNGSTECHNIK

F1 GRUNDLAGEN DER ZERSPANTECHNIK 97

Historischer Rückblick	97
Zerspanverfahren	99
Zerspanungsprinzip	101
Spanungsbewegungen	101
Spanungsgeschwindigkeit	102
Schnitt- und Spanungsgrößen	105
Spanbildung	108
Spandickenstauchung λ_h	108
Spangeschwindigkeit v_{sp}	109
Scherwinkel Φ	109
Spanflächenreibung μ_{sp}	109
Einfluss der Reibung auf die Spanbildung	110
Spanformen	111
Spanformdiagramm	111
Einflüsse auf die Spanformung	112
Zerspankräfte	113
Zerspankraftkomponenten	113
Spezifische Schnittkraft k_c	114
Schnittkraftberechnung	115
Einflussgrößen auf die Zerspankraft	116
Spanungsarbeit	117
Zerspanungsleistung	117
Schnittleistung	117
Maschinenleistung	118
Schnittmoment	118

Standkriterien des Werkzeugs	119	Drall- und Schneidrichtung	179
Standzeit	119	Besondere Fräsverfahren	180
Standweg L_f	119	Maschinengestelle für Fräsmaschinen	183
Standmenge	120	Bauformen von Fräsmaschinen	185
Ermittlung der Standzeit	120	Fräsmaschinen mit horizontaler Bearbeitungsachse	185
Standzeitgerade	120	Fräsmaschinen mit vertikaler Bearbeitungsachse	186
Einflüsse auf die Standzeit	122	Aktuelle Technologien	187
Energiebilanz	122	Fertigungsbeispiel „Führungsschieber“	188
Werkzeugverschleiß	123	F7 DREHTECHNIK	196
Verschleißursachen	124	Allgemeines	196
Verschleißformen	125	Schnittgrößen beim Drehen	197
Schneidengeometrie	126	Winkel am Drehwerkzeug	199
F2 SCHNEIDSTOFFE UND BESCHICHTUNGEN	128	Innenausdrehen	203
Übersicht	128	Abstech- und Einstechdrehen	204
Schneidstoffeigenschaften	129	Besondere Drehverfahren	206
Schnellarbeitsstähle	130	Fertigungsbeispiel „Bolzen“	209
Hartmetalle	132	Fertigungsbeispiel „Kegelhülse“	213
Cermets	133	Fertigungsbeispiel „Flanschring“	218
Keramische Schneidstoffe	134	Fertigungsbeispiel „Antriebswelle“	222
Kubisches Bornitrid, BN (CBN)	136	Fertigungssimulation CNC- Programm Antriebswelle	225
Diamant	137	Fertigungsbeispiel „Getriebewelle“	228
Auswahlkriterien für Schneidstoffe	138	F8 AUTOMATENDREHTECHNIK	233
Klassifizierung der Schneidstoffe	140	Fertigungskriterien	233
F3 BOHRVERFAHREN	143	Drehautomaten	233
Bohren und Senken	143	F9 GEWINDEHERSTELLUNG	236
Bohren ins Volle	144	Gewindearten	236
Schnittbedingungen	147	Gewindeherstellverfahren	236
Prozesskenngößen	148	Gewindebohren	236
Bohrwerkzeuge	152	Gewindeformen	239
Kurzbohrer	152	Außengewinde handgeführt schneiden	239
Wendelbohrer	152	Innengewindefräsen	240
Profilbohren	154	Gewindedrehfräsen	242
Tiefbohren	156	Gewindewirbeln	243
Aussteuerwerkzeuge	161	Gewindedrehen	243
Senken	162	Gewinderollen	247
Plansenken	163	Gewindewalzen	247
F4 REIBEN	164	F10 RÄUMEN, HOBELN UND STOSSEN	248
Rundreiben	164	Räumen	248
F5 SÄGEN	166	Hobeln und Stoßen	250
Sägeverfahren	166	F11 SCHLEIFTECHNIK	251
Sägeblätter	166	Schleifen	251
Automatische Bandsäge	167	Einteilung der Schleifverfahren	252
F6 FRÄSTECHNIK	168	Schleifprozess	253
Einteilung der Fräsverfahren	168	Kühlschmierung	254
Schnittgrößen beim Fräsen	170	Zerspanungsvorgang und Zerspanungsgrößen	255
Fräswerkzeuge	176	Schleifmittel	257
Teilung am Fräswerkzeug	178		
Störungsbeseitigung beim Fräsen	179		

Schleifmittelbindung	260	Thermisches Fügen	310
Härte und Gefüge	261	Pressschweißen	310
Schleiftechnisches Grundprinzip	262	Elektrisches Widerstandsschweißen	310
Schnittwerte beim Schleifen	264	Abbrennstumpfschweißen	311
Schnittkraft und Schnittleistung beim Schleifen	265	Punktschweißen	311
Werkzeugverschleiß beim Schleifen	266	Buckelschweißen	311
Auswuchten von Schleifkörpern	269	Rollennahtschweißen	311
Betriebssicherheit beim Schleifen	270	Pressschweißen durch Bewegungsenergie	312
Rundscheifen	271	Sprengschweißen	312
Rundscheifverfahren	271	Magnetimpulsschweißen	313
Fertigungsbeispiel „Führungshülse“	272	Pressschweißen durch elektrische	
Fertigungsbeispiel „Grundplatte“	278	Gasentladung	313
Zeitspannvolumen Q	279	Lichtbogenbolzenschweißen	313
F12 FEINBEARBEITUNGSVERFAHREN	280	Schmelz-Verbindungsschweißen	313
Umformende Feinbearbeitungsverfahren	280	Verbindungsschweißen durch Gas	314
Abtragende Feinbearbeitung	281	Verbindungsschweißen durch elektrische	
Elektrochemisches Abtragen	282	Gasentladung	314
Honon	283	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	314
Läppen	285	Metall-Schutzgasschweißen	315
Ultraschallschwingläppen	287	Unterpulverschweißen (UP)	315
Strukturgebende Verfahren	288	Metall-Lichtbogenschweißen	315
Lasersonen	288	Verbindungsschweißen durch Strahl	316
Abtragende Verfahren	289	Elektronenstrahlschweißen	316
Thermisches Abtragen	289	Laserschweißen	316
Funkenerosives Abtragen	292	Lötverbindungen	316
Erosives Abtragen durch Flüssigkeit	293	Verfahrensvergleich	317
Chemisches Abtragen	293	F14 ZERSpanungstechnologie	318
Elektrochemisches Abtragen (ECM)	293	Fertigungstechnische Entwicklungstrends	318
Beschichtungstechnik metallischer Oberflächen	294	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – HSC	319
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen HVOF	294	Merkmale der HSC-Technologie	319
Lichtbogenspritzen	294	Technologischer Hintergrund	320
Flammspritzen	294	Bearbeitungsstrategien	321
Beschichten von Schneidplatten	295	Maschinentechnologie	323
Auftragsschweißen	295	Antriebskonzepte	324
Feuerverzinken	295	HSC-Werkzeuge	325
Galvanisieren	295	Werkzeugaufnahme	326
Blecbearbeitung	296	Unwucht rotierender Systeme	327
Stanzen	296	Bearbeitung harter Werkstoffe	329
Scherschneiden	296	Schneidstoffe zur Hartbearbeitung	330
Nibbeln	297	Minimalmengenschmierung	332
Feinschneiden	297	Trockenbearbeitung	334
Folgeschneiden	297	F15 FERTIGUNGSVERFAHREN	336
F13 FÜGEVERFAHREN	298	Die Optimierung von Fertigungsabläufen	338
Press- und Schnappverbindungen	301	Urformen	340
Pressverbindungen	301	Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem	
Schnappverbindungen	302	flüssigen Zustand, Gießen	340
Kleben	303	Der prinzipielle Verfahrensablauf beim Gießen	341
Löten	305	Erstarrungsvorgänge	341
Grundlagen des Lötens	305	Gießverfahren	342
Lötverfahren	307	Gießen in verlorenen Formen	342
Lote	308	Gießen mit Dauerformen	342
Flussmittel	309	Gießen mit Dauerformen und ohne Modell	345

Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem breiigen Zustand	347	B4 SPANNTECHNIK	398
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem pulverförmigen Zustand	348	Maschinenschraubstock	398
Umformtechnik	350	Werkzeugspanntechnik	398
Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	351	Werkstückspanntechnik	403
Druckumformen	352	B5 ANSCHLAGMITTEL	408
Biegeumformen	354	Anschlagketten	408
Festlegung der gestreckten Länge	354	Anschlagseile	411
Biegeradius	355	Hebebänder und Rundslingen	413
Additive Fertigungsverfahren	356	Q PRODUKTIONSPLANUNG UND QUALITÄTSMANAGEMENT	
Stereolithographie (SL)	357	Q1 PRODUKTIONSPLANUNG UND PRODUKTIONSSTEUERUNG	414
Solid Ground Curing (SGC)	357	Planung des Produktionsprozesses	414
Selective Laser Sintering (SLS)	358	Fertigungssteuerung	417
3D-Printing (3DP)	358	Ermittlung der Auftragszeit	418
Fused Deposition Modelling (FDM)	359	Kostenrechnung	419
Layer Objekt Manufacturing (LOM)	359	Kostenstellenrechnung	419
Abformverfahren und Folgeprozesse	359	Kostenträgerrechnung	421
B BETRIEBSTECHNIK		Herstellung eines Komplettbearbeitungswerkzeugs	
B1 WARTUNG UND INSTANDHALTUNG	360	Beispiel für einen betrieblichen Prozess	422
Wartung	360	Kundenauftrag	422
Inspektion	362	Projektierung	422
Instandsetzung	363	Betriebliche Leistungsprozesse	423
Verbesserung	364	Q2 QUALITÄTSMANAGEMENT	428
Steigerung der Qualitätsefähigkeit	365	Zielsetzung	428
B2 BETRIEBSSTOFFE	367	Qualität	428
Schmierstoffe	367	Qualitätskreis	429
Schmierstoffarten	368	Qualitätsmanagementsysteme	430
Schmierfette	368	Prozessorientierung	430
Schmieröle	369	Komponenten des Qualitätsmanagements	431
Festschmierstoffe	370	Qualitätssicherung (Qualitätsprüfung)	432
Kühlschmierstoffe KSS	370	Prüfmittelüberwachung	433
Aufbereitung und Entsorgung von Kühlschmierstoffen	373	Prüfdokumentation und Datensicherung	435
B3 WERKZEUGMASCHINEN	374	Kundenorientierung	436
Die Werkzeugmaschine als technisches System und Produktionsfaktor	374	Qualitätssicherung in der Fertigung	437
Einteilung der Werkzeugmaschinen nach den Fertigungsverfahren	375	Untersuchung der Maschinenfähigkeit	437
Bohrmaschinen	376	Ermittlung der Maschinenfähigkeit	439
Drehmaschinen	377	Untersuchung der Prozessfähigkeit	441
Fräsmaschinen	381	Statistisches Qualitätsmanagement	442
Schleifmaschinen	384	Grundlagen des statistischen Qualitätsmanagements	442
Sondermaschinen	386	Qualitätsregelkarten als Instrumente der Fertigungsüberwachung	443
Abtragende Maschinen	386	Robuste Prozesse	446
Funktionseinheiten einer Werkzeugmaschine	387	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	446
Antriebseinheiten einer Werkzeugmaschine	388	Zertifizierung als ein Ziel des Qualitätsmanagements	447
Energieübertragungseinheit (Getriebe)	392	Umweltmanagement	448
Energieübertragungseinheit Vorschubantrieb	393		
Stütz- und Trageinheit	396		
Sicherheitseinrichtungen an einer Werkzeugmaschine	397		
Betriebssicherheit von Werkzeugmaschinen	397		

03 PRÜFTECHNIK 449

Die Entwicklung der Prüftechnik	449
Begriffe der Messtechnik	451
Messanordnungen	453
Messabweichungen	455
Prüfen von Maßen, Formen und Lagen	456
Maßliches Prüfen mit Lehren	458
Form- und Lagetoleranzen	459
Prüfen von Oberflächen	465
Grundbegriffe	465
Gestaltabweichungen	465
Rauheitsmessgrößen	466
Oberflächenprüfverfahren	466
Toleranzen und Passungen	468
Grundbegriffe	468
Allgemeintoleranzen	470
Maßtoleranzen	470
ISO-Toleranzen	471
Passungsarten	473
Passungssysteme	475
Geometrische Produktspezifikation ISO-GPS	477
DIN EN ISO 8015:2011 –	
GPS-Konzepte, -Prinzipien, -Regeln	477
Unabhängigkeitsprinzip	478
Hüllprinzip	479
Dimensionelle Tolerierung	480
Örtliches oder lokales Maß	480
Globales Maß	481
Statistische Maße	481
Geometrische Tolerierung	482
Bezüge und Bezugssysteme	483
Begriffe für Form- und Lagetoleranzen	484
Spezifikation durch eine Lehre	484

S STEUERUNGS- UND REGELUNGSTECHNIK

S1 AUTOMATISIERUNG DURCH STEUERN UND REGELN 485

Automatisierung der Fertigung	485
Steuern	485
Regeln	486
Steuerungsarten	487
Entwurf einer Steuerung	489
Logische Grundsaltungen	489
Darstellung der Steuerung	492
Technische Ausführung einer Steuerung	496
Aufbau pneumatischer Steuerungen	496
Beispiel: Biegevorrichtung	497
Bauteile pneumatischer Steuerungen	501
Elektrische Steuerungen	508
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	512
Projekt Bohrvorrichtung	515
Projekt Schutztür	516
Energieeffizienz in der Pneumatik	517

Hydraulik	518
Physikalische Grundlagen	518
Aufbau hydraulischer Steuerungen	520

S2 REGELUNGSTECHNIK AN WERKZEUGMASCHINEN 521

Grundbegriffe	521
Regler und Regelkreise	522
Schaltende Regler	522
Lageregelung (Positionierantriebe)	523
Kaskadenregelung	523
Geschwindigkeitsvorsteuerung	524

S3 FLEXIBLE FERTIGUNGSANLAGEN 525

Organisation der Fertigung	525
Einmaschinensystem	527
Mehrmaschinensystem	529
Handhabungssysteme für flexible Fertigungsanlagen ..	531
Werkzeug-Handhabungssysteme	531
Werkstück-Handhabungssysteme	532
Transport und Materialfluss	536
Flurgebundene Fördermittel	536
Flurfreie Fördermittel	537
Aufgeständerte Fördermittel	538
Industrie 4.0	539
Cyber Physical Systems (CPS)	540
Embedded Systems	540

S4 AUFBAU VON CNC-WERKZEUGMASCHINEN 542

Merkmale von CNC-Werkzeugmaschinen	542
Antriebssysteme	543
Messsysteme	546
Inkrementale Weg- und Winkelmessung	547
Absolute Weg- und Winkelmessung	548
Direkte und indirekte Weg- und Winkelmessung	550

S5 NUMERISCHE STEUERUNGEN 553

Konsequenzen des Einsatzes von CNC-	
Werkzeugmaschinen	553
Steuerung	554
Steuerungsarten	557
Programmierung	558
Grundlagen	559
Schreiben des CNC-Programms	560
Drehbearbeitung in der G17-Ebene	573
Übersicht über andere Programmierverfahren	575
Dialog- und Werkstattprogrammierung	575
CAD-CAM Bearbeitung	576
Einrichten der Maschine	577
Testen und Abarbeiten des Programms	579
Kommunikation in der Fertigung	580
Beispiel für ein CNC-Drehprogramm	581

SACHWORTVERZEICHNIS 586

BILDQUELLENVERZEICHNIS 607