

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 FESTIGKEITSLAHRE 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
Spannungsbewegungen	101
Spannungsgeschwindigkeit	102
Schnitt- und Spanungsgrößen	105
Spanbildung	108
Spandickenstauchung λ_h	108
Spangeschwindigkeit v_{sp}	109
Schervinkel Φ	109
Spanflächenreibungswert 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
Härte und Gefüge	261
Schleiftechnisches Grundprinzip	262
Schnittwerte beim Schleifen	264
Schnittkraft und Schnittleistung beim Schleifen	265
Werkzeugverschleiß beim Schleifen	266
Auswuchten von Schleifkörpern	269
Betriebssicherheit beim Schleifen	270
Rundschleifen	271
Rundschleifverfahren	271
Fertigungsbeispiel „Führungshülse“	272
Fertigungsbeispiel „Grundplatte“	278
Zeitspannvolumen Q	279

F12 FEINBEARBEITUNGSVERFAHREN 280

Umformende Feinbearbeitungsverfahren	280
Abtragende Feinbearbeitung	281
Elektrochemisches Abtragen	282
Honen	283
Läppen	285
Ultraschallschwingläppen	287
Strukturgebende Verfahren	288
Lasershonen	288
Abtragende Verfahren	289
Thermisches Abtragen	289
Funkenerosives Abtragen	292
Erosives Abtragen durch Flüssigkeit	293
Chemisches Abtragen	293
Elektrochemisches Abtragen (ECM)	293
Beschichtungstechnik metallischer Oberflächen	294
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen HVOF	294
Lichtbogenspritzen	294
Flammspritzen	294
Beschichten von Schneidplatten	295
Auftragsschweißen	295
Feuerverzinken	295
Galvanisieren	295
Blechbearbeitung	296
Stanzen	296
Scherschneiden	296
Nibbeln	297
Feinschneiden	297
Folgeschneiden	297

F13 FÜGEVERFAHREN 298

Press- und Schnappverbindungen	301
Pressverbindungen	301
Schnappverbindungen	302
Kleben	303
Löten	305
Grundlagen des Lötens	305
Lötverfahren	307
Lote	308
Flussmittel	309

Thermisches Fügen	310
Pressschweißen	310
Elektrisches Widerstandspressschweißen	310
Abbrennstumpfschweißen	311
Punktschweißen	311
Buckelschweißen	311
Rollennahtschweißen	311
Pressschweißen durch Bewegungsenergie	312
Sprengschweißen	312
Magnetimpulsschweißen	313
Pressschweißen durch elektrische Gasentladung	313
Lichtbogenbolzenschweißen	313
Schmelz-Verbindungsschweißen	313
Verbindungsschweißen durch Gas	314
Verbindungsschweißen durch elektrische Gasentladung	314
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	314
Metall-Schutzgasschweißen	315
Unterpulverschweißen (UP)	315
Metall-Lichtbogenschweißen	315
Verbindungsschweißen durch Strahl	316
Elektronenstrahlschweißen	316
Laserschweißen	316
Lötverbindungen	316
Verfahrensvergleich	317

F14 ZERSpanungstechnologie 318

Fertigungstechnische Entwicklungstrends	318
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – HSC	319
Merkmale der HSC-Technologie	319
Technologischer Hintergrund	320
Bearbeitungsstrategien	321
Maschinentechnologie	323
Antriebskonzepte	324
HSC-Werkzeuge	325
Werkzeugaufnahme	326
Unwucht rotierender Systeme	327
Bearbeitung harter Werkstoffe	329
Schneidstoffe zur Hartbearbeitung	330
Minimalmengenschmierung	332
Trockenbearbeitung	334

F15 FERTIGUNGSVERFAHREN 336

Die Optimierung von Fertigungsabläufen	338
Urformen	340
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem flüssigen Zustand, Gießen	340
Der prinzipielle Verfahrensablauf beim Gießen	341
Erstarrungsvorgänge	341
Gießverfahren	342
Gießen in verlorenen Formen	342
Gießen mit Dauerformen	342
Gießen mit Dauerformen und ohne Modell	345

Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem breiigen Zustand	347
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem pulverförmigen Zustand	348
Umformtechnik	350
Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	351
Druckumformen	352
Biegeumformen	354
Festlegung der gestreckten Länge	354
Biegeradius	355
Additive Fertigungsverfahren	356
Stereolithographie (SL)	357
Solid Ground Curing (SGC)	357
Selective Laser Sintering (SLS)	358
3D-Printing (3DP)	358
Fused Deposition Modelling (FDM)	359
Layer Objekt Manufacturing (LOM)	359
Abformverfahren und Folgeprozesse	359

B BETRIEBSTECHNIK

B1 WARTUNG UND INSTANDHALTUNG 360

Wartung	360
Inspektion	362
Instandsetzung	363
Verbesserung	364
Steigerung der Qualitätsefähigkeit	365

B2 BETRIEBSSTOFFE 367

Schmierstoffe	367
Schmierstoffarten	368
Schmierfette	368
Schmieröle	369
Festschmierstoffe	370
Kühlschmierstoffe KSS	370
Aufbereitung und Entsorgung von Kühlschmierstoffen	373

B3 WERKZEUGMASCHINEN 374

Die Werkzeugmaschine als technisches System und Produktionsfaktor	374
Einteilung der Werkzeugmaschinen nach den Fertigungsverfahren	375
Bohrmaschinen	376
Drehmaschinen	377
Fräsmaschinen	381
Schleifmaschinen	384
Sondermaschinen	386
Abtragende Maschinen	386
Funktionseinheiten einer Werkzeugmaschine	387
Antriebseinheiten einer Werkzeugmaschine	388
Energieübertragungseinheit (Getriebe)	392
Energieübertragungseinheit Vorschubantrieb	393
Stütz- und Trageinheit	396
Sicherheitseinrichtungen an einer Werkzeugmaschine	397
Betriebsicherheit von Werkzeugmaschinen	397

B4 SPANNTECHNIK 398

Maschinenschraubstock	398
Werkzeugspanntechnik	398
Werkstückspanntechnik	403

B5 ANSCHLAGMITTEL 408

Anschlagketten	408
Anschlagseile	411
Hebebänder und Rundschlingen	413

Q PRODUKTIONSPLANUNG UND QUALITÄTSMANAGEMENT

Q1 PRODUKTIONSPLANUNG UND PRODUKTIONSSTEUERUNG 414

Planung des Produktionsprozesses	414
Fertigungssteuerung	417
Ermittlung der Auftragszeit	418
Kostenrechnung	419
Kostenstellenrechnung	419
Kostenträgerrechnung	421
Herstellung eines Komplettbearbeitungswerkzeugs	
Beispiel für einen betrieblichen Prozess	422
Kundenauftrag	422
Projektierung	422
Betriebliche Leistungsprozesse	423

Q2 QUALITÄTSMANAGEMENT 428

Zielsetzung	428
Qualität	428
Qualitätskreis	429
Qualitätsmanagementsysteme	430
Prozessorientierung	430
Komponenten des Qualitätsmanagements	431
Qualitätssicherung (Qualitätsprüfung)	432
Prüfmittelüberwachung	433
Prüfdokumentation und Datensicherung	435
Kundenorientierung	436
Qualitätssicherung in der Fertigung	437
Untersuchung der Maschinenfähigkeit	437
Ermittlung der Maschinenfähigkeit	439
Untersuchung der Prozessfähigkeit	441
Statistisches Qualitätsmanagement	442
Grundlagen des statistischen Qualitätsmanagements	442
Qualitätsregelkarten als Instrumente der Fertigungsüberwachung	443
Robuste Prozesse	446
Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	446
Zertifizierung als ein Ziel des Qualitätsmanagements	447
Umweltmanagement	448

Q3 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 Grundschaltungen	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**