



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

Fachkunde ZERSPANTECHNIK

1. Auflage

Bearbeitet von
Lehrern an beruflichen Schulen und Ingenieuren
unter der Leitung von Michael Dambacher

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 15655

Inhaltsverzeichnis

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
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
Stahlerzeugende Industrie	55
Stahlwerkstoffe	56
Gusseisenwerkstoffe	57
Nichteisenmetallwerkstoffe	58
W2 WERKSTOFFPRÜFTECHNIK	59
Werkstoffprüfung metallischer Werkstoff durch zerstörende Prüfverfahren	59
Zugversuch	59
Druckversuch	61
Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy	61
Prüfung der Dauerschwingfestigkeit	61
Härteprüfung	62
Härtevergleichstabelle	63
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	64
Technology of materials	65

Werkstoffprüfung von Kunststoffen	66
Zugprüfung	66
Härteprüfung	66
CHARPY-Prüfung	67
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfverfahren	67

W3 WÄRMEBEHANDLUNG 68

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen	68
Glühverfahren der Eisenwerkstoffe	69
Härteverfahren der Stahlwerkstoffe	70
Wärmebehandlung von Schneidwerkzeugen	71
Wärmebehandlung von Nicht-Eisenwerkstoffen	72

W4 HALBZEUGE 73

Ausgewählte Stahlsorten für Halbzeuge	73
Herstellung von Halbzeugen	74
Stahlerschmelzung	74
Strangguss	74
Warmwalzen	74
Kaltwalzen	74
Kaltziehen	74
Strangpressen	75
Stahlprofile (Auswahl)	75
Aluminiumprofile (Auswahl)	75

W5 ZERSPANBARKEIT 76

Zerspanungshauptgruppen (Werkstoffeinfluss)	76
Zerspankraft F	78
Spanform	78
Spandickenstauchung	78
Werkzeugverschleiß und Standzeit	79
Standzeit T	79
Zerspanungskenngröße Oberflächengüte	80

W6 STAHLWERKSTOFFE 81

Stähle für den Stahlbau	81
Stähle für den Maschinenbau	82
Stähle für den Druckbehälterbau	82
Einsatzstähle	83
Vergütungsstähle	83
Nitrierstähle	84
Automatenstähle	84
Hochlegierte korrosionsbeständige Stähle	85
Warmfeste Stähle	85
Warm- und Kaltarbeitsstähle	86
Federstähle und AFP-Stähle	86

W7 GUSSEISENWERKSTOFFE 87

Gusseisen mit Lamellengraphit (EN-GJL)	88
Gusseisen mit Kugelgraphit (EN-GJS)	88
Temperguss (EN-GJMW und EN-GJMB)	89
Gusseisen mit Vermiculargraphit (EN-GJV)	89
Austenitisches Gusseisen (EN-GJLA)	90
Stahlguss (G)	90

W8 NICHTEISENMETALLE 91

Einteilung der NE-Metalle	91
Norm-Bezeichnungen von NE-Metallen	91
Aluminiumlegierungen	92
Kupferlegierungen	93
Magnesiumlegierungen	94
Nickelbasislegierungen	94
Titanlegierungen	94

W9 SINTERMETALLE 95

Normung der Sinterwerkstoffe	95
Mechanische Eigenschaften von Sintermetallen nach DIN EN 30910-1	96
Gesinterte Werkstücke (Bezeichnungsbeispiele)	96

W10 KUNSTSTOFFE 97

Einteilung der Kunststoffe	97
Eigenschaften und Verwendung	98
Thermisches Wärmeverhalten der Kunststoffe – Allgemeine Zerspanungshinweise	99
Duroplaste und Schichtverbunde	100
CFK-Metall-Schichtverbunde (Stacks)	100
Zerteilen und Sonderverfahren	101

F FERTIGUNGSTECHNIK

F1 GRUNDLAGEN 102

Historischer Rückblick	102
Zerspanverfahren	104
Zerspanungsprinzip	106
Spanungsbewegungen	106
Spanungsgeschwindigkeit	107
Schnitt- und Spanungsgrößen	110
Spanbildung	113
Spandickenstauchung λ_h	113
Spangeschwindigkeit v_{sp}	114
Schervinkel ϕ	114
Spanflächenreiwert μ_{sp}	114
Einfluss der Reibung auf die Spanbildung	115

Spanformen	116
Spanformdiagramm	116
Einflüsse auf die Spanformung	117
Zerspankräfte	118
Zerspankraftkomponenten	118
Spezifische Schnittkraft k_c	119
Schnittkraftberechnung	120
Einflussgrößen auf die Zerspankraft	121
Spanungsarbeit	122
Zerspanungsleistung	122
Schnittleistung	122
Maschinenleistung	123
Schnittmoment	123
Standkriterien des Werkzeugs	124
Standzeit	124
Standweg L_f	124
Standmenge	125
Ermittlung der Standzeit	125
Standzeitgerade	125
Einflüsse auf die Standzeit	126
Energiebilanz	126
Werkzeugverschleiß	127
Verschleißursachen	128
Verschleißformen	129
Schneidengeometrie	130
Fundamentals of metal cutting	132

F2 SCHNEIDSTOFFE UND BESCHICHTUNGEN 134

Schneidstoffe	135
Hartmetalle	137
Cermets	138
Kubisches Bornitrid, BN (CBN)	140
Diamant	141

F3 BOHRVERFAHREN 142

Bohren und Senken	142
Bohren ins Volle	143
Profilbohren	150
Senken	152
Plansenken	154

F4 REIBEN 155

Rundreiben	155
Profilreiben	158

F5 SÄGEN 159

Sägeverfahren	159
Sägeblätter	159
Automatische Bandsäge	160

F6 FRÄSTECHNIK 161

Einteilung der Fräsverfahren	161
Schnittgrößen beim Fräsen	163
Vermeidung von Problemen beim Fräsen	170
Teilung am Fräswerkzeug	170
Fräswerkzeuge	171
Besondere Fräsverfahren	172
Aktuelle Technologien	177
Bauformen von Fräsmaschinen	178
Fräsmaschinen mit horizontaler Bearbeitungsachse	178
Fräsmaschinen mit vertikaler Bearbeitungsachse	179
Berechnungen der Hauptnutzungszeit	185
Herstellung eines Komplettbearbeitungswerkzeugs	190
Kundenauftrag	190
Projektierung	190
Betriebliche Leistungsprozesse	191

F7 DREHTECHNIK 196

Allgemeines	196
Schnittgrößen beim Drehen	197
Innenausdrehen	203
Abstech- und Einstechdrehen	205
Besondere Drehverfahren	207
Arbeitsplanung beim Drehen	208
Berechnungen und Beispiele zur Arbeitsplanung	209
Rauheitsberechnung	210
Berechnungen der Hauptnutzungszeit	215
Beispiel zur Arbeitsplanung beim Drehen	216

F8 AUTOMATENDREHTECHNIK 232

Fertigungskriterien	232
Drehautomaten	232

F9 GEWINDEHERSTELLUNG 235

Allgemeines	235
Innengewindefräsen	236
Gewindedrehfräsen	238
Gewindewirbeln	239
Gewindedrehen	239

F10 RÄUMEN, HOBELN UND STOSSEN 243

Räumen	243
Hobeln und Stoßen	245

F11 SCHLEIFTECHNIK 246

Systematik der Schleifverfahren	247
Schleifprozess	248
Zerspanungsvorgang und Zerspanungsgrößen	250
Härte und Gefüge	256

Schleiftechnisches Grundprinzip	257
Schnittwerte beim Schleifen	260
Werkzeugverschleiß beim Schleifen	262
Betriebssicherheit beim Schleifen	267
Rundschleifverfahren	268
Arbeitsplanung beim Schleifen	274
Grinding	282

F12 FEINBEARBEITUNGSVERFAHREN 284

Umformende Feinbearbeitungsverfahren	284
Elektrochemisches Abtragen	286
Honen	287
Läppen	289
Ultraschallschwingläppen	290
Funkenerosives Abtragen	291
Strukturgebende Verfahren	292
Laserhonen	292
Laserstrukturieren	293
Beschichten und Honen	294

F13 FÜGEVERFAHREN 295

Press- und Schnappverbindungen	298
Pressverbindungen	298
Schnappverbindungen	299
Kleben	300
Löten	302
Grundlagen des Lötens	302
Lötverfahren	304
Lote	305
Flussmittel	306
Beispiel einer Lötarbeit	307
Schweißen	308
Einteilung der Schweißverfahren	308
Gestaltung der Schweißstelle	309
Lichtbogenschweißen	310
Schutzgasschweißen	313
Gasschmelzschweißen	316
Strahlschweißen	318
Pressschweißen	319
Einsatz der Schweißverfahren	320
Prüfen von Schweißverbindungen	320

F14 UMFORMEN 321

Verhalten der Werkstoffe beim Umformen	321
Umformverfahren	321
Biegeumformen	322
Festlegung der gestreckten Länge	322
Biegeradius	323

F15 ZERSPANUNGSTECHNOLOGIE 324

Fertigungstechnische Entwicklungstrends	324
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – HSC	325
Merkmale der HSC-Technologie	325
Technologischer Hintergrund	326
Bearbeitungsstrategien	327
Maschinentechnologie	329
Antriebskonzepte	330
HSC-Werkzeuge	331
Werkzeugaufnahme	332
Unwucht rotierender Systeme	333
Bearbeitung harter Werkstoffe	335
Minimalmengenschmierung	337
Trockenbearbeitung	339

F16 FERTIGUNGSVERFAHREN 341

Die Optimierung von Fertigungsabläufen	343
Urformen	345
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem flüssigen Zustand, Gießen	345
Der prinzipielle Verfahrensablauf beim Gießen	346
Erstarrungsvorgänge	346
Gießverfahren	347
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem breiigen Zustand	352
Urformen mit formgebendem Werkzeug aus dem pulverförmigen Zustand	353
Additive Fertigungsverfahren	355
Stereolithographie (SL)	356
Solid Ground Curing (SGC)	356
Selective Laser Sintering (SLS)	357
3D-Printing (3DP)	357
Fused Deposition Modelling (FDM)	358
Layer Objekt Manufacturing (LOM)	358
Abformverfahren und Folgeprozesse	358
Umformtechnik	359
Druckumformen	360

B BETRIEBSTECHNIK

B1 WARTUNG UND INSTANDHALTUNG 362

Wartung	362
Inspektion	364
Instandsetzung	365
Verbesserung	366
Steigerung der Qualitätsfähigkeit	367

B2 BETRIEBSSTOFFE	369	Qualitätskreis	428
Schmierstoffe	369	Qualitätsmanagementsysteme	429
Schmierstoffarten	370	Prozessorientierung	429
Festschmierstoffe	372	Komponenten des Qualitätsmanagements	430
Kühlschmierstoffe KSS	372	Qualitätssicherung (Qualitätsprüfung)	431
B3 WERKZEUGMASCHINEN	376	Prüfmittelüberwachung	432
Die Werkzeugmaschine als technisches System und Produktionsfaktor	376	Prüfdokumentation und Datensicherung	436
Einteilung der Werkzeugmaschinen nach den Fertigungsverfahren	377	Kundenorientierung	437
Bohrmaschinen	378	Qualitätssicherung in der Fertigung	438
Drehmaschinen	379	Untersuchung der Maschinenfähigkeit	438
Fräsmaschinen	383	Ermittlung der Maschinenfähigkeit	440
Schleifmaschinen	386	Untersuchung der Prozessfähigkeit	442
Sondermaschinen	388	Statistisches Qualitätsmanagement	443
Abtragende Maschinen	388	Grundlagen des statistischen Qualitätsmanagements	443
Antriebseinheiten einer Werkzeugmaschine	389	Qualitätsregelkarten als Instrumente der Fertigungsüberwachung	444
Energieübertragungseinheit des Hauptantriebs	393	Stärkung des Unternehmens durch Qualitätsmanagement	447
Energieübertragungseinheit des Vorschubantriebs	395	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	447
Stütz- und Trageeinheit	398	Zertifizierung als ein Ziel des Qualitätsmanagements	448
Sicherheitseinrichtungen an einer Werkzeugmaschine	399	Umweltmanagement	449
Betriebsicherheit von Werkzeugmaschinen	399	Q3 PRÜFTECHNIK	450
Inbetriebnahme von Werkzeugmaschinen	400	Die Entwicklung der Prüftechnik	450
Machine tools	401	Aufbau der Messanordnung	452
B4 SPANNTÉCHNIK	403	Begriffe der Messtechnik	453
Werkzeugspanntechnik	403	Messanordnungen	455
B5 ANSCHLAGMITTEL	413	Messabweichungen	457
Anschlagketten	413	Prüfen von Maßen, Formen und Lagen	458
Anschlagseile	416	Prüfen von Maßen und Maßtoleranzen	458
Hebebänder und Rundschnngen	418	Prüfen von Formen und Lagen	461
Q PRODUKTIONSPLANUNG UND QUALITÄTSMANAGEMENT		Prüfen von Oberflächen	467
Q1 PRODUKTIONSPLANUNG UND PRODUKTIONSSTÉUERUNG	419	Grundbegriffe	467
Planung des Produktionsprozesses	419	Gestaltabweichungen	467
Fertigungssteuerung	422	Rauheitsmessgrößen	468
Ermittlung der Auftragszeit	423	Oberflächenprüfverfahren	468
Kostenrechnung	424	Bewertung der Oberflächengüte	470
Kostenstellenrechnung	424	Oberflächenangaben in Zeichnungen	470
Kostenträgerrechnung	426	Toleranzen und Passungen	471
Q2 QUALITÄTSMANAGEMENT	427	Grundbegriffe	471
Zielsetzung	427	Allgemeintoleranzen	473
Qualität	427	Maßtoleranzen	473
		ISO-Toleranzen	474
		Geometrische Produktspezifikation ISO-GPS	476
		Passungsarten	477
		Passungssysteme	479
		Auswahl und Auswertung von Passtoleranzintervallen	481

Beispiel zur Prüfmittelauswahl 482
 Testing and Measuring 483

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 603