

1. Zerspanungsprozess	
1.1 Einleitung / Grundlagen des Zerspanungsprozesses.....	3
1.1.1 Die Grundform aller Werkzeugschneiden ist der Keil.....	4
1.1.2 Keilwinkel / Schnittkraft / Trennkraft.....	6
1.1.3 Die Winkel an der Werkzeugschneide.....	8
1.2 Wipertechnologie.....	13
1.3 Der Scherwinkel.....	16
1.4 Faktoren der Vibrationsneigung.....	18
1.5 Die Spanbildung.....	19
1.5.1 Die Spanformen.....	20
1.5.2 Die Spanbrucharten.....	21
1.5.3 Die Spanraumzahl R.....	22
1.6 Einleitung – Rauhheitsmessung an Oberflächen.....	24
1.6.1 Gestaltsabweichungen.....	25
1.6.2 Istprofil – Welligkeitsprofil – Rauheitsprofil.....	27
1.6.3 Rauheitsmessgrößen.....	28
1.6.4 Materialprofiltraganteil.....	29
1.6.5 Oberflächengüte und Oberflächenprüfverfahren.....	31
1.6.6 Messinterpretation von Rauheitskenngrößen.....	34
2. Werkzeugverschleiß	
2.1 Werkzeugverschleiß - Einleitung und Definition.....	35
2.2 Belastungsfaktoren.....	36
2.3 Verschleißmechanismen.....	36
2.4 Die Klassifizierung der Verschleißformen.....	40
2.5 Zerspanung und Energieumwandlung.....	49
2.6 Standgröße und Standzeit.....	50
2.6.1 Verschleißmarkenbreite VB.....	51
2.7 Bearbeitungswirtschaftlichkeit.....	52
2.7.1 Aspekte der Bearbeitungswirtschaftlichkeit und deren Auswirkungen.....	53
2.7.2 Wirtschaftliche Standzeit / Kosten / Produktivität.....	55
2.8 Aufbereitung von Zerspanungswerkzeugen.....	57
2.8.1 Typische Verschleißentwicklung am Werkzeug.....	58
2.8.2 Nachschärfstrategien.....	59
2.8.3 Berechnungsbeispiel - RE Tool.....	61
2.8.4 Nachschleifangaben.....	62
3. Schneidstoffe	
3.1 Einleitung Schneidstoffe.....	63
3.2 Die drei Haupteigenschaften der Schneidstoffe.....	65
3.3 Hochleistungsschnellarbeitsstähle HSS und PM-Stähle.....	66
3.4 Hartmetalle.....	68
3.4.1 Cermets.....	72
3.4.2 Die Herstellung von Hartmetall.....	74
3.4.3 Beschichtungsverfahren CVD und PVD.....	80

Inhaltsverzeichnis

3.4.4	Moderne Beschichtungsarten.....	86
3.4.5	Die Klassifizierung der Hartmetalle.....	89
3.5	Keramik.....	91
3.5.1	Arbeitsbedingungen mit Schneidkeramik.....	95
3.6	Kubisches Bornitrid / CBN.....	97
3.6.1	Herstellung einer CBN-Wendeschneidplatte.....	98
3.6.2	Einsatz von Pulvermetallstählen.....	101
3.7	Hartdrehen mit Keramik und CBN.....	102
3.7.1	Drehen im Vergleich zum Schleifen.....	103
3.8	Naturdiamant - polykristalliner Diamant.....	105
3.9	Schneidstoffe im Vergleich.....	107
3.9.1	Code Schlüssel Wendeschneidplatten und deren Halter.....	108
4.	Kühlschmierstoffe	
4.1	Aufgaben und Einteilung der Kühlschmierstoffe.....	117
4.1.1	Hauptgruppen.....	119
4.1.2	Mineralöle.....	120
4.1.3	Pflanzenöle / Esteröle.....	120
4.1.4	Synthetische Flüssigkeiten.....	120
4.2	Die Klassierung der Kühlschmierstoffe.....	121
4.2.1	Schneidöle.....	121
4.2.2	Wassermischbare Kühlschmierstoffe.....	123
4.3	Die Zusammensetzung der Kühlschmierstoffe.....	125
4.3.1	Primärstoffe.....	125
4.3.2	Sekundärstoffe.....	127
4.3.3	Der Einfluss der Wasserqualität auf den Kühlschmierstoff.....	129
4.4	Die verschiedenen Kühlschmierstoff-Systeme.....	131
4.4.1	Befüllung und Kontrolle von Kühlschmierstoffen.....	132
4.4.2	Vor der Befüllung.....	132
4.4.3	Befüllung.....	133
4.5	Handhabung - Überwachung der Sollwerte von Kühlschmiermittel-Kreisläufen.....	134
4.5.1	Der Gesamthärtetest.....	134
4.5.2	Das Handrefraktometer zur Messung der Emulsionskonzentration.....	135
4.5.3	pH-Messung.....	136
4.5.4	Fremdölenentfernung.....	137
4.6	Sicherheit für Mensch und Umwelt.....	138
4.7	Entsorgung von Kühlschmierstoffen.....	141
4.7.1	Kühlschmierstoffpflege.....	141
4.7.2	Entsorgungsmöglichkeiten.....	141
4.8	Trends und Herausforderungen in der Metallbearbeitung.....	142
4.8.1	Minimalmengenschmierung.....	143
5.	Schnittkraftberechnung	
5.1	Einleitung - Schnittkraftberechnungen.....	145
5.2	Berechnung des Spanungsquerschnittes.....	147
5.2.1	Berechnungsbeispiele 1 und 2.....	148
5.3	Die Schnittkräfte F_c / F_a / F_p / F	149
5.4	Berechnung der Antriebsleistung P_e	149
5.5	Spezifische Schnittkraft k_c	150
5.5.1	Berechnungsbeispiele 3, 4 und 5.....	151
5.6	Hauptwert k_c 1.1.....	152
5.6.1	Berechnungsbeispiele 6, 7 und 8.....	153

6. NC – CNC – DNC - ISO	
6.1 Einleitung.....	159
6.2 Steuerungstypen NC, CNC, und DNC.....	160
6.3 Vor- und Nachteile der CNC-Fertigung.....	161
6.4 Aufbau und Funktionsweise von CNC-Steuerungen.....	162
6.4.1 Programmiermethoden.....	162
6.5 Steuerungsarten.....	164
6.6 Koordinaten und Achsen.....	165
6.6.1 Bezugspunkte.....	167
6.6.2 Werkzeugradiuskorrektur.....	169
6.7 Vermaßungsarten.....	170
6.8 Programmaufbau und ISO-Programmierung.....	171
6.8.1 G- und M-Befehle.....	173
6.8.2 Positionieren im Eilgang.....	174
6.8.3 Interpolationsarten.....	175
6.8.4 Bearbeitungszyklen.....	178
6.8.5 Programmierbeispiele und Übungen.....	182
7. CAD-CAM-Systeme	
7.1 Rechnerunterstütztes Konstruieren und Fertigen mit CAD und CAM.....	187
7.1.1 Einleitung.....	187
7.1.2 CAx-Systeme.....	188
7.2 Was bedeutet Assoziativität und Parametrisierung.....	190
7.3 Klassifizierung von Modellierungsmethoden.....	191
7.4 Erfolgreiche CAD/CAM-Kopplung.....	193
7.5 Fazit.....	194
7.6 PLM - Product Lifecycle Management.....	195
7.6.1 Das Produkt- und Lösungsportfolio von Siemens PLM.....	196
8. Maschinengestelle	
8.1 Einleitung.....	201
8.1.1 Schwingungsarten.....	202
8.2 Grauguss.....	203
8.2.1 Gusseisen mit Vermiculargraphit (Meehanite Guss).....	203
8.2.2 Schweißkonstruktion.....	204
8.2.3 Naturstein Granit.....	204
8.3 Mineralguss - ein Konstruktionswerkstoff mit Zukunft.....	205
8.3.1 Die Herstellung und Eigenschaften von Mineralguss.....	206
8.3.2 Nachbearbeitung von Mineralgussgestellen.....	208

Inhaltsverzeichnis

9. Führungen	
9.1 Einleitung.....	211
9.2 Einteilung der Führungen.....	211
9.2.1 Einteilung nach der Art der Bewegung.....	211
9.2.2 Einteilung nach der Art der Kontaktstelle.....	212
9.2.3 Einteilung nach dem Prinzip des Wälzkörperumlaufs.....	213
9.3 Der Wälzkontakt von Kugel und Rollen.....	214
9.4 Einsatzbedingungen – Umgebung, Betrieb und Einbau.....	215
9.5 Die Reibung in der Lineartechnik.....	216
9.5.1 Reibungszustände und Aufgaben der Schmierung.....	217
9.5.2 Schmierstoffe für Führungen.....	218
9.6 Gleitführungen.....	220
9.6.1 Die hydrodynamische Schmierung.....	220
9.6.2 Die hydrostatische Schmierung.....	221
9.6.3 Die aerostatische Schmierung.....	221
9.7 Kugel-, Rollen- und Laufrollenführungen.....	222
9.7.1 Aufbau einer Profilschienenführung.....	222
9.7.2 Rollenschienenführung.....	226
9.7.3 Laufrollenführung.....	227
9.8 Abdichtung von Führungseinheiten.....	228
9.9 Anwendungsbeispiele von Führungen an Werkzeugmaschinen.....	231
10. Elektrische Antriebe	
10.1 Einleitung.....	233
10.2 Regelung von Vorschubantrieben.....	234
10.3 Arten von Vorschubantrieben.....	235
10.4 Der Kugelgewindetrieb.....	236
10.4.1 Aufbau eines Kugelgewindetriebes.....	237
10.4.2 Die Kugelrückführung.....	239
10.4.3 Die Vorspannung von Kugelgewindetrieben.....	241
10.4.4 Kugelgewindetrieb mit Caged-Ball-Technologie.....	243
10.4.5 Schmierung von Kugelgewindetrieben.....	243
10.5 Lineare Direktantriebe.....	244
10.5.1 Beschleunigungsverhalten von Linearmotor und Kugelgewindetrieb.....	245
10.6 Maschinendynamik.....	246
10.6.1 Nominalgeometrie.....	248
10.6.2 Softwareseitige Verbesserungen.....	249
10.7 Spindelantriebe - Einleitung.....	250
10.7.1 Übersicht der Hauptantriebe.....	251
10.7.2 Hauptelemente einer Motorspindel.....	252
10.7.3 Die Schmierung der Wälzlager.....	253
10.7.4 Arten von Motorspindeln.....	254
10.7.5 Interpretation von Motorenkennlinien.....	257
10.8 Spindelüberwachungssysteme.....	258
10.8.1 Längenmesssensor.....	258
10.8.2 3D-Vibrationssensor.....	259
10.8.3 Spindeldiagnostik und Betriebsdatenüberwachung.....	260
10.8.4 MSP Spindelkollisionsschutzsystem.....	261
10.9 Wellenkühlung COOL-CORE.....	262

11. Positionsmessgeräte	
11.1 Einleitung in die Positionsmessung.....	263
11.2 Aufbau von Vorschubsystemen.....	264
11.3 Wegmessung über Gewindespindel und Drehgeber.....	265
11.3.1 Fehlerkompensation.....	266
11.3.2 Thermische Stabilität.....	266
11.3.3 Die Lagerung des Kugelgewindetriebes.....	267
11.3.4 Fazit.....	269
11.4 Wegmessung über Längenmessgeräte.....	269
11.4.1 Aufbau und Kapselung.....	270
11.4.2 Funktionsweise.....	270
11.5 Positionserfassung an Rundachsen.....	271
11.6 Nachweis der Antriebsgenauigkeit.....	272
11.7 Messprinzipien.....	274
11.7.1 Abtastprinzip.....	274
11.7.2 Inkrementale Messgeräte.....	275
11.7.3 Absolute Messgeräte.....	276
11.8 Das integrierte Wegmesssystem.....	277
11.8.1 Funktionsbeschreibung der Bauteile.....	278
11.8.2 Zusammenfassung.....	279
11.9 Maschinengenauigkeit.....	280
11.9.1 Kreisformtest und Test von Linear- und Rundachsen.....	281
11.9.2 Lasermessungen und Optimierungen an Werkzeugmaschinen.....	284
11.9.3 Prüfrichtlinien und Werkstücke für hochdynamische Bearbeitungen.....	285
11.9.4 Fazit der Prüfwerkstücke.....	286
12. Werkzeugwechselsysteme	
12.1 Die Werkzeugwechseinrichtung und ihre Magazinarten.....	287
12.2 Der Werkzeugwechselvorgang.....	289
12.3 Die Platzcodierung.....	290
12.3.1 Die variable Platzcodierung.....	290
12.3.2 Die Richtungslogik.....	290
13. Werkzeugaufnahmen und deren Schnittstellen	
13.1 Einleitung.....	291
13.2 SK und HSK.....	293
13.2.1 Steilkegelaufnahmen SK.....	293
13.2.2 Hohlschaftkegelaufnahmen HSK.....	296
13.2.3 Vergleich der Spindelschnittstellen SK und HSK.....	299
13.3 Werkzeugaufnahmen.....	300
13.3.1 Flächenspannfutter.....	300
13.3.2 ER-Spannzangen.....	300
13.3.3 Hydro-Dehnspanntechnik.....	303
13.3.4 Polygonspanntechnik.....	306
13.3.5 Schrumpffutter.....	309
13.3.6 Das powRgrip System von Rego-Fix.....	315
13.3.7 Hochgenauigkeitsspannfutter.....	317
13.4 Einsatzgrenzen der Spannfutter.....	318
13.5 Wuchtgüte und Restunwucht.....	319
13.5.1 Bedeutung der Wuchtgüte.....	321
13.5.2 Wuchtempfehlungen.....	323
13.6 Schnittstellen für das Dreh-Fräsen.....	324
13.6.1 Die HSK-Schnittstellen A und T.....	324
13.6.2 Coromat Capto - modulares Werkzeugspannsystem.....	324

Inhaltsverzeichnis

14. Werkzeugvoreinstellung und Werkzeugmessung	
14.1 Einleitung.....	329
14.2 Die externe Werkzeugvermessung via Einstellgerät.....	330
14.2.1 Datenausgabe.....	331
14.2.2 Werkzeuginspektion / -kontrolle.....	332
14.3 Die interne Werkzeugvermessung.....	333
14.3.1 Das Lasersystem.....	334
14.3.2 Das Tastystem.....	338
14.3.3 Berührungsloses Messen mit dem TRS2.....	341
14.3.4 Messarme in Drehmaschinen.....	342
14.4 Elektronische Werkzeugüberwachungssysteme.....	343
14.5 Werkstückmessung.....	345
14.6 Fazit.....	346
15. Fertigungskonzepte	
15.1 Einleitung.....	347
15.2 Drehmaschinen.....	348
15.2.1 Drehmaschinen mit zwei oder mehreren Supporten.....	349
15.2.2 Drehmaschinen - Lademagazine.....	351
15.3 Fräsmaschinen.....	353
15.3.1 Fünfachsige Fräsmaschinen.....	354
15.4 Multi Task Maschinen.....	355
15.4.1 Bearbeitungsvarianten.....	357
15.5 Abgrenzung zwischen HPC und HSC.....	361
15.5.1 Hochgeschwindigkeits-Fräsmaschinen.....	362
15.5.2 Definitionsarten.....	365
15.5.3 Werkstattumgebung.....	366
16. CNC-Maschinen und deren Automatisierungsmöglichkeiten	
16.1 Einleitung – Automation.....	369
16.2 Einsatzkriterien für die verschiedenen Automatisierungsmöglichkeiten.....	370
16.3 Das Bearbeitungszentrum.....	371
16.4 Flexible Fertigungszellen.....	374
16.5 Flexible Fertigungzelle – kombinierte Anlage.....	376
16.6 Einleitung flexible Fertigungssysteme.....	377
16.6.1 Ausbaustufen eines komplexen flexiblen Fertigungssystems.....	378
16.6.2 Prozessorientiertes flexibles Fertigungssystem – Fastems.....	379
16.7 Technische Merkmale flexibler Fertigungssysteme.....	382
16.7.1 Anwendervorteile von flexiblen Fertigungssystemen.....	382
17. Spannmittel	
17.1 Spannmittel Drehen.....	383
17.1.1 Handspannfutter / Drehfutter mit Spiralring.....	383
17.1.2 Handspannfutter / Keilstangenfutter.....	384
17.1.3 Spannkombinationen / Spannzylinder - Keilstangenfutter.....	384
17.1.4 Highspeed Spannmittelwechsel.....	385
17.1.5 Spannzangen / W – F.....	386
17.1.6 Hainbuch TOPlus-Futter.....	387
17.2 Maschinenschraubstöcke.....	390
17.3 Nullpunktspannsysteme.....	391
17.3.1 Funktionsweise.....	392
17.3.2 Voraussetzungen für einen reibungslosen Betrieb.....	394
17.3.3 Betriebswirtschaftliche Aspekte von Nullpunktspannsystemen.....	395
17.4 Magnetspanntechnik.....	397

Inhaltsverzeichnis

18. Wartung und Sicherheit	
18.1 Einleitung.....	403
18.2 Instandhaltung.....	404
18.2.1 Die Wartung an Werkzeugmaschinen.....	405
18.2.2 Die Inspektion.....	406
18.2.3 Die Instandsetzung.....	407
18.3 Schutzvorrichtungen an Bearbeitungsmaschinen.....	408
18.3.1 Mechanische und elektrische Schutzvorrichtungen.....	409
18.4 Schutzbestimmungen für den Bediener.....	411
18.4.1 Manipulieren von Schutzeinrichtungen, riskant und gefährlich.....	411
18.4.2 Wie nehmen Sie als Arbeitgeber Ihre Verantwortung wahr?.....	412
18.4.3 Kennen Sie das Gesetz?.....	412
18.5 Rauch- und Nebelabscheidung an Werkzeugmaschinen.....	414
18.5.1 Gründe für die Absaugung von Nebel und Rauch.....	414
18.5.2 Dampf- und Aerosolbildung an Werkzeugmaschinen.....	415
18.5.3 Partikelverteilung nach Größe und Prozent.....	416
18.5.4 Der MAK-Wert.....	417
18.5.5 Abscheider-Systeme.....	418
18.6 Brandgefahr und deren Entstehung.....	422
18.7 Lärm am Arbeitsplatz, Hautschutz.....	424
18.8 Notfälle, Erste Hilfe.....	425
19. Evaluationen	
19.1 Einleitung - Vorgehen.....	427
19.2 Der Beschaffungsprozess.....	427
19.2.1 Fertigungsaufgabe beschreiben.....	429
19.2.2 Fertigungsverfahren bestimmen.....	429
19.2.3 Anforderungen an die Werkzeugmaschine festlegen.....	430
19.2.4 Lösungssuche - Varianten vergleichen.....	432
19.2.5 Lösungsfindung mittels Nutzwertanalyse.....	433
19.3 Fazit & Tipps.....	436
19.4 Die echten Maschinenkosten durchleuchten.....	438
19.5 Betriebswirtschaftliche Berechnungen der Investition.....	440
19.5.1 Maschinenstundensatzberechnung – Arbeitsplatzkostenberechnung.....	440
19.5.2 Break-even-Point-Berechnung.....	443
19.5.3 Amortisationsvergleichsrechnung.....	444
19.5.4 Renditeberechnung.....	444
19.6 Der Beschaffungsentscheid.....	445
20. Lösungen der Berechnungen	
20.1 Kapitel 1 – Zerspanungsprozess.....	447
20.2 Kapitel 5 – Schnittkraftberechnung.....	449
20.3 Kapitel 6 – NC- CNC – DNC – ISO.....	452
Sachwortverzeichnis.....	455
Literaturverzeichnis / Quellenangaben.....	459