

<b>1.</b>	<b>Zerspanungsprozess</b>	
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 – Rauheitsmessung 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
<b>2.</b>	<b>Werkzeugverschleiß</b>	
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
<b>3.</b>	<b>Schneidstoffe</b>	
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

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
 <b>4. KÜHLSCHMIERSTOFFE</b>		
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	Fremdölentfernung.....	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
 <b>5. SCHNITTKRAFTBERECHNUNG</b>		
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

<b>6.</b>	<b>NC – CNC – DNC - ISO</b>	
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	Programmierungsmethoden.....	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	Programmierungsbeispiele und Übungen.....	182
<b>7.</b>	<b>CAD-CAM-Systeme</b>	
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
<b>8.</b>	<b>Maschinengestelle</b>	
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

## 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

<b>11. Positionsmessgeräte</b>	
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
<b>12. Werkzeugwechselsysteme</b>	
12.1 Die Werkzeugwechseleinrichtung 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
<b>13. Werkzeugaufnahmen und deren Schnittstellen</b>	
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 Wuchttempfehlungen	323
13.6 Schnittstellen für das Dreh-Fräsen	324
13.6.1 Die HSK-Schnittstellen A und T	324
13.6.2 Coromant Capto - modulares Werkzeugspannsystem	324

- 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 Tastsystem..... 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 Fünffachsiges 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 Fertigungszelle – 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 / Spannzyylinder - Keilstangenfutter..... 384
    - 17.1.4 Highspeed Spannmittelwechsel..... 385
    - 17.1.5 Spannanzgen / 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

<b>18. Wartung und Sicherheit</b>	
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
 <b>19. Evaluationen</b>	
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
 <b>20. Lösungen der Berechnungen</b>	
20.1 Kapitel 1 – Zerspanungsprozess.....	447
20.2 Kapitel 5 – Schnittkraftberechnung.....	449
20.3 Kapitel 6 – NC- CNC – DNC – ISO.....	452

<b>Sachwortverzeichnis.....</b>	<b>455</b>
<b>Literaturverzeichnis / Quellenangaben.....</b>	<b>459</b>