

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0 Übersicht	1
1 Evoloid-Verzahnungen mit Zähnezahlen von 1 - 8 zur Übersetzung ins Langsame und ins Schnelle	2
1.1 Benennung	2
1.2 Zweck der Zähnezahlverkleinerung	2
1.3 Vorteile von Zahnrädern mit kleinen Zähnezahlen	2
1.4 Neue Getriebe-Abmessungen mit Evoloidverzahnungen	3
1.5 Maßnahmen zur Erzeugung von Evolventenzahnrädern mit kleinstmöglichen Zähnezahlen	7
1.6 Die gewählten Evoloid-Verzahnungen	9
1.7 Gesamtüberdeckung ε_γ von Evoloid-Zahnradpaaren	14
1.8 Die Überdeckung bei kleinen Zähnezahlen	15
1.9 Ersatz vorhandener Verzahnungen durch Evoloidzahnradpaarungen	17
1.9.1 Stufenzahlen	17
1.9.2 Getriebegröße	19
1.10 Ausgeführte Zahnradpaarungen	20
1.11 Weitere Eigenschaften der Evoloidverzahnungen	22
1.11.1 Der Wirkungsgrad	22
1.11.2 Festigkeit	23
1.11.3 Laufverhalten	23
1.11.4 Herstellung	24
1.12 Unterschiede für Übersetzungen ins Langsame und ins Schnelle	24

1.13	Verzahnungspaarungen bilden nichtlineare Reibsysteme	25
1.13.1	Reibsysteme bei Paarungen mit Zahnstangen	27
1.13.2	Reibsysteme bei Außen-Zahnradpaarungen	28
1.13.3	Reibsysteme bei Innen-Zahnradpaarungen	31
1.14	Folgerungen für die Festlegung der Eingriffsstreckenlagen	31
1.15	Maßnahmen zur zweckmäßigen Verschiebung der Eingriffslinie	34
1.16	Verzahnungen für große Übersetzungen ins Schnelle	37
1.16.1	Allgemeine Erkenntnisse	37
1.16.2	Evoloid-Verzahnungen zur Übersetzung ins Schnelle	38
1.17	Ausgeführte Getriebe	41
1.18	Erkenntnisse für weitere Anwendungen	42
1.19	Erzeugungsverfahren für Evoloid-Verzahnungen	42
1.20	Festigkeitsbetrachtungen für Evoloidverzahnungen	43
1.20.1	Evoloidverzahnungen erzeugt mit genormten Bezugsprofilen	43
1.20.2	Maßstabsunabhängige Festigkeitswerte von Evoloidzahnradpaarungen, das spezifische Moment	44
1.20.2.1	Flankentragfähigkeit	45
1.20.2.2	Zahnfußbeanspruchung	46
1.20.2.3	Verlauf der spezifischen Momente bei Evoloid-Verzahnung nach dem Bezugsprofil DIN 867	49
1.20.2.4	Verlauf der spezifischen Momente bei Evoloid-Komplement- Bezugsprofilen	53
1.21	Schrifttum	55
2	Komplement-Verzahnungen für höchste Tragfähigkeit	58
2.1	Erhöhte Tragfähigkeit bei Zahnradpaarungen mit verschiedenen Zahndicken	58
2.2	Komplement-Verzahnungen, Komplement-Bezugsprofile	59
2.3	Paarungen mit Komplement-Verzahnungen	61
2.4	Verzahnungsprofile im Hinblick auf ihre Tragfähigkeit	64
2.4.1	Höchste Tragfähigkeit einer Stirnradpaarung	64

2.4.2	Zahndickenvariation und Normrechenverfahren	66
2.5	Überblick „Zahndickenvariation“	67
2.6	Zahndickenvariation	69
2.6.1	Erzeugung von Zahnformvarianten im Stirnschnitt	69
2.6.1.1	Zahndicke der Zahnformvarianten	72
2.6.1.2	Zahnfuß der Zahndickenvarianten	75
2.6.1.3	Profilüberdeckung bei der Variation der Stirnradpaarung	83
2.6.2	Zahnformvarianten der Ersatzverzahnung bei Schrägstirnrädern	85
2.6.3	Lastverteilung in nicht bezugsprofilgebundenen Stirnradpaarungen	86
2.6.4	Tragfähigkeit der Zahnformvarianten	92
2.6.4.1	Flankentragfähigkeit	92
2.6.4.1.1	Der Überdeckungsfaktor Z_{ϵ}	95
2.6.4.1.2	Der Schrägenfaktor Z_{β}	96
2.6.4.2	Fußtragfähigkeit	96
2.6.5	Ermittlung der tragfähigsten Stirnradpaarung	102
2.6.5.1	Tragfähigkeit Zahndickenverteilung	102
2.6.5.2	Tragfähigkeit der Stirnradpaarvarianten	104
2.6.5.3	Profilüberdeckung der tragfähigsten Zahndickenverteilung	109
2.6.5.4	Betriebseingriffswinkel und Zähnezahlen der tragfähigsten Stirnradpaarung	109
2.6.6	Bezugsprofile der Zahndickenvarianten	110
2.6.6.1	Profilwinkel, Modul und Profilverschiebungsfaktor	110
2.6.6.2	Zahnhöhenfaktoren	111
2.6.6.3	Kopfspiel- und nutzbarer Zahnfußhöhenfaktor	112
2.6.6.4	Grenzen des Bezugsprofilspektrums	113
2.6.7	Grenzen der Zahndicken	115
2.6.8	Bezugsprofile für die Fertigung der berechneten optimalen Zahndicken-Varianten	117
2.6.9	Erweiterte Auslegung und Herstellung	120
2.7	Schrifttum	121
3	Keilschrägverzahnungen für spielarmen Lauf	123
3.1	„Spielfreiheit“ beidseitig berührungsschlüssiger Elemente	123
3.2	Die Problematik der spielarmen und spielfreien Getriebe	123
3.3	Möglichkeit der Spielbeseitigung	124
3.4	Die Keilschrägverzahnung	126

3.5	Bestimmungsgrößen für ein Zahnrad mit Keilschrägverzahnung	130
3.6	Gestaltung von keilschrägverzahnten Rädern	130
3.7	Geometrische Auslegung einer Keilschrägverzahnung für parallele Achsen	132
3.7.1	Die Zahnspezengrenze	132
3.7.2	Die Fußlückengrenze	135
3.7.3	Achsabstand und nutzbare Zahnbreite	138
3.7.4	Eingriffsfeld bei Rädern mit kegeliger Kopfmantelfläche	141
3.8	Vergleich: Keilschräg- und Konusverzahnung	143
3.9	Geometrische Auslegung einer Keilschrägverzahnung mit rechtwinklig stehenden Achsen	145
3.9.1	Anforderungen an das räumliche Bezugsprofil	145
3.9.2	Berechnung der Eingriffsstrecke	146
3.9.3	Berechnung der Überdeckung	148
3.9.4	Die Wälzkreise	149
3.9.5	Das Drehflankenspiel	149
3.10	Herstellung einer Keilschrägverzahnung	150
3.10.1	Teilwälzstoßen	150
3.10.2	Konturfräsen	153
3.10.3	Wälzfräsen	156
3.10.4	CNC-Fräsen	157
3.11	Schrifttum	157
4	Konische Verzahnungen für Außen- und Innenradpaarungen mit gekreuzten Achsen	159
4.1	Zahnräder für nicht parallele Achsen mit konstanter Teilung	159
4.1.1	Konstante und veränderliche Teilung an den Stirnflächen	159
4.1.2	Konstante Teilung bei parallelen, sich schneidenden und gekreuzten Achsen	159
4.1.3	Vollwertiger Ersatz von Kegelradverzahnungen durch teilungskonstante Verzahnungen	162
4.2	Nomenklatur der „konischen“ Verzahnungen	162
4.2.1	Unterteilung der „konischen“ Verzahnungen	164
4.3	Entstehung und Anwendung der Konischen Verzahnungen	164

4.4	Bestimmungsgrößen am Konischen Zahnrad	166
4.4.1	Modul	166
4.4.2	Konuswinkel und Achswinkel	166
4.4.3	Zähnezahl	167
4.4.4	Bezugsprofil	167
4.4.5	Schrägungswinkel	168
4.4.6	Zahnbreite	168
4.4.6.1	Teilkegel, Teilkreis, Teilkreisdurchmesser	168
4.4.6.2	Äußere und innere Teilkegellänge	169
4.4.7	Bezeichnung der Flanken	169
4.5	Erzeugung Konischer Zahnräder	169
4.5.1	Bedingungen für korrekten und gleichmäßigen Eingriff	171
4.5.2	Zahnflanken der Konischen Zahnräder	173
4.5.3	Geometrische Grenzen	173
4.5.3.1	Unterschnittgrenze	174
4.5.3.2	Spitzengrenze	178
4.5.3.3	Interferenzgrenze	179
4.5.4	Bestimmung der Zahnbreite	181
4.5.4.1	Bestimmung der Innen-Teilkegellänge	182
4.5.4.2	Bestimmung der Außen-Teilkegellänge	184
4.6	Paarungsmöglichkeiten mit Konischen Zahnrädern	188
4.7	Auslegung der Konischen Zahnradpaarung mit einem dem Schneidrad gleichen Stirnrad	188
4.7.1	Eingriffsfeld und Berührungslinien	188
4.7.2	Überdeckung	191
4.7.2.1	Einteilung der Überdeckung	191
4.7.2.2	Genauere Berechnung der Überdeckung	194
4.7.3	Schwankung der Gesamtberührungslänge	198
4.7.3.1	Änderung bei Geradverzahnung	198
4.7.3.2	Änderung der Überdeckung bei Schrägverzahnung	198
4.7.3.3	Änderung bei Achsversetzung	202
4.8	Gleiten an den Zahnflanken	202
4.8.1	Gleitgeschwindigkeit	202
4.8.2	Spezifisches Gleiten der Zahnflanken	207
4.9	Äußere Zahnkräfte	208
4.10	Allgemeine Maßnahmen zur Vergrößerung der Zahnbreite	212
4.11	Auswirkungen der Verzahnungsgrößen, Zusammenfassung ...	212
4.11.1	Große Überdeckung	213
4.11.2	Geringe Schwankungen der Gesamtberührungslänge	213

4.12	Reibungsverhältnisse an einem Zahnradpaar	213
4.13	Auslegung von Konischen Zahnradpaarungen mit Evoloidritzeln	215
4.13.1	Allgemeine Regeln für die Auslegung	215
4.13.2	Auslegung von Konischen Außenzahnradpaarungen mit Evoloidritzeln	217
4.13.3	Auslegung der Konischen Innenzahnradpaarungen mit Evoloidritzeln	221
4.14	Auslegung der Konischen Zahnradpaarungen mit kleineren Stirnrädern als den Schneidrädern	224
4.14.1	Bedingungen für spielfreien Eingriff	225
4.14.2	Bestimmung der Überdeckung	225
4.15	Fertigung der Konischen Zahnräder	225
4.15.1	Räumen	225
4.15.2	Wälzstoßen	226
4.15.3	Wälzfräsen	227
4.15.4	Schleifen	229
4.16	Schrifttum	229
5	Konusverzahnungen mit parallelen, sich schneidenden und gekreuzten Achsen sowie Linienberührung	231
5.1	Entstehung und Anwendung der Konusverzahnungen	231
5.2	Wichtige Bestimmungsgrößen am Konuszahnrad	232
5.2.1	Bezugsprofil, Bezugszahnstange	232
5.2.2	Ebenen am Bezugsprofil	232
5.2.3	Modul	232
5.2.4	Teilzylinder, Teilkreishalbmesser	233
5.2.5	Profilverschiebung	235
5.2.6	Zahnhöhen an der Verzahnung	235
5.2.7	Stirnprofilwinkel bzw. Grundkreishalbmesser	236
5.2.8	Schrägungswinkel	238
5.3	Erzeugung der Konuszahnräder	240
5.3.1	Eingriffslinie und -ebene sowie Momentanachse bei der Erzeugung	242
5.3.2	Zahnform im Stirnschnitt	242
5.3.3	Geometrische Grenzen	243
5.3.3.1	Unterschnittgrenze	244
5.3.3.2	Spitzengrenze	244

5.3.3.3	Grenze der aktiven Zahnhöhe und des Mindestkopfkreisdurchmessers	248
5.3.3.4	Diagramm für korrekte Verzahnungen	249
5.4	Paarungsmöglichkeiten mit Konuszahnrädern, Überblick	252
5.5	Auslegung der Konuszahnradpaarungen mit zwei Konuszahnrädern für parallelen Achsen	253
5.5.1	Bestimmung der Verzahnungsgrößen	253
5.5.2	Bestimmung des spielfreien Eingriffs	255
5.5.2.1	Bestimmung der Profilverschiebungssumme und des Achsabstandes	256
5.5.2.2	Zahnkopfkürzung	258
5.5.3	Eingriffsverhältnisse der Paarungen	261
5.5.3.1	Eingriffsstrecke und Eingriffsfeld	261
5.5.3.2	Bestimmung der Überdeckung	263
5.5.3.3	Einflüsse der Schrägungswinkel an der Bezugszahnstange	271
5.6	Auslegung der Konuszahnradpaarungen mit zwei Konuszahnrädern für nicht parallele Achsen	271
5.6.1	Bestimmung der Einbaugrößen	271
5.6.2	Lage der Berührungspunkte	275
5.6.2.1	Bestimmung der Lage der Berührungspunkte	275
5.6.2.2	Änderung der Lage der Berührungspunkte infolge der Änderung der Einbauabstände	275
5.6.3	Bestimmung der Überdeckung (Punktberührung)	277
5.6.4	Auslegung der Paarungen mit Linienberührung	280
5.6.4.1	Bedingungen für Linienberührung	280
5.6.4.2	Bestimmung der Überdeckung	283
5.7	Auslegung der Konuszahnradpaarungen mit Stirnrädern	288
5.7.1	Bestimmung der Einbaugrößen	288
5.7.2	Lage der Berührungspunkte	289
5.7.3	Auslegung der Paarungen mit Linienberührung	291
5.7.3.1	Bestimmung der Verzahnungs- und Einbaugrößen	291
5.7.3.2	Bestimmung der Überdeckung	292
5.8	Auslegung der Konuszahnradpaarungen mit Konischen Innenzahnradern für parallele Achsen	292
5.8.1	Bestimmungsgröße für spielfreien Eingriff	293
5.8.2	Änderung der Berührungslage	294
5.9	Vergleich der Keilschräg-, der Konischen und der Konusverzahnungen	294

5.10	Wälzradius, Achs- und Eingriffswinkel bei Zahnrädern im vereinheitlichten Verzahnungssystem	297
5.10.1	Zahnstangen- und Zahnradförmiges Werkzeugbezugsprofil ...	297
5.10.1.1	Erzeugungswälzkreise r_{wt}	297
5.10.1.2	Eingriffswinkel λ	299
5.11	Punkt- und Linienberührung	301
5.12	Fertigung der Konuszahnräder	303
5.13	Schrifttum	303
6	Kronenradverzahnung für gekreuzte, orthogonale Achsen	305
6.1	Entstehung und Anwendung der Kronenzahnräder	305
6.2	Erzeugung der Kronenzahnräder	306
6.2.1	Eingriffsbedingungen	306
6.2.2	Änderung der Zahnflankenformen	309
6.2.3	Geometrische Grenzen	311
6.2.3.1	Unterschnittgrenze	312
6.2.3.2	Spitzengrenze	318
6.2.3.3	Interferenzgrenze	322
6.2.4	Bestimmung der Zahnbreite	323
6.2.4.1	Maßnahmen zur Erzeugung großer Zahnbreiten	323
6.2.4.2	Zusammenhang des Schrägungswinkels und der Achsversetzung für große Zahnbreiten	325
6.3	Paarungsmöglichkeiten der Kronenradverzahnung	328
6.4	Auslegung der Kronenzahnradpaarungen mit schneidradgleichen Stirnrädern	330
6.4.1	Eingriffsverhältnisse, Eingriffsfeld und Überdeckung	330
6.4.1.1	Verlauf der Berührungslinie	330
6.4.1.2	Bestimmung der Überdeckungen	330
6.4.2	Die Gleitgeschwindigkeit und das spezifische Gleiten an Kronenzahnradpaarungen	334
6.4.2.1	Gleitgeschwindigkeit	335
6.4.3	Spezifisches Gleiten	335
6.5	Äußere Kräfte bei Kronenzahnrädern	336
6.6	Auslegung von Kronenzahnradpaarungen für extreme Paarungen	339
6.6.1	Paarung mit Evoloidritzeln	339

6.6.2	Kronenzahnradpaarungen mit extrem großen Achsversetzungen	342
6.7	Auslegung der Kronenzahnradpaarung mit kleineren Stirnrädern als den Schneidrädern	344
6.7.1	Bestimmungsgröße für spielfreien Eingriff	344
6.7.2	Änderung der Lage der Berührungspunkte	346
6.8	Auslegung der Kronenzahnradpaarung mit Konischen bzw. Konuszahnrädern für sich schneidende Achsen	347
6.8.1	Bestimmungsgröße für spielfreien Eingriff	347
6.8.1.1	Paarungen mit Konischen Zahnrädern	348
6.8.1.2	Paarungen mit Konuszahnrädern	352
6.8.2	Änderung der Berührungslage sowie der Einbaulage	352
6.8.2.1	Paarungen mit Konischen Zahnrädern	352
6.8.2.2	Paarungen mit Konuszahnrädern	353
6.9	Auslegung der Kronenzahnräder als Stirnzahnkupplung	354
6.9.1	Berührungslage	354
6.9.1.1	Bestimmung der Berührungslage	354
6.9.1.2	Änderung der Berührungslage	356
6.10	Fertigung der Kronenzahnräder	357
6.11	Schrifttum	357
7	Torusverzahnung für Achswinkeländerung während des Laufs	359
7.1	Entstehung und Anwendung der Torusverzahnung	359
7.2	Die wichtigsten Bestimmungsgrößen an einem Rad mit Torusverzahnung	360
7.2.1	Profilverschiebungen für die Lage der Umlenkachse	361
7.2.2	Zahnhöhen	361
7.2.3	Der Toruswinkel	362
7.3	Erzeugen der Torusverzahnung	363
7.3.1	Gekoppelte Drehbewegung des Werkzeugs und des Torusrades	363
7.3.2	Rotationsbewegung des Werkzeugs um die Achse A_U	364
7.3.3	Eingriffswinkel der Torusverzahnung	364
7.3.4	Darstellung der vollständigen Zahnflanke	368
7.4	Geometrische Grenzen	369
7.4.1	Unterschnittgrenze	369
7.4.1.1	Erste Bedingung	369

7.4.1.2	Zweite Bedingung	370
7.4.2	Spitzengrenze	370
7.4.2.1	Spitzengrenze an den Stirnradflanken	371
7.4.2.2	Spitzengrenze an den Kronenzahnradflanken	373
7.4.3	Interferenzgrenze	374
7.5	Paarungsmöglichkeiten der Torusverzahnung	376
7.6	Auslegung der Toruszahnradpaarungen mit schneidradgleichen Stirnrädern	376
7.6.1	Auswirkung und Grenze der Profilverschiebungen	376
7.6.2	Auslegung zur Übersetzung ins Langsame	380
7.6.2.1	Außenverzahnung	380
7.6.2.2	Innenverzahnung	383
7.6.2.3	Gesamtverzahnung	383
7.6.3	Auslegung zur Übersetzung ins Schnelle	385
7.6.3.1	Außenverzahnung	385
7.6.3.2	Innenverzahnung	385
7.6.3.3	Gesamtverzahnung	387
7.6.4	Bestimmung der Überdeckung	387
7.7	Auslegung der Toruszahnradpaarungen mit kleineren Stirnrädern als den Schneidrädern	393
7.7.1	Bedingungen für spielfreien Eingriff	393
7.7.2	Das Eingriffsfeld, die Eingriffsstrecke	396
7.7.3	Überdeckung	398
7.8	Gleiten an den Zahnflanken	398
7.8.1	Radialgeschwindigkeiten	398
7.8.2	Axialgeschwindigkeiten	400
7.8.3	Spezifisches Gleiten	401
7.8.4	Ermittlung der äußeren Kräfte	401
7.9	Auslegung der Toruszahnradpaarungen mit gleichen Torusrädern (Schneidrad-Erzeugung)	405
7.9.1	Kinematische Voraussetzungen des korrekten Eingriffs von Toruszahnradpaarungen	407
7.9.2	Eingriffsbedingung	409
7.9.3	Ermittlung der Profilverschiebungen	410
7.9.4	Maßnahmen zur Auslegung flankenspiel- und interferenzfreier Toruszahnradpaarungen	412
7.9.5	Bestimmung der Überdeckung	415
7.10	Auslegung der Toruszahnradpaarungen mit ungleichen Torusrädern (Schneidrad-Erzeugung)	416

7.11	Auslegung der Toruszahnradpaarungen mit gleichen Torusrädern (Zahnstangen-Erzeugung)	417
7.11.1	Eingriffsbedingung	418
7.11.2	Geometrische Grenze	420
7.11.3	Bestimmung der Überdeckung	420
7.12	Fertigung von Torusrädern	422
7.12.1	Räumen	422
7.12.2	Stoßen	423
7.12.3	Fräsen	423
7.12.3.1	Fertigung der Torusräder mit Schneidrädern und Torusfräsern	423
7.12.3.2	Fertigung der Torusräder mit Zahnstangen-Werkzeugen	424
7.12.4	Freiform-Fräsen	426
7.13	Einheitliches Verzahnungssystem für die Evolventenzahnräder mit konstanter Zahnteilung	427
7.13.1	Verwandtschaft der Zahnradarten	427
7.13.2	Konuswinkel und Zahnradart	427
7.13.3	Andere Zahnradarten	427
7.13.4	Allgemeingültige Gleichungen	428
7.13.4.1	Beispiel "Eingriffsgleichung"	428
7.13.4.2	Beispiel "Eingriffsfläche"	429
7.13.4.3	Allgemeiner Achsabstand	437
7.14	Schrifttum	440
8	Synthese der Zahnkontur mit der Profilsteigungs- funktion; Wälzkolbenverzahnungen	442
8.1	Einsatzmöglichkeit der Profilsteigungsfunktion	442
8.2	Vorgehensweise mit der Profilsteigungsfunktion	442
8.3	Analytische Formulierung der Größen am Flankenberührungspunkt	443
8.3.1	Die Profilsteigungsfunktion zur Ermittlung beliebiger Zahnprofilkonturen	443
8.3.2	Unterteilung des gesamten Zahnprofils in Sektoren	444
8.3.2.1	Linke Fußprofilsteigungsfunktion	445
8.3.2.2	Linke Kopfprofilsteigungsfunktion	445
8.3.2.3	Rechte Kopfprofilsteigungsfunktion	445
8.3.2.4	Rechte Fußprofilsteigungsfunktion	445
8.3.2.5	Kopfspitzensteigungsfunktion	446
8.3.2.6	Fußgrundprofilsteigungsfunktion	446
8.3.3	Der Flankenberührungspunkt $Y(x)$	446
8.3.3.1	Koordinaten am Bezugsprofil	446

8.3.3.2	Koordinaten am Rad	447
8.3.3.3	Geänderte Definition der Übersetzung i_{Norm}	448
8.3.3.4	Darstellung der üblichen Zahnradgrößen mit dem „Übertragungsverhältnis i “	449
8.4	Die Normalen-Differentialgleichung	450
8.4.1	Normalen-Differentialgleichung für das Bezugsprofil	450
8.4.2	Normalen-Differentialgleichung für die Stirnrad-Zahnflanke ..	451
8.4.3	Integration der Normalengleichungen	453
8.4.3.1	Integration am Bezugsprofil	453
8.4.4	Integration für die Stirnrad-Zahnflanke	453
8.4.4.1	Normalen-Differentialgleichung, allgemeine Form	453
8.4.4.2	Integration der Standard-Normalen-Differentialgleichung	454
8.5	Bedeutung der Profilsteigungsfunktion	455
8.5.1	Definition der Profilsteigungsfunktion	455
8.5.2	Beurteilung verschiedener Profilsteigungsfunktionen	455
8.5.2.1	Profilsteigungsfunktion üblicher Zahnflanken	455
8.5.2.2	Anwendungsangepaßte Profilsteigungsfunktionen	459
8.6	Wichtige Gesichtspunkte für die Profilerstellung	463
8.6.1	Vorgehen	463
8.6.2	Möglichkeiten des Verfahrens	464
8.7	Beispiel für die Optimierung der Wälzkolbenkonturen	464
8.8	Anwendung für Zahnräder der verschiedensten Art	466
8.9	Berechnungsbeispiele mit verschiedenen Ausgangswerten ...	473
8.10	Gleichungen zur Berechnung zusätzlicher Verzahnungsgrößen	476
8.11	Schrifttum	479
9	Zahnrad-Erzeugungsverfahren	481
9.1	Zahnrad-Erzeugungsverfahren, konventionell und mit CNC-Maschinen	481
9.1.1	Notwendige Kenntnis der Erzeugungsverfahren	481
9.2	Grundsätzliche Möglichkeiten für Zahnrad- Erzeugungsverfahren	482
9.2.1	Überblick der Erzeugungsgruppen	482
9.2.2	Erzeugungsverfahren Spanen mit profiltreuen Werkzeugschneidkanten	484

9.2.2.1	Spanen mit nicht abwälzenden Werkzeugschneidformen (fertigspanen, teilen)	484
9.2.2.2	Spanen durch Abwälzen von Evolventenflanken mit dafür geeigneten Schneidformen (gerade oder Evolventenform)	484
9.2.3	Übersichtskatalog Spanen mit nicht abwälzenden, profilabhängigen Werkzeug-Schneidkanten	484
9.2.4	Übersichtskatalog, Spanen mit zum Abwälzen geeigneten Werkzeugschneidkanten	486
9.2.5	Erzeugungsverfahren Spanen mit nicht profilgebundenen Werkzeugschneidkanten (Freiformfräsen, -schleifen)	490
9.2.6	Verfahren zur Zahnradzeugung durch Abtragen	491
9.2.6.1	Funkenerodieren	492
9.2.6.2	Laserstrahl-Schneiden	492
9.2.6.3	Maskentechnik	492
9.2.6.4	Elektrochemisches Verfahren	494
9.2.7	Verfahren zur Zahnradzeugung durch Umformen	495
9.2.8	Verfahren zur Zahnradzeugung durch Urformen	496
9.2.9	Zahnradzeugung durch Maschinen mit programmierbaren Achsen (CNC)	500
9.2.9.1	Die Achsen von drei typischen Zahnradmaschinen	501
9.2.9.2	Erzeugen verschiedener Zahnradarten mit CNC-Maschinen ..	503
9.2.10	Notwendige „Maschinen“-Achsen zur spanenden Erzeugung von Evolventenverzahnungen mit <i>gleichen</i> Stirnteilungen	503
9.3	Zahnrad-Erzeugungsverfahren durch Spanen	506
9.3.1	Wichtige Einzelheiten spanender, nicht abwälzender Erzeugungsverfahren	508
9.3.1.1	Feinschneiden von Verzahnungen	508
9.3.1.2	Räumen von Verzahnungen	510
9.3.1.3	Formfräsen und Formschleifen von Stirnradverzahnungen ...	512
9.3.2	Wichtige Eigenschaften spanender, teilend abwälzender Erzeugungsverfahren	517
9.3.2.1	Wälzhobeln	518
9.3.2.2	Teilwälzfräsen, Teilwälzschleifen	519
9.3.2.2.1	Teilwälzfräsen	521
9.3.2.2.2	Teilwälzschleifen	521
9.3.2.3	Teilwälzfräsen und Teilwälzschleifen von Kronenzahnradern	524
9.3.3	Eigenschaften kontinuierlich abwälzender Erzeugungsverfahren	524
9.3.3.1	Abwälzfräsen ohne örtliche Fräserverstellung	524
9.3.3.2	Eigenschaften von Verzahnungswerkzeugen als zylindrische Wälzschnecken	525
9.3.3.3	Wälzschleifen	530
9.3.4	Wälzstoßen	533
9.3.4.1	Besondere Eigenschaften	533

9.3.4.2	Zahnradherzeugung durch Wälzstoßen	534
9.3.5	Wälzschälen, Wälzschaben und Honen	536
9.3.5.1	Wälzschälen	538
9.3.5.2	Wälzschaben	539
9.3.5.3	Wälzhonen	542
9.3.6	Besondere Eigenschaften spanender Zahnrad- Erzeugungsverfahren	547
9.3.6.1	Einteilung der Erzeugungsverfahren nach Grundeigenschaften	548
9.3.6.2	Fertigungsgenauigkeit spanender Erzeugungsverfahren	548
9.4	Umformverfahren für die Verzahnungserzeugung	549
9.4.1	Fließ- und Strangpressen von Zahnrädern	550
9.4.2	Druckumformen von Zahnrädern durch Gesenkformen (Gesekschmieden)	552
9.4.2.1	Präzisionsschmieden	553
9.4.2.2	Pulverschmieden (Sintern)	559
9.4.3	Druckumformen von Zahnrädern durch Kaltwalzen	560
9.4.3.1	Das Kaltwalzen von Zahnrädern	560
9.4.3.2	Druckumformen von Zahnrädern durch Walzen	563
9.4.3.3	Profillängswalzen mit Planeten-Walzrollen, Grob-Verfahren: Geradverzahnung	564
9.4.3.4	Vergleich gefräster und gewalzter Zahnräder	567
9.4.3.5	Grob-Verfahren: Schrägverzahnung	567
9.4.3.6	Profil-Querwalzen (Formabwickeln)	569
9.4.3.7	Profil-Querwalzen mit Zahnstangen (Roto-Flo)	570
9.4.3.8	Profil-Querwalzen mit außenverzahnten runden Werkzeugen (Inkremental-, Durchlauf-, Einstech-, Tangentialwalzen)	571
9.4.3.9	Profil-Querwalzen mit innenverzahnten runden Walzbacken	572
9.4.3.10	Schrägwalzen, kontinuierlich	572
9.4.3.11	Profil-Schrägwalzen mit schneckenförmigen Werkzeugen (Rollmatic)	572
9.4.3.12	Profil-Querwalzen mit Kegel- bzw. konischen Rädern (Warmwalzen)	574
9.5	Schrifttum	576
10	Kurzzeichen und Indizes	584
	Sachverzeichnis	598