

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung (K. Lange)</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Prüfung der Umformeignung von Blechwerkstoffen (K. Pöhlandt und V. Hasek)</b> . . . . .	<b>5</b>
2.0	Einleitung . . . . .	6
2.1	Fließkurvenermittlung . . . . .	6
2.1.1	Allgemeines . . . . .	6
2.1.2	Flachzugversuch . . . . .	7
2.1.3	Versuche mit ebener Formänderung . . . . .	11
2.1.3.1	Flachzugversuch mit behinderter Querkontraktion . . . . .	11
2.1.3.2	Biegeversuch . . . . .	11
2.1.3.3	Flachstauchversuch . . . . .	11
2.1.4	Hydraulischer Tiefungsversuch . . . . .	12
2.1.5	Ebener Torsionsversuch . . . . .	12
2.1.6	Erfassung der Anisotropieeigenschaften . . . . .	17
2.2	Technologische Prüfverfahren . . . . .	19
2.2.1	Streckzieh-Prüfverfahren . . . . .	19
2.2.1.1	Tiefungsversuch nach Erichsen . . . . .	19
2.2.1.2	Hydraulischer Tiefungsversuch . . . . .	20
2.2.1.3	Aufweit-Prüfverfahren . . . . .	21
2.2.1.4	Streckzieh-Prüfverfahren nach Güth . . . . .	22
2.2.2	Tiefzieh-Prüfverfahren . . . . .	22
2.2.2.1	Keilzug-Prüfverfahren nach Sachs . . . . .	22
2.2.2.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Swift und Ermittlung der Neigung zur Zipfelbildung . . . . .	23
2.2.2.3	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Beisswänger . . . . .	25
2.2.2.4	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Fukui . . . . .	25
2.2.2.5	Ermittlung des Grenzziehverhältnisses beim Näpfchen-Tiefzieh-Prüfverfahren nach Schmidt-Kapfenberg . . . . .	26
2.2.2.6	Vierkant-Näpfchen-Prüfverfahren . . . . .	26
2.2.2.7	Stülpzieh-Prüfverfahren . . . . .	27
2.2.3	Kombinierte Prüfverfahren . . . . .	28
2.2.3.1	Kombiniertes Prüfverfahren nach Engelhardt . . . . .	28
2.3	Biege-Prüfverfahren . . . . .	29

2.3.1	Technologischer Biegeversuch (Faltversuch) . . . . .	29
2.3.2	Hin- und Herbiegeversuch . . . . .	31
	Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Formänderungsanalyse mittels des Liniennetzverfahrens</b> (V. Hasek; T. Werle) . . . . .	<b>35</b>
3.0	Einleitung . . . . .	36
3.1	Liniennetzverfahren . . . . .	36
3.1.1	Auftragen der Liniennetze . . . . .	38
3.1.2	Bestimmung der Umformung an der vorher festgelegten Stelle durch die Liniennetze . . . . .	40
3.1.3	Wahl der Abmessungen der Liniennetzelemente . . . . .	40
3.1.4	Ausmessen der Liniennetzelemente . . . . .	41
3.1.5	Ermittlung der Formänderungsverteilung auf einem Ziehteil . . . . .	41
3.2	Grenzformänderungsschaubild . . . . .	44
3.2.1	Experimentelle Bestimmung des Grenzformänderungsschaubildes (GFS) . . . . .	47
3.2.1.1	Hydraulischer Tiefungsversuch . . . . .	47
3.2.1.2	Zugversuch mit Kerbproben . . . . .	49
3.2.1.3	Tiefungsversuch mit verschiedenen Stempelformen . . . . .	51
3.2.1.4	Tiefungsversuch mit streifenförmigen Platinen und halbkugelförmigem Stempel . . . . .	53
3.2.1.5	Tiefungsversuch mit kreisförmigen auf zwei Seiten ausgeschnittenen Platinen und halbkugelförmigem Stempel . . . . .	55
3.2.2	Vergleich der Verfahren zur Bestimmung des Grenzformänderungsschaubildes . . . . .	57
3.2.3	Beurteilung des Grenzformänderungsschaubildes . . . . .	58
3.2.4	Einflüsse auf das Grenzformänderungsschaubild . . . . .	58
3.3	Umformgeschichte . . . . .	60
3.4	Beurteilung und Anwendung der Formänderungsanalyse . . . . .	63
3.4.1	Beseitigung von kritischen Bereichen eines Ziehteils . . . . .	65
3.5	Grenzformänderungsschaubild bei erhöhten Temperaturen . . . . .	66
3.6	Theoretische Analyse des Grenzformänderungsschaubildes . . . . .	70
	Literatur zu Kapitel 3 . . . . .	75
<b>4</b>	<b>Tribologie der Blechumformung</b> (M. Blaich; E. Dannenmann; E. Mössle) . . . . .	<b>78</b>
4.1	Einleitung . . . . .	78
4.2	Modellverfahren zur Erfassung tribologischer Kenngrößen . . . . .	81
4.2.1	Modellverfahren für einachsige Zugbeanspruchung ohne und mit Biegespannungsüberlagerung . . . . .	82
4.2.2	Modellverfahren für Tiefziehbeanspruchung . . . . .	87
4.2.3	Modellverfahren für Streckziehbeanspruchung . . . . .	90
4.3	Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	92

4.3.1	Mechanismus der Mischschmierung . . . . .	94
4.3.2	Oberflächenbeschaffenheit und Reibungsverhalten . . . . .	95
4.3.3	Oberflächenbeschaffenheit und Adhäsionsneigung . . . . .	98
4.4	Schmierstoffe . . . . .	100
4.4.1	Einteilung der Schmierstoffe . . . . .	101
4.4.2	Wirkungsweise der Schmierstoffe . . . . .	101
4.4.3	Auswahlhinweise . . . . .	106
	Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	107
<b>5</b>	<b>Schneiden (D. Schmoeckel; H. Liebing; R. Balbach; T. Werle; M. Geiger)</b> . . . . .	<b>110</b>
5.1	Scherschneiden . . . . .	110
5.1.0	Einleitung . . . . .	110
5.1.1	Verfahren mit geschlossener Schnittlinie . . . . .	112
5.1.1.1	Schneidvorgang . . . . .	112
5.1.1.2	Kräfte und Arbeit . . . . .	116
5.1.1.3	Werkzeuge . . . . .	125
5.1.1.4	Schneidpressen . . . . .	139
5.1.1.5	Auswirkungen des Schneidens auf die Werkstückeigenschaften . . . . .	143
5.1.1.6	Wirtschaftlichkeitsfragen, Werkstoffausnutzung . . . . .	147
5.1.2	Verfahren mit offener Schnittlinie . . . . .	148
5.1.2.1	Schneidvorgang . . . . .	149
5.1.2.2	Schneidkraft . . . . .	149
5.1.2.3	Werkzeuge . . . . .	150
5.1.2.4	Schermaschinen . . . . .	151
5.2	Sonderschneidverfahren . . . . .	152
5.2.0	Einleitung . . . . .	152
5.2.1	Feinschneiden . . . . .	152
5.2.1.1	Verfahrensbeschreibung . . . . .	152
5.2.1.2	Werkzeuge zum Feinschneiden . . . . .	153
5.2.1.3	Maschine . . . . .	156
5.2.1.4	Kräfte . . . . .	157
5.2.1.5	Werkstoffe . . . . .	158
5.2.1.6	Fertigungsgerechte Teilegestaltung, Verfahrenskombinationen . . . . .	161
5.2.1.7	Maß- und Formtoleranzen, Oberflächengüte . . . . .	162
5.2.1.8	Wirtschaftlichkeit . . . . .	163
5.2.1.9	Verfahrensvariante . . . . .	163
5.2.2	Stauchschneiden . . . . .	164
5.2.3	Konterschneiden . . . . .	165
5.2.4	Dreistufiges Konterschneiden . . . . .	168
5.2.4.1	Verfahrensprinzip und Schneidbedingungen . . . . .	168
5.2.4.2	Biegeverhalten kontergeschnittener Werkstücke . . . . .	171
5.2.4.3	Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	172
5.3	Strahlschneiden . . . . .	173
5.3.0	Begriffe, Allgemeines . . . . .	173

5.3.1	Technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Strahlschneidverfahren	174
5.3.2	Laserstrahlschneiden . . . . .	177
5.3.2.0	Historische Entwicklung . . . . .	177
5.3.2.1	Verfahrensübersicht . . . . .	177
5.3.2.2	Physikalische Grundlagen: Lasersystem, Strahlquellen . . . . .	178
5.3.2.3	Systematische Betrachtung von Laserstrahlschneidvorgängen . . . . .	182
5.3.2.4	Grundlagen des Laserstrahlschneidens . . . . .	183
5.3.2.5	Verfahrenskenngrößen, Arbeitsgenauigkeit . . . . .	186
5.3.2.6	Bearbeitbare Werkstoffe . . . . .	197
5.3.2.7	Maschinen und Einrichtungen zum Laserstrahlschneiden . . . . .	200
5.3.2.8	Überwachung des Schneidprozesses . . . . .	209
5.3.2.9	Arbeitssicherheit . . . . .	211
5.3.3	Plasmaschneiden . . . . .	212
5.3.3.0	Historische Entwicklung . . . . .	212
5.3.3.1	Verfahrensübersicht . . . . .	212
5.3.3.2	Plasmagase . . . . .	215
5.3.3.3	Verfahrenskenngrößen, Arbeitsgenauigkeit, bearbeitbare Werkstoffe . . . . .	215
5.3.3.4	Maschinen und Einrichtungen zum Plasmaschneiden . . . . .	216
5.3.4	Verfahrensvergleich thermische und mechanische Konturschneidverfahren . . . . .	218
5.3.5	Wasserstrahlschneiden . . . . .	222
5.3.5.0	Historische Entwicklung . . . . .	222
5.3.5.1	Verfahrensübersicht/Verfahrensgrundlagen . . . . .	222
5.3.5.2	Verfahrenskenngrößen, bearbeitbare Werkstoffe . . . . .	228
5.3.5.3	Maschinen und Einrichtungen zum Wasserstrahlschneiden . . . . .	233
	Literatur zu Kapitel 5 . . . . .	237
<b>6</b>	<b>Biegen (J. Reissner; M. Müller-Duysing; E. Dannenmann; J. Ladwig) . . . . .</b>	<b>243</b>
6.1	Einleitung . . . . .	244
6.2	Theoretische Grundlagen des Biegens . . . . .	245
6.2.1	Bezeichnungen . . . . .	245
6.2.2	Einteilung der Berechnungsmodelle . . . . .	246
6.2.2.1	Werkstoffverhalten . . . . .	246
6.2.2.2	Spannungszustand . . . . .	247
6.2.2.3	Dehnungen und Formänderungen . . . . .	247
6.2.3	Elementare Biegetheorie . . . . .	248
6.2.3.1	Vereinfachungen . . . . .	248
6.2.3.2	Elastische Biegung . . . . .	249
6.2.3.3	Plastische Biegung . . . . .	250
6.2.3.4	Rückfederung . . . . .	251
6.2.3.5	Erweiterte elementare Theorie . . . . .	253
6.2.4	Mehrachsiges Berechnungsmodelle . . . . .	254
6.2.4.1	Problemstellung . . . . .	254

6.2.4.2	Berechnungskonzepte . . . . .	256
6.2.4.3	Biegen mit überlagerten Spannungen . . . . .	262
6.2.4.4	Finite Elemente . . . . .	262
6.2.5	Mehrfache Biegung . . . . .	263
6.2.6	Vergleich verschiedener Theorien . . . . .	265
6.3	Die wichtigsten Verfahren des Blechbiegens . . . . .	267
6.3.1	Freies Biegen . . . . .	267
6.3.1.1	Biegemoment und Werkstückform beim freien Biegen . . . . .	268
6.3.1.2	Biegekraft beim freien Biegen . . . . .	269
6.3.2	Gesenkbiegen . . . . .	271
6.3.2.1	Biegen im V-Gesenk . . . . .	271
6.3.2.2	Biegen im U-Gesenk . . . . .	275
6.3.2.3	Gesenkbiegewerkzeuge . . . . .	277
6.3.2.4	Gesenkbiegepressen . . . . .	278
6.3.3	Schwenkbiegen . . . . .	279
6.3.4	Walzrunden . . . . .	283
6.3.5	Walzprofilieren . . . . .	286
6.3.6	Biegen mit elastischen Werkzeugen . . . . .	288
6.4	Biegen von Rechteck- und Rundstäben . . . . .	289
6.5	Biegen von Rohren und Profilen . . . . .	290
6.6	Richten durch Biegen . . . . .	294
6.6.1	Richten einzelner Werkstücke . . . . .	295
6.6.2	Walzrichten von Flachzeug, Profilen, Rundstäben und Rohren . . . . .	295
6.6.2.1	Walzrichten von Flachzeug und Profilen . . . . .	296
6.6.2.2	Walzrichten von runden Stäben und Rohren . . . . .	297
6.7	Eigenschaften gebogener Werkstücke . . . . .	299
6.7.1	Mechanische Eigenschaften . . . . .	299
6.7.2	Geometrische Eigenschaften . . . . .	300
6.7.3	Verfahrensgrenzen, Fehlererscheinungen . . . . .	302
6.7.4	Gestreckte Länge von Biegeteilen (Zuschnittsermittlung) . . . . .	305
Literatur zu Kapitel 6 . . . . .		306
<b>7</b>	<b>Tiefziehen (J. Reissner; W. Schmidt; M. Meier) . . . . .</b>	<b>311</b>
7.0	Einleitung . . . . .	312
7.1	Erstzug kreiszylindrischer Näpfe mit Niederhalter . . . . .	314
7.1.1	Bezeichnungen, Ziehvorgang . . . . .	314
7.1.2	Spannungszustand . . . . .	314
7.1.3	Ziehkraft . . . . .	316
7.1.4	Numerische Lösungsverfahren . . . . .	319
7.1.4.1	Finite Differenzenmethode . . . . .	319
7.1.4.2	Finite Element-Simulation . . . . .	323
7.1.5	Verfahrensgrenzen, Versagensarten . . . . .	325
7.1.5.1	Grenzziehverhältnis, Bodenreißer . . . . .	326
7.1.5.2	Falten, Niederhalterdruck, Federsteifigkeit . . . . .	332
7.1.5.3	Zipfelbildung und Textur . . . . .	336

7.1.5.4	Auswirkungen der Anisotropie auf das Grenzziehverhältnis . . .	337
7.1.5.5	Längsreißer und Eigenspannungen . . . . .	341
7.1.5.6	Benoit-Effekt . . . . .	341
7.2	Weiterzug kreiszylindrischer Teile . . . . .	342
7.2.1	Bezeichnungen, Ziehvorgang . . . . .	342
7.2.2	Spannungszustand . . . . .	342
7.2.3	Ziehkraft . . . . .	343
7.2.4	Finite Differenzen-Simulation . . . . .	344
7.2.5	Ziehverhältnis, Zugabstufung . . . . .	344
7.2.6	Weiterziehen mit Wanddickenverminderung . . . . .	347
7.2.7	Stülpziehen . . . . .	347
7.3	Tiefziehen ohne Niederhalter . . . . .	349
7.4	Tiefziehen nichtkreiszyllindrischer Näpfe . . . . .	351
7.4.1	Tiefziehen von quadratischen, rechteckigen und ovalen Zieh- teilen . . . . .	351
7.4.2	Tiefziehen von kegeligen, parabolischen und kugeligen Teilen .	353
7.5	Werkzeugtechnik . . . . .	356
7.5.1	Werkzeugsysteme . . . . .	356
7.5.1.1	Einfachwirkendes Werkzeug ohne Niederhalter . . . . .	356
7.5.1.2	Einfachwirkendes Werkzeug mit Niederhalter . . . . .	356
7.5.1.3	Zweifachwirkendes Werkzeug . . . . .	357
7.5.1.4	Dreifachwirkendes Werkzeug . . . . .	358
7.5.2	Werkzeugwerkstoffe . . . . .	358
7.6	Werkstücktechnik . . . . .	358
7.6.1	Werkstückwerkstoffe . . . . .	358
7.6.1.1	Stähle für Feinblech und Band zum Kaltumformen . . . . .	360
7.6.1.2	Korrosionsbeständige Stähle . . . . .	360
7.6.1.3	Aluminium . . . . .	361
7.6.1.4	Kupfer und Kupferlegierungen . . . . .	362
7.6.1.5	Titan . . . . .	362
7.6.2	Arbeitsgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	362
7.6.2.1	Arbeitsgenauigkeit . . . . .	362
7.6.2.2	Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	367
7.6.3	Fehler beim Tiefziehen . . . . .	373
7.7	Schmierstoffe zum Tiefziehen . . . . .	376
7.8	Werkzeugmaschinen für das Tiefziehen . . . . .	376
7.8.1	Mechanische Pressen . . . . .	377
7.8.1.1	Niederhalter . . . . .	377
7.8.1.2	Ziehkissen . . . . .	380
7.8.2	Hydraulische Pressen . . . . .	381
7.8.2.1	Niederhalter und Ziehkissen . . . . .	382
	Literatur zu Kapitel 7 . . . . .	382
8	<b>Ziehen unregelmäßiger Blechteile (V. Hasek; T. Werle) . . . . .</b>	<b>385</b>
8.0	Einleitung . . . . .	385

8.1	Bestimmung der Kräfte . . . . .	386
8.1.1	Ziehkraftermittlung mit Hilfe der Gleitlinientheorie . . . . .	387
8.1.1.1	Gleichungen der Spannungskomponenten — die Charakteristiken	387
8.1.1.2	Spannungen beim Tiefziehen . . . . .	388
8.1.1.3	Berechnung der gesamten Ziehkraft $F_{z \max}$ . . . . .	391
8.1.1.4	Anwendung der Gleitlinienmethode zur Spannungsmethode mit nicht ebenem Flansch . . . . .	393
8.2	Bestimmung des Ziehverhältnisses $\beta$ . . . . .	396
8.2.1	Verfahren zur Bestimmung des Ziehverhältnisses . . . . .	397
8.2.2	Abgewandeltes Verfahren zur Bestimmung des Ziehverhältnisses	401
8.3	Beeinflussung des Werkstoffflusses und Beseitigung der Faltenbildung durch Ziehwalste und Ziehstäbe . . . . .	402
8.3.1	Ziehwalste . . . . .	402
8.3.2	Ziehstäbe . . . . .	403
8.3.3	Anordnung der Ziehstäbe und ihr Einfluß auf die Stempelkraft und die Bremskräfte an den Ziehstäben . . . . .	405
8.3.4	Einfluß von Ziehstäben auf den Spannungsverlauf . . . . .	408
8.4	Verwendung von Spannungsentlastungslöchern . . . . .	410
8.5	Gestaltung von Niederhalterflächen . . . . .	412
8.5.1	Stempel und Niederhalterfläche . . . . .	414
8.5.2	Konventionelle Methode zur Konstruktion von Niederhalterflächen . . . . .	416
8.5.3	Neue Methode zur Konstruktion von Niederhalterflächen . . . . .	416
8.5.3.1	Abwickelbare Flächen . . . . .	417
8.5.3.2	Graphische Methode . . . . .	417
8.5.3.3	Grundlagen der darstellenden Geometrie . . . . .	418
8.5.3.4	Festlegung der Breite der Niederhalterfläche . . . . .	419
8.5.3.5	Festlegung der ersten Erzeugenden . . . . .	420
8.5.3.6	Festlegung der weiteren Erzeugenden . . . . .	421
8.5.3.7	Bestimmung der Außenkontur der Niederhalterfläche im Aufriß	422
8.5.3.8	Anwendung der graphischen Methode . . . . .	424
8.6	Werkzeuge . . . . .	425
8.6.1	Ziehteile . . . . .	425
8.6.2	Werkzeuggestaltung . . . . .	428
8.6.2.1	Fertigungskriterium . . . . .	428
8.6.2.2	Konstruktionskriterien . . . . .	429
8.6.2.3	Betriebskriterium . . . . .	429
8.6.3	Anwendungsbeispiele . . . . .	429
8.6.3.1	Platinenschneidwerkzeug . . . . .	429
8.6.3.2	Ziehwerkzeug für eine einfachwirkende Presse . . . . .	430
8.6.3.3	Ziehwerkzeug für eine zweifachwirkende Presse . . . . .	433
8.6.3.4	Beschneidewerkzeug . . . . .	435
8.6.3.5	Fertigungsablauf bei der Herstellung eines PKW-Seitenteils . . . . .	436
8.7	Fertigung mit Großteilstufenpressen . . . . .	440
8.7.1	Festlegung der Fertigungsmethode im Hinblick auf die Bauart der Maschine und der umformtechnischen Anforderungen . . . . .	440

8.7.2	Durchlaufplan, Transport und Transportlage . . . . .	446
	Literatur zu Kapitel 8 . . . . .	446
<b>9</b>	<b>Sonder-Tiefziehverfahren (E. v. Finckenstein; H. Brox) . . . . .</b>	<b>449</b>
9.1	Einleitung . . . . .	449
9.2	Tiefziehen mit Wirkmedien . . . . .	449
9.2.1	Einteilung . . . . .	449
9.2.2	Hydromechanisches Tiefziehen . . . . .	451
9.2.3	Fluidform-Umformen . . . . .	456
9.2.4	Fluidzell-Umformen . . . . .	457
9.3	Tiefziehen mit nachgiebigem Kissen . . . . .	459
9.4	Einfluß der Spannungsüberlagerung beim Tiefziehen mit Wirkmedien . . . . .	462
9.5	Steuerungskonzepte für das Tiefziehen mit Wirkmedien . . . . .	464
	Literatur zu Kapitel 9 . . . . .	467
<b>10</b>	<b>Ziehen dickwandiger Hohlkörper (D. Schmoeckel; E. Böhm) . . . . .</b>	<b>469</b>
10.1	Einleitung . . . . .	469
10.2	Tiefziehen im Erstzug . . . . .	470
10.3	Tiefziehen im Weiterzug . . . . .	473
10.3.1	Gleichlauf-Weiterziehen . . . . .	474
10.3.2	Gegenlauf-Weiterziehen . . . . .	475
10.4	Sonderverfahren . . . . .	479
	Literatur zu Kapitel 10 . . . . .	481
<b>11</b>	<b>Gestaltung und Fertigung dickwandiger Präzisionsblechteile (H. D. Schacher; O. Propach) . . . . .</b>	<b>483</b>
11.1	Einleitung . . . . .	483
11.2	Beispiele aus dem Getriebebau . . . . .	484
11.3	Beispiele unter besonderer Berücksichtigung dominanter Verfahren . . . . .	489
11.3.1	Tiefziehen im Erstzug . . . . .	489
11.3.2	Stülpziehen im Weiterzug . . . . .	490
11.3.3	Aufweittiefziehen . . . . .	493
11.4	Verfahrenskombination bei der Herstellung von Kupplungsteilen . . . . .	494
11.5	Entwicklungstendenzen . . . . .	498
	Literatur zu Kapitel 11 . . . . .	498
<b>12</b>	<b>Drücken (E. v. Finckenstein; H. Dierig) . . . . .</b>	<b>500</b>
12.1	Einleitung und historische Entwicklung der Druckverfahren . . . . .	500
12.2	Druckverfahren . . . . .	504



12.2.1	Parameter . . . . .	507
12.2.2	Verfahrenstechnische Grundlagen . . . . .	508
12.2.3	Werkstücke . . . . .	510
12.2.4	Werkstoffe . . . . .	510
12.3	Drückwerkzeuge . . . . .	510
12.4	Drückmaschinen und ihre Betriebsarten . . . . .	513
12.4.1	Drückmaschinen . . . . .	513
12.4.2	Betriebsarten . . . . .	516
12.4.3	Herkömmliche und rechnergestützte Vorgehensweise zum Erstellen von CNC-Programmen . . . . .	517
12.4.4	Playback-Steuerung . . . . .	518
12.4.5	AC-Drücken mit MPST . . . . .	518
Literatur zu Kapitel 12 . . . . .		521
<b>13</b>	<b>Sonderverfahren des Zug-Druck-Umformens (D. Schmoeckel; S. Schlagau; R. Balbach) . . . . .</b>	<b>522</b>
13.1	Kragenziehen . . . . .	522
13.1.1	Einleitung . . . . .	522
13.1.2	Verfahrensprinzip . . . . .	524
13.1.3	Verfahrensgrenze . . . . .	525
13.1.4	Stempelkraft und Stempelform . . . . .	527
13.1.5	Berechnung der Kragenhöhe . . . . .	528
13.1.6	Kragenziehen an Rohren . . . . .	529
13.2	Aufweittiefziehen . . . . .	530
13.2.1	Verfahrensprinzip . . . . .	530
13.2.2	Verfahrensgrenzen . . . . .	531
13.2.3	Formänderungen, Geometrie der umgeformten Werkstücke . . . . .	535
13.3	Knickbauchen . . . . .	537
Literatur zu Kapitel 13 . . . . .		540
<b>14</b>	<b>Zugumformen (T. Oberländer; M. Widmann) . . . . .</b>	<b>541</b>
14.0	Einleitung . . . . .	541
14.1	Gemeinsame Gesichtspunkte der Zugumformverfahren . . . . .	542
14.1.1	Spannungen und Formänderungen . . . . .	542
14.1.2	Werkstoffe für die Zugumformung . . . . .	544
14.1.3	Eigenschaften zugumgeformter Werkstücke . . . . .	547
14.1.4	Reib- und Schmierverhältnisse . . . . .	547
14.2	Längen . . . . .	548
14.2.1	Verfahren . . . . .	548
14.2.1.1	Strecken . . . . .	548
14.2.1.2	Streckrichten . . . . .	548
14.2.2	Maschinen . . . . .	550
14.3	Weiten . . . . .	551

14.3.1	Allgemeines . . . . .	551
14.3.2	Weiten mit starrem Werkzeug . . . . .	552
14.3.2.1	Weiten mit Dorn . . . . .	552
14.3.2.2	Weiten mit Spreizwerkzeug . . . . .	552
14.3.3	Weiten mit nachgiebigem Werkzeug . . . . .	554
14.3.4	Weiten mit Wirkmedien mit kraftgebundener Wirkung . . . . .	555
14.3.4.1	Formlos feste Stoffe als Wirkmedien . . . . .	555
14.3.4.2	Flüssigkeiten als Wirkmedien . . . . .	556
14.3.5	Maschinen und Einrichtungen . . . . .	559
14.3.6	Vergleich der verschiedenen Verfahren . . . . .	561
14.4	Tiefen . . . . .	562
14.4.1	Streckziehen . . . . .	562
14.4.1.1	Allgemeines . . . . .	562
14.4.1.2	Einfaches Streckziehen . . . . .	563
14.4.1.3	Tangentialstreckziehen . . . . .	564
14.4.1.4	Kräfte und Formänderungen . . . . .	565
14.4.1.5	Versagensfälle . . . . .	566
14.4.1.6	Streckziehwerkzeuge . . . . .	567
14.4.1.7	Einrichtungen zum Streckziehen . . . . .	569
14.4.1.8	Spannelemente . . . . .	577
14.4.2	Hohlprägen (Sicken) . . . . .	578
14.4.2.1	Allgemeines . . . . .	578
14.4.2.2	Größte erreichbare Sickentiefe . . . . .	580
14.4.2.3	Stempelkraft. . . . .	582
14.4.2.4	Versteifungswirkung . . . . .	583
14.4.3	Tiefen mit nachgiebigem Werkzeug . . . . .	585
14.4.4	Maschinen zum Hohlprägen und Tiefen mit nachgiebigem Werkzeug . . . . .	585
	Literatur zu Kapitel 14 . . . . .	586
15	<b>Rohteilherstellung für die Blechumformung (H. Glöckl; V. Hasek; W. Makosch; T. Werle; K. Pöhlandt) . . . . .</b>	<b>589</b>
15.1	Ermittlung der Zuschnittsgeometrie . . . . .	589
15.1.1	Manuelle Zuschnittsermittlung . . . . .	589
15.1.2	Ermittlung der Platinengeometrie mit Hilfe der Gleitlinientheorie . . . . .	592
15.1.3	Rechnerunterstützte Zuschnittsermittlung mit dem Programmsystem PLATIN 2 . . . . .	601
15.2	Wärme- und Oberflächenbehandlung . . . . .	609
15.2.1	Wärmebehandlung . . . . .	609
15.2.2	Oberflächenbehandlung . . . . .	610
15.2.2.1	Überblick . . . . .	610
15.2.2.2	Schmierstoffe . . . . .	610

15.2.2.3	Aufbringen von Schmierstoffen . . . . .	611
15.2.2.4	Entfetten . . . . .	612
15.2.2.5	Beschichtung zum Korrosionsschutz . . . . .	612
Literatur zu Kapitel 15 . . . . .		620
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>622</b>