

# **Umform- und Zerteiltechnik**

Manuskript eines Kompendiums  
zur Unterstützung der Ausbildung an den  
umformtechnischen Lehrstühlen der  
Hochschulen Mitteldeutschlands

# Impressum

## **Umform- und Zerteiltechnik**

Manuskript eines Kompendiums  
zur Unterstützung der Ausbildung an den  
umformtechnischen Lehrstühlen der  
Hochschulen Mitteldeutschlands

### **Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Reimund Neugebauer

### Wichtiger Hinweis:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne  
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für  
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und  
Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben als internes Manuskript. Printed in Germany.

© 2005 Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz

Verlag Wissenschaftliche Scripten  
Thurmer Straße 30, 08066 Zwickau

ISBN: 3-937524-35-5

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort Prof. Neugebauer .....</b>	<b>III</b>
<b>Vorwort Prof. Eberlein .....</b>	<b>IV</b>
<b>Autorenkollegium .....</b>	<b>V</b>
<b>Autoren der einzelnen Abschnitte.....</b>	<b>VI</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>0 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Grundlagen der Umformtechnik .....</b>	<b>7</b>
1.1 Umformvorgang.....	7
1.2 Spannungskenngrößen und -zustände.....	11
1.3 Formänderungskenngrößen und -zustände .....	19
1.3.1 Gesetz der Volumenkonstanz.....	19
1.3.2 Formänderungskenngrößen .....	20
1.3.3 Formänderungszustände.....	23
1.3.4 Umformgeschwindigkeit.....	23
1.4 Fließspannung, Fließbedingung und Fließgesetz.....	26
1.4.1 Fließspannung .....	26
1.4.2 Ermittlung von Fließkurven .....	29
1.4.3 Fließbedingung.....	34
1.4.4 Fließgesetz.....	36
1.5 Umformbarkeit und Umformvermögen .....	39
1.6 Spannungs-, Kraft- und Arbeitsermittlung.....	43
1.6.1 Experimentelle Methoden .....	44
1.6.1.1 Spannungsmessstiftmethode.....	45
1.6.1.2 Profilblechmessmethode.....	45
1.6.2 Experimentell-theoretische Methoden.....	49
1.6.2.1 Methode der Visioplastizität .....	49
1.6.2.2 Moiréverfahren .....	52

1.6.2.3 Spannungsoptisches Verfahren.....	53
1.6.3 Theoretische Methoden.....	54
1.6.3.1 Methode Umformarbeit.....	56
1.6.3.2 Streifenmethode.....	62
1.6.3.3 Gleitlinienmethode.....	64
1.6.3.4 Methode der oberen und unteren Schranke.....	76
1.6.3.5 Finite-Elemente-Methode (FEM).....	85
1.6.3.6 Fehlerabgleichmethode.....	90
1.7 Begleiterscheinungen des Umformvorgangs.....	90
<b>2 Zerteiltechnik.....</b>	<b>95</b>
2.1 Verfahrensdefinition und Verfahrensübersicht.....	95
2.2 Verfahrensgrundlagen.....	99
2.2.1 Schneidvorgang.....	99
2.2.1.1 Bedingungen des Schneidvorgangs.....	99
2.2.1.2 Phasen des Schneidvorgangs.....	101
2.2.2 Schneidkraft und Schneidarbeit.....	106
2.2.3 Geometrische Abweichungen beim Schneiden.....	110
2.2.3.1 Allgemeines.....	110
2.2.3.2 Kenngrößen und Ursachen der geometrischen Abweichungen beim Schneiden.....	111
2.2.3.3 Möglichkeiten der Reduzierung von geometrischen Abweichungen.....	113
2.2.4 Gestaltung des Blechschneidens.....	120
2.2.4.1 Einflussfaktoren auf die Gestaltung von Blechteilen.....	120
2.2.4.1.1 Funktion des Werkstücks.....	120
2.2.4.1.2 Auswirkung des Schneidvorgangs im Werkzeug auf die Werkstückgestaltung.....	121
2.2.4.1.3 Einfluss der Schnittteilgestaltung auf eine ökonomische Fertigung.....	124
2.2.4.2 Anordnung der Teile im Streifen oder Band.....	127
2.2.4.3 Gestaltung der Fertigungsfolge bei mehreren Schneidoperationen an einem Werkstück.....	135
2.2.4.3.1 Ausschneiden und Lochen in mehreren Werkzeugen.....	135
2.2.4.3.2 Ausschneiden und Lochen in einem Werkzeug.....	136
2.2.4.3.3 Aufbau der Werkzeuge.....	142
2.2.4.4 Maschinen.....	145
<b>3 Einteilung der Umformverfahren.....</b>	<b>147</b>
3.1 Klassifizierung nach der Umformtemperatur.....	147
3.2 Klassifizierung nach der Art der Kraftwirkung.....	148
3.3 Klassifizierung nach der Art des Umformvorgangs.....	149
3.4 Klassifizierung nach der Umwandlung der Oberfläche.....	149

---

3.5 Klassifizierung nach der Beanspruchungsart.....	150
<b>4 Massivumformung.....</b>	<b>153</b>
4.1 Freiformen .....	153
4.1.1 Verfahrensdefinition und -übersicht [4.1] .....	153
4.1.2 Theoretische Grundlagen.....	154
4.1.2.1 Grundlagen des Stauchens [4.2].....	154
4.1.2.2 Berechnung der Umformkraft beim Recken nach der Streifenmethode [4.3] .....	160
4.1.2.3 Ermittlung der Umformkraft beim Recken nach der Gleitlinienmethode .....	161
4.1.3 Werkstückgeometrie.....	162
4.1.4 Prozessgestaltung .....	165
4.1.5 Werkzeuge.....	171
4.1.6 Fertigungseinrichtungen.....	173
4.1.7 Rechnereinsatz .....	176
4.1.8 Technisch-ökonomische Kriterien.....	178
4.2 Gesenkschmieden .....	180
4.2.1 Verfahrensdefinition und -übersicht.....	180
4.2.2 Theoretische Grundlagen.....	182
4.2.2.1 Vorgang beim Ausfüllen der Gravur.....	182
4.2.2.2 Berechnungen .....	185
4.2.3 Werkstückgeometrie.....	193
4.2.3.1 Herstellbare Formen und Abmessungen .....	193
4.2.3.2 Erreichbare Genauigkeiten.....	193
4.2.3.3 Gestaltung von Gesenkschmiedeteilen .....	194
4.2.4 Gestaltung von Gesenkschmiedeprozessen.....	197
4.2.4.1 Fertigungsablauf des Gesenkschmiedens.....	197
4.2.4.2 Gestaltung und Herstellung der Anfangsform .....	199
4.2.4.3 Erwärmung.....	201
4.2.4.4 Gestaltung und Herstellung der Massenverteilungszwischenformen .....	201
4.2.4.5 Biegezwischenformung.....	205
4.2.4.6 Querschnittsvorbildung.....	205
4.2.4.7 Endformung im Gesenk .....	206
4.2.4.8 Abgraten und Lochen.....	206
4.2.4.9 Nachbearbeitung und Nachbehandlung .....	207
4.2.5 Werkzeuge.....	208
4.2.5.1 Beanspruchung von Gesenken.....	209
4.2.5.2 Festlegung der Gravur und Gratabmessungen .....	212
4.2.5.3 Lage der Gravur im Gesenkblock .....	215
4.2.5.4 Ermittlung der Mindestblockabmessungen.....	215
4.2.5.5 Ermittlung der Aufschlagflächen [4.35] .....	216

4.2.5.6	Werkzeugwerkstoffe.....	217
4.2.5.7	Herstellung von Gesenken.....	217
4.2.6	Fertigungsanlagen beim Gesenkschmieden.....	226
4.2.7	Rechnereinsatz beim Gesenkschmieden.....	229
4.2.7.1	Rechnerunterstützte Informationsbereitstellung [4.40].....	229
4.2.7.2	Partielle Unterstützung der Ingenieurarbeit.....	232
4.2.7.3	CAD/CAM-System für rotationssymmetrische Schmiedestücke [4.44].....	234
4.2.8	Technisch-ökonomische Kennziffern.....	237
4.3	Fließpressen.....	241
4.3.1	Verfahrensdefinition und -übersicht.....	241
4.3.2	Theoretische Grundlagen.....	244
4.3.3	Werkstückgeometrie.....	254
4.3.4	Prozessgestaltung.....	257
4.3.4.1	Verfahrensgerechte Werkstückgestaltung.....	257
4.3.4.2	Werkstoffe.....	262
4.3.4.3	Abstufung.....	266
4.3.4.4	Dimensionierung und Herstellung der Anfangsform.....	270
4.3.4.5	Vor-, Zwischen- und Nachbehandlung.....	274
4.3.4.6	Fertigungsbeispiele.....	276
4.3.5	Werkzeuge.....	279
4.3.6	Maschinen.....	286
4.3.7	Ergänzende Darstellung weiterer Verfahrensvarianten.....	289
4.3.8	Rechnerunterstützte Ingenieurarbeit.....	291
4.3.9	Technisch-ökonomische Kriterien.....	295
4.4	Kaltstauchen.....	296
4.4.1	Verfahrensdefinition und -übersicht.....	296
4.4.2	Theoretische Grundlagen.....	296
4.4.3	Werkstückgeometrie.....	300
4.4.4	Prozessgestaltung.....	302
4.4.5	Werkzeuge.....	304
4.4.6	Maschinen.....	306
4.4.7	Ergänzende Darstellung weiterer Verfahrensvarianten.....	306
4.4.8	Technisch-ökonomische Kriterien.....	308
4.5	Walzen.....	309
4.5.1	Verfahrensdefinition und -übersicht.....	309
4.5.2	Theoretische Grundlagen.....	311
4.5.2.1	Walzvorgang.....	311
4.5.2.2	Greif- und Durchwalzbedingung.....	312
4.5.2.3	Ermittlung des Kraft- und Arbeitsbedarfs.....	317
4.5.3	Werkstückgeometrie.....	319
4.5.4	Prozessgestaltung.....	326
4.5.5	Werkzeuge und Maschinen.....	327

---

4.5.6	Rechnereinsatz .....	327
4.5.7	Technisch-ökonomische Kriterien .....	328
4.6	Drücken .....	328
4.6.1	Formdrücken .....	328
4.6.1.1	Verfahrensdefinition und -übersicht .....	328
4.6.1.2	Verfahrensgrundlagen .....	330
4.6.1.3	Werkstückgeometrie .....	335
4.6.1.4	Verarbeitbare Werkstoffe .....	337
4.6.1.5	Werkzeuge .....	341
4.6.2	Abstreckdrücken .....	342
4.6.2.1	Verfahrensdefinition und -übersicht .....	342
4.6.2.2	Verfahrensgrundlagen .....	343
4.6.2.3	Werkstückgeometrie .....	348
4.6.2.4	Prozessgestaltung .....	349
4.6.2.5	Werkzeuge .....	351
4.6.2.6	Maschine .....	354
4.6.3	Projizierdrücken .....	356
4.6.3.1	Verfahrensdefinition und -übersicht .....	356
4.6.3.2	Verfahrensgrundlagen .....	356
4.6.4	CAD/CAM Metalldrücken .....	359
4.6.5	Verfahrenskombination und Sonderverfahren .....	361
<b>5</b>	<b>Blechumformung .....</b>	<b>369</b>
5.1	Biegen .....	369
5.1.1	Verfahrensdefinition und -übersicht .....	369
5.1.2	Theoretische Grundlagen .....	371
5.1.2.1	Elementare Biegetheorie .....	371
5.1.2.2	Ebenes plastisches Blechbiegen .....	378
5.1.3	Werkstückgeometrie .....	386
5.1.4	Prozessgestaltung .....	392
5.1.4.1	Gesenkbiegen .....	392
5.1.4.2	Schwenkbiegen .....	398
5.1.4.3	Profilieren .....	399
5.1.5	Biegewerkzeuge .....	409
5.1.6	Maschinen und flexible Fertigungssysteme für das Biegeumformen .....	418
5.1.7	Darstellung weiterer Verfahrensvarianten in der Biegeteulfertigung .....	426
5.1.8	CAD/CAM-Systeme in der Biegeteulfertigung .....	434
5.1.8.1	CAD/CAM-System Profilieren .....	434
5.1.8.2	CAD/CAM-System für 3-D-Biegeteile .....	438
5.1.9	Technisch-ökonomische Kriterien .....	439
5.2	Streck- und Tiefziehen .....	441

5.2.1 Streckziehen .....	442
5.2.1.1 Allgemeines .....	442
5.2.1.2 Einfaches Streckziehen .....	442
5.2.1.3 Tangentialstreckziehen .....	445
5.2.1.4 Geeignete Werkstoffe und Werkstückeigenschaften nach dem Streckziehen .....	446
5.2.1.5 Bremswülste beim Formstempeltiefziehen .....	447
5.2.2 Hohlprägen (Sicken) .....	447
5.2.3 Aufweiten .....	450
5.2.3.1 Aufweiten mit Innenwerkzeug .....	450
5.2.3.2 Aufweiten durch Hineindrücken in eine Form .....	452
5.2.3.2.1 Weiten mit nachgiebigem Werkzeug .....	452
5.2.3.2.2 Weiten mit Wirkmedien .....	452
5.2.3.2.3 Weiten mit Wirkenergie .....	454
5.2.4 Ausbauchen .....	454
5.2.5 Einziehen (Verjüngen) .....	455
5.2.6 Tiefziehen .....	458
5.2.6.1 Verfahrensdefinition und -übersicht .....	458
5.2.6.2 Theoretische Grundlagen .....	458
5.2.6.3 Werkstückgeometrie .....	474
5.2.6.4 Prozessgestaltung .....	475
5.2.6.5 Werkzeuge .....	487
5.2.6.6 Maschinen .....	491
5.2.6.7 Weitere Verfahrensvarianten des Tiefziehens .....	497
5.2.6.8 Rechnergestützte Ingenieurarbeit .....	505
5.2.6.9 Technisch-ökonomische Kriterien .....	508
<b>6 Umformende Feinbearbeitung .....</b>	<b>509</b>
6.1 Oberflächenfeinwalzen .....	509
6.1.1 Verfahrensdefinition und -übersicht .....	509
6.1.2 Theoretische Grundlagen .....	512
6.1.3 Werkstückgeometrie .....	523
6.1.4 Prozessgestaltung .....	523
6.1.5 Werkzeuge .....	524
6.1.6 Maschinen .....	526
6.1.7 Umformende Oberflächenfeinbearbeitungs- und Randschichtverfestigungsverfahren .....	526
6.1.8 Rechenprogramme .....	526
6.1.9 Technisch-ökonomische Kriterien .....	528
6.2 Glätten .....	528
6.2.1 Verfahrensdefinition und -übersicht .....	528
6.2.2 Theoretische Grundlagen .....	529
6.2.3 Werkzeuge .....	530

---

<b>7 Spezielle Umformverfahren.....</b>	<b>531</b>
7.1 Hochgeschwindigkeitsumformen.....	531
7.1.1 Verfahrensdefinition und -übersicht.....	531
7.1.2 Explosivumformen.....	538
7.1.3 Elektromagnetisches Umformen.....	549
7.1.4 Elektrohydraulisches Umformen.....	554
7.2 Pulverschmieden.....	556
7.2.1 Verfahrensdefinition und Prozessvarianten.....	556
7.2.2 Werkstückeigenschaften und Anwendungsbeispiele.....	560
7.3 Gießschmieden.....	563
7.3.1 Verfahrensdefinition und Prozessvarianten.....	563
7.3.2 Werkstückeigenschaften und Anwendungsbeispiele.....	566
<b>8 Maschinen der Umformtechnik .....</b>	<b>569</b>
8.1 Hämmer .....	570
8.1.1 Fallhämmer.....	570
8.1.2 Oberdruckhämmer.....	573
8.1.3 Gegenschlaghämmer .....	574
8.2 Mechanische Pressen.....	576
8.2.1 Schwungrad-Spindelpressen.....	577
8.2.2 Kurbel- und Exzenterpressen .....	579
8.3 Hydraulische Pressen.....	582
<b>9 Erwärmung.....</b>	<b>585</b>
9.1 Vorgang des Erwärms.....	586
9.2 Schmiedetemperatur und Erwärmungsfehler.....	587
9.3 Ermittlung der Erwärmungszeit.....	590
9.4 Wärmemenge und Ofenleistung.....	595
9.5 Erwärmungsanlagen.....	596
<b>10 Entwicklungstendenzen der Umform- und Zerteiltechnik .....</b>	<b>601</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>613</b>