



Leseprobe

Peter Schwarzmann

Thermoformen in der Praxis

Herausgegeben von Illig (Hrsg.)

ISBN (Buch): 978-3-446-44403-4

ISBN (E-Book): 978-3-446-44948-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44403-4>

sowie im Buchhandel.

# Vorwort zur 3. Auflage

Die Ergänzung der Übersetzungen Englisch, Französisch, Chinesisch, Russisch mit Spanisch, die Weiterentwicklung im Thermoformen, die Nachfrage für mehr Information zur Werkzeugtechnik, führten zu einer in wesentlichen Teilen überarbeiteten und erweiterten 3. Auflage. Die ursprüngliche Zielsetzung des Buches wurde durch den Autor, Herrn Peter Schwarzmann, konsequent weitergeführt.

Heilbronn, im Juni 2015

*ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG*

## ■ Vorwort zur 2. Auflage

Der Erfolg der 1. Auflage, die auch in die Sprachen Englisch, Französisch, Chinesisch und Russisch übertragen wurde, die umfangreichen technologischen Veränderungen in der Thermoformung und neue Anwendungen führten zu einer in wesentlichen Teilen überarbeiteten und erweiterten 2. Auflage. Die ursprüngliche Zielsetzung des Buches wurde durch den Autor, Herrn Peter Schwarzmann, konsequent weitergeführt.

Heilbronn, im Oktober 2008

*ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG*

## ■ Vorwort zur 1. Auflage

Die Fertigungsverfahren der Thermoformung werden in der industriellen Produktion in einem vor wenigen Jahrzehnten noch nicht für möglich gehaltenen Ausmaß angewandt. Neben den traditionellen Gebieten, der Vakuumformung von Platten für Displays, Kühlschränke oder Automobilteile hat sich das Thermoformen bei der Druckluftformung von Verpackungen einen bedeutenden Marktanteil erobert.

Ständig verbesserte Thermoplaste erlauben mit modernsten Maschinen und Werkzeugen eine Steigerung der Mengenleistung bei gleichzeitig erhöhter Präzision der Formteile. Das ursprünglich mehr handwerkliche Thermoformen hat sich als Fertigungsverfahren etabliert, das wissenschaftliche Erkenntnisse der Werkstoffkunde, der Mess- und Regelungstechnik konsequent nutzt. Die Reproduzierbarkeit der Verfahrensparameter erlaubt den Einsatz des Verfahrens in Hochleistungsanlagen für den industriellen Einsatz. Neben zahlreichen Zeitschriftenveröffentlichungen werden die Grundlagen des Thermoformens seit Jahrzehnten in Lehrgängen der ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG vermittelt. Es fehlt jedoch eine zusammenfassende Darstellung der Grundlagen und Verfahren, die gleichzeitig den Studierenden und den bereits in der Praxis stehenden Ingenieuren und Technikern eine Einführung in das Fachgebiet ist und das Grundwissen zur vertieften Behandlung von Einzelfragen vermitteln kann. Die aufgezeigte Lücke mit der genannten Zielsetzung zu schließen, ist das Anliegen des Buches »Thermoformen für die Praxis«. Neben den Thermoplasten werden alle Verfahrensschritte beim Thermoformen, die wesentlichen Maschinentypen und Grundlagen für den Bau von Formen und Werkzeugen umfassend geschildert und mit Praxisbeispielen erläutert. Die Entstehungsgeschichte dieses Buches ist eng mit der 50-jährigen Firmengeschichte der Firma ILLIG verbunden. Dementsprechend ist eine Vielzahl von Anregungen und Erfahrungen eingeflossen, für deren umfassende Darstellung dem Autor, Herrn Peter Schwarzmann mein besonderer Dank gilt. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, zahlreiche Verbesserungsvorschläge und Ergänzungen danke ich dem langjährigen Leiter der Entwicklung und Konstruktion bei ILLIG, Herrn Günther Kiefer und Herrn Prof. Dr. Günther Harsch. Herausgeber und Autor hoffen, dass »Thermoformen für die Praxis« die Einarbeitung in das Thermoformen erleichtert und bei der Lösung von Problemen eine nützliche Hilfe ist.

Heilbronn, im Januar 1997

*Adolf Illig*

# Inhalt

<b>Vorwort zur 3. Auflage</b> .....	<b>V</b>
Vorwort zur 2. Auflage .....	V
Vorwort zur 1. Auflage .....	V
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen und Begriffe im Thermoformen</b> .....	<b>5</b>
2.1 Verfahrensablauf .....	5
2.2 Positiv- und Negativformung .....	6
2.3 Vakuum- und Druckluftformung .....	8
2.3.1 Unterschiede zwischen Vakuum- und Druckluftformung ...	8
2.3.2 Einsatz für Druckluftformung .....	9
2.4 Umformdruck, Ausformdruck, und Ausformschärfe .....	10
2.5 Vorblasen, Vorsaugen, Druckausgleich, Belüften .....	12
2.6 Schreckmarken und Markierungen .....	13
2.6.1 Schreckmarken an positiv geformten Teilen .....	13
2.6.2 Schreckmarken an negativ geformten Teilen .....	17
2.6.3 Ursachen für Schreckmarken .....	19
2.6.4 Möglichkeiten für die Reduzierung der Schreckmarken ...	19
2.6.5 Folgen der Schreckmarkenbildung .....	20
2.6.6 Nutzen der typischen Wanddickenverteilung in Schreckmarken bei Verschlüssen von Klappverpackungen	21
2.6.7 Schlussfolgerung mit Bezug auf Schreckmarken .....	22
2.6.8 Markierungen .....	22
2.7 Faltenbildung beim Thermoformen .....	23
2.7.1 Ablauf der Faltenbildung bei Positivformung .....	24
2.7.2 Faltenbildung bei Negativformung .....	27
2.7.3 Faltenbildung auf Oberflächen .....	28

2.8	Der Werkzeugsatz .....	28
2.9	Formfläche, Einzugsfläche, Spannrand .....	29
2.10	Niederhalter, Hochhalter .....	30
2.11	Umform- und Verstreckungsverhältnis .....	32
2.12	Entformschrägen .....	33
2.13	Entlüftungsquerschnitte .....	34
2.14	Wanddickenberechnung .....	34
<b>3</b>	<b>Thermoplastische Halbzeuge .....</b>	<b>37</b>
3.1	Aufbau und Struktur der Thermoplaste .....	37
3.2	Aufnahme von Feuchtigkeit im Halbzeug .....	38
3.3	Verhalten beim Aufheizen .....	40
3.4	Ausdehnung und Durchhang .....	41
3.5	Umformtemperaturbereiche .....	43
3.6	Reibverhalten beim Thermoformen .....	44
3.7	Ausformschärfe .....	46
3.8	Verarbeitungsschwindung beim Thermoformen .....	47
3.9	Der freie Schrumpf von Halbzeugen .....	53
3.10	Einfluss der Spannungen im extrudierten Halbzeug .....	57
3.11	Statische Aufladung .....	61
3.12	Das viskoelastische Verhalten der Thermoplaste beim Thermoformen .....	62
3.13	Verhalten beim Kühlen .....	63
3.14	Toleranzen von Halbzeugen .....	64
3.15	Herstellungsverfahren für thermoplastische Halbzeuge .....	65
3.16	Tabelle für den Thermoformer .....	68
3.17	Thermoplaste für das Thermoformen .....	73
3.17.1	Polystyrol (PS) .....	73
3.17.2	Schlagfestes Polystyrol (PS-HI) .....	74
3.17.3	Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymer (SBS) .....	75
3.17.4	Orientiertes Polystyrol (OPS) .....	76
3.17.5	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) .....	77
3.17.6	Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymer (ASA) .....	78
3.17.7	Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN) .....	79
3.17.8	Polyvinylchlorid (PVC-U) .....	80
3.17.9	Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) .....	80

3.17.10	Polypropylen (PP): Detaillierte Vorstellung .....	82
3.17.11	Extrudiertes Polymethylmethacrylat (PMMA ex) .....	97
3.17.12	Gegossenes Polymethylmethacrylat (PMMA g) .....	98
3.17.13	Polykarbonat (PC) .....	100
3.17.14	Polyamid (PA) .....	101
3.17.15	Polyethylenterephthalat, PET: Detaillierte Vorstellung .....	102
3.17.16	Polysulfon (PSU) .....	109
3.17.17	EPE und EPP-Schaumfolien .....	110
3.17.18	Biokunststoffe im Thermoformen .....	111
3.17.18.1	Abbaubare Kunststoffe aus erneuerbaren Rohstoffen .....	112
3.17.18.2	Nicht abbaubare Bio-Kunststoffe .....	118
3.17.19	Mehrschicht-, Barriere- und Verbundhalbzeuge .....	119
3.17.20	Sonstige Halbzeuge .....	128
3.17.21	Markennamen .....	128
<b>4</b>	<b>Heizungstechniken im Thermoformen .....</b>	<b>129</b>
4.1	Strahlungsheizungen .....	129
4.1.1	Prinzip der Wärmeübertragung durch Infrarotstrahlung ...	129
4.1.2	Durch Strahlung übertragbare Wärmemenge .....	131
4.1.3	Gleichmäßiges Beheizen mit Strahlungsheizungen .....	137
4.1.4	Keramik-, Quarzgut- und Hellstrahler im Vergleich .....	143
4.2	Reproduzierbarkeit von Heizergebnissen der Strahlungsheizungen	147
4.2.1	Beurteilung der Reproduzierbarkeit .....	147
4.2.2	Kompensation der nicht beeinflussbaren Außeneinflüsse auf den Heizprozess .....	151
4.2.3	Leistungsstellung und Temperaturregelung von Heizungen	151
4.3	Kontaktheizungen .....	153
4.4	Konvektionsheizungen .....	155
4.5	Mindestheizzeit, effektive Heizzeit und Verweilzeit .....	155
4.5.1	Einfluss der Heizzeit auf das Thermoformverhalten .....	155
4.5.2	Positive Auswirkung der Verweilzeit .....	156
4.5.3	Negative Auswirkung der Verweilzeit .....	157
<b>5</b>	<b>Heizungen in Plattenmaschinen .....</b>	<b>159</b>
5.1	Grundlagen der isothermengeregelten Heizung .....	160
5.1.1	Fachbegriffe .....	160
5.1.2	Details zur Temperaturregelung von Keramikstrahlern ...	162
5.1.3	Vorteile von Pilotstrahlern geregelten Heizungen .....	163

5.2	Joystickteilung des Heizbildes .....	164
5.3	Mehrstellungsschaltung .....	165
5.4	Strahlertemperaturregelung mit überlagerter Prozent-Stellung .....	168
5.5	IR-Messeinrichtung zur Temperaturmessung oder Steuerung von Heizungen .....	169
<b>6</b>	<b>Heizungen in Rollenautomaten .....</b>	<b>171</b>
6.1	Allgemeines .....	171
6.2	Pilotstrahlergeregelter Heizungen in Rollenautomaten .....	172
6.2.1	Heizung mit Temperatur-Längsreihenregelung .....	172
6.2.2	Heizung mit Temperatur-Gesamtfeldregelung .....	173
6.2.3	Heizung mit Querreihen-Regelung .....	174
<b>7</b>	<b>Beheizen von mehrfarbigen und vorbedruckten Halbzeugen mit IR-Strahlungsheizungen .....</b>	<b>175</b>
7.1	Allgemeines .....	175
7.2	Wahl der Infrarot-Strahler .....	175
<b>8</b>	<b>Thermoformverfahren auf Plattenmaschinen .....</b>	<b>179</b>
8.1	Positivformung .....	180
8.1.1	Positivformung mit mechanischem Vorstrecken .....	180
8.1.2	Positivformung mit Vorblasen .....	181
8.1.3	Positivformung mit Vorblasen gegen ein Brett .....	184
8.1.4	Positivformung mit Vorsaugen und Abrollen der Blase auf das Formwerkzeug .....	185
8.1.5	Positivformung mit Vorsaugen in eine Glocke .....	186
8.1.6	Einsatz von Eckenblasdüsen bei der Positivformung .....	187
8.2	Negativformung .....	188
8.2.1	Negativformung ohne Vorstreckstempel .....	188
8.2.2	Negativformung mit Vorstreckstempel .....	189
8.3	Positiv-Negativ-Formung .....	191
8.4	Zweikammerverfahren (3K-Verfahren) .....	192
8.5	Twinsheetformung .....	193
8.5.1	Allgemeine Regeln für die Twinsheetformung auf Serien-Thermoformmaschinen .....	194
8.5.2	Verfahrensablauf Twinsheetformung, UA-Maschine mit Handbeschickung .....	195
8.5.3	Maschinenvarianten für die Twinsheetformung .....	198

8.6	Klebekaschieren .....	200
8.6.1	Allgemeines .....	200
8.6.2	Kaschierverfahren .....	201
<b>9</b>	<b>Thermoformverfahren auf Rollenautomaten, Stanzstation mit Messerschnitt .....</b>	<b>205</b>
9.1	Prinzipieller Ablauf in der Formstation .....	205
9.2	Maschinenausstattungen mit Auswirkung auf die Formungsverfahren	209
9.3	Auswahl des richtigen Formungsverfahrens und des Werkzeugaufbaus .....	210
9.4	Hinweise für die Beeinflussung der Wanddickenverteilung .....	211
<b>10</b>	<b>Thermoformverfahren auf Rollenautomaten, Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt .....</b>	<b>217</b>
10.1	Kinematik der Form und Stanzstation .....	217
10.2	Die Besonderheiten einer mechanischen Kurvensteuerung .....	219
10.3	Ablaufdiagramm einer Formstation mit Form und Stanzwerkzeug mit Negativformung .....	220
10.3.1	Die Formluftreduzierung .....	221
10.3.2	Niederhalter-Steuerung .....	221
10.4	Ablaufdiagramm einer Formstation mit Form und Stanzwerkzeug mit Scherschnitt für Positivformung .....	223
<b>11</b>	<b>Sonderverfahren in kombinierten Form-Stanzwerkzeugen in Rollenautomaten .....</b>	<b>225</b>
11.1	Auskleiden von formstabilen Behältern .....	225
11.2	Etikettieren im Formwerkzeug (In-Mould-Labeling IML) .....	227
11.3	Form-Stanzwerkzeug für randlose Formteile .....	230
11.4	Thermoformen von Hohlboden-Bechern .....	231
11.5	Thermoformen mit Form und Gegenform .....	232
<b>12</b>	<b>Thermoformen von durchsichtigen Teilen .....</b>	<b>233</b>
12.1	Allgemeine Regeln für das Formen von durchsichtigen Teilen .....	233
12.2	Besonderheiten beim Formen auf Plattenmaschinen .....	235
12.3	Besonderheiten beim Formen auf Rollenautomaten .....	236
12.4	Verfahrensbeispiele - Herstellen von durchsichtigen Teilen .....	240
12.5	Besondere Herstellverfahren für durchsichtige Teile .....	245

<b>13</b>	<b>Thermoformen von vorbedruckten Halbzeugen</b> .....	<b>247</b>
13.1	Allgemeines .....	247
13.2	Ermittlung des Zerrdrucks .....	250
<b>14</b>	<b>Kühlen der geformten Teile</b> .....	<b>255</b>
14.1	Die Entformtemperatur .....	255
14.2	Einflüsse auf die Kühlzeit .....	256
14.3	Kühlen mit dem Formwerkzeug .....	257
14.4	Kühlen mit Luft .....	258
14.4.1	Stand der Technik beim Kühlen mit Luft in Platten- maschinen .....	259
14.4.2	Reduzierung der Werkzeugtemperatur in Verbindung mit kälterer Kühlluft .....	261
<b>15</b>	<b>Entformen</b> .....	<b>265</b>
<b>16</b>	<b>Stapeln von Teilen</b> .....	<b>269</b>
16.1	Allgemeines .....	269
16.2	Stapelung von Formteilen mit wechselnden Stapelnoppen .....	275
<b>17</b>	<b>Nachbearbeitung an thermogeformten Teilen</b> .....	<b>277</b>
17.1	Trennen, Schneiden .....	277
17.2	Entgraten .....	280
17.3	Verbinden .....	280
17.4	Recycling .....	282
<b>18</b>	<b>Stanzen von thermogeformten Teilen</b> .....	<b>283</b>
18.1	Messerschnitt .....	283
18.2	Scherschnitt .....	291
18.3	Vergleiche von Messer- und Scherschnitt .....	298
18.4	Einflussfaktoren auf das Stanzen .....	301
18.5	Engelshaarbildung .....	302
18.5.1	Verringerung der Engelshaarbildung beim Messerschnitt	307
18.5.2	Verringerung der Engelshaarbildung beim Scherschnitt in Form- und Stanzwerkzeug .....	307
18.6	Unsaubere Schnitte – Bartbildung .....	309

18.7	Stanzkräfte .....	311
18.8	Schlussfolgerung .....	313
18.8.1	Messerschnitt-Stanzwerkzeuge für separate Stanzstation ..	313
18.8.2	Scherschnitt-Stanzwerkzeuge für separate Stanzstation ...	314
18.8.3	Form-Stanzwerkzeuge mit Messerschnitt .....	315
18.8.4	Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt .....	315
18.9	Verwandte Schneidverfahren .....	316
<b>19</b>	<b>Dekoration im Thermoformen .....</b>	<b>320</b>
19.1	Bilder .....	324
<b>20</b>	<b>Deformation von thermogeformten Teilen .....</b>	<b>333</b>
20.1	Nachweis der Einflüsse auf die Deformation .....	333
20.2	Einfluss von Dickstellen .....	335
20.3	Einfluss der Spannungen im Halbzeug .....	335
20.4	Deformation von einem etikettierten Formteil .....	336
20.5	Deformation des Spannrandes eines rechteckigen Formteils .....	336
20.6	Deformation bei anisotroper Schwindung .....	337
20.7	Schlussfolgerung, Ursachen für Deformation .....	339
20.8	Tipps und Hinweise in Bezug auf Deformation .....	339
<b>21</b>	<b>Thermoformwerkzeuge .....</b>	<b>341</b>
21.1	Begriffe und Definitionen .....	341
21.2	Werkstoffe für das Formsegment .....	342
21.3	Hilfe für die Werkstoff- bzw. Variantenwahl für ein Werkzeug .....	346
21.4	Positiv- oder Negativ-Formung? .....	347
21.5	Auslegung der Formfläche .....	348
21.6	Verarbeitungsschwindung: Wer liefert den Wert? .....	352
21.7	Bestimmen der Halbzeuggröße .....	353
21.8	Der Unterbau .....	354
21.8.1	Prinzipskizzen für Werkzeugaufbauten .....	357
21.8.2	Verstellbare Unterbauten für Plattenmaschinen .....	361
21.8.3	Unterschied zwischen Festformat- und verstellbarem Unterbau .....	362
21.9	Gestaltungsdetails für Thermoformwerkzeuge .....	363
21.9.1	Seitenwandschrägen .....	363

21.9.2	Oberflächenrauheit .....	364
21.9.3	Radien .....	367
21.9.4	Werkzeugentlüftung, Abluftquerschnitte .....	368
21.9.5	Hohlräume .....	372
21.9.6	Werkstoffe für Vorstreckstempel .....	372
21.9.7	Vorstreckstempel-Konturen für Negativformung .....	374
21.9.8	Vorstreckstempel für Positivwerkzeuge .....	378
21.10	Werkzeuge mit Hinterschnitt .....	379
21.10.1	Entformen von Hinterschnitten ohne Losteile .....	379
21.10.2	Losteile (Schieber) zum Entformen von Hinterschnitten ...	379
21.11	Werkzeuggestaltung für flache Formteile mit geringer Verstreckung	380
21.12	Werkzeuge für das Formen von durchsichtigen Teilen .....	381
21.13	Werkzeuge für Twinsheetformung .....	383
21.14	Werkzeuge für Filmscharniere und Schnappverschlüsse .....	389
21.15	Form-Stanzwerkzeuge mit Messerschnittschnitt in Rollenautomaten	395
21.16	Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt in Rollenautomaten .....	398
21.17	Präventive Instandhaltung von Formwerkzeugen .....	411
<b>22</b>	<b>Temperieren von Thermoformwerkzeugen .....</b>	<b>415</b>
22.1	Allgemeines .....	415
22.1.1	Begriffe beim Temperieren .....	415
22.1.2	Einflüsse der Werkzeugtemperatur .....	416
22.1.3	Wann kann die Werkzeugtemperierung entfallen? .....	416
22.2	Temperiermedien .....	417
22.3	Werkstoffe für temperierbare Thermoformwerkzeuge .....	418
22.4	Varianten der Kühlkreisläufe .....	418
22.4.1	Beispiele für Kreisläufe in Thermoformmaschinen .....	419
22.5	Kühlverfahren .....	421
22.6	Der Kühlbedarf eines thermogeformten Teils .....	422
22.6.1	Das Enthalpie-Diagramm .....	422
22.6.2	Enthalpie-Tabellen .....	423
22.6.3	Erforderliche Kühlleistung eines Werkzeugs .....	424
22.7	Auslegung der Temperierung eines Formwerkzeugs .....	424
22.7.1	Zu kühlende Materialmenge (Materialdurchsatz) .....	425
22.7.2	Erforderliche Kühlleistung während der Produktion .....	426
22.7.3	Kühlwasserbedarf für die Werkzeugkühlung .....	427
22.7.4	Erforderliche Kontaktfläche für das Kühlwasser .....	427

22.7.5	Gesamtlänge der Kühlkanäle .....	429
22.7.6	Wassergeschwindigkeit .....	429
22.7.7	Resultierender Druckabfall im Werkzeug .....	430
22.7.8	Druckabfall beim Anschließen des Formwerkzeugs in der Maschine .....	432
22.8	Druckabfall in der Maschinenverrohrung .....	434
22.9	Druckabfall im gesamten Temperierkreislauf .....	435
22.10	Prüfung der Förderleistung des angeschlossenen Temperier- oder Kühlgeräts .....	436
22.11	Beurteilen des Prüfergebnisses .....	437
22.12	Konstruktive Auslegungsmöglichkeiten bei der Wärmeübertragung	438
22.13	Der Einfluss der Luftkühlung auf die Werkzeugkühlung .....	438
22.14	Präventive Instandhaltung .....	439
<b>23</b>	<b>Energieverbrauch des Thermoformens .....</b>	<b>443</b>
23.1	Allgemeines .....	443
23.2	Spezifischer Energieverbrauch im Thermoformen .....	444
23.3	Der Anteil der Energiekosten an den Herstellkosten von Ziehteilen ..	447
23.4	Möglichkeiten zur Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs	450
23.4.1	Energie sparen mit elektrischen Antrieben .....	452
23.4.2	Reduzierung des Energieverbrauchs für die Druckluft- formung .....	454
23.4.3	Reduzierung des zu füllenden Volumens mit Druckluft, die Formluftreduzierung .....	455
23.4.4	Einfluss des Druckniveaus .....	456
23.4.5	Reduzierung des Energieverbrauchs beim Heizen .....	460
23.4.6	Kosten einsparen mit neuen Vakuumpumpen .....	463
23.4.7	Kurze Kühlzeiten reduzieren Energiekosten .....	463
23.4.8	Isolieren von Verrohrungen? .....	465
23.4.9	Einsatz von Freiluftkühlern anstelle von Kältemaschinen mit Kompressor .....	465
23.4.10	Zeitversetzter Heizungsstart senkt Strompreis .....	465
23.4.11	Nutzung der Energieabsenkung für längere Stillstandzeiten	466
23.4.12	Nutzung der Maschinengrundeinstellung .....	466
23.4.13	Regelmäßige Wartung .....	466
23.4.14	Die dynamische Prozessoptimierung .....	467
23.4.15	Die Energieverbrauchsanzeige .....	467
23.4.16	Energieverbrauchsmessungen in der Produktion .....	467

<b>24</b>	<b>Fehler im Thermoformen</b> .....	<b>469</b>
24.1	Gestaltungsfehler am Formteil .....	469
24.2	Fehler am Halbzeug .....	474
24.3	Auswahl der richtigen Thermoformmaschine .....	476
24.4	Fehler beim Aufstellen der Thermoformmaschine .....	477
24.5	Fehler am Thermoformwerkzeug .....	477
24.6	Fehler beim Einfahren von neuen Thermoformwerkzeugen .....	479
24.7	Fehler bei Bemusterungen .....	480
24.8	Fehler bei der Beheizung mit Infrarotstrahlern .....	480
24.9	Leitungsquerschnitte für Luft und Vakuum .....	481
24.10	Verhindern von Falten .....	482
24.11	Fehlersuche beim Thermoformen .....	483
<b>25</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>495</b>
25.1	Weiterführende Fachliteratur .....	495
<b>Index</b>	.....	<b>497</b>

# 2

# Grundlagen und Begriffe im Thermoformen

## ■ 2.1 Verfahrensablauf

Der Thermoformprozess besteht aus den Einzelschritten:

1. **Heizen** des Halbzeugs auf Umformtemperatur
2. **Vorformen** des beheizten Halbzeugs durch Vorstrecken
3. **Ausformen** des Formteils
4. **Kühlen** des Formteils
5. **Entformen** des Formteils

### **Heizen**

Siehe Kapitel 4 »Heizen von thermoplastischen Halbzeugen«.

### **Vorformen**

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten für das Vorformen, z. B.:

- Vorstrecken durch Vorblasen, d. h. Bilden einer Blase mit Druckluft
- Vorstrecken durch Vorsaugen, d. h. Bilden einer Blase mit Vakuum
- Mechanisches Vorstrecken mithilfe eines Vorstreckstempels, auch Oberstempel oder Vorstrecker genannt
- Mechanisches Vorstrecken mit Hilfe der Form selbst
- Kombination der oben aufgezählten Vorstreckmöglichkeiten

### **Ausformen**

Beispiele für das Ausformen:

- Ausformen mit Vakuum (Vakuumformmaschinen)
- Ausformen mit Druckluft (Druckluftformmaschinen oder Vakuumformmaschinen mit verriegelten Formwerkzeugen)

- Ausformen mit Druckluft und Vakuum (Druckluftformmaschinen mit zusätzlichem Vakuumanschluss oder Vakuumformmaschinen mit verriegelten Formwerkzeugen)
- Ausformen durch Prägen. Das Prägen erlaubt das beidseitige Abformen von Werkzeugkonturen. Einsatz für geschäumte Halbzeuge, seltener für das Prägen und Kalibrieren von Rändern.

### Kühlen

Kühlmöglichkeiten des geformten Teiles, je nach Maschinentyp:

- Kühlung durch Kontakt mit dem Formwerkzeug (meist einseitig)
- Kühlung mittels Luft in verschiedenen Varianten:
  - Luft wird von der Umgebung angesaugt (Normalfall)
  - Kühle Luft wird kundenseitig den Gebläsen zugeführt
  - In den Luftstrom wird Wassersprühnebel eingeblasen; das Verdampfen des Sprühnebels im Luftstrom kühlt die Luft ab. Bei Luftgeschwindigkeiten von ca. 10 m/s und einer Entfernung des Gebläses vom Formteil von ca. 1,5 m kühlt die Luft um ca. 10 °C ab.  
(Hinweis: Bei zu hohen Luftgeschwindigkeiten werden die Formteile nass, weil die Zeit für das Verdampfen des Wassersprühnebels nicht ausreicht.)
- Freies Abkühlen an der Luft, wenn ohne Formwerkzeug geformt wird.

### Entformen

Wenn der thermoplastische Kunststoff bis unterhalb seiner Erweichungstemperatur erkaltet ist, d. h. steif genug ist, wird entformt.

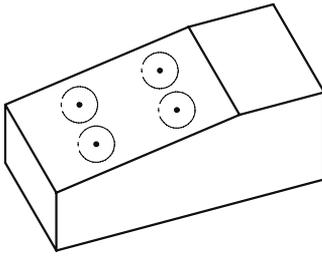
## ■ 2.2 Positiv- und Negativformung

*Positivformung* (Bild 2.1, a):

- Abformung der Außenkontur der Form (vereinfachte Definition)
- Die Rückstellkräfte im Halbzeug und die Ausformkräfte wirken in die gleiche Richtung.

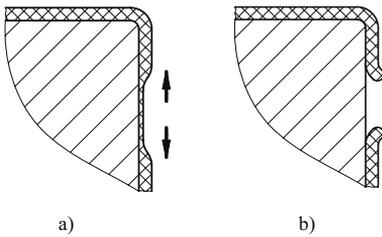
*Negativformung* (Bild 2.1, b):

- Abformung der Innenkontur der Form (vereinfachte Definition)
- Die Rückstellkräfte im Halbzeug und die Ausformkräfte wirken gegeneinander.



Kreisförmige Markierungen rings um Abluftbohrungen, sichtbar insbesondere an glasklaren Formteilen.

**Bild 2.21** Markierungen rings um Abluftbohrungen an einem transparenten Formteil, schematisch



**Bild 2.22**

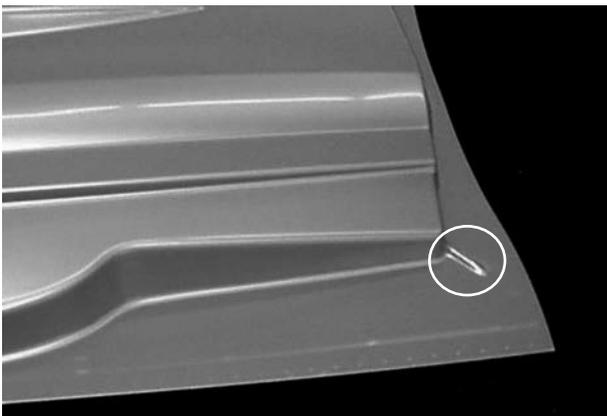
Abriss und Aufriss

a) Abriss an einem Positivformteil

b) Aufriss an einem Positivformteil

## ■ 2.7 Faltenbildung beim Thermoformen

Unter Faltenbildung versteht man das ungewollte Zusammenlegen von Grenzflächen innerhalb eines beheizten Halbzeuges während des Formvorgangs. Faltenbildung kann sowohl in negativ als auch auf positiv geformten Teilen erfolgen. Beispiele für Falten, siehe Bild 2.23.

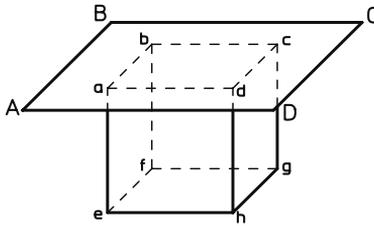


**Bild 2.23**

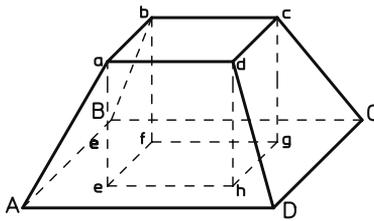
Falte an Ecke eines positiv geformten Teiles

### 2.7.1 Ablauf der Faltenbildung bei Positivformung

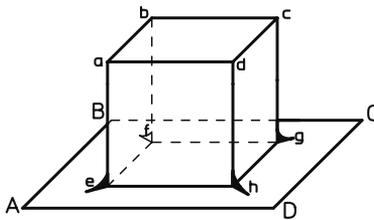
Der Ablauf der Faltenbildung kann Bild 2.24 entnommen werden.



ABCD = beheiztes Halbzeug (Formfläche)  
abcd = obere Kontaktfläche der Form mit dem Halbzeug



Vorformen als Vorstreckvorgang mit der Form beendet, Ausformen noch nicht begonnen



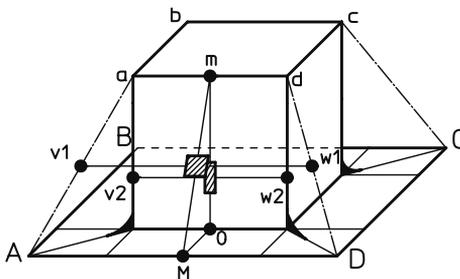
Fertig geformtes Formteil mit Falten an den unteren Ecken

**Bild 2.24** Ablauf Faltenbildung bei Positivformung

#### Erklärung der Faltenbildung bei Positivformung

Das Bild 2.25 zeigt eine Skizze zur Erklärung der Faltenbildung.

1. Bevor das Ausformen mit Vakuum oder Druckluft einsetzt, ist das heiße Halbzeug zwischen der oberen Ebene abcd der Positivform zum Einspannrand ABCD wie ein Zelt gespannt.



**Bild 2.25**

Schematische Erklärung der Faltenbildung an Positivform

Metallisierte Folien lassen sich von der metallisierten Seite schlecht mit Infrarotstrahlern beheizen, weil Aluminium die Infrarotstrahlung sehr gut reflektiert. Metallisierte Folien lassen sich meist einwandfrei thermoformen.

### Galvanisieren

Galvanisierte Platten mit einer kompakten Galvanoschicht, so genannte Spiegelplatten, lassen sich – bedingt durch die kompakte Aluminiumschicht beim Thermoformen nur begrenzt verstrecken. Sowohl metallisierte als auch galvanisierte Halbzeuge reflektieren bei Strahlerheizungen auf der beschichteten Seite die Wärmestrahlung und können deshalb nur von der nicht metallisierten Seite mit Erfolg beheizt werden. Sollen Formteile nach der Thermoformung galvanisiert werden, muss spezielles galvanisierbares Halbzeug verwendet werden.

## ■ 3.16 Tabelle für den Thermoformer

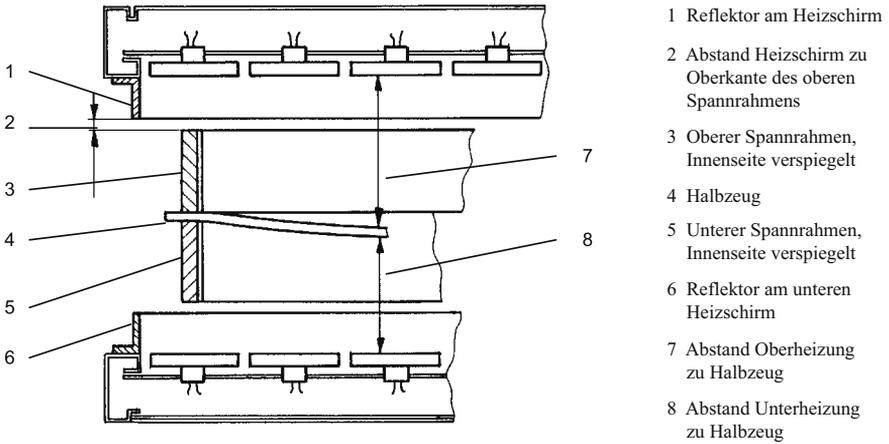
Die Tabelle beinhaltet alle wichtigen Daten für einen Thermoformer (Tabelle 3.2), bezogen auf die gebräuchlichsten Halbzeuge.

**Tabelle 3.2** Tabelle für den Thermoformer (unverbindliche Angaben)

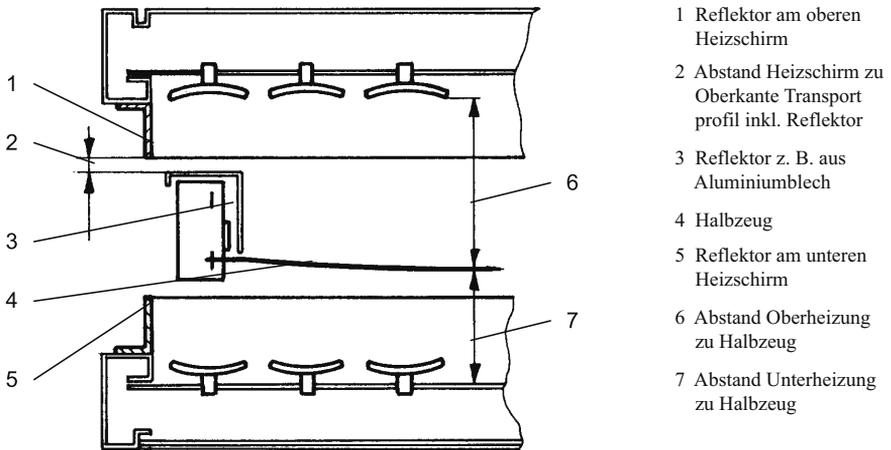
Thermoplast	Kurzzeichen	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Optische Transparenz	Lineare Wärmeausdehnung	Spezifische Wärme	Dauergebrauchstemperatur	
								min.	max.
	–	g/cm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	+ ja – nein	10 <sup>-6</sup> °C	kJ/ kg · K	°C	°C
<b>Polystyrol, Standard</b>	PS-GP	1,05	55	3350	+	75	1,3	- 10	70
<b>Polystyrol, schlagfest</b>	PS-HI	1,05	32	2150	- (+)	70	1,3	- 40	70
<b>Styrol-Butadien-Styrol</b>	SBS	1,03	31	1800	+	90	1,3	- 20	70
<b>Polystyrol, orientiert</b>	OPS	1,05	57	3200	+	70	1,3	- 60	79
<b>Acrylnitril-Butadien-Styrol</b>	ABS	1,05	50	2500	+	90	1,3	- 45	85
<b>Acryl-Styrol-Acrylester</b>	ASA	1,07	36	2050	-	95	1,3	- 40	75
<b>Styrol-Acrylnitril</b>	SAN	1,08	73	370	+	80	1,3	- 20	80
<b>Polyvinylchlorid, hart</b>	PVC-U	1,39	58	2900	+	75	0,9	- 5 (- 25)	65
<b>Cycloolefin-Copolymer</b>	COC	1,02	66	3200	+	65			170
<b>Polyethylen, hoher Dichte</b>	PE-HD	0,95	28	1100	-	200	2,1– 2,7	- 50	95
<b>Polypropylen</b>	PP	0,91	30	1200	- (+)	150	2,0	0 (- 30)	110

**Tabelle 3.2** Tabelle für den Thermoformer (unverbindliche Angaben) (Fortsetzung)

Thermoplast	Kurzzeichen	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Optische Transparenz	Lineare Wärmeausdehnung	Spezifische Wärme	Dauergebrauchstemperatur	
								min.	max.
	–	g/cm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	+ ja – nein	10 <sup>-6</sup> °C	kJ/ kg·K	°C	°C
Polymethylmethacrylat, extr.	PMMA, ext	1,18	80	3300	+	70	1,47	-40	70
Polymethylmethacrylat, geg.	PMMA, geg	1,18	80	3300	+	70	1,47	-40	80
Polyoxymethylen, Polyacetal	POM	1,41	66	3000	+	100	1,5	-40	100
Polycarbonat	PC	1,2	61	2300	+	65	1,17	-100	130
Polyestercarbonat	PAR	1,2	66	2300	+	72	1,1	-40	145
Polyphenylenether (-Oxid)	PPE (PPO)	1,08	55	2450	-	70	1,4	-30	80
Polyamid 6, 15 % GF-verstärkt	PA 6 GF15Z	1,22	114	5900	-	61	1,5		140
Polyamid 12	PA 12	1,02	60	1600	-	150	1,6	-70	80
Polyethylenterephthalat, amorph	PET-G	1,27	49	1720	+	51	1,1		63
Polyethylenterephthalat, amorph	A-PET	1,34	30	2200	+	80	1,05	-40	70
Polyethylenterephthalat, kristall.	C-PET	1,37	47	2600	-	70	1,1	-20	220
Polysulfon	PSU	1,24	80	2650	+	56	1,3	-70	150
Polyethersulfon	PES	1,37	80	3000	+	55	1,1		180
Polyphenylsulfid	PPS	1,62	125	12000	-	29			240
Acrylnitril-Methacryl-Butadien	A/MA/B	1,15	56	3450	+	66	2,0	-200	70
Celluloseacetat	CA	1,28	37	1800	+	110	1,6	-40	80
Cellulosediacetat	CdA	1,27	40	1000	+			-20	60
Celluloseacetobutyrat	CAB	1,18	26	1600	+	120	1,6	-40	60
Polyvinylidenfluorid	PVDF	1,78	43	1500	-	120	0,96	-40	120
Polyetherimid	PEI	1,27	105	2800	-	56			170
PET-Elastomer	TPE-E	1,17	28	55	-			-50	105
Thermoplastische Stärke (Blends)	TPS-Blends	1,1-1,39							70-80
Polylactidacid Polymilchsäure	PLA	1,21-1,43	10-60	3500	+		1,3	-20	60-70
Lignin	Lignin	1,3-1,4	25-61	1500-6670	+				85-120



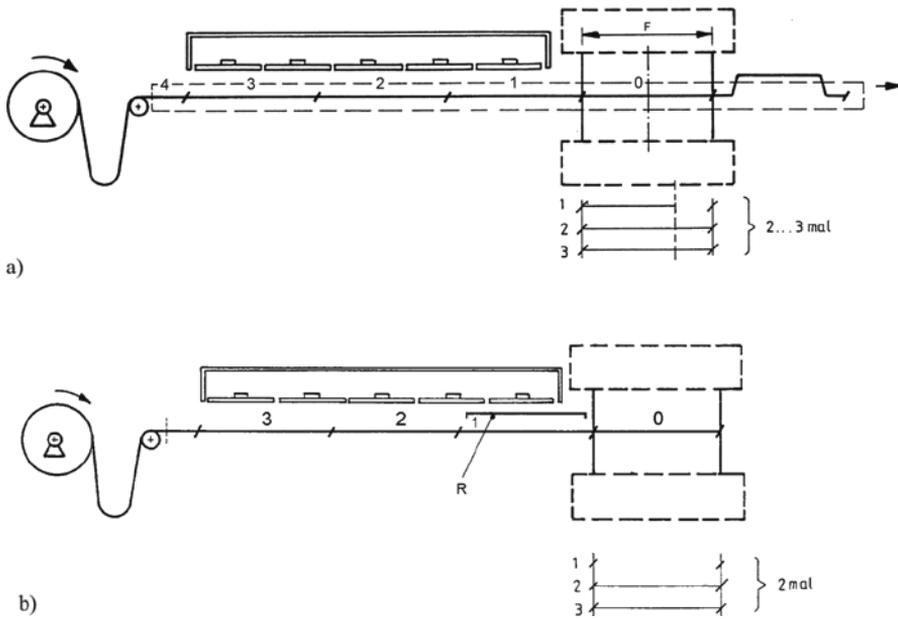
**Bild 4.12** Reflexionsflächen bei Plattenmaschinen (prinzipielle Darstellung)



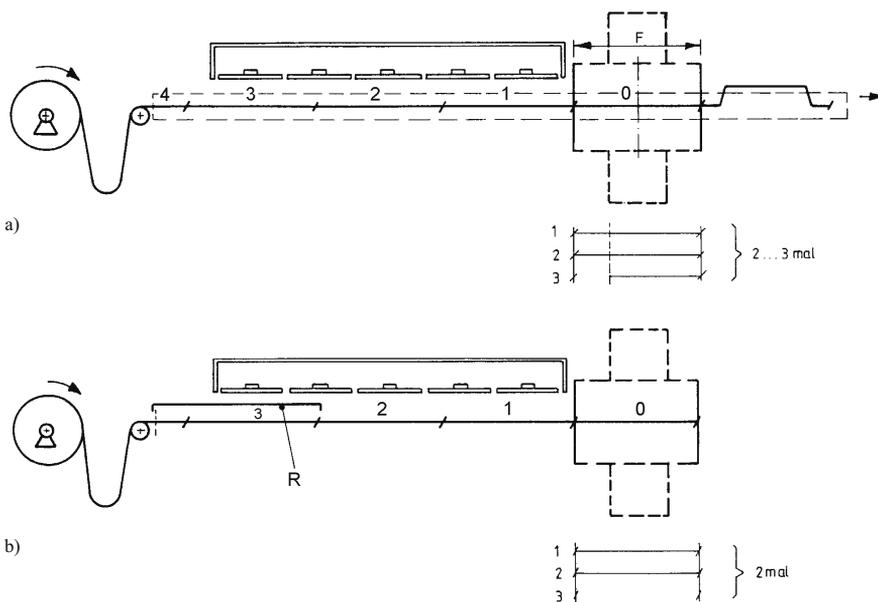
**Bild 4.13** Reflexionsflächen bei Rollenautomaten (prinzipielle Darstellung)

### Auswirkung der Transportschritte unter einer langen Heizung

Jeder Punkt an der Oberfläche des Halbzeuges muss in der Formstation die gleiche Temperatur aufweisen. Dazu muss beachtet werden, dass jeder Punkt in Vorschubrichtung gleich oft beheizt wird. Ist dies nicht der Fall, besteht die Möglichkeit, die Strahlung abzublenden oder Strahlerquerreihen abzuschalten (Bild 4.14 und Bild 4.15).



**Bild 4.14** Prüfung des Heizens über eine ganze Zahl von Vorschüben (2- oder 3-mal)  
 Fall: Tischbreiten der Maschine breiter als das Formwerkzeug  
 0, 1, 2, 3, 4 Schritte (Rückwärtszählung) beim Transportieren  
 F: Formfläche (Vorschub)



**Bild 4.15** Prüfung des Heizens über eine ganze Zahl von Vorschüben (2-, oder 3-mal)  
 Fall: Tischbreiten der Maschine schmaler als das Formwerkzeug  
 0, 1, 2, 3, 4 Schritte (Rückwärtszählung) beim Transportieren  
 F: Formfläche (Vorschub)

# 8

## Thermoformverfahren auf Plattenmaschinen

Der Ablauf beim Thermoformen kann in zwei Schritte unterteilt werden, das Vorformen oder Vorstrecken und das Ausformen. Weil in vielen Fällen die alleine durch das Ausformen mit Vakuum oder Druckluft erreichte Wanddickenverteilung nicht zufrieden stellt, muss vorgeformt werden. Ziel des Vorformens ist es, eine Kontur zu erreichen, die der Kontur des Fertigteils möglichst nahe kommt. Die Ausformschärfe wird beim Ausformen erzeugt. Das Vorformen ist in den meisten Fällen wichtiger für die Wanddickenverteilung als das Ausformen.

Das Vorformen ist immer ein Vorstrecken und kann auf unterschiedliche Art erfolgen:

- mechanisches Vorstrecken mit dem Formwerkzeug selbst
- mechanisches Vorstrecken mit einem Hilfsstempel
- pneumatisches Vorstrecken durch Vorblasen oder Vorsaugen
- Kombination von mechanischem und pneumatischem Vorstrecken

Das Ausformen erfolgt, je nach Ausrüstung der Maschine und Aufbau des Formwerkzeugs, mit:

- Vakuum (Vakuumformung)
- Druckluft (Druckluftformung)
- Vakuum und Druckluft
- beidseitigem Vakuum (z. B. für Schäume)
- zusätzlichem Prägen, Quetschen, Kalibrieren, meist nur von begrenzten Teilflächen

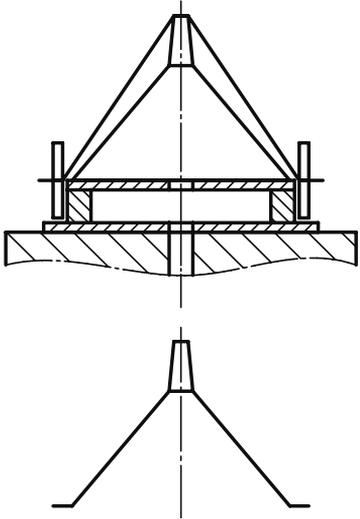
Mechanische Hilfen wie Schieber, Stempel, dienen meist der Verhinderung von Falten während des Ausformens. In einigen Fällen erfolgt das Formen nur durch mechanisches Strecken, ohne mit Vakuum oder Druckluft auszuformen. Dadurch entstehen so genannte Freiformflächen.

Die weiter unten aufgeführten Formungsverfahren werden alle in folgender Kombination erklärt:

- Skizze des Formungsverfahrens
- die wichtigsten Schritte des Ablaufs
- wichtige Hinweise/zu beachten
- möglicher Eingriff durch den Maschinenbediener und der dadurch erfolgte Einfluss auf das Ziehteil
- erforderliche Maschinenausstattung

## ■ 8.1 Positivformung

### 8.1.1 Positivformung mit mechanischem Vorstrecken



Vorformen:

- Vorstrecken mit der Form
- Mit oder ohne Vorblasen

Ausformen:

- Mit Formtisch oben Vakuum ein

**Bild 8.1** Ablauf – ohne Vorblasen, ohne Obertisch

#### Zu beachten

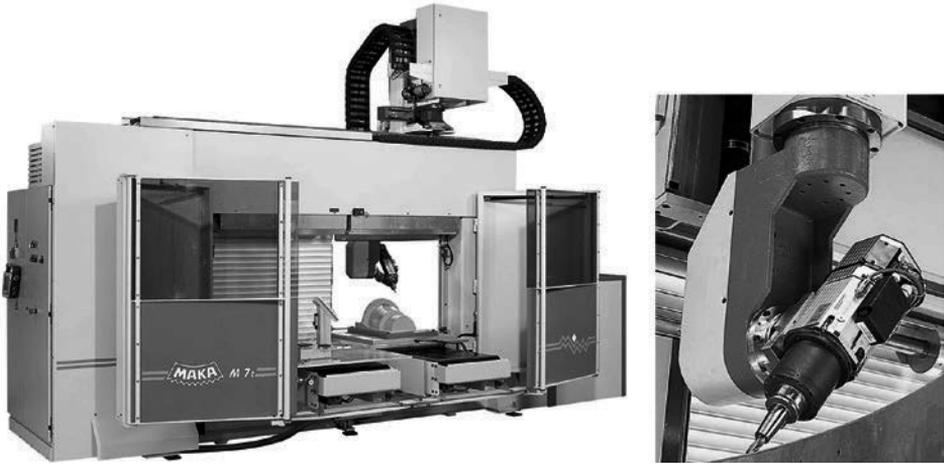
- Wanddickenverteilung im Bereich der Spitze

**Tabelle 8.1** Positivformung

Eingriff durch den Bediener	Einfluss auf das Ziehteil
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blasenhöhe = 0...gering</li> <li>▪ Blasenhöhe entspricht 2/3 der Formhöhe</li> <li>▪ Blasenhöhe entspricht Formhöhe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spitze dick</li> <li>▪ OK</li> <li>▪ Risiko der Faltenbildung auf der Oberfläche</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kaltes Formwerkzeug</li> <li>▪ Heißes Formwerkzeug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spitze dicker</li> <li>▪ Spitze dünner</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kleine Tischgeschwindigkeit</li> <li>▪ Große Tischgeschwindigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spitze dicker</li> <li>▪ Spitze dünner</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kalte Form und kleine Tischgeschwindigkeit, ohne Vorblasen</li> <li>▪ Heiße Form und hohe Tischgeschwindigkeit, mit Vorblasen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dickste Spitze</li> <li>▪ Dünnsste Spitze</li> </ul>

#### Erforderliche Maschinenausstattung

Dieses Formungsverfahren kann auf allen Thermoformmaschinen mit Grundausstattung durchgeführt werden.



**Bild 17.3** Links: 5-Achsen-Fräsmaschine (Bild Fa. MAKA). Rechts: Frässpindel

## ■ 17.2 Entgraten

Nach dem Stanzen mit Bandstahlschnitt, Durchfallschnitt, Scherschnitt und Schneiden mit dem Laser ist kein Entgraten erforderlich. Entgratet wird, wenn der Schnitt unsauber ist:

- nach dem Sägen mit der Trennsäge
- in einige Fällen nach dem Fräsen
- in vielen Fällen nach dem Wasserstrahlschneiden

Die Entgratung erfolgt entweder von Hand mit einem Entgratungsmesser bzw. mit elektrischen Entgratungsbürsten oder vollautomatisch (z. B. auf mehrachsigen Maschinen).

## ■ 17.3 Verbinden

### Schweißen

Für thermoplastische Kunststoffe stehen verschiedene Schweißverfahren zur Verfügung:

- Rotationsschweißen
- Ultraschallschweißen

- Vibrationsschweißen (Winkelschweißen)
- Heizelementschweißen (Spiegelschweißen)
- Warmgasschweißen
- Hochfrequenz-Schweißen
- Induktionsschweißen

Für thermogeformte Formteile werden folgende Schweißtechniken eingesetzt:

- Ultraschalltechnik
- Vibrationstechnik
- HF-Technik (Hoch-Frequenz)
- Heizelementschweißen

Nicht alle Kunststoffe eignen sich für das Ultraschall- und das HF-Schweißen.

### **Kleben**

Für das Kleben stehen geeignete, handelsübliche Klebstoffe zur Verfügung. Die zu verklebenden Oberflächen müssen sauber und fettfrei sein und sollten aufgeraut werden. Kunststoffe mit »antiadhäsiven« Oberflächen, wie z. B. PE, PP, POM, benötigen aufwendige Oberflächenvorbehandlungen (Abflammen, elektrische Oberflächenentladungen oder chemische Vorbehandlungen). Hinweise für die Auswahl von Klebstoffen, siehe Kapitel 3 »Thermoplastische Halbzeuge«, bei den dort besprochenen Kunststoffen. Bei Bedarf sollte ein Kleberhersteller zurate gezogen werden.

### **Nieten, Schrauben**

Da die Festigkeit von Kunststoffen nicht so hoch ist wie die von Metallen, sollte man entsprechend höhere Durchmesser bzw. Druckflächen, ähnlich wie bei Holz, benutzen.

Es gibt spezielle Kunststoffschrauben für das Verschrauben von Kunststoffen.

### **Versteifen**

Die Steifigkeit eines Formteils ist abhängig:

- vom verwendeten Kunststoff (E-Modul)
- von der erzielten Wanddicke beim Thermoformen
- von der Gestalt des Formteils (Länge, Breite, Höhe, Radien, Rippen usw.)
- von der Gebrauchstemperatur

Die Versteifung ist sinnvoll, wenn:

- a) die durch das Thermoformen erzielte Steifigkeit nicht ausreicht,
- b) eine nachträgliche Versteifung kostengünstiger ist als das Einsetzen von dickerem oder teurerem Ausgangsmaterial,

## ■ 18.4 Einflussfaktoren auf das Stanzen

### Einflüsse des zu stanzenden Kunststoff

Merkmal	Einfluss auf ...
<b>Kunststofftype</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spezifische Stanzkraft, siehe Abschnitt 18.7 »Stanzkräfte«</li> <li>▪ Lebensdauer des Schnittwerkzeugs</li> <li>▪ Abrasive Füllstoffe in der Folie und abrasive Druckfarben auf der Folie reduzieren die Standzeit</li> <li>▪ Engelshaarbildung</li> </ul>

### Einflüsse des zu stanzenden Formteils und der Auslegung der Formfläche

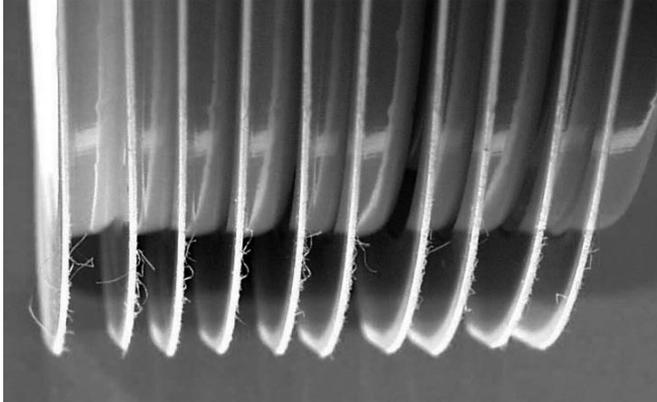
Merkmal	Einfluss auf ...
<b>Materialdicke an der Stanzstelle</b>	Stanzkraft
<b>Gesamt-Schnittlänge</b>	Stanzkraft Zusätzlich muss berücksichtigt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzahl und Größe der Radien pro m: kleine Radien erhöhen die Verdrängungskräfte und somit auch die erforderliche Stanzkraft.</li> <li>▪ Anteil der Schnittlänge mit engen parallelen Schnittlinien (unter 12 mm) von der Gesamtschnittlänge erhöht die Stanzkraft</li> </ul>
<b>Stanzrandtoleranz</b>	Wahl des Stanzverfahrens
<b>Schnittqualität (Haptik)</b>	Wahl des Stanzverfahrens

### Einflüsse der Maschine/Stanzstation

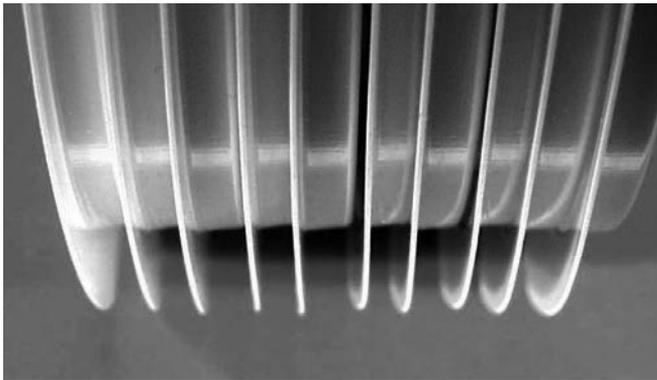
Merkmal	Einfluss auf ...
<b>Stanzkraft</b>	Stanzlänge / Auslegung der Formfläche / Ausstoß der Maschine
<b>Stanzfläche</b>	Stanzlänge / Auslegung der Formfläche / Ausstoß der Maschine
<b>Steifigkeit der Stanzstation</b>	Bei Messerschnitt in separater Stanzstation: Einfluss auf die Standzeit der Schnittlinie
<b>Stanzgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit)</b>	Wirkung der beheizten Stanzlinie, wenn die Schneide langsamer schneidet
<b>Verstelleinrichtung für Messerschnitt (Position der Quer und Winkellage des Schnittwerkzeugs zur Durchlaufrichtung)</b>	Stanzrandgenauigkeit Anpassmöglichkeit auf Verzug (Deformation) des geformten Folienbands

## ■ 18.5 Engelshaarbildung

Bild 18.22 zeigt gestanzte Ränder mit und ohne Stanzfäden (Engelshaar).



Stanzfäden am Rand = „Engelshaar“



Rand ohne Stanzfäden

**Bild 18.22** Stanzrand einer Schale aus PS-HI, Randdicke 0,6 mm

### 22.7.2 Erforderliche Kühlleistung während der Produktion

$$Q = m \times \Delta H \times k \times S \quad (22.3)$$

$Q$  = Kühlleistung, in kJ/h

$m$  = Materialdurchsatz pro Stunde, in kg/h

$\Delta H$  = Enthalpie-Differenz während der Kühlzeit, in kJ/kg  
Siehe Grafik in Bild 22.3 oder die Werte in tabellarischer Form

$k$  = Faktor für anteilige Kühlung durch Kontakt mit dem Formwerkzeug (ohne die Luftkühlung)

- für Maschinen ohne Luftkühlung (RDM, RDKP usw.)  $k = 1$
- für Maschinen mit Luftkühlung (UA)  $k = 0,5 \dots 0,7$

$S$  = Faktor für Berücksichtigung der Verlustwärme

- für Werkzeugtemperatur 15...50 °C,  $S = 0,1 \dots 0,95$
- für Werkzeugtemperatur 50...100 °C,  $S = 0,95 \dots 0,85$
- für Werkzeugtemperatur 100...140 °C,  $S = 0,85 \dots 0,75$

Bei sehr heißen Werkzeugen verliert das Werkzeug ein Teil seiner Wärme an die Umgebung. Dementsprechend muss dem Werkzeug weniger Kühlleistung durch das Kühlwasser zugeführt werden.

#### Beispiel (Fortführung):

$m$  = 279,14 kg/h

$\Delta H$  = 198 kJ/kg

$k$  = 0,6

$S$  = 0,9

$$\begin{aligned} Q &= m \times \Delta H \times k \times S \\ &= 29.845 \text{ kJ/h} = 8,3 \text{ kW} \end{aligned} \quad (22.4)$$

Mit der errechneten Kühlleistung kann nun die zur Verfügung stehende Kühlleistung eines vorhandenen Kühlgeräts überprüft werden. Wird die Wärme des Formwerkzeugs nicht direkt mit dem Kühlwasser abgeleitet, sondern geschieht dies über einen Wärmetauscher eines Temperiergeräts, kann mit diesem Wert auch der Wärmetauscher geprüft werden. Für Temperiergeräte mit Wärmetauscher wird dies unter »Kühlleistung« angegeben. Falls die gesamte Wärme über zwei oder mehr Temperiergeräte abgeführt wird, muss dies berücksichtigt werden.

### 22.7.3 Kühlwasserbedarf für die Werkzeugkühlung

Der Kühlwasserbedarf kann mit der Formel berechnet werden:

$$V = \frac{1}{60 \times \Delta T_M} \times \frac{Q}{c_M \times \rho_M} \quad (22.5)$$

Für Wasser gilt:

$$V = \frac{1}{250,8} \times \frac{Q}{\Delta T_M} \quad (22.6)$$

$V$  = Kühlwasser-Gesamt-Volumenstrom, in Liter/min

$Q$  = Kühlleistung, in kJ/h

$\Delta T_M$  = Differenz Ein- zu Auslauftemperatur des Kühlmediums (Wasser), in °C

■ für Form-Stanz-Werkzeuge (RDM)  $\Delta T_M = 1$  bis  $2^\circ\text{C}$

■ für sonstige Formwerkzeuge (UA, RV, RDKP usw.)  $\Delta T_M = 3$  bis  $10^\circ\text{C}$

$c_M$  = spezifische Wärme des Wärmeträgers, in kJ/kg K

■ für Wasser,  $c_M = 4,18$  kJ/kg K

$\rho_M$  = Dichte des Kühlmediums in g/cm<sup>3</sup>

■ für Wasser,  $\rho_M = 1$  g/cm<sup>3</sup>

#### Beispiel (Fortführung):

$Q = 29.845$  kJ/h

$\Delta T_M = 7,5^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{250,8} \times \frac{Q}{\Delta T_M} \\ &= 15,9 \text{ Liter/min} \end{aligned} \quad (22.7)$$

### 22.7.4 Erforderliche Kontaktfläche für das Kühlwasser

Die Kontaktfläche des Kühlwassers kann mit der folgenden Formel berechnet werden. Die Berechnungen gelten nur für saubere Kühlkanäle ohne Ablagerungen.

$$A = \frac{Q}{3600 \times \alpha} \times \frac{1}{\Delta T_{MF}} \quad (22.8)$$





# Index

## Symbole

3K-Verfahren 192  
6-Stellungsschaltung 166

## A

Abändern der Kontur eines Vorstreckstempels 376  
abbaubare Kunststoffe 112  
Abdeckschulter 402  
Abfallbereich 472  
Ablaufdiagramm 220, 223  
Abluftführung 369  
Abluftkanal 369  
Abluftkanalsystem 369  
Abluftquerschnitte 368  
Abriss und Aufriss 23  
ABS 77  
Abschreckmarken 262  
Absorption der IR-Strahlung 130  
Abstände für Negativ-Formsegment 350  
Abstände für Positiv-Formsegmente 348  
Abstände zum Spannrahmen 349  
Abstand zwischen Heizstrahler 134  
AB-Stapelung 275  
AIOx 122  
Aluminium-Keramik-Feinguss 345  
Aluminium mit Harz-Frontgussbeschichtung 345  
Aluminiumwerkzeuge 344  
amorph 37  
anisotroper Schwindung 337

Anschnittstelle 402  
arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  364  
ASA 78  
Aufhängeloch für Verpackungen 316  
Aufheizen 40  
Aufteilung des Energieverbrauchs 448  
Ausdehnung 41  
Ausformdruck 11  
Ausformen 5  
Ausformschärfe 46, 59  
ausgeschalteter Strahler 136  
Auskleiden 225  
Auspiegeln 138  
Auspiegeln der Spannrahmen 461  
Auswahl des richtigen Formungsverfahrens 210

## B

banderoliert 328  
Bandstahlschnitt 395  
Bandstahlschnitlinien 286  
Barriere 119  
Barriereeigenschaften 120 f.  
Bartbildung 310  
Bearbeitungszugaben 472  
Becherränder 401  
Becherrandformen 401  
Beeinflussung der Wanddickenverteilung 211  
beflockt 324, 331  
Beheizen von mehrfarbigen Halbzeugen 175

beheizte Holzwerkzeuge 245  
 Bemusterungen 480  
 Bestimmung der Halbzeuggröße 353  
 Biokunststoffe 111  
 Bio-PE 119  
 Bio-PET 118  
 Bio-PP 119  
 Bläschen 39, 236  
 Blasnadeln 387  
 Blisterkonturen 472  
 Blockverhalten 107  
 Bohrungen 368

## C

CA 118  
 Cockpit-Verglasungen 246  
 CPET 102f.

## D

Dauergebrauchstemperatur 57  
 Deckelwerkzeug 397  
 Deformation 263, 333  
 Dekoration 320  
 Depolymerisation 157  
 Dichtstellen der Unterbauten 362  
 Dickentoleranzen 64f.  
 Digitaldruck 330  
 Doppelschnitt 306  
 Dreidimensionale Schnitte 279  
 Druckausgleich 12, 265  
 Druckbildvarianten 247  
 Druckfarbe 247  
 Druckknöpfe 394  
 Druckknopf-Negativteil 21  
 Druckknopf-Positivteil 21  
 Druckverstärker 407  
 Durchfallschnitt 398  
 Durchhang 41, 56  
 durchsichtig 233, 381  
 dynamische Prozessoptimierung 467

## E

Eckenblasdüsen 187  
 Eckfalten 378  
 effektive Heizzeit 155  
 Einfahren 479  
 Einflussmöglichkeit auf die Wanddicken-  
 verteilung 214  
 Einsatz der IR-Messeinrichtung 169  
 Einsatztechnik 399  
 Einzugsbereich 472  
 elektrische Leitfähigkeit 413  
 Emissionsfaktor der Oberfläche eines  
 Strahlers 136  
 Emissionsgrad 131  
 Empfehlungen für Rauheiten 366  
 empfohlene Abluftbohrungen 370  
 Endlofaser 125  
 Energiekosten 447  
 Energierückspeisung 453  
 Energieverbrauch 443  
 Energieverbrauchsanzeige 467  
 Energieverbrauchsmessung 457, 467  
 Engelshaar 302  
 Entformen von Hinterschnitten 266  
 Entformschrägen 33  
 Entformtemperatur 255, 265  
 Entformungsbewegung 267  
 Entformvorgang 265  
 Entgraten 280  
 Entlüftungsquerschnitte 34  
 EPE 110  
 EPET 102  
 EPP 110  
 erforderlicher Querschnitt 370  
 Erhöhung des Formsegments 381  
 erreichbare Umformverhältnisse 470  
 Etikettieren 227  
 EVOH 86, 122  
 Extrudieren 65  
 Extrusionsrichtung 55

**F**

Faltenbildung 23, 59  
 – auf Oberflächen 28  
 – bei Negativformung 27  
 – bei Positivformung 24  
 faserverstärkt 124  
 Faustregeln für das Entformen 267  
 Fehler am Halbzeug 474  
 Fehler am Thermoformwerkzeug 477  
 Fehlersuche 483  
 Festigkeit 60  
 Feuchtigkeit 38  
 Feuchtigkeitsbläschen 38  
 Filmscharnier 389  
 Filz 373  
 Flächenfalten 28  
 Folienextrusion 86  
 Formatdruck 247  
 Formeinsatz 403  
 Formen von durchsichtigen Teilen 233  
 Formfläche 29  
 Formluftreduzierung 221, 411, 455  
 Form-Stanzwerkzeug mit Messerschnitt 289  
 Form-Stanzwerkzeug mit Scherschnitt 296  
 Form und Gegenform 232, 240  
 freier Schrumpf 53  
 freies Blasen 240  
 freies Saugen 240  
 Freiluftkühler 465

**G**

galvanisiert 331  
 ganze Zahl von Vorschüben 141  
 gefüllt 84  
 gemittelte Rautiefe Rz 365  
 genarbt 324  
 geprägt 326  
 Gesamtfeld-Regelung 173  
 Gesamthärte 413  
 Gesamtschwindung 47  
 Gestaltungsfehler 469  
 Gewebe 125

Gießen von Halbzeugen 66  
 Glanzschicht 120  
 gleichmäßig beheizt 137f.  
 Grobbeschnitt 279  
 Grundeinstellung 466

**H**

Haftvermittler 122  
 Harz 373  
 Harz-Frontgussbeschichtung 344f.  
 Harzwerkzeuge 343  
 Heizungsarten 129  
 Heizungstechniken 129  
 Hellstrahler 144  
 Hinterfütterung 344  
 Hinterschnitt 379  
 Hochhalter 31  
 Höhenübergänge 473  
 Hohlboden 231  
 Hohlräume 372  
 Holzwerkzeuge 343, 364  
 Horizontal-Trennsäge 277  
 Hubschrauberverglasungen 245  
 hygroskopisch 38

**I**

ILLIG-RDKP-Maschine 360  
 ILLIG-RV-Maschine 358f.  
 ILLIG-SB-Maschine 357f.  
 ILLIG-UA-Maschine 359  
 IML 227  
 IML-T 327  
 Infrarotsensor 169  
 Infrarotstrahlung 129  
 Inline-Thermoformen 94  
 interne Spannungen 58  
 IR-Messgerät bei leistungsgestellten Heizungen 169  
 Isothermen 160  
 isothermengeregelte Heizung 160

**J**

Joystickteilung des Heizbildes 164

**K**

Kalander 66  
 kältere Formwerkzeuge 264  
 Kaschieren mit Schnapphub 203  
 Kaschiermöglichkeiten in den Rand-  
 bereichen 202  
 kaschiert 327  
 Kaschierverfahren 201  
 Keramik-Hohlstrahler 143  
 Kippbewegung 217  
 Kipp-Technik 218  
 Klappverpackungen 21  
 Klauen-Vakuumpumpe 463  
 Klebekaschieren 200  
 Kleben 281  
 Kompakttechnik 400  
 Kompensation 41  
 – beim Heizen 151  
 Konfigurierbare Gebläse 258  
 Kontaktheizplatte 153  
 Kontaktheizung 153  
 Kontur eines Vorstreckstempels 375  
 Konturenblenden 350  
 Konvektionsheizung 155  
 Korrosionsschutz 412  
 Kühlen 6, 63, 255  
 – mit Eiswasser 257  
 Kühlleistung durch Luft 259  
 Kühlvorrichtungen 255  
 Kupfer-Beryllium-Legierung 346  
 kurze Kühlzeit 464  
 Kurzfaser 124

**L**

lackiert 330  
 Längenausdehnungskoeffizient 41  
 Langfaser 125  
 Längsreihenregelung 172  
 Leistungsabgabe von Strahlern 130

Leistungsabsenkung 162  
 Leistungsstellung 151, 162  
 Leitungsquerschnitte 481  
 Lignin 117  
 Lochstempel 319  
 Lösen des Formteiles 266  
 Loseile 379  
 Luftdurchlässiges Plattenmaterial 346  
 Luftkühlung 258  
 Luftunterstützung 58  
 – beim Heizen 387  
 Luftverbrauch 459  
 Luftzug 143

**M**

Markennamen 128  
 Markierungen 23  
 Maschinenfähigkeit 127  
 Materialfaktor für Heizzeit 41  
 Materialverdrängung beim Stanzen 312  
 Mehrschicht 87, 119  
 Mehrschicht-Halbzeuge 67, 120  
 Mehrstellungsschaltung 162, 165  
 Messerschnitt 283 f., 395  
 Messerschnittwerkzeuge 287  
 metallisiert 325  
 Metallisierung 122  
 Metall-Spritzbeschichtung 344  
 Migration 123  
 Mindestheizzeit 155  
 mit Schutzfolie 235  
 modifiziert 85

**N**

Nachbearbeitung 277  
 Nachschwindung 47  
 nicht abbaubar 118  
 Nickelgalvanos 346  
 Niederhalter 30, 405  
 Niederhalterbetätigung 405  
 Niederhalter-Druckstufen 222, 406  
 Niederhalter-Steuerung 221

**O**

Oberflächenbehandlung 282  
 Oberflächenrauheit 364  
 Oberflächenstrukturen 326  
 OPS 76  
 Orientierung 55, 60, 66  
 Orientierungsrichtung 61

**P**

PA 101  
 Palette 471  
 PAN 123  
 PBS 116  
 PC 100  
 PE 80  
 Permeabilität 121  
 Permeation 120  
 PET 102f.  
 PET-A 102  
 PET-C 102  
 PET-G 102  
 PETG 103  
 PHA 114  
 pH-Wert 413  
 Pilotstrahler 143  
 PLA 113  
 PMMA 97f.  
 Polyurethanharz 373  
 POM 374  
 Positiv- und Negativformung 7, 180, 347  
 PP 82  
 Prägen 179  
 PR/SEC 445  
 Prüfung des gleichmäßigen Heizens 141  
 PS 73  
 PS HI 74  
 PSU 109  
 PTFE 374  
 PVC 80  
 PVDC 86, 122

**Q**

Quarzugutstrahler 144  
 Querreihen-Regelung 174

**R**

Ra 364  
 Radian 367  
 randlose Formteile 230  
 Raster 63  
 Rauheit 366  
 Rauheiten durch Bearbeitung 366  
 RDM-Formstation 217  
 RDM-Werkzeug 398  
 Recken 67  
 Recycling 282  
 Recyclingmaterial 120  
 Reduzierung der Schreckmarken 19  
 Reduzierung des Energieverbrauchs  
 450 ff., 460  
 Referenzkunststoff 41  
 Reflektoren 138  
 Reflexionsflächen 140  
 Regelzone 161  
 Reibverhalten 44  
 Reproduzierbarkeit von Heizergebnissen  
 147  
 Rillen 391  
 Rillkraft 392  
 Rillkraftermittlung 393  
 Rillliniengeometrie 391  
 Rippen 474  
 Rollenstanze 278  
 Rückschrumpf 57  
 Rz 364

**S**

Sammelbohrung 369  
 SAN 79  
 SBS 75  
 Schädigung 43  
 Schalenwerkzeug 396f.  
 Schaltwerk 219

Scharnierherstellung 393  
 Schaumfolie 87  
 Scherschnitt 291, 398  
 Schichtholz 373  
 Schieber 379  
 Schlagschere 317  
 Schlitzdüsen 368  
 Schlitze 368  
 Schnappverschluss 389, 393  
 Schneidengeometrien 285  
 Schnittkräfte für Messerschnitt-  
 werkzeuge 311  
 Schnittspiel 402  
 Schnittstempel 402  
 Schreckmarken 13  
 Schrumpfetikette 329  
 Schweißen 280  
 Schweißnaht 384  
 SEC-Wert 444  
 Seitenabstand im Stapel 270  
 Seitenwandschräge 270, 349, 363  
 Selbstklebeetiketten 329  
 Siebdruck 330  
 Siegelwall 405  
 SiO<sub>x</sub> 122  
 Skelettwerkzeug 241  
 Sleeve 329  
 Spannranddeformation 337  
 Spannungen 42, 57  
 – im Halbzeug 335  
 spezifischer Energieverbrauch 444  
 Stahlwerkzeuge 346  
 Stanzen 283  
 Stanzgegenlagen 285  
 Stanzhub 402  
 Stapelabstand 270  
 Stapelbarkeit 269  
 Stapelhinterschnitt 272f.  
 Stapellänge 271  
 Stapelweise 276  
 Stillstandzeiten 466  
 Stoßbereich 474  
 Strahlerabstand 134  
 Strahlergröße 136  
 Strahlervergleich 144

Strahlungsheizungen 129  
 Strahlungsleistung 131  
 Streckverhältnis in seitlichen Negativ-  
 Partien 470  
 Streudruck 247, 325  
 Strickgewebe 125  
 syntaktische Schäume 373

## T

Tabelle für den Thermoformer 68  
 Teflon 374  
 teilkristallin 37  
 Temperaturregelung 151  
 Temperaturabsenkung 162  
 Temperaturdifferenz im Halbzeug 133  
 Temperaturgefälle 40  
 Temperaturprofil über die Halbzeugdicke  
 148  
 Temperaturregelung 161  
 – von Keramikstrahlern 162  
 Temperaturstabilisierung 152  
 Thermoformen 1ff.  
 Thermoformverfahren 179  
 Tiefziehen 1  
 Toleranzen 64  
 TPO 87  
 TPS 112  
 Trimmless 336  
 Trocken-Offset 330  
 Twinsheetformung 193, 383

## U

Überfahreffekt 142  
 überlagerte Leistungsstellung 162  
 überlagerte Prozent-Stellung 167  
 Übersetzung V  
 Umformdruck 8, 10  
 Umformtemperaturbereich 43, 90  
 Umformverhältnis 32, 63  
 Ummantelung 329  
 Universalablaufdiagramm 209  
 Universalwerkzeug 354  
 Unterbau 355

unterbrochene Schweißnaht 387  
Ursachen für Deformation 339  
UV-Beständigkeit 120

## V

Verarbeitungsschwindigkeit 47, 60, 264,  
352  
Verbundhalbzeuge 119  
Verbund Karton-Kunststoff 328  
Veredlungsverfahren 67  
Verglasungen 242  
Verhindern von Falten 482  
verkreuztes Gewebe 125  
Verlagerung der Schweißebene 385  
Verpackungsscharnier 390  
Verschlussnoppen 394  
versetzte Stapelnoppen 275  
verstärkt 85  
Versteifen 281  
Verstellbarer Formenunterbau 361  
Verstreckung 63  
– des Druckbildes 349  
Verweilzeit 155 ff.  
viskoelastisch 62  
Vlies 120  
vollbedruckt 324  
vorbedruckt 325, 327  
Vorblasen 12  
Vorformen 5, 179  
Vorheizung für Rollenautomaten 462  
Vorsaugen 12  
– und Abrollen 185  
Vorstrecken 179  
Vorstreckstempel 408  
Vorstreckstempelwerkstoffe 409

## W

Wanddickenberechnung 34  
Wanddickenverteilung 58  
Wärmedehnung 89  
Wärmeübertragung 129  
Warmumformen 1  
Wasserqualität 413  
Wassertransferdruck 331  
Wechselstapelung 276  
Wellen 43  
Werkstoffe für das Formsegment 342  
Werkstoffe für Vorstreckstempel 372  
Werkzeugaufbauten 206 f.  
Werkzeugboden 407  
Werkzeugentlüftung 368  
Werkzeugsatz 28  
Werkzeugtemperatur 261  
Windabweiser 244  
Wohnwagenfenster 243

## Z

Zackenmesser 388  
Zahnketten 205  
zeitversetzter Heizungsstart 465  
zentrale Kühlluft 258  
Zentrierkante 274  
Zerrdruck 250, 326  
Zerrdruckermittlung 253  
Zuführung von zentraler Kühlluft 260  
Zweikammerverfahren 192