

HANSER



Leseprobe

zu

„10 Grundregeln zur Konstruktion von Kunststoffprodukten“

von Torsten Kies

ISBN (Buch): 978-3-446-45190-2

ISBN (E-Book): 978-3-446-45633-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45190-2>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	V
Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	V
Der Autor	VII
Prof. Dr.-Ing. Torsten Kies	VII
Zum Inhalt des Buches	XV
Die Zehn Grundregeln	XVI
1 Grundregel: Temperatureinsatzbereich	1
1.1 Phasenübergänge bei Kunststoffen	1
1.1.1 Der Übergang vom festen in den geschmolzenen Zustand	1
1.1.2 Die Volumenänderung beim Phasenübergang von der Schmelze zum festen Zustand	6
1.1.3 Phasenübergänge am starren Körper	7
1.2 Die Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte von Kunststoffen ..	9
1.2.1 Der Vergleich mit anderen Werkstoffgruppen	9
1.2.2 Die thermische Ausdehnung	9
1.2.3 Temperaturabhängiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten	13
1.3 Der Einsatztemperaturbereich	15
1.3.1 Tatsächlich wirkende Temperaturen	15
1.3.2 Temperaturabhängige Lasteinwirkung	16
1.3.3 Die Notwendigkeit von einsatznahen Funktionsuntersuchungen	18
1.4 Der Einfluss der Geometrie auf die Temperaturbeständigkeit	19
1.4.1 Aussagefähigkeit der Rohstoffkennwerte	19
1.4.2 Betrachtete Geometrie	20
1.4.3 Modifikation der Wanddicke	22
1.4.4 Belastungsdauer und Durchwärmung der Produkte	22

1.4.5	Bessere Wärmestandfestigkeit durch Faserverstärkung	23
1.4.6	Werkstoffkombination	24
1.4.7	Zusätzliche Versteifungen gegen die thermisch bedingte Biegung	25
1.4.8	Einseitige Kühlung am Erzeugnis	26
2	Grundregel: Medienangriff	29
2.1	Die Wirkung von Medien auf Kunststoffe.	29
2.1.1	Begriffserklärung: Medienangriff	29
2.1.2	Direkter und indirekter Medienangriff	30
2.1.3	Strahlungs- und stofflich-medialer Angriff	31
2.1.4	Chemischer und physikalischer Medienangriff	33
2.2	Voraussetzungen für einen Medienangriff	34
2.3	Der Schutz vor Medienangriff	35
2.4	Die Schädigungsmechanismen	36
2.4.1	Arten der Schädigungsmechanismen	36
2.4.2	Der oxidative Abbau	37
2.4.3	Schädigung durch Hydrolyse	38
2.4.4	Schädigung durch Chemikalien	42
3	Grundregel: Spannungszustand	45
3.1	Die Ursache von Spannungen	45
3.1.1	Krafteinwirkung auf eine Flüssigkeit	45
3.1.2	Krafteinwirkung auf einen Festkörper	47
3.1.3	Viskoses und elastisches Verformungsverhalten von Kunststoffen	48
3.2	Spannungen am Bauteil	50
3.3	Spannungen und Orientierungen	52
3.3.1	Die Unterscheidung zwischen Spannungen und Orientierungen	52
3.3.2	Orientierungen in Kunststoffprodukten	55
3.3.2.1	Voraussetzungen für Orientierungen	55
3.3.2.2	Orientierungen bei faserverstärkten Materialien	56
3.3.2.3	Molekülorientierungen	57
3.3.3	Eigenspannungen	58
3.4	Die Bildung von Orientierungen und Eigenspannungen	61
3.4.1	Unterschiede zwischen Spannungen und Orientierungen	61
3.5	Eigenspannungen und Orientierungen beim Spitzgießen	63
3.5.1	Orientierungen und Eigenspannungen am Spritzgussteil	63
3.5.2	Die Ausbildung von Orientierungen	63

3.5.3	Eigenspannungen beim Spritzgießen	64
3.5.3.1	Ursachen der Eigenspannungen	64
3.5.3.2	Prozessablauf beim Spritzgießen	65
3.5.3.3	Die Entformung	68
3.5.3.4	Auswirkungen einer Schwindungsbehinderung auf Eigenspannungen	70
3.5.3.5	Eigenspannungen bei Montageprozessen	71
4	Grundregel: Schadensfreie Verformung	73
4.1	Einleitung	73
4.2	Differential- und Integralbauweise	74
4.2.1	Unterscheidung der Kategorien	74
4.2.2	Die Differentialbauweise	74
4.2.3	Die Integralbauweise	75
4.2.4	Die Mischbauweise	76
4.2.5	Geeignete Bauweisen für Kunststoffprodukte	77
4.3	Das Verformungsverhalten der Werkstoffe	78
4.3.1	Begriffe zum Verformungsverhalten	78
4.3.2	Die Zugfestigkeit	79
4.3.3	Die Steifigkeit eines Materials	79
4.3.4	Die Dehnung	80
4.3.4.1	Die Kritische Dehnung	80
4.3.4.2	Die zulässige Dehnung	81
4.3.5	Bauteilspezifische Minderung	83
4.3.5.1	Einflussfaktoren	83
4.3.5.2	Vorgehensweise	84
4.3.5.3	Anzahl der Lastwechsel	84
4.3.5.4	Füll- und Verstärkungsstoffe	85
4.3.5.5	Starke Materialbelastung bei der Fertigung	86
4.3.5.6	Mehrachsige Spannungszustände	87
4.3.5.7	Beanspruchungsgeschwindigkeit	87
4.3.5.8	Die Wanddicke	87
4.3.5.9	Berücksichtigung der Kerbwirkung	87
4.4	Starre und flexible Konstruktionen	89
5	Grundregel: Entformbarkeit	95
5.1	Beschreibung der Situation	95
5.1.1	Die Entwicklung von Werkzeugen	95
5.1.2	Stückzahlen	96
5.1.3	Die Verwendung von Normalien im Werkzeugbau	98
5.2	Teile aus der flachen Trennebene	99

5.2.1	Die Werkzeuganlage	99
5.2.2	Auswerfen	104
5.2.3	Besonderheiten	106
5.3	Teile aus Werkzeugen mit Trennungssprung	107
5.3.1	Die Werkzeuganlage	107
5.3.2	Auswerfen	109
5.3.3	Besonderheiten	110
5.4	Teile mit Durchbrüchen und Werkzeuge mit Blockierungen	111
5.4.1	Die Werkzeuganlage	111
5.4.2	Auswerfen	114
5.4.3	Besonderheiten	117
5.5	Becherförmige Teile	119
5.5.1	Die Werkzeuganlage	119
5.5.2	Auswerfen	120
5.5.3	Besonderheiten	122
5.6	Schieber- und Backenwerkzeuge mit zusätzlichen Trennebenen	127
5.6.1	Der Werkzeugaufbau	127
5.6.2	Auswerfen	129
5.6.3	Besonderheiten	130
5.7	Ausdreh-Werkzeuge für innere Gewinde	133
5.7.1	Die Werkzeuganlage	133
5.7.2	Auswerfen	135
5.7.3	Besonderheiten	135
5.8	Werkzeuge mit inneren Schiebern und Einfallkernen	137
5.8.1	Das Werkzeugkonzept	137
5.8.2	Auswerfen	139
5.8.3	Besonderheiten	140
5.9	Teile mit extremen Hinterschneidungen	142
5.9.1	Verfahrenstechnik und Werkzeugaufbau	142
5.9.2	Auswerfen und Nachbearbeitung	145
5.9.3	Besonderheiten	146
5.10	Teile mit Hinterschneidungen, die Zwangsentformung zulassen	147
5.10.1	Der grundsätzliche Werkzeugaufbau	147
5.10.2	Auswerfer	149
5.10.3	Besonderheiten	150
6	Grundregel: Konstante Wanddicken	153
6.1	Wanddicken an einem Erzeugnis	153
6.1.1	Wanddicken und Leichtbau	153
6.1.2	Wanddicke und Verarbeitungsverfahren	154

6.2	Grundlagen von technologischen Prozessen bei der Kunststoffverarbeitung	156
6.2.1	Einordnung	156
6.2.2	Betrachtungsweise	156
6.2.3	Erwärmen der Schmelze	160
6.2.4	Kompression zur Formgebung	160
6.2.5	Abkühlung unter Druckabbau	161
6.2.6	Isobare Abkühlung bei atmosphärischem Druck	162
6.3	Probleme, die durch Wanddickenunterschiede verursacht sind	163
6.4	Das Kantenproblem bei kastenartigen Strukturen	166
7	Grundregel: Geometrische Versteifung	171
7.1	Ausführungen einer geometrischen Versteifung	171
7.1.1	Erhöhung der Steifigkeit	171
7.1.2	Varianten der geometrischen Versteifung	172
7.2	Versteifung mit Rippen	174
7.2.1	Rippenversteifung an belasteten Flächen	174
7.2.2	Anordnung der Rippen	175
7.2.3	Belastungsgerechte Anpassung der Rippen	176
7.2.4	Anbindung der Rippen an die Grundstruktur	179
7.2.5	Werkzeugtechnische Umsetzung von Rippenstrukturen	183
7.2.6	Funktionale Einbindung von Rippen	186
7.3	Versteifung mit Schalengeometrie	187
7.3.1	Schalengeometrie als Art des fertigungsgerechten Konstruierens	187
7.3.2	Zur konstruktiven Umsetzung	189
7.4	Anwendung des Prinzips „Wellblech“	190
7.5	Kombination der Möglichkeiten zur geometrischen Versteifung	191
8	Grundregel: Konstruktive Duktilität	193
8.1	Duktilität als Konstruktionsforderung	193
8.2	Rasthaken	196
8.2.1	Vorteile von Rasthaken	196
8.2.2	Montagestrategien	197
8.2.3	Varianten der Rastverbindungen	199
8.3	Montagebruch an Rasthaken	204
8.3.1	Grundsätzliche Lösungsansätze	204
8.3.2	Technologische Maßnahmen gegen den Montagebruch von Rasthaken	204
8.3.2.1	Zur Vorgehensweise	204

8.3.2.2	Eingangsgrößen für den Prozess	205
8.3.2.3	Betrachtung des Herstellungsprozesses für die Bauteile	206
8.3.2.4	Betrachtung des Montageprozesses	207
8.3.3	Grundsätzliche konstruktive Möglichkeiten zur Vermeidung des Montagebruchs von Rasthaken	208
8.3.4	Beseitigung der Kerbwirkung	208
8.3.5	Vergrößerung der Biegelänge	209
8.3.6	Veränderungen am Querschnitt des Rasthakens	211
8.3.7	Verminderung der Durchbiegung	212
8.3.8	Zusätzliche, alternative Verformungsmechanismen	213
8.3.9	Alternatives Konstruktionsprinzip für die Rastverbindung	214
8.4	Vermeidung einer unbeabsichtigten Demontage von Rastverbindungen	215
8.5	Weitere elastische Konstruktionselemente	217
8.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der Elastizität	217
8.6.1	Überblick	217
8.6.2	Anspritzen einer weichen Komponente	218
8.6.3	Schlitze an becherartigen Formteilen	219
8.6.4	Faltungen an Schalenelementen	220
8.7	Zur Modifikationen von Gehäusen	221
9	Grundregel: Veränderliche Geometrie	225
9.1	Begriffsbestimmung	225
9.2	Veränderliche Geometrie als Nutzungsmerkmal bei Kunststoffprodukten	228
9.2.1	Mögliche Mechanismen	228
9.2.2	Temperatureinfluss	229
9.2.3	Medienaufnahme und Medienabgabe	230
9.2.4	Freisetzen von Spannungen	231
9.2.5	Verformungsverhalten	231
9.3	Veränderliche Geometrie für unterschiedliche Abschnitte des Produktlebenszyklus	233
9.3.1	Motivation	233
9.3.2	Allmähliche Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess und beim Gebrauch	235
9.3.3	Allmähliche anwendungsbedingte Veränderung der Geometrie	237
9.4	Diskontinuierliche, schnelle Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess	238
9.4.1	Begriffserklärung	238

9.4.2	Spannvorrichtungen	239
9.4.3	Vorrichtungen zum nachträglichen Kalibrieren	243
9.4.4	Nachträgliche Bearbeitung eines Bauteils	245
9.4.5	Einspannen des Bauteils für die Montage	246
9.4.6	Demontage von Baugruppen vor dem Einsatz	248
9.4.7	Umbau von Baugruppen nach der ersten Nutzungsphase, um eine weitere Nutzung zu ermöglichen	249
9.4.8	Endgültiger Rückbau von Baugruppen nach der Nutzung	250
9.5	Funktionsbedingte veränderliche Geometrie	253
9.5.1	Erprobte Einsatzgebiete	253
9.5.2	Gelenklose Anwendungen, die Duktilität nutzen	255
9.5.3	Lokale Gelenke	257
9.5.4	Faltbare Anwendungen	260
9.5.5	Lokale Flexibilität und Hochelastische Anwendungen	262
	9.5.5.1 Realisierung mit einer weichen Materialkomponente ..	262
	9.5.5.2 Abdichtung mit konstruktiver Duktilität	264
9.5.6	Reversibles Beulen	266
10	Grundregel: Funktionsintegration	269
10.1	Der Begriff Funktionsintegration	269
10.2	Die konstruktive Funktionsintegration	273
10.2.1	Das Wesen der konstruktiven Funktionsintegration	273
10.2.2	Das Prinzip „Funktionelle Mehrfachnutzung“	275
10.2.3	Das Prinzip „zusätzliche Geometrie“ zur Gewährleistung einer weiteren Funktion	276
10.2.4	Vergleich der beiden Prinzipien	278
10.2.5	Beispiele für eine konstruktive Funktionsintegration	279
10.3	Die technologische Funktionsintegration	282
10.3.1	Optimierung der technologischen Abläufe	282
10.3.2	Funktionsintegration durch Anpassung technologischer Abläufe	283
10.4	Sonderverfahren als Mittel der technologischen Funktionsintegration ..	288
10.4.1	Übersicht	288
10.4.2	Die Sondertechnologie „Mehrkomponentenspritzgießen“	288
10.4.3	Einige Gestaltungsregeln zum Mehrkomponentenspritzgießen	290
10.4.4	Sondertechnologien als Hinterspritzverfahren	293
11	Checkliste zur Konstruktion von Kunststoffteilen	299
12	Weiterführende Literatur	305
Index	307

Vorwort

■ Vorwort zur 2. Auflage

Schneller als gedacht kam vom Verlag die Mitteilung, dass sich im Lager kaum noch Bücher befinden und eine zweite Auflage gedruckt werden soll. Weil die Resonanz der Kolleginnen und Kollegen überwiegend positiv ausfiel, wurde die grundlegende Konzeption und der Aufbau des Buches beibehalten. Die vorliegenden Texte wurden verfeinert und eventuelle Fallen für Missverständnisse beseitigt. So wurde die Darstellung der Zusammenhänge verbessert, um hoffentlich dem Leser ein schnelleres Verständnis zu ermöglichen. Bleibt zu wünschen, dass auch die zweite Auflage Verbreitung in den Bücherregalen oder besser noch auf den Schreibtischen der Konstrukteure findet.

Halle im Januar 2018

■ Vorwort zur 1. Auflage

Dieses Buch konnte entstehen, weil Studentinnen und Studenten Fragen stellten. So suchte ich Wege, angeregt durch die Fragen während und auch nach den Lehrveranstaltungen, meine Vorlesung zur Konstruktion von Kunststoffteilen für den Masterstudiengang Maschinenbau zu verbessern. Auch wenn einige Kollegen im wissenschaftlichen Vortrag auf höchstem Niveau die einzige Möglichkeit sehen, den Studierenden Wissen zu vermitteln, stellte ich meine Vorlesung auf eine didaktisch determinierte Konzeption um. Beim Vergleich des Kenntnisstandes von Prüflingen hatte ich – wenn auch sicherlich subjektiven – Eindruck, dass das Niveau des wiedergegebenen Wissens nach der Umstellung wesentlich höher anzusiedeln war als vor der Änderung. Besonders beeindruckte mich, dass die Kandidaten die konstruktiven Merkmale und Besonderheiten realer Teile, die sie während ihres mündlichen Examins in die Hand bekamen, nun viel besser beschreiben

konnten als ihre Vorgänger vergangener Jahre. Vielleicht haben sich die Prüflinge einfach besser vorbereitet, vielleicht gelang ihnen die Aufbereitung der Inhalte besser, weil sie mit der didaktischen Konzeption der zehn Grundregeln einen roten Faden finden konnten. Die Studierenden sprachen auch von ihren „Zehn Geboten“. Zu hoffen bleibt, dass ihnen dieser rote Faden ein ganzes Berufsleben von Nutzen sein kann und sie mit ihm weitere Wissensbausteine verknüpfen können.

Natürlich möchte ich die Kolleginnen und Kollegen im Rahmen dieser Danksagung erwähnen, die mich einerseits mit Hinweisen und Ideen, andererseits mit Aufgabenstellungen und Problemen der einen oder der anderen Art bei der Umsetzung dieses Projekt unterstützten.

Besonderer Dank gilt meinem persönlichen Umfeld. Meine liebe Frau zeigte großes Verständnis während der Schreibphase und brachte viele Mülleimer weg, deren Entsorgung in unserem Haushalt eigentlich mir zugestanden hätte. Als die Konzeption stand, fand sie die meisten Rechtschreibfehler im Manuskript. Während der Überarbeitung hatte sie viel Geduld und Einfühlungsvermögen und entlastete mich an vielen anderen Stellen.

Eine Entschuldigung möchte ich an meine Kinder richten: Auch Erwachsene wollen mal ein bisschen spielen – und manche Große machen das, indem sie an einem Buch schreiben. Ich gelobe das nächste Projekt viel näher an die Interessenlage meiner Söhne anzulehnen als dieses.

Es möge gelingen.

Halle im Januar 2014

1

Grundregel: Temperatureinsatzbereich

■ 1.1 Phasenübergänge bei Kunststoffen

1.1.1 Der Übergang vom festen in den geschmolzenen Zustand

In unserer Vorstellung verbinden wir einen Phasenübergang von fest nach flüssig oder umgekehrt, mit dem Abschmelzen von Eis oder dem Erstarren von Wasser. Herabfallende Tropfen verziehen einen festen Eisblock oder ein spiegelglatte Wasseroberfläche bildet eine Haut aus Eis. Bei vielen anderen Materialien erfolgt die Eigenschaftsveränderung aufgrund des Phasenübergangs ähnlich plötzlich an einem gut definierten Temperaturpunkt, wie am Gefrierpunkt des Wassers. So erfolgt das Aufschmelzen oder die Erstarrung für chemisch reine Metalle plötzlich bei einer definierten Temperatur.

Werden Kunststoffe betrachtet, kann kein plötzlicher Phasenübergang beobachtet werden. In der uns aus dem Alltag vertrauten, festen Phase erscheinen uns Gegenstände aus Kunststoff relativ weich und mehr oder weniger biegsam, also weniger steif als Metalle.

Werden Kunststoffherzeugnisse hohen Temperaturen ausgesetzt, versagen sie in der Regel. Viele kennen die Erfahrung einer geschmolzenen Vorratsdose, die unbedacht in den heißen Backofen gestellt wurde. Einige Kunststoffe versagen bereits bei Temperaturen unter einhundert Grad Celsius. Aus anderen polymeren Materialien können Erzeugnisse hergestellt werden, die auch noch bei zweihundert oder dreihundert Grad Celsius ihre Funktion erfüllen. Duroplastische Kunststoffe und Gummi widerstehen tendenziell höheren Temperaturen als Thermoplaste, werden aber noch im festen Zustand chemisch zersetzt. Thermoplaste können geschmolzen werden.

Kunststoffschmelzen sind extrem zähe Flüssigkeiten, die einen sehr großen Fließwiderstand haben. Der Übergang von „fest“ nach „flüssig“ erfolgt bei den thermoplastischen Kunststoffen nicht bei einer klar bestimmbaren Temperatur, sondern über einen mehr oder weniger breit ausgeprägten Temperaturbereich. Anders als

bei reinen Metallen verliert so ein Körper, der kurzzeitig knapp über die untere Grenze des Schmelztemperaturbereichs erwärmt wurde, nicht sofort seine Gestalt, wie wir es von einem schmelzenden Eiszapfen kennen. Bei einem Gegenstand aus Thermoplast bleibt die geometrische Gestalt zunächst erhalten. Es kommt lediglich zu einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Verziehen des Gegenstands.



Produkte aus Thermoplasten sind je nach Kunststofftyp bis zu Temperaturen von 80 bis 250 °C formstabil.

Die hochtemperaturfesten Polymere sind um ein mehrfaches teurer als die Massenplaste, die schon unter 100 °C ihre Formstabilität verlieren. In Bild 1.1 ist der Zusammenhang zwischen Wärmebeständigkeit und Preis in einem quantitativen Diagramm dargestellt. Allgemein gilt, dass eine erwünschte Formstabilität auch bei erhöhten Temperaturen den Einsatz von preisintensiveren Thermoplasten erfordert.

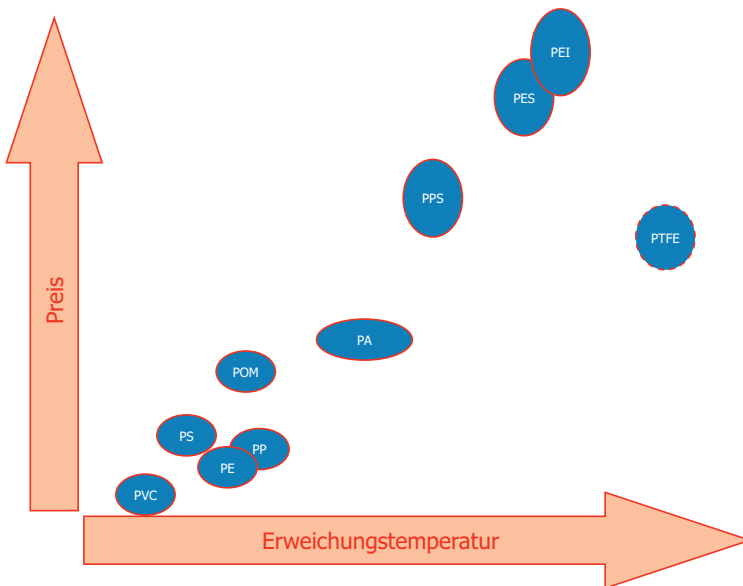


Bild 1.1 Qualitativer Zusammenhang zwischen Temperaturformbeständigkeit und Materialpreis einiger Kunststoffe

Im Gegensatz zu Kunststoffprodukten sind Erzeugnisse aus Metall widerstandsfähig gegen mehrere hundert Grad Celsius. Allerdings gibt es auch hier Gegenbeispiele wie Quecksilber, Zinn oder Blei.



Nicht nur in Bezug auf die Schmelztemperatur gibt es einige Metalle, die den hier zugrunde gelegten Modellvorstellungen nicht entsprechen.

Für reine Metalle erfolgt der Phasenwechsel fest/flüssig analog zu schmelzendem Eis/Wasser an einem klar zu bestimmenden Schmelzpunkt. Die meisten Metalllegierungen verändern ihren Phasenzustand über einen Temperaturbereich. Ab der Überschreitung eines bestimmten Temperaturwerts beginnt ein Wechsel in eine zunächst breiige Struktur. Mit zunehmender Temperatur vermindert sich die Viskosität des Breis. Ab einer bestimmten Temperatur sind beide Komponenten verflüssigt und es liegt nun eine Metallschmelze mit den Eigenschaften einer Flüssigkeit und der charakteristischen geringen Viskosität vor.

Zum klassischen Metallgießen sind solche Stoffgemische weniger geeignet. Ein sehr modernes Urformverfahren für einige solcher Metalllegierungen stellt das Thixotropiespritzgießen dar.

Eine bekannte Anwendung, bei der eine breiartige Struktur der Masse wichtig ist, kennen wir vom Löten bei Elektronikteilen. Bei dieser Technologie ist die Viskosität neben der Oberflächenspannung des Lots ein wichtiger Prozessparameter.

Bei diesen Metalllegierungen ist der unterschiedliche Schmelzpunkt der einzelnen Komponenten Ursache für den breiten Phasenübergangsbereich. Im Gegensatz zu Kunststoffen vermindert sich bei diesen Metallgemischen mit zunehmender Temperatur die Viskosität zunächst enorm. Sind beide Komponenten erschmolzen, bleibt die Viskosität auf einem konstant geringen Wert.

Bei Kunststoffschmelzen vermindert sich die Viskosität bei zunehmender Temperatur nur moderat, sie bleibt aber insgesamt auf einem hohen Niveau.

Bei länger einwirkenden hohen Temperaturen oberhalb des Erweichungsbereiches schmelzen Thermoplaste und verlieren ihre Form. Wird die Schmelze überhitzt, zersetzen sich die Polymere. Bei Elastomeren und Duromeren erfolgt die chemische Veränderung des Materials bei starker Wärmeeinwirkung, ohne dass vorher ein Zustandswechsel von fest nach flüssig erfolgte.

Der für Kunststoffe relativ niedrige Temperaturbereich, bei dem der Phasenübergang erfolgt, kann nicht allein auf Beschränkungen beim Einsatz der Produkte reduziert werden. Dadurch, dass man sich bei der Herstellung der Produkte auf moderate Temperaturen beschränken kann, ist die zur Produktformung notwendige Energie überschaubar. Zur Formübertragung kann man Werkzeuge aus gebräuchlichen Metallen verwenden. Die hervorragenden Abformeigenschaften von Kunststoffen schon bei relativ geringen Temperaturen machen die Polymerwerkstoffe so zu einem Material, mit dem die Erzeugung von unschlagbar preisgünstigen, komplex geformten und multifunktionalen Produkten mit einem überschaubaren Energieeinsatz möglich ist.

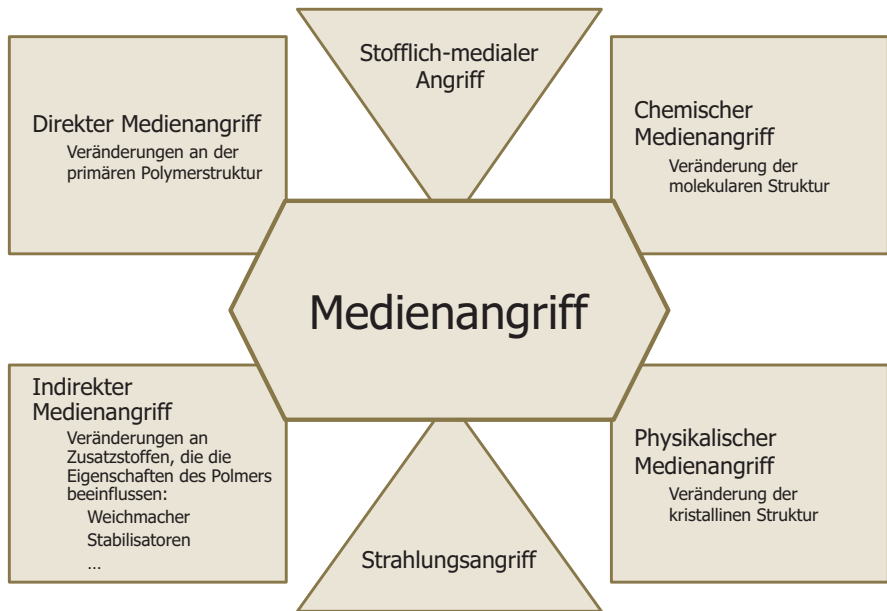


Bild 2.1 Übersicht: Medienangriff auf Kunststoffe

Wirken Medien auf das Stoffsystem „Kunststoff“, so muss also immer die Wirkung auf das gesamte Stoffsystem betrachtet werden.

2.1.2 Direkter und indirekter Medienangriff

Tritt die Wirkung am polymeren Grundstoff auf, spricht man von einem direkten Medienangriff (Bild 2.1, links). Der indirekte Medienangriff charakterisiert eine Wirkung an einem Zuschlagstoff. Ein direkter und ein indirekter Medienangriff können gleichzeitig auftreten.

Beim unmittelbaren Medienangriff wird das Bauteil funktionsbedingt von aggressiven Medien umgeben. Beispielsweise sind Kunststoffbauteile im Kraftstofftank funktionsbedingt dem Medium „Benzin“ oder „Diesel“ oder anderen zugelassenen Kraftstoffen ausgesetzt. Bei Funktionsversuchen wird der Angriff mit genormten Prüfflüssigkeiten simuliert. Problematisch wird es, wenn Agrarfette wie Rapsmethylester verwendet werden, weil diese in ihren Bestandteilen und in ihrer Zusammensetzung nicht definiert sind.

Ähnliches gilt auch für Anwendungen im Lebensmittelbereich für solch selbstverständliche und im Allgemeinen als unbedenklich angesehene Umgebungsmedien wie Fruchtsäfte, Milch oder Cola.

Bei den Überlegungen, mit welchen Medien Erzeugnisse in Kontakt kommen können, sind sämtliche Stationen des Produktlebenszyklus zu beachten. So sind Fälle

bekannt, bei denen das Einfetten der Teile zur besseren Montage eine nachhaltige Schädigung der Produkte bewirkte. Auch Schmierstoffe an Fördereinrichtungen können kritisch sein, beispielsweise auf den Transportanlagen für Getränkeflaschen.

Beim mittelbaren Medienangriff wird das Bauteil bei einer Nebenfunktion aggressiven Medien ausgesetzt. Hier sind beispielsweise Schmierstoffe oder Reinigungsmittel zu beachten. Weiterhin wird mit dem Begriff „Fremdbenutzung“ der mittelbare Angriff von Medien beschrieben, die bei der ursprünglichen Spezifikation des Bauteils nicht vorgesehen sind, aber bei einer Nachnutzung durch den Verbraucher vorkommen. Denkbar ist zum Beispiel, dass in Getränkeflaschen heißer Tee oder Flüssigkeiten mit aggressiveren Inhaltsstoffen abgefüllt werden.

2.1.3 Strahlungs- und stofflich-medialer Angriff

Im Gegensatz zu Metallen bewirken nicht nur stofflich-mediale Belastungen an Kunststoffen Schädigungen, sondern auch Belastungen durch Strahlung (Bild 2.1, unten Mitte). Deshalb ist die Unterscheidung zwischen stofflich-medialem und Strahlungsangriff sinnvoll, auch wenn der physikalische Begriff „Medium“ normalerweise nicht auf Strahlung anwendbar ist. Bei den hier angestellten Betrachtungen wird dieser Lapsus in Kauf genommen, um die anwendungstechnisch relevanten und in ihren Konsequenzen ähnlichen Auswirkungen im Komplex zu behandeln.

Wegen der relativ geringen Schmelzpunkte können bereits langwellige Strahlen eine kritische Überhitzung der polymeren Materialien bewirken. Jeder kennt die saunaartige Atmosphäre im Innenraum eines Fahrzeuges, das im Sommer lange Zeit in der Sonne stand. Hier sind die Temperaturen aufgrund der Sonneneinstrahlung viel höher als in der Umgebung. Besonders bei dunkel eingefärbten Erzeugnissen und vor allem bei Produkten mit einem lichtdurchlässigen Gehäuse besteht die Gefahr der Überhitzung aufgrund der Erwärmung durch Strahlung.

Die Wirkung von Wärmestrahlen erfolgt indirekt über die Temperaturerhöhung und ist in erster Linie physikalischer Natur. In Kapitel 1 wurde erklärt, was bei der Überschreitung einer bestimmten kritischen Temperatur passieren kann. Bei teilkristallinen Thermoplasten vollziehen sich Änderungen in der Kristallstruktur. Zunächst setzen bei zunehmender Erwärmung Mechanismen der Nachkristallisation ein, bei weiter zunehmenden Temperaturen laufen die Nachkristallisationseffekte zunächst schneller ab, bis dann schließlich beim Erreichen des Schmelztemperaturbereiches die Auflösung von kristallinen Strukturen beginnt.

Im Gegensatz zur langwelligen Wärmestrahlung führen kurzwellige Strahlen, die auf Kunststoffe treffen, zu einer unmittelbaren Schädigung des Werkstoffs. Durch den Strahlenangriff werden Radikale gebildet, die an Makromolekülen chemische

Reaktionen starten. Diese Veränderungen haben massive Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe (Bild 2.2, rote Kurve unten, „ohne Stabilisierung“)

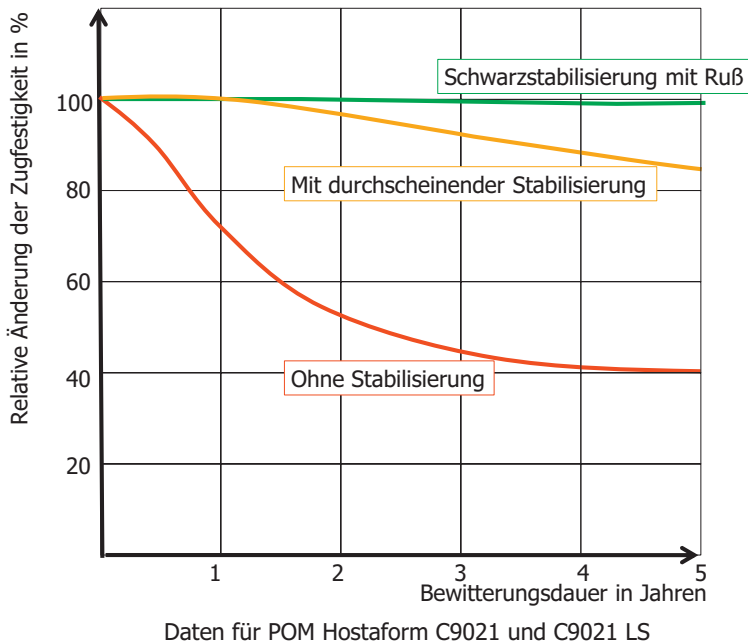


Bild 2.2 Auswirkungen der Bestrahlung von Kunststoffen

Um die Wirkung der UV-Strahlen auf die Polymere zu reduzieren, wurden spezielle UV-Stabilisatoren entwickelt und diese Zusatzstoffe den Polymeren zugesetzt. Die gelbe Kurve in der Mitte der Darstellung von Bild 2.2 „mit durchscheinender Stabilisierung“ zeigt ein solches Stoffsystem. Wird das Eindringen von UV-Strahlen in den Kunststoffkörper durch das Untermischen von schwarzen (Ruß-)Pigmenten verhindert, kann die Wirkung der UV-Bestrahlung nahezu vollständig neutralisiert werden (grüne Kurve, „Schwarzstabilisierung mit Ruß“ in Bild 2.2, oben).

Eine Stabilisierung mit schwarzen Pigmenten sollte immer mit einer chemischen Stabilisierung kombiniert werden, weil sonst mit länger andauernder Bewitterung die Oberflächen der Erzeugnisse unansehnlich werden.

Die in Bild 2.2 dargestellten Verhältnisse gelten für Polyoxymethylen. Dieses Polymer ist aufgrund des chemischen Aufbaus seines Monomers gegen UV-Licht besonders empfindlich. Trotzdem kann für einige Anwendungen auf eine Stabilisierung gegen UV-Licht verzichtet werden, wenn das Erzeugnis vor unmittelbarer Sonneneinstrahlung geschützt ist, was beispielsweise bei Ventilen im Kraftstoff-

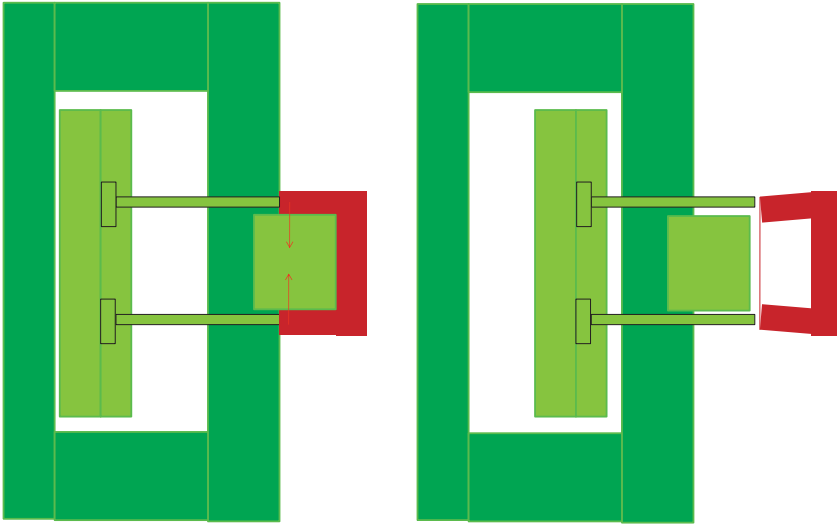


Bild 3.19 Entformungsverzug beim Auswerfen des Spritzgussteils

Eine rohrförmige Geometrie des Formteils verformt sich gleichmäßig (Bild 3.20, links). Der Durchmesser des Hohlzylinders reduziert sich längs der Achse um den gleichen Betrag. Bei becherförmigen Teilen dagegen wird der Hohlzylinder einseitig vom Boden gestützt. Bei der Entformung entsteht ein kegelförmiger Verzug (Bild 3.20, rechts).

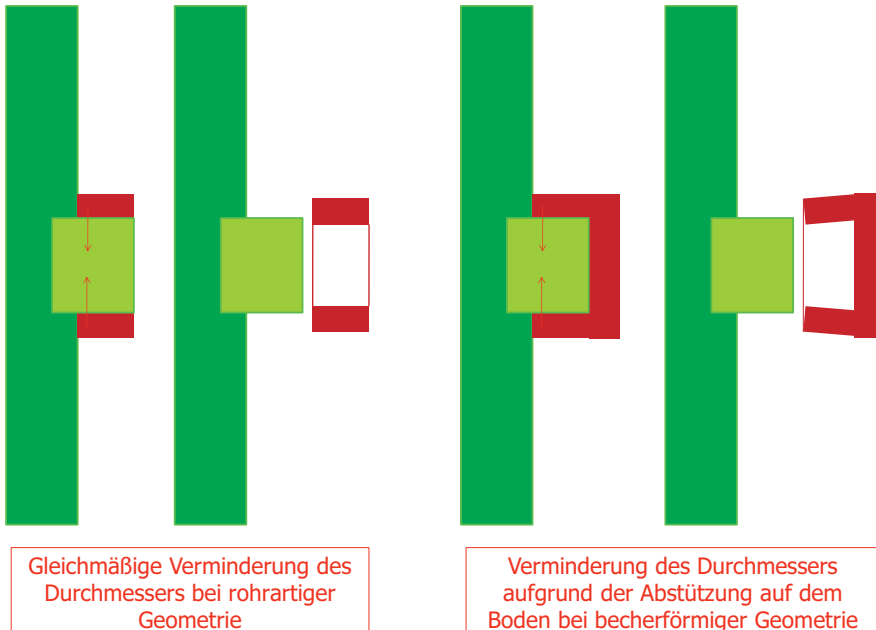


Bild 3.20 Entformung eines rohrartigen und eines becherartigen Spritzgussteils

3.5.3.4 Auswirkungen einer Schwindungsbehinderung auf Eigenspannungen

Grundsätzlich bewirkt jede die Schwindung behindernde Geometrie einen Entformungsverzug. Neben der formschlüssigen geometrischen Behinderung kommt noch eine Behinderung aufgrund von Reibung des Spritzgussteils an der Wand der Kavität vor. Besonders bei eingearbeiteten Oberflächen oder wenn eine grobe Erodierstruktur beibehalten wurde, ist eine Schwindungsbehinderung auch ohne Hinterschneidung möglich. In Bild 3.21 ist ein Zugprüfstab gezeigt, der zur Visualisierung des Entformungsverzugs unmittelbar nach dem Ausstoßen wieder in die Form eingelegt wurde. Die Schwindung bei der Entformung betrug im gezeigten Beispiel mehr als 2 mm.

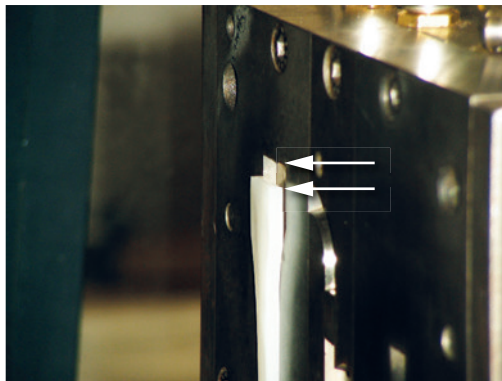


Bild 3.21 Schwindung eines Prüfkörpers

Wird die Kompression der Formmasse zu groß gewählt, dann steht das Spritzgussteil unmittelbar vor dem Öffnen des Werkzeugs noch unter Druck. Weil sich Kunststoffmaterial in den Strukturen der Werkzeugoberfläche verankert, muss eine erhöhte Kraft zur Öffnung der Form aufgewendet werden. Da es sich hier um ein Reibungsproblem handelt, bestimmt die konkrete Formteilgeometrie die Ausprägung und die Folgen dieses Effekts. Besonders, wenn große Flächenanteile des Spritzgussteils senkrecht zur Entformungsrichtung liegen, können die für die Öffnung des Werkzeugs notwendigen Kräfte enorm werden. Es wurden schon Fälle beobachtet, bei denen die Hydraulik überfordert war oder die Düsenseite beim Öffnen von der Aufspannplatte um mehrere Millimeter weggezogen wurde. Eine enorme Geräuschentwicklung ist kennzeichnend für solche extremen Erscheinungen.

Becherförmige Formteile reagieren auf eine zu starke Kompression der Formmasse besonders deutlich. Die Spritzgussteile verkleben sich beim Öffnen der Form in der Düsenseite. So ist kein Auswerfen möglich und der Prozess muss unterbrochen werden. Das verhindert eine stabile Produktion.

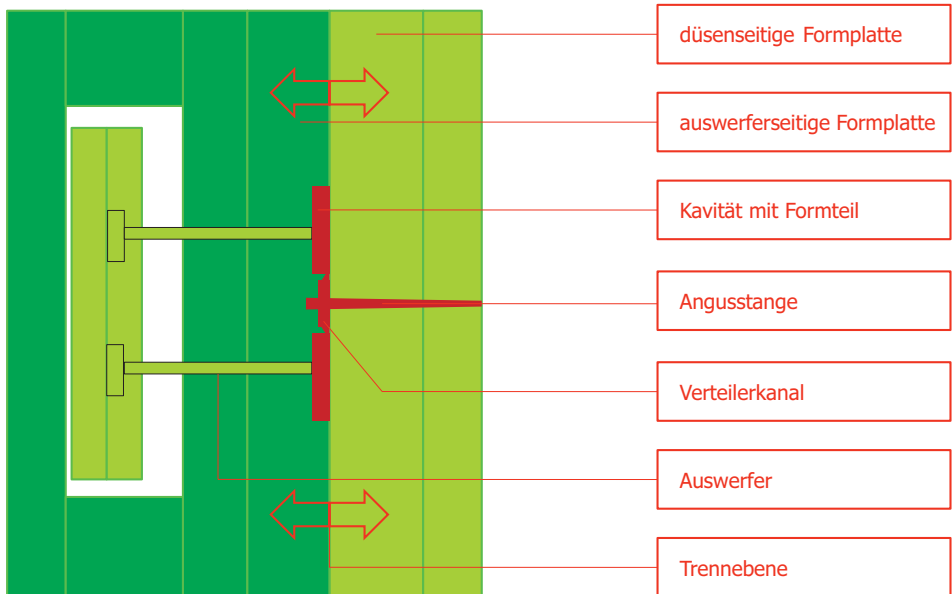


Bild 5.4 Schematische Darstellung eines einfachen Spritzgießwerkzeugs

Ein großer Vorteil der hier beschriebenen einfachen Auf-Zu-Werkzeuge (Bild 5.4) ist das einfache Einbringen von vielen Kavitäten in ein Werkzeug. Ein Faktor, der die Anzahl der Formnester in einem solchen Spritzgießwerkzeug beschränkt, ist die Zuführung der Schmelze. Die Verteilerkanäle kann man nicht unendlich lang gestalten. Werden eine Vielzahl von Formnestern benötigt, kann man mit dem Einsatz eines Heißkanals das Problem entschärfen.

Die Anbindung des Formteils soll immer im Bereich der dicksten Wandstärke des Kunststoffteils liegen. Weil die Kunststoffschmelzen eine sehr dickflüssige Konsistenz haben, erfolgt die Füllung der Kavität mit einer Quellströmung (vergleiche Abschnitt 3.5.2), bei der die Materialzuführung von der Anbindung des Formnestes aus erfolgt. Das ist ein Unterschied zum Gießen von Metallschmelzen. Hier bildet die Schmelze einen Strahl aus, der bis auf die der Zuführung gegenüber liegenden Seite der Kavität durchschießt, sodass die Füllung des Hohlraums von hinten aus erfolgt, in der entgegengesetzten Richtung wie beim Spritzgießen.

Bei der Füllung der Kavität mit Kunststoff strebt man das homogene Fortschreiten der Schmelzefront an. So erfolgt ein gleichmäßiges und prozesstechnisch stabiles Einspritzen der heißen Masse. Vor der Schmelzefront wird die in der Kavität befindliche Luft komprimiert. Es muss die Möglichkeit für ein Entweichen des Gases aus der Kavität bestehen. Kann dieses Problem nicht gelöst werden, kommt es aufgrund des Dieseleffekts am Ende des Fließwegs zu Brandstellen an den Teilen. Mit der Herstellung des Werkzeugs müssen geeignete Vorkehrungen getroffen werden,

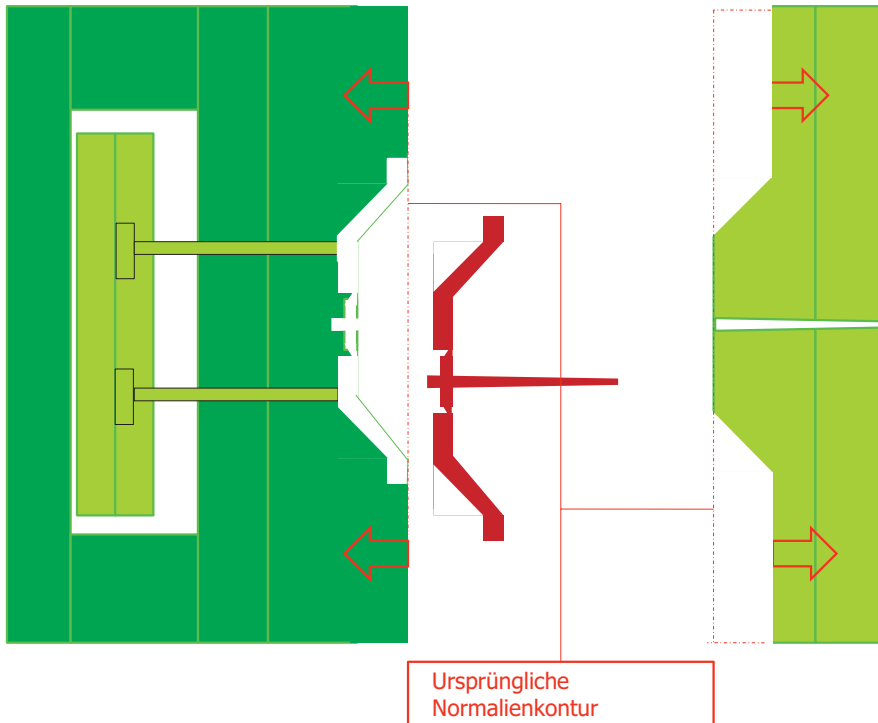


Bild 5.9 Werkzeug mit Trennungssprung, Normalien wurden abgetragen

Über viele Jahre bestand aufgrund der nicht ausreichenden Präzision der Metallbearbeitungsverfahren und -maschinen das Problem, dass über eine geeignete Trennfläche nicht an jeder Stelle der Trennebene der direkte Kontakt zwischen den Formplatten realisiert werden konnte. Erst durch die Verbesserung der zur Verfügung stehenden Präzision und der Möglichkeit, auch gehärtete Stähle spannend zu bearbeiten, hat man in den letzten Jahren hier neue Wege eröffnet.

Werden Normalien nicht exakt abgearbeitet, bleibt an einigen Stellen ein Spalt zwischen auswerferseitiger und düsenseitiger Formplatte. In diesen Spalt kann Schmelze eindringen und es werden Teile mit Grat (ein dünnes Kunststoffhäutchen, das sich in der Trennebene abformt) gefertigt. An anderen Stellen konzentrieren sich die Kräfte beim Zusammendrücken der Formhälften. Sind die vorstehenden Flächen relativ klein, kommt es aufgrund der großen lokal wirksamen Spannungen zu einer bleibenden Verformung an den betreffenden Werkzeugteilen. Das kann die Funktion einer Form soweit einschränken, dass eine Neuanfertigung erforderlich wird.

Um die Probleme zu umgehen, wurde eine Vorgehensweise entwickelt, bei der nur an einer Normalie die Kontur abgetragen wird, in der anderen Formhälfte wird die Kontur durch einen aufmontierten Einsatz gebildet (Bild 5.10).

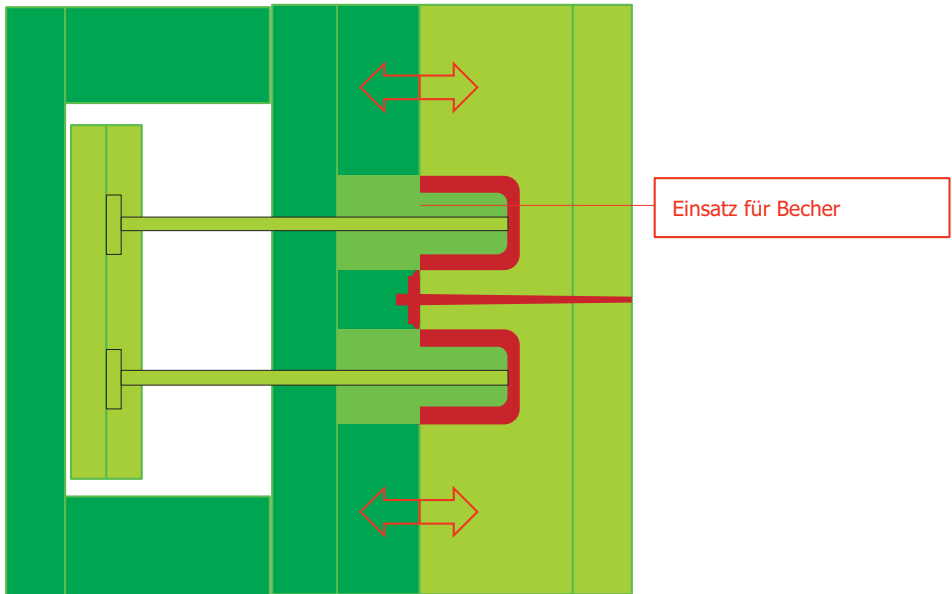


Bild 5.19 Becherwerkzeug mit Punktanguss – geschlossen

Die Lage des Formteils im Werkzeug wird so gewählt, dass die inneren Flächen hauptsächlich durch die Kerne der Auswerferseite gebildet werden. Oft sind die Kerne hinreichend groß, so dass innen Kanäle eingebracht werden können, damit ein durchströmendes Medium eine effiziente Kühlung des Spritzgussteils bewirkt.

5.5.2 Auswerfen

Damit die Formteile bei einem vollautomatischen Prozess frei auf ein Förderband unter dem Spritzgusswerkzeug fallen können, müssen die Auswerfer die Spritzgussteile über die Kerne streifen. Bei Werkzeugen für becherförmige Teile müssen daher lange Wege für die Auswerferbewegung vorgesehen werden. Die Werkzeuge haben eine große Werkzeugeinbauhöhe, das heißt, sie bauen in Maschinenlängsachse entsprechend groß auf (Obwohl es keine vertikale Dimension ist, spricht man von einer „Höhe“ – vielleicht weil einige der ersten Maschinen vertikal angeordnet waren).

Für eine stabile Produktion ist das sichere Entformen zwingend erforderlich. Deshalb müssen bei der Werkzeugerstellung zur Produktion von becherförmigen Formteilen folgende konstruktive Besonderheiten beachtet werden:

- Hinterschneidungen in der Düsen­seite müssen zwingend vermieden werden.
- Ausreichende Entformungssch­rägen sind vorzusehen.

- Die Entformungsschräge der Außenwand des Bechers, die von der Düsenseite abgeformt wird, darf auf keinen Fall kleiner sein als die auf dem Werkzeugkern eingebrachte Entformungsschräge.
- Die Oberfläche des Kerns sollte rauer gestaltet werden als die düsenseitige Buchse.
- Die Vorzugsrichtung beim Einbringen der Oberflächenstruktur ist auf dem Kern radial, senkrecht zur Entformungsrichtung einzubringen. In der Buchse der Düsenseite erfolgt die Politur vorzugesweise axial, senkrecht zur Entformungsrichtung.
- Kern hinreichend kühlen: Kern kälter temperieren als Düsenseite.

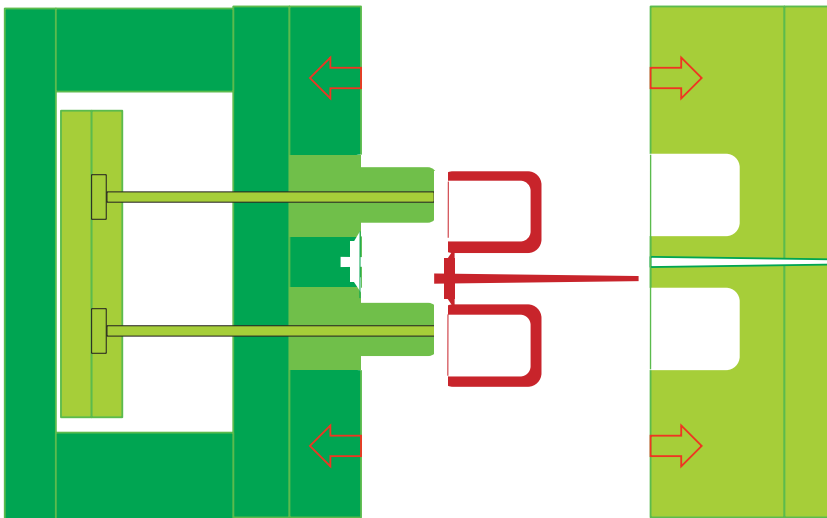


Bild 5.20 Becherwerkzeug mit Punktanguss – geöffnet

Wenn die Form geöffnet ist und sich die Spritzlinge auf der Auswerferseite befinden, erfolgt die Entformung, indem das Spritzgussteil vom Kern abgestreift wird. Mit den in Bild 5.20 schematisch dargestellten Stiftauswerfern ist dies grundsätzlich möglich, die Aufgabe kann aber mit alternativen Konstruktionen effektiver erfüllt werden (vergleiche Bild 5.22 bis Bild 5.24).



Das grundsätzliche Problem beim Entformen becherförmiger Teile besteht darin, dass

1. wegen des Aufschumpfens des Spritzgussteils auf den Kern große Entformungskräfte auf das Formteil übertragen werden müssen und
2. beim Entformen der Becher im Inneren ein Vakuum erzeugt wird, das ausgeglichen werden muss.

11

Checkliste zur Konstruktion von Kunststoffteilen

Um die vermittelten Inhalte schnell im Konstruktionsalltag anwenden zu können, hilft es, eine Checkliste der 10 Grundregeln zu bearbeiten. Es bietet sich an, zunächst für ein bestehendes Teil die Tabellen zu bearbeiten. Neben der anwendungsbezogenen Wiederholung der Inhalte des Buches hat diese Vorgehensweise den Vorteil, dass man sehr schnell in der Lage ist, alternative Lösungsmöglichkeiten für ein technisches Erzeugnis zu erkennen.

Wenn man sich an bestehenden Erzeugnissen Routine bei der Arbeit mit der Checkliste erarbeitet hat, steht mit der unten abgedruckten Tabelle ein effektives Hilfsmittel zur Entwicklung von neuen Kunststoff-Erzeugnissen zur Verfügung, das hervorragend geeignet ist, die besonderen Möglichkeiten dieser Werkstoffklasse auszuschöpfen.

Tabelle 11.1 Checkliste

1. Temperatureinfluss	Bezug auf konkretes Erzeugnis	Erforderliche/mögliche Handlung
Einsatz des Erzeugnisses		
Temperaturbelastung beim Gebrauch		
Temperaturbereich bei Nachbearbeitung, Lagerung und Transport		
Temperaturbelastung bei (nicht-)beabsichtigten Sekundäranwendungen		
Vorgesehener/eingesetzter Kunststoff		
Temperatureinsatzbereich		
Eigenschaftsveränderungen im Temperatureinsatzbereich		
Geometrie		
Einseitiger oder beidseitiger Wärmeangriff		
Möglichkeiten der Abstützungen zur besseren Wärmestabilität		

Index

A

- Abführung der Wärme 178
- Abkühlung 236
- Abkühlungsbedingungen 163
- Abkühlungsgeschwindigkeit 64, 154, 157, 161 f.
- Abkühlungssituation 167
- Ablagerung von Wasser 41
- Abmustern 103
- abriebfeste Kennzeichnung 289
- ABS 43
- Abstandhalter 116
- Abstreiferplatte 122
- abtragende Verfahren 99, 107
- Abzugskraft 211, 214
- Adsorbieren 34
- aggressive Inhaltsstoffe 31
- Agrarfette 30
- Anbindung 102
- angespritzte Dichtungen 262
- Anguss 101, 104, 135
- Angussbuchse 98
- Angussstange 103
- Angusssystem 98
- Angussverteiler 101
- Anordnung 24
- Anspritzpunkte 296
- Antrieb, Schieberbewegung 128
- Antuschieren 113
- Anwendungstemperatur 85
- Armlehnen 111
- ästhetische Ansprüche 172
- Auflösung von kristallinen Strukturen 31
- Aufnahme von Wasser 237
- Aufschrumpfen 68
- Aufzug 185
- Auf-Zu-Werkzeuge 102, 118, 128, 249, 261
- Ausdrehmechanismus 133, 136 f.
- Ausdrehwerkzeuge 135
- Ausgleich unterschiedlicher Längenausdehnung 12
- Ausknicken 24
- Ausknickung 175
- Auskühlung 67
- Ausrichtung der Fasern 64
- Ausschmelzkerne 142 f., 145
- Ausschwitzen von Feuchtigkeit 41
- Aussparung 183
- Ausspindeln 134 f.
- Ausspülen von Stabilisatoren 39
- Ausstoßen 135, 239, 297
- Ausstreiferplatte 149
- Auswerfen 103 f.
- Auswerfer 98, 104 f., 109, 120, 185
- Auswerferbewegung 120, 122, 138
- Auswerferkräfte 184
- Auswerferseite 103, 108, 111, 120 f., 289
- auswerferseitige Formplatte 100, 119
- auswerferseitige Konturplatte 112
- Auswerferstifte 149
- Auswerfersysteme 296
- automatisierte Montage 198
- Automobilbau 237, 273, 294
- axiale Fixierung 105

B

- Backen 131, 142
- Backenwerkzeuge 130, 137
- Basen 39
- Baukastenlösungen 75
- Baukastenprinzip 117
- Baukastensystem 96, 98, 249
- Beanspruchungsgeschwindigkeit 87
- Bearbeitungsmaschinen 99
- Becher 52, 183, 277
- Becherboden 123, 125, 149
- becherförmige Formteile 68, 70, 149
- Becherhalter 280 f.
- Becherwand 126
- Befestigungen 116
- Befestigungselemente 295
- Behälter 14
- Belastung 85
- belastungsgerecht 153
- Belastungsrechnungen 81
- Belüftungsverkleidungen 118

Bemusterung 67, 130f., 137, 205f.
 Berührungsflächen 145, 263, 292
 Beschleunigungsfaktor 39
 Beulen 14f., 80, 91
 bewegliche Werkzeugelemente 127, 147
 Biegebalken 20, 211
 Biegebeanspruchung 20
 Biegebelastungen 200
 Biegelänge 209
 Biegesteifigkeit 176
 Biegung 213
 Bimetall 229
 Bindenaht 122f.
 biologisch abbaubare Kunststoffe 270
 bistabile Systeme 266
 Blasformen 187
 Blasformprozess 97
 bleibende Verformungen 81, 108
 Blockierfläche 88, 115f.
 Blockierung 115, 118, 133, 263
 Blockierungssporn 215
 Blockierungswinkel 115
 Bodenübergang 125
 Brandfall 29
 Brandstellen 102
 Brotdose 228
 Bypasskonstruktionen 146

C

CAD-Systeme 98
 Chemikalien 42
 Chemikalienbeständigkeit 38
 chemische
 – Ankopplung 36
 – Medienangriff 33
 – Modifikation 33
 Clipse 77
 coextrudierte Folien 35
 copolymerisierte Anteile 6

D

Dämpfungsverhalten 229
 Dauerbelastungen 17, 19, 85
 Deckel 127
 Deformation 81, 105
 Deformationsgeschwindigkeit 87
 Dehnpotenzial 228
 Dekorhinterspritzen 288, 293f., 296
 Demontage 201, 239, 249, 251f.
 Demontagekräfte 203
 Demontagestellen 251
 Demontageverbot 251
 Demontagewerkzeuge 215
 Designkonzept 189
 Dichtkanten 265
 Dichtungspartner 263

dickwandige Konstruktionselemente 87
 Dieseleffekt 102
 Differentialbauweise 74ff., 171
 Diffusionsvorgänge 37
 direkter Medienangriff 30
 diskontinuierliche Fließprozesse 56
 drapierfähig 297
 dreidimensionales Wellblech 190
 Dreiplattenwerkzeuge 124
 Druckabnahme 65
 Druckaufbau 160
 Druckeigenspannungen 51
 druckluftunterstützte Auswerfer 149
 Druckverformungsrest 78
 duktile Eigenschaften 193, 287
 duktile Komponenten 218
 Duktilität 229, 256
 Düngemitteldepot 270
 dünne Folien 57
 Dünnschliff 56
 dünnwandige Struktur 246
 Durchbiegung 212
 Durchbrüche 198
 Durchschläge 118
 durchsichtig 53
 durchsichtige Gehäuse 31
 Düsenseite 103, 119, 135, 289
 düsenseitige Formplatte 103, 108, 112

E

Eckenschoner 62, 169
 Edelgas 37
 Eigenspannungen 50, 52, 54, 86, 103, 165, 168
 Eigenspannungen in der Faser 51
 Eigenspannungsbild 230
 Eimer 14, 52, 127, 195
 Einbauhöhe 135
 Einbauraum 142, 191, 242
 Einbettung 293
 Einfallkerne 140f.
 Einfallstellen 66, 103, 180, 182f., 191
 Einfrierversuch 206
 eingesetzte Kerne 113
 Einkaufsstützen 272
 Einlegeteil 142
 einmalige Deformation 84
 Einrichten 103
 Einsatz 108, 114
 Einsatzbedingungen 17
 Einsatztemperatur 8
 Einsatztemperaturbereich 15f.
 Einsatzzweck 15
 Einsetzen einer Stufe 125
 Einspannen 239
 Einspritzen 64
 Einspritzen der Schmelze 102

- elastische
 - Deformation 236f.
 - Verbindungselemente 256
 - elektrische
 - Apparate 18
 - Funktionsteile 127
 - leitende Polymere 290
 - Stecker-Elemente 286
 - Elektroartikel 215
 - Elektronik 76
 - elektronische Bauelemente 41
 - Elektrotechnik 278
 - E-Modul 5, 62, 80, 171, 237, 246, 290
 - E-Modul-Temperatur-Kurve 5, 21
 - Energiebilanzierung 145
 - energieelastischer Zustand 229
 - Entformung 68, 121, 124, 126, 180, 183, 185, 236
 - Entformungsbewegung 122
 - Entformungsebenen 290
 - Entformungsgeschwindigkeit 148
 - Entformungsprozess 68
 - Entformungsrichtung 115, 292
 - Entformungsschräge 115, 121, 136, 183, 185
 - Entformungstemperatur 161f.
 - Entformungsverzug 70, 236, 239
 - Entformungszylinder 184
 - enthalpieelastisch 229
 - Entsorgungsproblematik 272
 - Entwicklungsprozess 73
 - Erwärmung durch Strahlung 31
 - Erweichungsbereich 3, 48
 - Erweichungstemperatur 23
 - Erzeugnisse 97
 - Etagenwerkzeug 119
 - Etiketten 125
 - Extrusion 49, 56
- F**
- Fäden 231
 - Fahrzeugbau 18
 - Fahrzeuginnenraum 281, 297
 - Fahrzeugtank 273
 - Faltbare Anwendungen 254f., 260
 - Faltenbälge 233
 - falltenfreie Dekors 297
 - Falkern 140
 - Faltung 219ff.
 - Falzanten 261
 - Familienwerkzeuge 119
 - Farbmittel 205
 - Farbwechsel 206
 - Faserausrichtung 56, 64
 - Fasern 24
 - Faserorientierungen 55, 62
 - Faserverbundmaterialien 92
 - Faserverbundwerkstoffe 77
 - faserverstärkter Kunststoff 41
 - faserverstärktes Material 171
 - federnde Kunststoffelemente 217
 - federnde Schieber 142
 - federnde Systeme 141
 - Fehlfunktion 18
 - Fehlmontage 203
 - Feinabstimmung 203
 - Fensterheber 296
 - fertigungsgerechte Entwicklung 97
 - Fertigungsmethode 97
 - Fertigungszellen 284
 - fester Körper 47
 - Festigkeiten 14
 - Feuchtegehalte 199
 - feuchtes Granulat 40
 - Feuchtigkeitsaufnahme 40
 - Filmscharnier 85, 257ff.
 - finite Elemente 259
 - Fittings 40
 - fixierte Biegung 213
 - Fixierungspunkte 8
 - Fixierung von Bauelementen 186
 - Flachauswerfen 183
 - Flachauswerfer 122
 - flache Trennebene 99
 - Flammschutzzusatz 29
 - Flankenwinkel 149
 - Flanschdichtung 232, 262
 - Flaschen 255, 277
 - Flaschenverschluss 96, 281
 - flexible Konstruktionen 78, 91f., 254
 - Fließbandproduktion 282
 - Fließbeigenschaften 6
 - Fließkanalhöhe 56
 - Fließprozesse 56
 - Fließwege 296
 - Fließwiderstand 1
 - Fluiddichtungen 193
 - Fluidtechnik 127, 262
 - flüssige Phase 63
 - flüssiger Aggregatzustand 46
 - flüssigkristalline Polymere 57
 - Folien 235, 293
 - Fördereinrichtungen 31
 - Formeinsätze 109
 - Formenbau 97
 - Formgedächtnis 229
 - Formhohlraum 103, 294
 - Formnest 101f., 105f., 118
 - Formplatte 108, 122f.
 - formstabil 2
 - Formteilgrat 128, 239
 - Formverlust 20
 - freie Biegung 213
 - freie Volumen 7
 - freifallend 106
 - freigängig 91, 138
 - freigeformte Flächen 110

freitragende Karosserie 76
 Fremdmoleküle 42
 Fügegeschwindigkeit 207
 Fügekraft 200, 203
 Fügeprozess 75, 198
 Fügeverfahren 71
 Füllgrad 171
 Füllstoff 85
 Füllstudie 206
 Füllung der Kavität 123
 funktionale Beurteilung 21
 funktionelle Mehrfachnutzung 274, 277
 Funktionsanalyse 17
 Funktionsintegration 269, 272f.
 Funktionsprinzip 21
 Funktionsspannung 50
 Funktionsuntersuchungen 18, 21
 Funktionszusätze 29

G

Ganzjahresreifen 279
 Gate 103
 Gebläse 18
 Gebrauchstemperaturbereich 9, 15f.
 Gefüge 163
 Gehäuse 127
 Gehäuse mit Einbauten 118
 Gelenke 257
 gelenklose Anwendungen 255
 Geometrie 4
 Geometrieänderung 234
 geometrische Einflüsse 4
 geometrische Versteifung 25, 97, 262
 gereckte Kunststofffolien 57
 Gerüst 24
 Gesamtspannung 50
 geschlitzte Schale 203
 geschlossene Geometrie 202
 Gestalt des Formteils 61
 Gestaltveränderung 45, 225
 gestörte Biegelinie 123
 geteilte Auswerferplatte 138, 141
 Getränkeflaschen 31
 Gewächshäuser 270
 Gewinde 135f.
 Gewindegänge 151
 Gewindekappe 151
 Gewindetiefe 135
 Glasfasern 24, 51
 Glaskapazität 57, 62, 229
 Glasübergangstemperatur 8
 Gleichgewichtslage 43
 gleichmäßige Wandstärke 22
 Globalisierung 17
 Grat 115
 Gratbildung 112
 Grenzfläche 290, 293

Grundfläche 180
 Grundkomponente 29

H

Haftung 292
 Haftung zwischen Faser und Matrix 42
 Haftvermittler 292
 halbstarr 254
 Handbohrmaschine 186
 Handhebelpresse 197
 handwerkliche Fertigung 233
 Handwerkzeuge 195
 Handschalen 118
 haptische Eigenschaften 294
 Härte 78
 Hart-Weich-Verbindungen 262
 häufige Belastungen 85
 Haupttrennebene 131
 Heckleuchten 111
 heiße Medien 26
 Heißkanal 102, 124, 136, 206
 Heißkanalsystem 136
 Heißprägeverfahren, Knicklinien 260
 Herstellungsprozess 63
 Hilfswerkzeuge 150
 Hinterprägen 296
 Hinterschneidung 120, 135, 139, 141, 147, 149,
 181, 185, 212, 293
 Hinterspritzen 288
 Hinterspritzen von Folien 294
 Hochelastische Anwendungen 255
 Hohlkörper 97
 hybride Baugruppen 49
 hydraulisch betriebene Pressen 198
 Hydrolysebeständigkeit 38
 hydrolytischer Abbau 37, 39
 hydrophile
 – Kunststoffe 237
 – Thermoplasten 206
 – Verhalten 40
 hydrophob 40
 Hygieneartikeln 40
 Hysterese 6

I

Imprägnierung 39
 indirekter Medienangriff 30
 inhomogenes Materialverhalten 52
 Inhomogenität 13
 Innengewinde 133, 140
 Innenraum 293
 Innenraum eines Fahrzeuges 31, 294
 Innenschieber 138f., 181
 innere Hinterschneidungen 138
 innere Wärme 45
 Instandsetzung 251

Integralbauweise 74f., 172
 integrierte Montage 199
 integrierte Schaltkreise 76
 Isobare 158, 160
 isochore Kompression 65
 Isolierkanäle 124
 isotherme Verhältnisse 160

K

Kabelbinder 77, 280
 Kabeldurchbrüche 118
 Kabelfixierung 279f.
 Kabelschellen 280
 Kalibrierung 239, 243
 kalter Kern 23
 Kaltverformung 12
 Kante 168, 170
 Kantenproblem 166
 Kartonagen 260
 kastenartige
 – Anordnungen 175
 – Geometrie 170
 – Struktur 169
 katalytische Wirkung 39
 Kavität 98, 101
 Kennwerte 19
 Kennwertermittlung 52
 keramische Werkstoffe 92
 Kerbwirkung 87, 208
 Kern 111, 120, 123, 138, 220
 – aufgeschumpft 124
 Kernaufnahme 114
 Kernausschmelzverfahren 143
 Kettenlängen 194
 kissenförmige Verformung 162
 Klebeband 219, 291
 Klebstoffe 77
 Klettverschluss 77
 Klimazonen 17
 Klinkenzug 133, 138
 knäuelartige Anordnung 63
 Knäuelbildung 62
 Knäuelstruktur 57
 Knicken 14f., 80, 91, 246
 Kohlefasern 24
 Kompression 40, 106, 160
 Kompression der Formmasse 64
 Kompressionserwärmung 161
 Kompressionsprozesse 161
 Konditionieren 40, 199, 207
 konditioniertes Polyamid 40
 Konditionierungsschritt 40
 Konsistenz 102
 konstante Wanddicken 241
 Konstruktionsebene 100
 konstruktive
 – Duktilität 264

– Funktionsintegration 271
 – Maßnahmen 204
 Konsumtion 233
 kontinuierliche Fließprozesse 56
 Konturawerfer 105
 Konzentrationsreihe 60
 Kraftstofftank 30, 274
 Kraftstoffversorgungssystem 32
 Kraftweiterleitung 24
 Kraftwirkung 45
 Kreislaufführung 250, 252
 Kriechen, unter Last 71, 237
 Kristall 47
 Kristallit 7
 Kristallstruktur 33
 kritische
 – Dehnung 14, 80, 265
 – Spaltbreite 194
 – Temperatur 31
 – Überhitzung 31
 Kugelschreiber 195
 Kühlfüssigkeit 98
 Kühlkanäle 98
 Kühlung 106, 111, 113, 241
 Kühlung der Form 178
 Kunststoffedern 116
 Kunststoffefelgen 146
 Kunststoffflaschen 187
 Kunststofffolien 52
 Kunststoffgrat 138
 Kunststoffkoffer 190
 Kunststoffschmelzen 1, 49, 102
 Kunststoffverpackungen 227f., 272
 kurzfaserverstärkter Werkstoff 23
 kurzwellige Strahlen 31
 kurzzeitig 22

L

Lackierprozess 284
 Lagerbedingungen 78
 Lagerung 236
 Lageüberwachung 130
 Lageverschiebungen 144
 Landwirtschaft 230, 270
 Längenausdehnung 10
 Längenausdehnungskoeffizient 11
 Lasteinwirkung 16f.
 Lastkonzentration 166
 Latent-Wärmekissen 267
 Lautsprecherboxen 116
 Lebensmittelbereich 30
 Leichtbau 75f., 165
 Leiterplatte 261, 281
 linearer thermischer Ausdehnungskoeffizienten 9
 Linsen 54
 Logistik 75
 logistische Optimierung 282

lokal
 – Abreißen 185
 – Durchbrüche 111
 – Flexibilität 255
 – Gelenke 255
 lokale Verfärbungen 206
 lokale Zerstörung 129
 lösbare Verbindungen 197, 251
 Lösungsmittel 42
 Lösungsprinzip 73
 Lotuseffekt 39
 Luftauswerfer 122, 297
 Luftbereifung 195
 Lufteinschluss 122
 Luftschiffen 254
 Lüftungsräder 131
 Lunker 66f., 103, 162ff.

M

makromolekulare Struktur 6
 Makromoleküle 7
 Markierungen 105
 maschinell montiert 151
 Masseelement 157, 160
 Massekontraktionen 168
 Massenplaste 2
 Massenproduktion 77, 269
 Masseunterschiede 37
 Masseveränderungen 37
 Maße zur Verteuerung 35
 Materialanhäufung 166, 175, 179, 181
 Materialinhomogenität 54
 Materialkennwerte 9
 Materialumlagerungen 61
 Materialveränderung 206
 Materialzerstörung 42
 Matrix 24
 Maximaltemperaturen 22
 mechanische Eigenschaften 62
 Mechanismus des Medienangriffs 34
 mediale Belastungen 237
 Medienangriff 29, 35
 Medium 31
 mehrachsige Spannungszustände 87
 Mehrfachnutzung 106, 118, 276
 Mehrkomponentenspritzgießen 262, 288f., 291
 mehrmalige Belastung 85
 Mensch-Technik-Kommunikation 194
 Metalle 1
 Metallgerüst 25
 metastabilen Zustand 267
 Mikro-Hohlräume 157
 Mischbauweisen 76
 mittelbaren Medienangriff 31
 Mittenauswerfer 103
 Möbel 226
 Mobiltelefon 271, 294

Modifizierung von Werkzeugen 96
 molekulare Struktur 6
 Molekülorientierungen 55, 62, 64
 Montage 249
 Montagebruch 205, 207, 209, 212ff.
 Montageeinrichtung 199
 Montagefunktionen 77
 Montagekräfte 81, 215
 Montagepartner 243
 Montageprozess 81
 Montagespannungen 49, 71
 Montagespritzguss 290
 Montagetechnik 77
 Montageverfahren 77
 Montagevorrichtung 198
 Montieren 239
 Motorraum 17
 Müllbeutel 249
 multivalente Funktionserfüllung 273

N

Nachbearbeitung 199, 245
 Nachbearbeitungsprozess 142
 Nachkristallisation 31
 Nachnutzung 31
 Nachschwindung 236
 Nachstabilisierung von Recyclaten 36
 nachträgliche Geometriebearbeitung 245
 Nadelverschluss 136
 Nebenfunktion 31
 Nebenprodukt 37
 Neukonstruktion 21
 nicht erkennbare Verbindungen 197
 nicht lösbare Verbindungen 197, 251
 nicht newtonsche Fließigenschaften 57
 Normalien 75, 98f., 106, 109, 111, 131, 140f.
 Normaliensatz 98
 Nutzen 233
 Nutzungsende 75
 Nutzungsphasen 227

O

obere Grenztemperatur 15
 Oberfläche 103
 Oberflächenbehandlung 22
 Oberflächengestaltung 294
 Oberflächenstruktur 121
 oberflächliche Modifizierung 35
 Obergrenze 21
 Öffnung des Werkzeugs 70
 ökonomische Motivation 35
 Opfergeometrie 103
 optische Funktion 54
 Orientierungen 52, 54f.
 O-Ring 231, 262
 Outsert-Spritzgießen 288

Oxidation 37
oxidativer Abbau 37f.

P

Passungen 128, 202, 236, 274
Pflanzgefäß 188
Phasenübergang 1, 5
Phasenübergangstemperaturbereich 3
Phasenwechsel 14, 229
physikalischer Medienangriff 33
Pilzauswerfer 122
plane, Düsenseite 106
Plastiktüte 271 f.
plastische Verformung 23
Platine 221
Platzbedarf 160
Platzwechselvorgänge 6, 46
Polarisationsfilter 53
Polyamid 40
Polyethylen 40
polymere Materialkomponente 33
Polyolefine 40
Polyoxymethylen 29
Polypropylen 6, 8, 29, 40, 85
Polystyrol 14, 43
Presssitz 214
Pressvorrichtung 197
Prinzip des Knackfroschs 266
Prismen 100
Produktionsausfall 113, 181
Produktionskosten 95
Produktionszeiten 86
Produktionszyklus 119
Produktlebenszyklus 30, 227
Profilelemente 249
Profiliringe 262
Profilsysteme 75
Prozessdrücke 40
Prozessraum 162
Prüfflüssigkeiten 30, 60
Prüfmedium 59
Pumpenteile 131
punktartige Wärmequelle 18
Pyramidenform 292

Q

Qualitätsmerkmale 234
Qualitätssicherung 236, 293
Quellströmung 64, 102
Quellung 230, 237

R

Radialdichtung 232
Radikale 31
Randbeschnitt 294, 297

Randschicht 64, 162, 164
Rapsmethylester 30
Rastfenster 203, 212, 215 f.
Rasthaken 87f., 116, 133, 196, 200, 203f., 212ff.,
216
Rastnase 212, 215
Rastverbindung 77, 81, 149, 196, 199, 204, 215
raue Struktur 182
Raumtemperatur 7
Rechts-Links-Kombination 111
Recycling 227, 250
Referenzaussage 60
Regenschirm 253
Reinigungsmittel 31
Reißdehnung 78
Reparatur 250f.
Reparaturfreundlichkeit 227, 251
Reproduzierbarkeit 59
Reststeifigkeit 6
rheologische Ausbalancierung 101
Ringauswerfer 122, 149
Rippe 25, 172ff., 180f., 191
Rippengeometrie 178
Rippengrund 181
Rippenkonstruktionen 149
Rippenstrukturen 183
Rippentiefe 178
Rippenversteifungen 25
Rippenzwinkel 184
Risswachstum 51
Robustheit 265
Rohstoffhersteller 15, 19
rotationsgeformte Erzeugnisse 97
Rückbau 239
Rückwärtsbetrachtung 286
Rundheit 241, 247
Rundring 231
Ruß 36

S

SAN 43
Sauerstoff 37
Saugrohre 146
Säure 29, 39
Säureangriff 29
Schachteln 127
schadensfrei verformen 14
Schädigungsmechanismen 34, 36f.
schalenartige Versteifungen 189
schalenförmige Geometrie 97
schalenförmig gewölbte Strukturen 172
Schallplatteneffekt 65
Schaltelement 221
Schalterelemente 261, 267
Schalterstellungen 266
Schalttemperatur 230
Schaltvorgänge 228

- Scharniere 257f.
 Scheiben von Automobilen 33
 Scheinwerfer 111, 249
 Scherbelastung 263
 Schergeschwindigkeiten 65
 Scherung 62
 Schieber 127, 129 ff.
 Schieberblockierungen 131
 Schieberführung 130
 Schieberleisten 128
 Schieberwerkzeuge 130, 137, 290
 schlagartig belastet 7
 Schlauchanschlussstück 130
 Schlauchanschlussstutzen 130
 Schlauchboote 254
 Schlauchstutzen 264, 274
 Schlaufenproblem 87
 Schließkraft 128
 Schlitze 219 ff.
 Schmelzefront 102, 122
 Schmelzefluss 123
 Schmelzkerne 142
 Schmelztemperaturbereich 2, 20
 Schmelzvorgänge 4
 Schmierstoffe 31
 Schnapphaken 196
 Schnappverbindung 196
 Schnurstärke 262
 Schrägsäulen 127
 schrägverzahntes Zahnrad 136
 Schrumpffolien 231
 Schrumpfhülsen 231
 Schuss 105
 Schutzatmosphäre 37
 Schutzfilm 35
 Schutzschicht 39
 Schweißverbindungen 247
 Schwimfflossen 195
 Schwindung 65, 103, 229, 237, 239 ff.
 Seitenkettenverzweigungen 6
 Selbstmontage 226
 Serienanlauf 205
 Serienende 96
 Shape-Memory-Effekte 229
 Sicherheitsfaktoren 85
 Sicherung gegen Verdrehen 110
 Sicken 189
 Sieben 116
 Silikon 92
 Skelett-Haut-Systeme 254
 Soft-Touch 289
 Soft-Touch-Anwendungen 25
 Soft-Touch-Flächen 195
 Sollbruchstellen 252
 sortenreine Untergruppen 252
 Spalte 232
 Spannungen 13, 242
 Spannungsbild 236
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 80, 85, 87
 Spannungs-Dehnungs-Kurve 14, 81
 spannungsfrei 52
 Spannungskonzentration 290
 Spannungsreduktion 165
 Spannungsrissbildung 286
 Spannungsrisse 43
 Spannungsrissmechanismen 37
 Spannungsspitzen 208, 210 f., 219 f., 290
 Spannungsspitzen im Rippengrund 179
 Spannvorrichtung 239, 243
 Spannvorrichtungen 240, 246, 248
 Sperrschichten 35
 spezifisches Volumen 7, 48, 156, 158, 160, 162
 Spielpassung 200
 Spielzeug 189, 225 f., 228, 256, 266
 spritzfrisches Polyamid 40
 Spritzgießen 56
 Spritzgießmaschine 101
 Spritzgießprozess 63
 Spritzgießverfahren 95
 Spritzgusserzeugnisse 97
 Spritzgussformen 96
 Spritzgussteil 103
 Spritzgussverfahren 77
 Spritzlinge 53
 spröde 7
 sprödem Bruch 81
 Spurenbestandteile 39
 stabile Zyklen 103
 Stabilisatoren 36
 stabilisiert 25
 Stabilisierung des Randes 126
 Stabilisierung mit schwarzen Pigmenten 32
 Stabilisierungsmaterial 25
 Stammform 109, 138, 249
 Stanzen 155
 starrer Körper 7
 starre Systeme 91
 Stecker 274
 Steckkontakte 284
 steif 25
 Steifigkeit 23, 26, 78, 91, 171, 190, 265
 sterische Behinderung 57
 Stiftauswerfer 105, 110, 114, 121 f., 183 f., 297
 stofflich-mediale Belastungen 31
 Stoßkanten 297
 Strahlung 29, 31
 strahlungsundurchlässige Partikel 36
 Streckung 258
 Streckverhalten 259
 Strukturierung 182
 Stückzahl 97
 Stützvorrichtung 246 f.
 Symmetriebedingung 131
 Symmetrie der Form 131
 symmetrische Werkzeuganlage 111
 Systeme für Druckwasser 39

T

Tablettenröhrchen 217
Tankflansch 273
Taschenlampe 249
Tasse 277
Taster 221
Tauchdüsen 124
technische Aufgaben 73
technischer Einsatz 8
technologische
- Abläufe 283
- Funktionsintegration 271, 282, 288
teilkristalliner Kunststoff 6
Telefontasten 290
Temperaturabhängigkeit 9, 14
Temperaturbereich 1, 4, 6
Temperatureinsatzbedingungen 18
Temperatureinsatzbereiche 17
Temperatureinsatzgrenzen 15
Temperaturempfindlichkeit 206
Temperaturfenster 18
Temperaturgrenze 16
Temperaturminderung 157
Temperaturprofil 18, 162
Tempern 165, 207
Tetrapack 227
TGA-Kurven 38
thermische Ausdehnung 9, 237
thermische Belastung 21, 86
thermische Längenausdehnung 13
thermische Längenausdehnungskoeffizienten 11
thermisch gravimetrische Analyse, TGA 37
thermodynamisches Gleichgewicht 164
thermodynamisch günstige Anordnung 42
Thermoformen 187, 189
Thermoformprozess 293
Thermoplaste 1f., 92
thermoplastisches Elastomer 92, 262
Tiefe der Rippen 178
Toleranz 133, 202, 232, 236, 242, 252, 274
Toleranzausgleich 214
Tolerierung 100, 144
Torsion 213
Torsionsbelastung 200
Tragetasche 249
Transport 16
Transportkosten 226
Transportsicherungen 98
Trennebene 100f., 103, 106ff., 110, 112, 123, 279f.
Trennfläche 108
Trennungssprung 107
Trinkwasserhausinstallationen 40
Tuschieren 129, 131
tuschiehende Kerne 130
Tuschierflächen 112, 115

U

Überladung 103
überlagernde Belastungen 200
Überspritzen 284
Umbau 239
Umgebungsdruck 162
Umgebungsmedien 19, 30
Umgebungstemperaturen 24
Umlagerungsprozesse 165
umlaufende Einzüge 187
Umsetzverfahren 289
Umweltmedien 222
ungeplante Nacharbeit 237
ungewollte Demontage 215
unmittelbarer Medienangriff 30
untere Grenztemperatur 15
Unterkühlung 7
Unterpolstern mit Folie 113
UV-Stabilisatoren 32
UV-stabilisierte Typen 36
UV-Stabilisierung 33

V

Ventil 230
Ventilpilz 147
veränderliche Geometrie 227f., 231, 253
veränderliche Rippengeometrie 177
Veränderung der Geometrie 225, 227, 235
Veränderung der molekularen Struktur 33
Veränderung des Kristallisationsgrades 33
Veränderung des Materials 33
Verarbeitung 19
Verarbeitungsprozess 206
Verarbeitungstemperatur 7, 158, 160
Verarbeitungsverfahren 172
Veraschung 56
Verbindungsstelle 197
Verbindungstechnik 196
Verformbarkeit 246
Verformung 45, 89, 242
Verformungsprozesse 246
Verglasung 8, 207
Verjüngung 211
verlängerte Holme 126
Vermeidung von Spannungsspitzen 88
verminderte Spannungen 43
Vernetzungsgrade 194
Verpackung 14, 16, 189, 255, 272
Verrastungen 140
Verrundung 181
verschiebbarer Kern 259
Verschlussdüse 124, 136
Verschlüsse 266
Verschlusskappe 136, 255
Versetzte Rippen 175
Versprödung 7, 87

Verstärkung 86
 Verstärkungsfaser 42, 86
 Versteifung 191
 Verteilerkanal 101, 124
 Verteilung von Lunkern 67
 Verträglichkeit 262f., 290, 292
 Verweilzeit 206
 Verwerfungen 11
 Verzug 22, 61, 69, 169, 220, 241
 Verzweigungen an der Polymerkette 33
 Verzweigungsarchitekturen 194
 Vibrationen 248
 Vielfachwerkzeuge 118
 Vikat-Erweichungstemperatur 4
 viskoelastisches Materialverhalten 21
 viskoses Verformungsverhalten 48
 viskose Verformung 46
 Viskosität 3, 158
 Viskositätsunterschiede 229
 Volumenkontraktion 13
 Volumenschwindung 13
 Volumentheorie 13
 Volumenverminderung 154
 Volumenverpackungen 277
 Voraussetzung, Orientierungen 55
 vorgelagerte Trennebene 124
 Vorratsbehälter 272
 Vorserienfertigung 150
 Vortrocknung 40, 206
 Vorwärmen 207
 Vorwärtsbetrachtung 283

W

wabenartige Struktur 176
 wabenförmige Rippen 176
 Wanddicke 22, 155, 177, 241, 246, 259
 Wanddickenreduktion 153
 Wanddickenunterschiede 154f.
 Wärmeabfuhr 113
 Wärmeausdehnungskoeffizienten 10
 Wärmebeständigkeit 2
 Wärmedämmung 17
 Wärmeleitung 185
 Wärmeleiter 154
 Wärmeleitfähigkeit 24
 Wärmestrahlen 31
 Wärmestrom 178
 Warmwasserleitungsrohre 40
 Wartung 106
 Wartungsaufwand 131, 137

Wasseraufnahme 37
 Wasseraufnahmefähigkeit 230
 Wechseleinsätze 261
 Weichmacherwirkung 37
 Weißbruch 81
 Wellblech 172
 Werbebotschaft 276
 Werkstoffkonstanten 9
 werkstoffliche Verwertung 252
 Werkstoffverbund 252, 263
 Werkstoffwechsel 169
 Werkzeuganlage 103
 Werkzeugaufbau 100
 Werkzeugeinbauhöhe 119f., 126, 141
 Werkzeugeinsätze 88, 109, 127
 Werkzeughälften 107
 Werkzeughohlraum 158
 Werkzeugkern 133
 Werkzeugrohling 100
 Werkzeugschaden 112f.
 Werkzeugverschleiß 129
 Wintergärten 270
 Wölbung 173f.

Z

Zähigkeit 158
 Zahnräder 131
 Zeichnungsforderungen 244
 Zentrierringe 98
 zerstörendes Prüfverfahren 59
 Zerteilen des Körpers 61
 Zuführung der Schmelze 102
 Zugbelastung 200, 213, 258, 278
 Zugeigenspannungen 51
 Zug-E-Modul 14, 78f.
 Zugentlastung 278
 Zugfestigkeit 78f.
 Zugspannungen 79
 zulässige Dehnung 80, 148
 zulässige Massetemperatur 206
 zunehmende Gangtiefe 151
 zusätzliche Entformungsrichtungen 127
 zusätzliche Kavität 289
 Zusatzstoffe 32
 Zuschlagstoff 29f., 33
 Zustandswechsel 160f.
 Zwangsentformung 148, 150f., 186, 220
 Zyklopen 146
 Zykluszeiten 103
 Zylindern 100