

# HANSER



Leseprobe

Torsten Kies

10 Grundregeln zur Konstruktion von Kunststoffprodukten

ISBN (Buch): 978-3-446-44230-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-44168-2

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44230-6>

sowie im Buchhandel.

# Einleitung

## ■ Vorwort

Es gibt nur wenige technische Erzeugnisse, die ohne Kunststoffteile auskommen. Die polymeren Werkstoffe haben sich von billigen Ersatzstoffen zu einzigartigen Hochleistungsmaterialien entwickelt. Das Konstruieren und Gestalten von Erzeugnissen wird derzeit vorwiegend mit dem Einsatz von Metallen als Hauptwerkstoff gelehrt und dem entsprechend angewendet. Bei dieser Herangehensweise können aber bei der Verwendung von Kunststoffen nicht alle Möglichkeiten dieser Materialgruppe genutzt werden und in die Produkte einfließen.

Eine wichtige Sparte der Materialwissenschaft stellt die Kunststofftechnik dar. Auf diesem Gebiet wird intensiv geforscht. Gleichberechtigt zum werkstofftechnischen Aspekt müssen Regeln für eine kunststoffgerechte Konstruktion aufgestellt, verbreitet und angewendet werden. Eine ganze Reihe von Empfehlungen zur Gestaltung von Kunststoffprodukten ist bereits vorhanden. Der praktisch tätige Konstrukteur, der Einsteiger und der „Metall-Umsteiger“ benötigen jedoch eine Systematisierung dieser Lösungsvorschläge, Tipps und Hinweise. Mit diesem Buch wird eine Methodik zur Konstruktion mit Kunststoffen vorgestellt, welche die bekannten Ansätze zu zehn Grundregeln zusammenfasst. Der Anspruch soll nicht sein, diese in aller Vollständigkeit und Tiefe darzustellen. Vielmehr wird ein System eröffnet, mit dem es gelingen sollte, die Besonderheiten der Konstruktion mit Kunststoffen zu erfassen und zu verinnerlichen. Neben dem Aufgreifen und der Diskussion vieler bereits bekannter Lösungsansätze stellt das Buch auch einige neue Lösungen vor und eröffnet alternative Sichtweisen für bestimmte Zusammenhänge.

Das Bestreben der vorliegenden Darstellungsweise ist es, die Sachverhalte in einer einfachen, verständlichen Form wiederzugeben. Vielleicht hat die Entscheidung für eine unkomplizierte Sprache die Konsequenz, dem wissenschaftlichen Anspruch des einen und anderen Kollegen nicht voll und ganz gerecht zu werden. Als Techniker kennen wir aber auch die Aussage, dass einfache Systeme meist zuverlässig und sicher funktionieren. Vielleicht ist der Versuch, das Wissen mit leicht verständlichen Texten darzustellen, auch ein Weg, mehr Personen für das vorliegende Fachgebiet zu gewinnen und damit schon im Ansatz dem prognostizierten Fachkräfte-mangel entgegenzuwirken.

Natürlich wird auf die spezifischen Fachbegriffe zurückgegriffen. Diese werden im Text eingeführt und erklärt.

Für die Übermittlung der inhaltlichen Botschaft spielen die Abbildungen eine wesentliche Rolle. So wird der Leser auch zum Betrachter. Ob ein Bild wirklich mehr als tausend Worte sagen kann, sei dahingestellt. An vielen Stellen unterstützt jedoch die Bebilderung nicht nur das Verständnis der Inhalte, sondern trägt die primären Informationen und soll damit zum schnellen Verständnis der Zusammenhänge beitragen.

Um den Preis des Buches auch für Studentinnen und Studenten attraktiv gestalten zu können, wurde die Print-Ausgabe in Graustufen realisiert. In der E-Book Ausgabe sind die Abbildungen dagegen farbig gestaltet. Welchem Medium man nun den Vorzug gibt, kann man nach eigenen Vorstellungen entscheiden.

## ■ Zum Inhalt des Buches

Die zehn Grundregeln sind anwendungsbezogen formuliert worden. Ihnen werden die bekannten und bewährten Konstruktionshinweise zu Kunststoffprodukten zugeordnet.

Zunächst erfolgen materialspezifische Betrachtungen in Bezug auf die Umgebungsbedingungen (Kapitel 1: „Temperatureinsatzbereich“).

Untersucht wird, in welchen Temperaturbereichen die Funktion von Kunststoffteilen gegeben ist. Zum Verständnis der Herstellungsprozesse werden die grundlegenden Vorgänge beim Phasenwechsel, von der hochviskosen Schmelze zum erstarrten Zustand und umgekehrt, beschrieben und auf weitere Phasenübergänge am starren Körper und deren Konsequenzen eingegangen. Dem Leser wird vermittelt, dass die Temperaturabhängigkeit von Werkstoffkennwerten bei Kunststoffen besonders stark ausgeprägt ist und eine genaue Kenntnis über die von außen auf das Erzeugnis einwirkenden Größen die Voraussetzung für die Entwicklung eines hochwertigen Erzeugnisses ist. Letztlich werden einige konstruktive Möglichkeiten vorgestellt, mit denen Kunststofferzeugnisse auch noch bei grenzwertigen Temperaturen ihre Funktion erfüllen.

Das zweite Kapitel („Medienangriff“) behandelt die Wechselwirkungen, die Kunststoffe mit den sie umgebenden Medien eingehen. Zunächst erfolgt eine Systematisierung der angreifenden Stoffe und Strahlungen sowie Erklärungen zu den beim Medienangriff ablaufenden Mechanismen. Aufbauend auf diesen Grundlagen folgen Äußerungen zu den Auswirkungen angreifender Medien auf die Funktionserfüllung von Kunststoffteilen.

Anschließend werden in Kapitel 3 („Spannungszustand“) die Auswirkungen des auf die Bauteile einwirkenden Kraftfeldes dargelegt. Herausgearbeitet werden die Unterschiede zwischen Orientierungen und Spannungen. Möglichkeiten ihres Nachweises werden aufgezeigt und die Konsequenzen von wirkenden Spannungen und vorhandenen Orientierungen auf ein Kunststofferzeugnis benannt.

Ab dem vierten Kapitel werden die Unterschiede zwischen den beiden Materialklassen Metalle und Kunststoffe dargestellt. Nach notwendigen Erklärungen zu grundlegenden technischen Sachverhalten und Herstellungsverfahren von Kunststofferzeugnissen wird auf die für die Polymere charakteristischen mechanischen Eigenschaften eingegangen und diese mit denen der Metalle verglichen. Auch wenn die Steifigkeit und die Festigkeit der Kunststoffe geringer ist als die der meisten Metalle, erschließt das deutlich bessere Verformungspotenzial von Polymeren Einsatzmöglichkeiten, die mit Metallen so nicht zugänglich sind. Herausgearbeitet wird, dass mit Polymeren große Verformungen schadensfrei realisiert werden können (Kapitel 4: „Schadensfreie Verformung“). Im Gegensatz zur Konstruktion mit Metallen betrachtet man bei Kunststoffen nicht primär die aufnehmbaren Spannungen, sondern die möglichen Verformungen. Mit Kunststoffen können nicht nur starre, sondern auch flexible Konstruktionen realisiert werden. Die unterschiedliche Herangehensweise für diese beiden Varianten wird erklärt.

Ein Schwerpunkt wird im Rahmen von Kapitel 5 („Entformbarkeit“) auf die fertigungsgerechte Konstruktion von Kunststoffteilen gelegt. Während zur Herstellung von Produkten aus Metall mehrere Fertigungsverfahren auch bei der Massenfertigung in Frage kommen, konzentriert sich das Produktionsverfahren bei Kunststoffen bei strang- oder plattenartigen Produkten auf das Extrusionsverfahren, bei dreidimensional ausgeprägten Erzeugnissen vor allem auf das Spritzgießen. Weil das Spritzgießen allein wegen der Vielzahl der Erzeugnisse ein deutlich höheres ingenieurtechnisches Volumen beansprucht, konzentrieren sich hier die Überlegungen zur Entformbarkeit von Kunststoffteilen auf dieses Verfahren. Die fundamentalen Aussagen sind selbstverständlich auf andere Verfahren übertragbar. Dem Leser werden einführende Kenntnisse zum Werkzeugbau vermittelt, damit er in der Lage ist, die Konsequenzen seiner Konstruktion für die Umsetzung der Werkzeugtechnik einzuschätzen. Die Möglichkeiten des Spritzgusswerkzeubaus werden vom Einfachen zum Komplizierten hin aufgezeigt und einige Anwendungen dargestellt, die mit den besprochenen Werkzeugen hergestellt werden können. Wenn mit diesen Kenntnissen die Konstrukteure Teile auf optimale Entformungsmöglichkeiten hin entwickeln, eröffnen sich neue Impulse für eine hocheffektive Massenfertigung.

Die Forderung nach gleichmäßigen Wandstärken bei Kunststoffprodukten wird im sechsten Kapitel („Konstante Wanddicken“) aus der im Vergleich zu Metallen sehr langsamen Abkühlungsgeschwindigkeit polymerer Werkstoffe beim Urformen abgeleitet. Die Aussagen werden mit der verfahrenstechnischen Beschreibung des Spritzgussprozesses untermauert. So können anschließend Probleme am Erzeugnis

erklärt werden, die aufgrund von Wanddickenunterschieden entstehen und Lösungsempfehlungen ausgesprochen werden. Abschließend folgt die Darstellung von Besonderheiten an Ecken und Kanten am Erzeugnis und Vorschläge für entsprechende Konstruktionsregeln, um verzugsfreie Formteile gestalten zu können.

Nachdem die ersten sechs Grundregeln material- und fertigungstechnische Aspekte behandeln, konzentrieren sich die folgenden drei Kapitel auf die geometrische Ausgestaltung der Produkte.

Aufgrund des geringeren Moduls von Kunststoffen können viele Produkte mit der beim Einsatz von Metall bewährten Geometrie nicht zufriedenstellend umgesetzt werden. Die geringfügige Erhöhung des Moduls durch die Zugabe von Verstärkungsfasern zum Grundpolymer bringt selten hinreichende Ergebnisse. Im siebten Kapitel („Geometrische Versteifung“) werden drei Möglichkeiten aufgezeigt, die Aussteifung der Erzeugnisse mit geometrischen Mitteln zu realisieren, und deren Besonderheiten beim Einsatz in Kunststoffbauteilen erklärt.

Genauso, wie durch eine entsprechende Gestaltung die Versteifung einer Geometrie möglich ist, kann mit geometrischen Mitteln auch eine stärkere Verformung in bestimmten Bereichen eines Teils erreicht werden, ohne dass man Modifikationen am Grundwerkstoff vornimmt. Das Buch stellt dazu in Kapitel 8 („Konstruktive Duktilität“) Methoden vor und zeigt eine Reihe von praktischen Anwendungen auf.

Viele technische Produkte realisieren in der einen oder anderen Form Bewegungen. Bei starren Konstruktionen werden solche Anwendungen durch die Verschiebung von Einzelteilen zueinander realisiert. Das ist fertigungstechnisch aufwendig und wirkt sich stark auf den Preis der Produkte aus. In Folge des ausgeprägten Verformungsverhaltens polymerer Materialien können mit (teil-)flexiblen Konstruktionen aber auch Lösungen realisiert werden, bei denen die funktionelle Bewegung durch ein integrales Teil wahrgenommen wird. Einige solcher Realisierungsmöglichkeiten werden in Kapitel 9 („Veränderliche Geometrie“) vorgestellt und diskutiert. Neben der Verformung der Produkte im Rahmen ihres Einsatzes muss bei Kunststoffen auch eine Verformung nach dem Spritzgießen bei Lagerung und Transport sowie eine Veränderung der Geometrie bei nachgelagerten Produktionsprozessen berücksichtigt werden. Der Konstrukteur muss das einkalkulieren und die Geometrie der Erzeugnisse für die jeweiligen Zeitpunkte beziehungsweise Zustände beschreiben.

Kapitel 10 („Funktionsintegration“) am Ende des Buches beschreibt die Funktionsintegration beim Einsatz von Kunststoffen. Inhaltlich wird dieses Kapitel aus einer Vorlesung gespeist, die der Autor bis zum Ende ihres Bestehens an der Hochschule Lausitz unter gleichem Titel hielt. Zunächst werden die Aspekte beim Entwurf von Erzeugnissen untersucht. Hier möchte man das Erzeugnis mit Extra-Funktionen ausstatten, um dem Anwender einen zusätzlichen Nutzen zu eröffnen. Aber auch die technologischen Gesichtspunkte der Funktionsintegration werden dargestellt. Die Funktionsintegration zielt hier auf die Produktionsprozesse, um diese in der

Massenproduktion noch günstiger zu gestalten. Einige der in diesem Zusammenhang stehenden Sonderverfahren des Spritzgießens werden vorgestellt und mit praktischen Beispielen belegt. Auf die Besonderheiten, die diese Sonderverfahren bei der Gestaltung von Formteilen erfordern, wird kurz eingegangen. So wird ein Handwerkszeug geschaffen, das auch die Entwicklung und konkurrenzfähige Produktion von Kunststofferzeugnissen in Ländern mit hohem Lohnniveau ermöglicht.

## ■ Danksagung

Dieses Buch konnte entstehen, weil Studentinnen und Studenten Fragen stellten. So suchte ich, angeregt durch die Fragen während der Lehrveranstaltungen, nach Wegen, 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 subjektiv – den Eindruck, dass das Niveau des wiedergegebenen Wissens nach der Umstellung wesentlich höher anzusiedeln war als vor der Umstellung. Besonders beeindruckte mich, dass die Kandidaten die konstruktiven Merkmale und Besonderheiten realer Teile, die sie während ihres mündlichen Examens 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 Projekts unterstützten.

Besonderer Dank gilt meinem persönlichen Umfeld. Meine liebe Frau zeigte viel Verständnis während der Schreibphase und brachte viele Müllheimer weg, deren Entsorgung in unserem Haushalt eigentlich mir zugestanden hätte. Als die Konzeption stand, fand sie die meisten Rechtschreibfehler im Manuskript. Während der Überarbeitung zeigte 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.

# Inhalt

<b>Einleitung .....</b>	V
Vorwort .....	V
Zum Inhalt des Buches .....	VI
Danksagung .....	IX
<b>1 Temperatureinsatzbereich .....</b>	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 .....	5
1.1.3 Phasenübergänge am starren Körper .....	6
1.2 Die Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte von Kunststoffen .....	8
1.2.1 Der Vergleich mit anderen Werkstoffgruppen .....	8
1.2.2 Die thermische Ausdehnung .....	9
1.2.3 Temperaturabhängiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten .....	12
1.3 Der Einsatztemperaturbereich .....	14
1.3.1 Tatsächlich wirkende Temperaturen .....	14
1.3.2 Temperaturabhängige Lasteinwirkung .....	15
1.3.3 Die Notwenigkeit von einsatznahen Funktionsuntersuchungen .....	17
1.4 Der Einfluss der Geometrie auf die Temperaturbeständigkeit .....	18
1.4.1 Aussagefähigkeit der Rohstoffkennwerte .....	18
1.4.2 Betrachtete Geometrie .....	19
1.4.3 Modifikation der Wanddicke .....	20
1.4.4 Belastungsdauer und Durchwärmung der Produkte .....	21
1.4.5 Bessere Wärmestandfestigkeit durch Faserverstärkung .....	22
1.4.6 Werkstoffkombination .....	23
1.4.7 Einseitige Kühlung am Erzeugnis .....	23
1.4.8 Zusätzliche Versteifungen gegen die thermisch bedingte Biegung .....	25
<b>2 Medienangriff .....</b>	27
2.1 Die Wirkung von Medien auf Kunststoffe .....	27
2.1.1 Begriffserklärung: Medienangriff .....	27
2.1.2 Direkter und indirekter Medienangriff .....	28
2.1.3 Strahlungs- und stofflich-medialer Angriff .....	29
2.1.4 Chemischer und physikalischer Medienangriff .....	31
2.2 Voraussetzungen für einen Medienangriff .....	32

2.3	Der Schutz vor Medienangriff . . . . .	33
2.4	Die Schädigungsmechanismen . . . . .	34
2.4.1	Arten der Schädigungsmechanismen . . . . .	34
2.4.2	Der oxidative Abbau . . . . .	35
2.4.3	Schädigung durch Hydrolyse . . . . .	36
2.4.4	Schädigung durch Chemikalien . . . . .	40
<b>3</b>	<b>Spannungszustand . . . . .</b>	<b>43</b>
3.1	Die Ursache von Spannungen . . . . .	43
3.1.1	Krafteinwirkung auf eine Flüssigkeit . . . . .	43
3.1.2	Krafteinwirkung auf einen Festkörper . . . . .	45
3.1.3	Viskoses und elastisches Verformungsverhalten von Kunststoffen . . . . .	46
3.2	Spannungen am Bauteil . . . . .	47
3.3	Spannungen und Orientierungen . . . . .	50
3.3.1	Die Unterscheidung zwischen Spannungen und Orientierungen . . . . .	50
3.3.2	Orientierungen in Kunststoffprodukten . . . . .	52
3.3.2.1	Voraussetzungen für Orientierungen . . . . .	52
3.3.2.2	Orientierungen bei faserverstärkten Materialien . . . . .	53
3.3.2.3	Molekülorientierungen . . . . .	55
3.3.3	Eigenspannungen . . . . .	56
3.4	Die Bildung von Orientierungen und Eigenspannungen . . . . .	58
3.4.1	Unterschiede zwischen Spannungen und Orientierungen . . . . .	58
3.5	Eigenspannungen und Orientierungen beim Spitzgießen . . . . .	60
3.5.1	Orientierungen und Eigenspannungen am Spritzgussteil . . . . .	60
3.5.2	Die Ausbildung von Orientierungen . . . . .	61
3.5.3	Eigenspannungen beim Spritzgießen . . . . .	62
3.5.3.1	Ursachen der Eigenspannungen . . . . .	62
3.5.3.2	Prozessablauf beim Spritzgießen . . . . .	63
3.5.3.3	Die Entformung . . . . .	65
3.5.3.4	Auswirkungen einer Schwindungsbehinderung auf Eigenspannungen . . . . .	67
3.5.3.5	Eigenspannungen bei Montageprozessen . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Schadensfreie Verformung . . . . .</b>	<b>69</b>
4.1	Einordnung . . . . .	69
4.2	Differential- und Integralbauweise . . . . .	70
4.2.1	Unterscheidung der Kategorien . . . . .	70
4.2.2	Die Differentialbauweise . . . . .	70
4.2.3	Die Integralbauweise . . . . .	71
4.2.4	Die Mischbauweise . . . . .	72
4.2.5	Geeignete Bauweisen für Kunststoffprodukte . . . . .	73
4.3	Das Verformungsverhalten der Werkstoffe . . . . .	74
4.3.1	Begriffe zum Verformungsverhalten . . . . .	74
4.3.2	Die Zugfestigkeit . . . . .	75
4.3.3	Die Steifigkeit eines Materials . . . . .	75

4.3.4	Die Dehnung .....	76
4.3.4.1	Die Kritische Dehnung .....	76
4.3.4.2	Die zulässige Dehnung .....	77
4.3.5	Bauteilspezifische Minderung .....	79
4.3.5.1	Einflussfaktoren .....	79
4.3.5.2	Vorgehensweise .....	79
4.3.5.3	Anzahl der Lastwechsel .....	80
4.3.5.4	Füll- und Verstärkungsstoffe .....	81
4.3.5.5	Starke Materialbelastung bei der Fertigung .....	82
4.3.5.6	Mehrachsige Spannungszustände .....	82
4.3.5.7	Beanspruchungsgeschwindigkeit .....	83
4.3.5.8	Die Wanddicke .....	83
4.3.5.9	Berücksichtigung der Kerbwirkung .....	83
4.4	Starre und flexible Konstruktionen .....	84
<b>5</b>	<b>Entformbarkeit .....</b>	<b>89</b>
5.1	Beschreibung der Situation .....	89
5.1.1	Die Entwicklung von Werkzeugen .....	89
5.1.2	Stückzahlen .....	90
5.1.3	Die Verwendung von Normalien im Werkzeugbau .....	91
5.2	Teile aus der flachen Trennebene .....	93
5.2.1	Die Werkzeuganlage .....	93
5.2.2	Auswerfen .....	97
5.2.3	Besonderheiten .....	99
5.3	Teile aus Werkzeugen mit Trennungssprung .....	100
5.3.1	Die Werkzeuganlage .....	100
5.3.2	Auswerfen .....	102
5.3.3	Besonderheiten .....	103
5.4	Teile mit Durchbrüchen und Werkzeuge mit Blockierungen .....	104
5.4.1	Die Werkzeuganlage .....	104
5.4.2	Auswerfen .....	106
5.4.3	Besonderheiten .....	109
5.5	Becherförmige Teile .....	111
5.5.1	Die Werkzeuganlage .....	111
5.5.2	Auswerfen .....	112
5.5.3	Besonderheiten .....	114
5.6	Schieber- und Backenwerkzeuge mit zusätzlichen Trennebenen .....	119
5.6.1	Der Werkzeugaufbau .....	119
5.6.2	Auswerfen .....	122
5.6.3	Besonderheiten .....	122
5.7	Ausdreh-Werkzeuge für innere Gewinde .....	125
5.7.1	Die Werkzeuganlage .....	125
5.7.2	Auswerfen .....	126
5.7.3	Besonderheiten .....	127

5.8	Werkzeuge mit inneren Schiebern und Einfallkernen .....	129
5.8.1	Das Werkzeugkonzept .....	129
5.8.2	Auswerfen .....	131
5.8.3	Besonderheiten .....	131
5.9	Teile mit extremen Hinterschneidungen .....	133
5.9.1	Verfahrenstechnik und Werkzeugaufbau .....	133
5.9.2	Auswerfen und Nachbearbeitung .....	136
5.9.3	Besonderheiten .....	137
5.10	Teile mit Hinterschneidungen, die Zwangsentformung zulassen .....	138
5.10.1	Der grundsätzliche Werkzeugaufbau .....	138
5.10.2	Auswerfer .....	140
5.10.3	Besonderheiten .....	140
<b>6</b>	<b>Konstante Wanddicken .....</b>	<b>143</b>
6.1	Wanddicken an einem Erzeugnis .....	143
6.1.1	Wanddicken und Leichtbau .....	143
6.1.2	Wanddicke und Verarbeitungsverfahren .....	144
6.2	Grundlagen von technologischen Prozessen bei der Kunststoffverarbeitung .....	146
6.2.1	Einordnung .....	146
6.2.2	Betrachtungsweise .....	146
6.2.3	Erwärmen der Schmelze .....	150
6.2.4	Kompression zur Formgebung .....	150
6.2.5	Abkühlung unter Druckabbau .....	151
6.2.6	Isobare Abkühlung bei atmosphärischem Druck .....	152
6.3	Probleme, die durch Wanddickenunterschiede verursacht sind .....	153
6.4	Das Kantenproblem bei kastenartigen Strukturen .....	156
<b>7</b>	<b>Geometrische Versteifung .....</b>	<b>161</b>
7.1	Ausführungen einer geometrischen Versteifung .....	161
7.1.1	Erhöhung der Steifigkeit .....	161
7.1.2	Varianten der geometrischen Versteifung .....	162
7.2	Versteifung mit Rippen .....	164
7.2.1	Rippenversteifung an belasteten Flächen .....	164
7.2.2	Anordnung der Rippen .....	164
7.2.3	Belastungsgerechte Anpassung der Rippen .....	166
7.2.4	Anbindung der Rippen an die Grundstruktur .....	168
7.2.5	Werkzeugtechnische Umsetzung von Rippenstrukturen .....	172
7.2.6	Funktionale Einbindung von Rippen .....	175
7.3	Versteifung mit Schalengeometrie .....	176
7.3.1	Schalengeometrie als Art des fertigungsgerechten Konstruierens .....	176
7.3.2	Zur konstruktiven Umsetzung .....	177
7.4	Anwendung des Prinzips „Wellblech“ .....	178
7.5	Kombination der Möglichkeiten zur geometrischen Versteifung .....	179

<b>8 Konstruktive Duktilität .....</b>	181
8.1 Duktilität als Konstruktionsforderung .....	181
8.2 Rasthaken .....	184
8.2.1 Vorteile von Rasthaken .....	184
8.2.2 Montagestrategien .....	184
8.2.3 Varianten der Rastverbindungen .....	186
8.3 Montagebruch an Rasthaken .....	191
8.3.1 Grundsätzliche Lösungsansätze .....	191
8.3.2 Technologische Maßnahmen gegen den Montagebruch von Rasthaken ..	191
8.3.2.1 Zur Vorgehensweise .....	191
8.3.2.2 Eingangsgrößen für den Prozess .....	192
8.3.2.3 Betrachtung des Herstellungsprozesses für die Bauteile .....	193
8.3.2.4 Betrachtung des Montageprozesses .....	194
8.3.3 Grundsätzliche konstruktive Möglichkeiten zur Vermeidung des Montagebruchs von Rasthaken .....	194
8.3.4 Beseitigung der Kerbwirkung .....	195
8.3.5 Vergrößerung der Biegelänge .....	196
8.3.6 Veränderungen am Querschnitt des Rasthakens .....	197
8.3.7 Verminderung der Durchbiegung .....	198
8.3.8 Zusätzliche, alternative Verformungsmechanismen .....	199
8.3.9 Alternatives Konstruktionsprinzip für die Rastverbindung .....	200
8.4 Vermeidung einer unbeabsichtigten Demontage von Rastverbindungen .....	201
8.5 Weitere duktile Konstruktionselemente .....	203
8.6 Möglichkeiten zur Verbesserung der Duktilität .....	204
8.6.1 Überblick .....	204
8.6.2 Anspritzen einer weichen Komponente .....	204
8.6.3 Schlitze an becherartigen Formteilen .....	205
8.6.4 Faltungen an Schalenelementen .....	206
8.7 Zur Modifikationen von Gehäusen .....	207
<b>9 Veränderliche Geometrie .....</b>	211
9.1 Begriffsbestimmung .....	211
9.2 Veränderliche Geometrie als Nutzungsmerkmal bei Kunststoffprodukten .....	214
9.2.1 Mögliche Mechanismen .....	214
9.2.2 Temperatureinfluss .....	215
9.2.3 Medienaufnahme und Medienabgabe .....	216
9.2.4 Freisetzen von Spannungen .....	217
9.2.5 Verformungsverhalten .....	217
9.3 Veränderliche Geometrie für unterschiedliche Abschnitte des Produktlebenszyklus .....	218
9.3.1 Motivation .....	218
9.3.2 Allmähliche Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess und beim Gebrauch .....	220
9.3.3 Allmähliche anwendungsbedingte Veränderung der Geometrie .....	222

9.4	Diskontinuierliche, schnelle Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess	223
9.4.1	Begriffserklärung	223
9.4.2	Spannvorrichtungen	224
9.4.3	Vorrichtungen zum nachträglichen Kalibrieren	228
9.4.4	Nachträgliche Bearbeitung eines Bauteils	230
9.4.5	Einspannen des Bauteils für die Montage	231
9.4.6	Demontage von Baugruppen vor dem Einsatz	233
9.4.7	Umbau von Baugruppen nach der ersten Nutzungsphase, um eine weitere Nutzung zu ermöglichen	234
9.4.8	Rückbau von Baugruppen nach der Nutzung	234
9.5	Funktionsbedingte veränderliche Geometrie	238
9.5.1	Erprobte Einsatzgebiete	238
9.5.2	Gelenklose Anwendungen, die Duktilität nutzen	239
9.5.3	Lokale Gelenke	241
9.5.4	Faltbare Anwendungen	244
9.5.5	Lokale Flexibilität und Hochelastische Anwendungen	246
9.5.5.1	Realisierung mit einer weichen Materialkomponente	246
9.5.5.2	Realisierung mit konstruktiver Duktilität	248
9.5.6	Reversibles Beulen	249
<b>10</b>	<b>Funktionsintegration</b>	<b>253</b>
10.1	Der Begriff Funktionsintegration	253
10.2	Die konstruktive Funktionsintegration	257
10.2.1	Das Wesen der konstruktiven Funktionsintegration	257
10.2.2	Das Prinzip „Funktionelle Mehrfachnutzung“	259
10.2.3	Das Prinzip „zusätzliche Geometrie“ zur Gewährleistung einer weiteren Funktion	260
10.2.4	Vergleich der beiden Prinzipien	261
10.2.5	Beispiele für eine konstruktive Funktionsintegration	263
10.3	Die technologische Funktionsintegration	265
10.3.1	Optimierung der technologischen Abläufe	265
10.3.2	Funktionsintegration durch Anpassung technologischer Abläufe	266
10.4	Sonderverfahren als Mittel der technologischen Funktionsintegration	270
10.4.1	Übersicht	270
10.4.2	Die Sondertechnologie „Mehrkomponentenspritzgießen“	271
10.4.3	Einige Gestaltungsregeln zum Mehrkomponentenspritzgießen	272
10.4.4	Sondertechnologien als Hinterspritzverfahren	275
<b>11</b>	<b>Checkliste zur Konstruktion von Kunststoffteilen</b>	<b>281</b>
<b>Autor</b>		<b>287</b>
Prof. Torsten Kies		287
<b>Index</b>		<b>289</b>

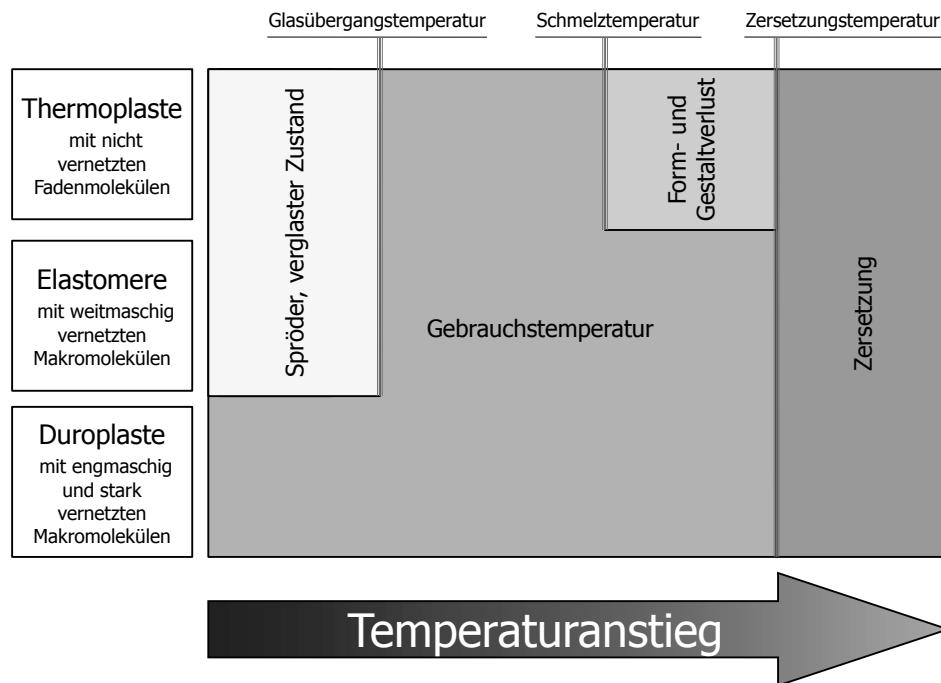


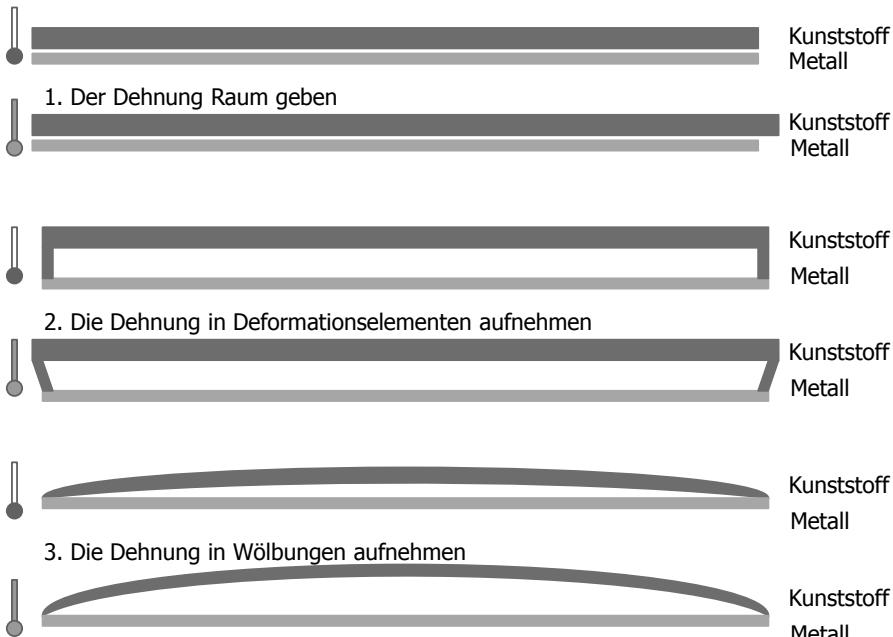
Bild 1.4 Polymere bei unterschiedlichen Temperaturen

## ■ 1.2 Die Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte von Kunststoffen

### 1.2.1 Der Vergleich mit anderen Werkstoffgruppen

Aber auch innerhalb des Gebrauchstemperaturbereiches haben die Werkstoffkonstanten von Polymeren eine ungewöhnlich große Abhängigkeit von der jeweils herrschenden Temperatur. Die Eigenschaften des verwendeten Polymers sind viel stärker von der Temperatur abhängig als bei gebräuchlichen Metallen. So müssen unterschiedliche Temperaturen auch im Einsatz von Kunststoffteilen berücksichtigt werden.

Ein Kraftfahrzeug muss im Winter bei strengem Frost funktionieren, wie auch im Sommer bei starker Hitze.



**Bild 1.7** Konstruktive Möglichkeiten zum Ausgleich unterschiedlicher Längenausdehnung bei einer Kunststoff-Metall-Kombination

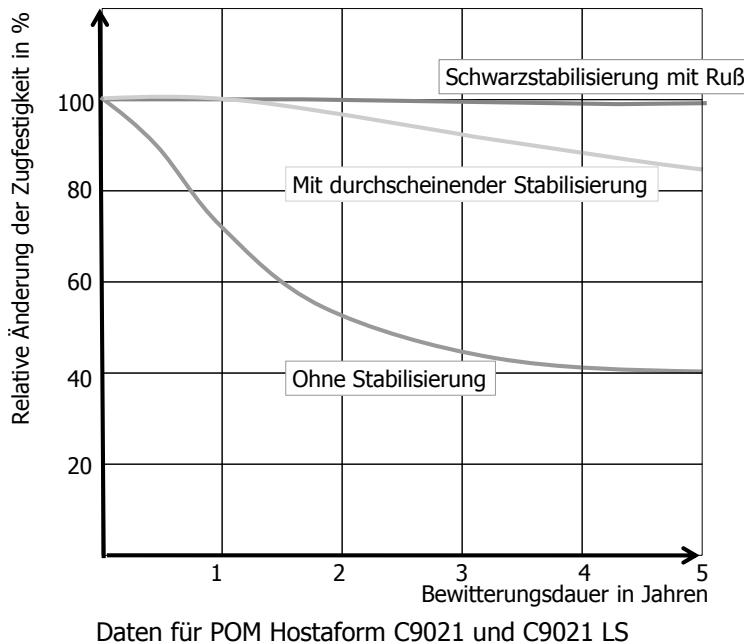
Eine Möglichkeit besteht darin, einzelne Karosserieelemente stufenförmig überlappen zu lassen. Die thermische Ausdehnung äußert sich dann in einer äußerlich nicht erkennbaren Überlappung der Elemente. Die Fixierung der Kunststoffelemente an den Stahlbauteilen muss einen thermischen Ausgleich entsprechend zulassen.

Wenn die Dehnung durch eine stärkere Wölbung aufgenommen wird, dann kann an den Rändern eine Fixierung des Kunststoffbauteils erfolgen. So stellt man konstante Spaltmaße sicher.

Bei der Anwendung einer Gemischtbauweise aus Metall und Kunststoffelementen müssen so resultierend aus den neuen technischen Erfordernissen auch neue Designelemente am Markt platziert werden.

Fahrzeuge mit großflächigen Kunststoffbauteilen im Karosseriebereich sollten runderlicher angelegt sein. Dies wäre eine neue Formensprache, die die Erfordernisse des Werkstoffs Kunststoff erfüllt und gleichzeitig auch die Potenziale dieser Werkstoffgruppe in Bezug auf die Gestaltungsmöglichkeiten abbildet. Mit dem bisher eingesetzten Metall-Blech können bei der üblichen Kaltverformung nur eingeschränkt Wölbungen gepresst werden.

Bei der Umstellung der Technologie auf neue Werkstoffe ist neben den reinen funktionalen Erfordernissen immer auch noch ein erfolgreiches Marketing erforderlich.



Daten für POM Hostaform C9021 und C9021 LS

**Bild 2.2** Auswirkungen der Bestrahlung von Kunststoffen

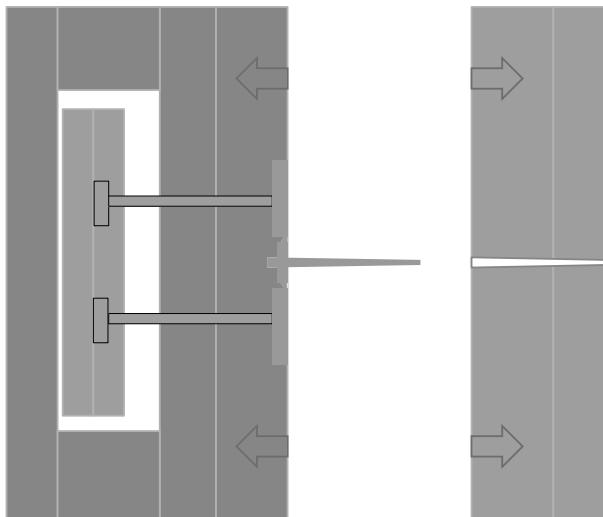
Um die Wirkung der UV-Strahlen auf die Polymere zu vermindern, wurden spezielle UV-Stabilisatoren entwickelt und diese Zusatzstoffe den Polymeren zugesetzt. Die gelbe Kurve in Bild 2.2 „mit durchscheinender Stabilisierung“ zeigt ein solches Stoffsysteem. Wird das Eindringen von UV-Strahlen in den Kunststoffkörper 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).

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.

Das in Bild 2.2 dargestellte POM ist aufgrund des 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 Kraftstoffversorgungssystem von Kraftfahrzeugen der Fall ist. Beachtet werden muss, dass, wenn auf eine Stabilisierung bewusst verzichtet werden soll, im Produktlebenszyklus nur über kurze Zeit das Erzeugnis dem Sonnenlicht ausgesetzt ist. Das schließt die Lagerhaltung und Transportprozesse ein.

Andere Erzeugnisse werden besonders stark von UV-Strahlung angegriffen. Sollen Scheiben von Automobilen anstelle aus Glas zur Gewichtserspartis aus Kunststof-

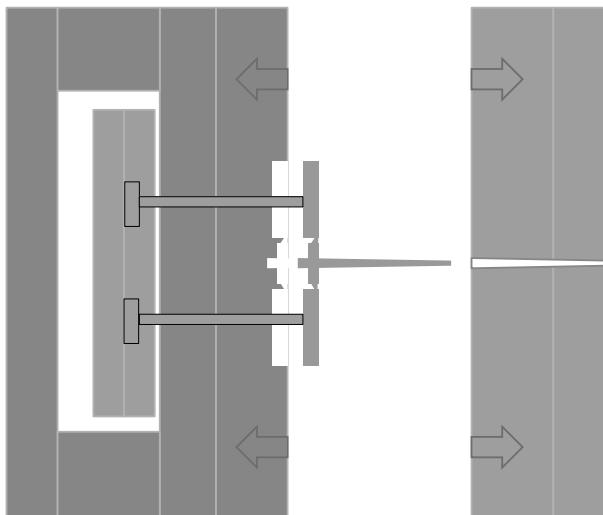
ferseite sichergestellt. (Auf die Darstellung des Mittenauswerfers und der Stifte für die Entformung des Kunststoffs im Verteilerkanal wurde in den Bildern 5.3 bis 5.7 verzichtet.)

**Bild 5.5**

Schematische Darstellung des geöffneten Spritzgusswerkzeuges

### 5.2.2 Auswerfen

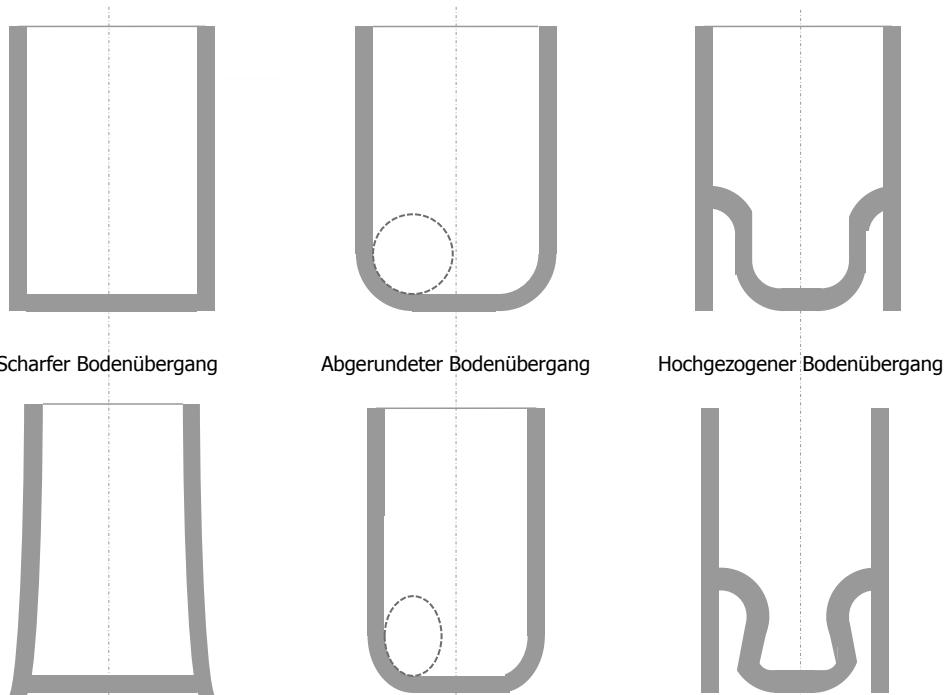
Die Entnahme des Formlings ist bei geöffnetem Werkzeug jedoch noch nicht möglich. Der Kunststoff wird regelrecht in den Formhohlraum eingepresst, so dass der Formling nicht von Hand aus der Kavität entnommen werden kann. Zur Entformung des Spritzgussteils werden Auswerfer vorgesehen, die beim Vorfahren das Formteil und den Anguss aus der Kavität drücken (Bild 5.6).

**Bild 5.6**

Auswerfen des Formteils

Die Schwierigkeiten des Spannungszustands im Bereich des Becherbodens wurde bereits in Abschnitt 3.5 diskutiert. Durch eine spezielle Gestaltung der Spritzguss-teile am Bodenübergang lässt sich dieses Problem entschärfen. In Bild 5.25 ist links ein Becherboden ohne Ausgleichsmaßnahmen dargestellt. Die schwindungsbedingten Zugeigenspannungen der Becherwand führen zu einer Deformation, wie sie im Bild 5.25 links unten schematisch dargestellt ist.

Rundet man den Übergang zwischen Becherboden und die Becherwand mit einem ausreichend großen Radius, wie in Bild 5.25 in der mittleren Darstellung gezeigt wird, bewirkt die Schwindung, dass eine eingebrachte Rundung nach dem Erkalten des Formteils von der idealen Kreisform abweicht.



**Bild 5.25** Unterschiedlicher Wand-Boden-Übergang bei becherförmigen Formteilen:  
obere Reihe: theoretische Form; untere Reihe: reale Form aufgrund der Wechselwirkung zwischen Wand und Boden bei Schwindung der Formteile

Schließlich besteht die Möglichkeit, die Anbindung des Becherbodens an die Becherwand durch das Einsetzen einer Stufe aufzulösen. In Bild 5.25 wird dies in der rechten Darstellung schematisch gezeigt. Beim erkalteten Formteil wird die Deformation vor allem im Bereich dieser Stufe erkennbar. An den Funktionsdetails Becherboden und Becherwand sind nur geringe Eigenspannungen vorhanden.

Die in Bild 5.25 rechts gezeigte Variante findet man vor allem bei Verpackungsbehältern, die Etiketten tragen. Die Werbe- und Informationsträger werden als Folien

# 7

# Geometrische Versteifung

## ■ 7.1 Ausführungen einer geometrischen Versteifung

### 7.1.1 Erhöhung der Steifigkeit

Kunststoffe haben einen um etwa zwei bis drei Größenordnungen geringeren E-Modul als die meisten Metalle. Wirken auf Formteile aus Kunststoff Kräfte ein, verformt sich bei gleicher Geometrie ein Körper aus Kunststoff viel stärker als ein Bauteil aus Metall. Für manche Anwendungen ist dieses Verhalten vorteilhaft, für andere weniger.

Materialwissenschaftler unternehmen große Anstrengungen, um die Werkstoffeigenschaften gezielt auf einen Anwendungsfall hin zu designen. Aufgrund der immer komplexer werdenden Formteile kann dieser Ansatz nur eine Variante sein, um die bestehenden technischen Herausforderungen zu lösen, er muss mit weiteren Lösungen ergänzt werden.

Eine Möglichkeit für Kunststoffe, einen höheren E-Modul zu realisieren, ist der Einsatz von glasfaserverstärktem Material. Der E-Modul kann durch hohe Füllgrade etwa verdoppelt, bei teuren Fasern mit besonderer Funktion ungefähr verdreifacht werden. Die Steifigkeit von Stahl wird jedoch mit der Zugabe von Füllstoffen keinesfalls erreicht.

Gerade bei einer komplexen Geometrie des Formteils müssen mehrere technische Aufgaben erfüllt werden, die oft entgegengesetzte Anforderungen stellen. So müssen die Teile bei einer Funktion „Abdichten gegen Medienaustritt“ duktil genug sein, um nur minimale Spalte zwischen den Bauteilen zu belassen, aber auch hinreichend steif, damit ein sicherer Sitz der Teile aufeinander und eine sichere Positionierung zueinander gegeben ist. Geht man hier den Weg des optimalen Materials, muss man mehrere Einzelteile verwenden, die jeweils einzeln hergestellt und miteinander gefügt werden müssen. Man legt sich dann auf die Differentialbauweise fest.

Sollen die Vorteile der Integralbauweise – wenige sehr komplexe Teile mit insgesamt geringem Fertigungs- und Montageaufwand (vergleiche Abschnitt 4.2.3) – zum Tragen kommen, muss man auf Möglichkeiten zurück greifen können, die es erlauben,

die gestellten technischen Aufgaben durch eine bestimmte geometrische Gestaltung zu erfüllen.

### 7.1.2 Varianten der geometrischen Versteifung

Bekannt ist die Versteifung mit Rippen, die dem im Bild 7.2 dargestellten Prinzip folgt. Die Rippen werden hier als senkrecht auf der Funktionsfläche angebrachte Flächen verstanden (Bild 7.1, oben).

Weiterhin können mit schalenförmig gewölbten Strukturen Flächen geometrisch verstieft werden. Die Motorhaube eines PKWs ist ein bekanntes Beispiel für solche Anwendungen (Bild 7.1, Mitte).

Auch die vom Wellblech her bekannte Form bringt eine geometrische Versteifung (Bild 7.2, unten). Die Versteifung muss hier nicht wie beim aus dem Bauwesen bekannten Wellblech auf eine Vorzugsrichtung beschränkt sein. Von Schallschutzverkleidungen sind auch Ausführungen bekannt, bei denen die Versteifung der Platten in beiden Belastungsrichtungen gleichgewichtet ausgeführt ist.

Versteifung durch Rippen



Versteifung durch Wölbung



Versteifung als Wellblech



**Bild 7.1**

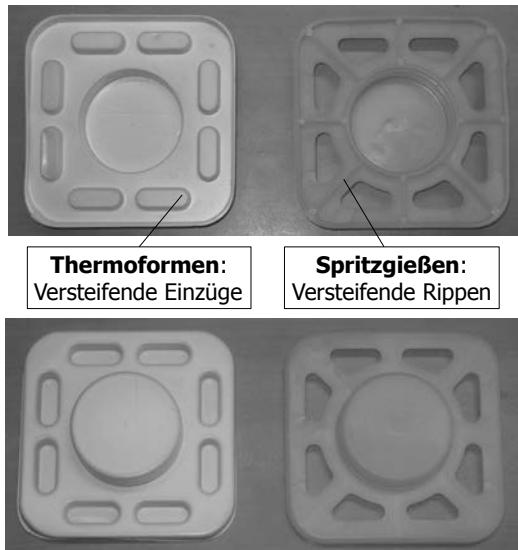
Prinzipien der geometrischen Versteifung

Welches Prinzip sinnvoll eingesetzt wird, ist abhängig von:

- Der Grundgeometrie des Erzeugnisses.
- Den weiterhin zu erfüllenden Funktionen.
- Dem geplanten Verarbeitungsverfahren.
- Dem Niveau der ästhetischen Ansprüche für die betreffende Branche.
- Der Erfahrung des Konstrukteurs.
- Der zur Verfügung stehenden Zeit und der Risikobereitschaft bei der Ausführung der Konstruktion.

Es ist durchaus möglich, dass zur Erfüllung ein und derselben technischen Aufgabe unterschiedliche Versteifungsprinzipien angewendet werden. Das Bild 7.2 zeigt eine Anwendung für ein solches Beispiel. Die Funktion des Formteils besteht darin, ein zylindrisches Funktionsteil in einem viereckigen Pappkarton so zu fixieren, dass kein Klappern des Inhalts in der Verpackung vorkommt. Im Beispiel handelt es sich um ein Spezialpapier, das um eine Papprolle gewickelt ausgeliefert wird. In Bild 7.2

werden die Plastikteile abgebildet, die zur Fixierung der Papprolle dienen. In Bild 7.2 oben werden die der Außenseite der Schachtel zugewandten Seiten gezeigt. In Bild 7.2 unten sind die Flächen des selben Teils sichtbar, die zum Inneren der Schachtel zeigen. Die innen hohle Papierrolle wird mit der zylindrischen Geometrie des Formteils fixiert, die rechteckige Grundgeometrie stützt den Inhalt gegen die rechteckige Verpackung.



**Bild 7.2**

Zwei unterschiedliche Versteifungsprinzipien bei einer Papierrollenfixierung

Im linken Bereich von Bild 7.2 wurde am Formteil die Versteifung durch das Prinzip „Wölbungen“ erreicht. Dieses Teil ist für das Tiefziehverfahren optimiert worden. Weil das Werkzeug beim Thermoformen das Formteil nur an einer Seite kontaktiert, kann die Abformung nur aus einer Ebene heraus mit einem relativ großen Entformungswinkel erfolgen. Die vom Spritzgießen bekannten kastenartigen Rippenanordnungen können so nicht realisiert werden.

Das Bild 7.2 zeigt rechts ein spritzgegossenes Teil, hier bildet der umlaufende Rand eine Wölbung und wirkt versteifend. Zusätzlich wurden Rippen eingebracht, die beim Spritzgießen einfach zu entformen sind.

Auch bei Produkten aus Metall-Blech wendet man geometrische Versteifungen durch Sicken an (Bild 7.17). Im Gegensatz zu Kunststoffprodukten können bei Blecherzeugnissen die Sicken nicht problemlos beim Urformen erzeugt werden, sondern müssen in einem nachträglichen Arbeitsschritt eingedrückt werden.

**Bild 7.17**

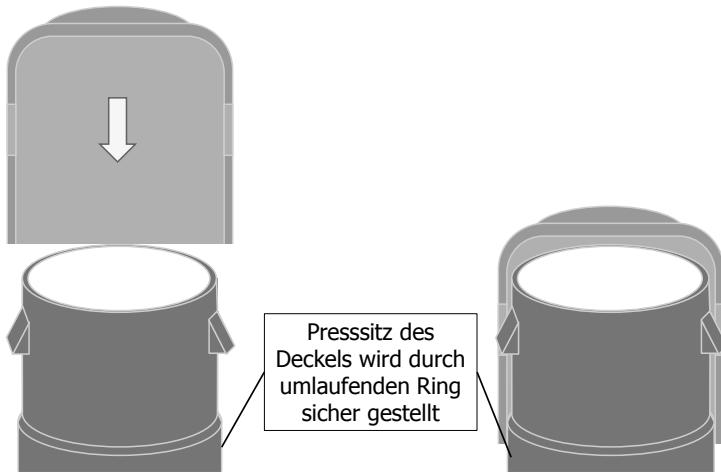
Funktionale Versteifung an einem Locher

## ■ 7.4 Anwendung des Prinzips „Wellblech“

Was bei Verpackungsartikeln Kunden anspricht, sollte auch bei Gebrauchsgegenständen funktionieren. In Bild 7.18 ist ein Kunststoffkoffer gezeigt, bei dem der Deckel mit schalenartigen geometrischen Versteifungen im Sinne eines dreidimensionalen Wellblechs (Bild 7.1, unten) geometrischen verstellt wurde. Das Erzeugnis kombiniert eine gewisse Elastizität, um Stoßbelastungen, zum Beispiel beim Verladen auf dem Flughafen, abzufedern mit einer hinreichenden Steifigkeit, um die Inhalte entsprechend formstabil zu fixieren. Der Endverbraucher bekommt so ein leichtes, stabiles und ansprechendes Erzeugnis mit hoher Wertigkeit.

**Bild 7.18**

Versteifungselemente als Designelement bei einem Koffer



**Bild 8.8** Ein umlaufender Ring am Ende des Fügeweges sichert den positionsgenauen Sitz der Einzelteile

Bei der in Bild 8.8 gezeigten Anwendung ist eine ungewollte Demontage kaum möglich, weil die montierte Kappe auf dem umlaufenden Ring des Gehäuses aufgepresst ist. Man müsste mit einem Werkzeug unter die Kappe greifen können, um die Verbindung durch Dehnung des aufgesetzten Einzelteils zerstörungsfrei zu lösen. Mit einer entsprechenden Gestaltung kann das Ansetzen eines Werkzeugs ausgeschlossen oder auch bewusst zugelassen und vielleicht noch mit optischen Hinweisen unterstützt werden.

Wäre der umlaufende Rand am Gehäuse in Bild 8.8 nicht vorhanden, könnte die Kappe auch nach der Montage zur Ellipse verformt und bewusst oder unbewusst demontiert werden.

Bei der Verwendung von Kunststoffen ist es nicht einfach, Passungen für das Funktionselement und Toleranzen für die Einzelteile festzulegen. Schon wegen der bei den Kunststoffverarbeitungsverfahren relativ großen, technologisch notwendigen Toleranzen für die Einzelteile, kann nur in Ausnahmefällen mit dem ersten Entwurf die funktionsgerechte Passung gefunden werden.

Um komplexe Verformungsmechanismen mit einem einfach zu variierenden Detail abzustimmen, können sich ändernde Last-Zustände bewusst ausgenutzt werden. So erfolgt eine preiswerte Feinabstimmung auf die tatsächliche Toleranzlage der Einzelteile und andere Eigenschaften des Erzeugnisses und die tatsächlichen und aktuellen Bedingungen des Prozesses.

Das Bild 8.9 zeigt eine Möglichkeit, die Fügekräfte beim Ineinanderschieben von Zylinderschalen abzustimmen. Mit einem Schlitz in der äußeren Schale wird die vorher geschlossene Geometrie unterbrochen. Während bei geschlossener Geometrie eine Zugbelastung zur Dehnung der Schale vorherrschte, überwiegt bei einer

# 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 12.1** Checkliste

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

# Index

## A

Abführung der Wärme 167  
Abkühlung 221  
Abkühlungsbedingungen 153  
Abkühlungsgeschwindigkeit 62, 144, 147, 151 f.  
Abkühlungssituation 157  
Ablagerung von Wasser 39  
Abmustern 96  
abriebfeste Kennzeichnung 272  
ABS 41  
Abstandhalter 108  
Abstreiferplatte 114  
abtragende Verfahren 93, 100  
Abzugskraft 198, 201  
Adsorbieren 32  
Aggregatzustand 1  
aggressive Inhaltsstoffe 29  
Agrarfette 28  
Anbindung 95 f.  
angespritzte Dichtungen 246  
Anguss 94, 97, 127  
Angussbuchse 92  
Angusstange 96  
Angusssystem 92  
Angussverteiler 94  
Anordnung 22  
Anspritzzpunkte 278  
Antrieb, Schieberbewegung 120  
Antuschieren 105  
Anwendungstemperatur 81  
Armlehnen 103  
ästhetische Ansprüche 162  
Auflösung von kristallinen Strukturen 29  
Aufnahme von Wasser 222  
Aufschrumpfen 65  
Aufzug 174  
Auf-Zu-Werkzeuge 95, 110, 120, 234, 245  
Ausdrehmechanismus 125, 128  
Ausdrehwerkzeuge 127  
Ausgleich unterschiedlicher Längenausdehnung 11  
Ausknicken 22  
Ausknickung 165

Auskühlung 65  
Ausrichtung der Fasern 61  
Ausschmelzkerne 134, 136  
Ausschwitzen von Feuchtigkeit 39  
Aussparung 172  
Ausspindeln 125, 127  
Ausspülen von Stabilisatoren 37  
Ausstoßen 127, 223, 279  
Ausstreiferplatte 140  
Auswerfen 96, 97  
Auswerfer 92, 97 f., 102, 112, 173  
Auswerferbewegung 112, 114, 130  
Auswerferkräfte 173  
Auswerferseite 96, 101, 104, 111, 113, 272  
auswerferseitige Formplatte 93, 111  
auswerferseitige Konturplatte 105  
Auswerferstifte 140  
Auswerfersysteme 278  
automatisierte Montage 185  
Automobilbau 222, 257, 276  
axiale Fixierung 98

## B

Backen 123, 133  
Backenwerkzeuge 122, 129  
Basen 37  
Baukastenlösungen 70 f.  
Baukastenprinzip 109  
Baukastensystem 90 f., 234  
Beanspruchungsgeschwindigkeit 83  
Bearbeitungsmaschinen 92  
Becher 49, 172, 260  
Becherboden 114, 117, 140  
becherförmige Formteile 65, 67, 140  
Becherhalter 263 f.  
Becherwand 118  
Befestigungen 108  
Befestigungselemente 278  
Behälter 13  
Belastung 81  
belastungsgerecht 143  
Belastungsrechnungen 77  
Belüftungsverkleidungen 110

Bemusterung 65, 122 f., 128, 192 f.  
 Berührungsflächen 136, 247 f.  
 Beschleunigungsfaktor 37  
 Beulen 13, 76, 87  
 bewegliche Werkzeugelemente 119, 138  
 Biegebalken 19, 197  
 Biegebeanspruchung 19  
 Biegebelastungen 187  
 Biegelänge 196  
 Biegesteifigkeit 166  
 Biegung 199  
 Bimetall 215  
 Bindenahrt 114  
 biologisch abbaubare Kunststoffe 254  
 bistabile Systeme 250  
 Blasformen 176  
 Blasformprozess 91  
 bleibende Verformungen 77, 101  
 Blockierfläche 83, 108  
 Blockierung 107, 110, 125, 247  
 Blockierungssporn 201  
 Blockierungswinkel 107  
 Bodenübergang 117  
 Brandfall 27  
 Brandstellen 96  
 Brotdose 213  
 Bypasskonstruktionen 137

**C**

CAD-Systeme 92  
 Chemikalien 40  
 Chemikalienbeständigkeit 36  
 chemische  
   - Ankopplung 34  
   - Medienangriff 31  
   - Modifikation 31  
 Clipse 73  
 coextrudierte Folien 33  
 copolymerisierte Anteile 6

**D**

Dämpfungsverhalten 215  
 Dauerbelastungen 15, 18, 81  
 Deckel 119  
 Deformation 77, 98  
 Deformationsgeschwindigkeit 83  
 Dehnpotenzial 214  
 Dekorhinterspritzen 270, 275, 277 f.  
 Demontage 188, 224, 233, 236 f.  
 Demontagekräfte 190  
 Demontagestellen 236  
 Demontageverbot 236  
 Demontagewerkzeuge 201  
 Designkonzept 177

Dichtkanten 248  
 Dichtungspartner 247  
 dickwandige Konstruktionselemente 83  
 Dieseleffekt 96  
 Differentialbauweise 70 ff., 161  
 Diffusionsvorgänge 35  
 direkter Medienangriff 28  
 diskontinuierliche Fließprozesse 54  
 drapierfähig 280  
 dreidimensionales Wellblech 178  
 Dreiplattenwerkzeuge 115  
 Druckabnahme 63  
 Druckaufbau 150  
 Druckeigenspannungen 48  
 druckluftunterstützte Auswerfer 140  
 Druckverformungsrest 74  
 duktile Eigenschaften 181, 269  
 duktile Komponenten 204  
 Duktilität 214, 240  
 Düngemitteldepot 254  
 dünne Folien 55  
 Dünnschliff 54  
 dünnwandige Struktur 231  
 Durchbiegung 198  
 Durchbrüche 186  
 Durchschläge 110  
 durchsichtig 51  
 durchsichtige Gehäuse 29  
 Düsenseite 96, 104, 111, 126, 272  
 düsenseitige Formplatte 96, 101, 105

**E**

Eckenschoner 59, 158  
 Edelgas 35  
 Eigenspannungen 48, 50, 52, 82, 96, 155, 157 ff.  
 Eigenspannungen in der Faser 49  
 Eigenspannungsbild 216  
 Eimer 13, 49, 119, 183  
 Einbauhöhe 127  
 Einbauraum 133, 179, 227  
 Einbettung 275  
 Einfallkerne 131 f.  
 Einfallstellen 64, 96, 169, 171 f., 179  
 Einfrierversuch 193  
 eingesetzte Kerne 105  
 Einkaufsstütten 256  
 Einlegeteil 134  
 einmalige Deformation 80  
 Einrichten 96  
 Einsatz 101, 107  
 Einsatzbedingungen 16  
 Einsatztemperatur 7  
 Einsatztemperaturbereich 14 f.  
 Einsatzzweck 14

- Einsetzen einer Stufe 117  
 Einspannen 224  
 Einspritzen 62  
 Einspritzen der Schmelze 96  
 elastische  
   - Deformation 221, 223  
   - Effekte 46  
   - Verbindungselemente 240  
   - Verformung 45  
   - Verformungsverhalten 46  
 elektrische  
   - Apparate 17  
   - Funktionsteile 119  
   - leitende Polymere 272  
   - Stecker-Elemente 269  
 Elektroartikel 201  
 Elektronik 72  
 elektronische Bauelemente 39  
 Elektrotechnik 70, 261  
 E-Modul 5, 59, 76, 161, 222, 231, 273  
 E-Modul-Temperatur-Kurve 4, 19  
 Energiebilanzierung 136  
 energieelastischer Zustand 215  
 Entformung 65, 113, 116, 118, 170, 172, 174, 221  
 Entformungsbewegung 114  
 Entformungsebenen 272  
 Entformungsgeschwindigkeit 139  
 Entformungsprozess 65  
 Entformungsrichtung 108, 275  
 Entformungsschräge 108, 112, 128, 172, 174  
 Entformungstemperatur 151f.  
 Entformungsverzug 67, 221, 223  
 Entformungszylinder 173  
 enthalpieelastisch 215  
 Entsorgungsproblematisik 256  
 Entwicklungsprozess 69  
 Erstarren 1  
 Erwärmung durch Strahlung 29  
 Erweichungsbereich 3, 46  
 Erweichungstemperatur 22  
 Erzeugnisse 91  
 Etagenwerkzeug 111  
 Etiketten 117  
 Extrusion 46, 54
- F**
- Fäden 217  
 Fahrzeugbau 17  
 Fahrzeuginnenraum 264, 280  
 Fahrzeugtank 257  
 Faltbare Anwendungen 238f., 244  
 Faltenbälge 218  
 faltenfreie Dekors 280  
 Faltkern 131
- Faltung 205 ff.  
 Falzkanten 245  
 Familienwerkzeuge 111  
 Farbmittel 192  
 Farbwechsel 193  
 Faserausrichtung 54, 61  
 Fasern 22  
 Faserorientierungen 53, 59  
 Faserverbundmaterialien 87  
 Faserverbundwerkstoffe 73  
 faserverstärkter Kunststoff 38  
 faserverstärktes Material 161  
 federnde Kunststoffelemente 203  
 federnde Schieber 133  
 federnde Systeme 132  
 Fehlfunktion 17  
 Fehlmontage 190  
 Feinabstimmung 190  
 Fensterheber 278  
 fertigungsgerechte Entwicklung 91  
 Fertigungsmethode 91  
 Fertigungszellen 267  
 fester Körper 45  
 Festigkeiten 13  
 Feuchtegehalte 186  
 feuchtes Granulat 38  
 Feuchtigkeitsaufnahme 38  
 Filmscharnier 81, 241f., 244  
 finite Elemente 243  
 Fittings 38  
 fixierte Biegung 199  
 Fixierungspunkte 7  
 Fixierung von Bauelementen 175  
 Flachauswerfen 172  
 Flachauswerfer 114  
 flache Trennebene 93  
 Flammenschutzzusatz 27  
 Flankenwinkel 139  
 Flanschdichtung 218, 246  
 Flaschen 239, 261  
 Flaschentransport 28  
 Flaschenverschluss 90, 264  
 flexible Konstruktionen 74, 87f., 238  
 Fließbandproduktion 265  
 Fließeigenschaften 6  
 Fließkanalhöhe 54  
 Fließprozesse 54  
 Fließwege 278  
 Fließwiderstand 1  
 Fluiddichtungen 181  
 Fluidtechnik 119, 246  
 flüssige Phase 61  
 flüssiger Aggregatzustand 44  
 flüssigkristalline Polymere 55  
 Folien 220, 275  
 Fördereinrichtungen 28

- Formeinsätze 102  
 Formenbau 91  
 Formgedächtnis 216  
 Formhohlraum 96, 276  
 Formnest 94f., 98f., 110  
 Formplatte 101, 114f.  
 formstabil 1  
 Formteilgrat 121, 224  
 Formverlust 19  
 freie Biegung 199  
 freie Volumen 6  
 freifallend 99  
 freigängig 87, 130  
 freigeformte Flächen 103  
 freitragende Karosserie 72  
 Fremdmoleküle 40  
 Fügegeschwindigkeit 194  
 Fügekraft 187, 190  
 Fügeprozess 71, 185  
 Fügeverfahren 68  
 Füllgrad 161  
 Füllstoff 81  
 Füllstudie 193  
 Füllung der Kavität 114  
 funktionale Beurteilung 20  
 funktionelle Mehrfachnutzung 258f., 261  
 Funktionsanalyse 16  
 Funktionsintegration 253, 256f.  
 Funktionsprinzip 20  
 Funktionsspannung 47  
 Funktionsuntersuchungen 17, 20  
 Funktionszusätze 27
- G**
- Ganzjahresreifen 262  
 Gate 96  
 Gebläse 17  
 Gebrauchstemperaturbereich 7f., 14f.  
 Gefüge 153  
 Gehäuse 119  
 Gehäuse mit Einbauten 110  
 Gelenke 241f.  
 gelenklose Anwendungen 239  
 Geometrie 4  
 Geometrieveränderung 219  
 geometrische Einflüsse 4  
 geometrische Versteifung 25, 91, 246  
 gereckte Kunststofffolien 55  
 Gerüst 22  
 Gesamtspannung 47  
 geschlitzte Schale 190  
 geschlossene Geometrie 189  
 Gestalt des Formteils 58  
 Gestaltveränderung 43, 211  
 gestörte Biegelinie 114  
 geteilte Auswerferplatte 130, 132  
 Getränkeflaschen 29  
 Gewächshäuser 253  
 Gewinde 126ff.  
 Gewindegänge 141  
 Gewindekappe 141  
 Gewindetiefe 127  
 Glasfasern 22, 48  
 Glastemperatur 55, 59, 215  
 Glasübergangstemperatur 7  
 Gleichgewichtslage 40  
 gleichmäßige Wandstärke 20  
 Globalisierung 16  
 Grat 108  
 Gratbildung 105  
 Grenzfläche 273, 275  
 Grundfläche 169  
 Grundkomponente 27
- H**
- Haftung 274  
 Haftung zwischen Faser und Matrix 39  
 Haftvermittler 274  
 halbstarr 238  
 Handbohrmaschine 175  
 Handhebelpresse 185  
 handwerkliche Fertigung 219  
 Handwerkzeuge 182  
 Handyschalen 110  
 haptische Eigenschaften 277  
 Härte 74  
 Hart-Weich-Verbindungen 246  
 häufige Belastungen 81  
 Haupttrennebene 123  
 Heckleuchten 103  
 heiße Medien 24  
 Heißkanal 95, 115, 127, 193  
 Heißkanalsystem 128  
 Heißprägeverfahren, Knicklinien 244  
 Herstellungsprozess 60  
 Hilfswerzeuge 141  
 Hinterprägen 278  
 Hinterschneidung 112, 126, 131f., 138, 140, 170, 174, 198, 275  
 Hinterspritzen 270  
 Hinterspritzen von Folien 276  
 Hochelastische Anwendungen 239  
 Hohlkörper 91  
 hybride Baugruppen 47  
 hydraulisch betriebene Pressen 185  
 Hydrolysebeständigkeit 36  
 hydrolytischer Abbau 34, 37  
 hydrophile - Kunststoffe 222

- Thermoplaste 193
- Verhalten 37
- hydrophob 38
- Hygieneartikeln 38
- Hysterese 6

## I

- Imprägnierung 37
- indirekter Medienangriff 28
- inhomogenes Materialverhalten 50
- Inhomogenität 12
- Innengewinde 125, 132
- Innenraum 275
- Innenraum eines Fahrzeuges 29, 277
- Innenschieber 129ff., 170
- innere Hinterschneidungen 129
- innere Wärme 43
- Instandsetzung 236
- Integralbauweise 70f., 161
- integrierte Montage 186
- integrierte Schaltkreise 72, 259
- Isobare 148, 150
- isochore Kompression 63
- Isolierkanäle 115
- isotherme Verhältnisse 150

## K

- Kabelbinder 73, 263
- Kabeldurchbrüche 110
- Kabelfixierung 262f.
- Kabelschellen 263
- Kalibrierung 224, 228f.
- kalter Kern 22
- Kaltverformung 11
- Kante 157ff.
- Kantenproblem 157
- Kartonagen 244
- kastenartige
  - Anordnungen 165
  - Geometrie 159
  - Struktur 158
- katalytische Wirkung 37
- Kavität 92, 94
- Kennwerte 18
- Kennwertermittlung 50
- keramische Werkstoffe 87
- Kerbwirkung 83, 195
- Kern 104, 111, 114, 130, 205
  - aufgeschrumpft 116
- Kernaufnahme 107
- Kernausschmelzverfahren 134
- Kettenlängen 182
- kissenförmige Verformung 152
- Klebeband 204, 273

- Klebstoffe 73
- Klettverschluss 73
- Klimazonen 16
- Klinkenzug 125, 130
- knäuelartige Anordnung 61
- Knäuelbildung 59
- Knäuelstruktur 55
- Knicken 13, 76, 87, 231
- Kohlefasern 22
- Kompression 38, 99, 150
- Kompression der Formmasse 62
- Kompressionserwärmung 150f.
- Kompressionsprozesse 151
- Konditionieren 37, 186, 194
- konditioniertes Polyamid 37
- Konditionierungsschritt 38
- Konsistenz 95
- konstante Wanddicken 226
- Konstruktionsebene 94
- konstruktive
  - Duktilität 248
  - Funktionsintegration 254
  - Maßnahmen 191
- Konsumtion 218
- kontinuierliche Fließprozesse 54
- Konturauswerfer 98
- Konzentrationsreihe 57
- Kraftstofftank 28, 258
- Kraftstoffversorgungssystem 30
- Kraftweiterleitung 22
- Kraftwirkung 43
- Kreislaufführung 235ff.
- Kriechen, unter Last 68, 223
- Kristall 45
- Kristallit 6
- Kristallstruktur 31
- kritische Dehnung 13, 76, 248
  - Spaltbreite 181
  - Temperatur 29
  - Überhitzung 29
- Kugelschreiber 182
- Kühlflüssigkeit 92
- Kühlkanäle 92
- Kühlung 99, 104, 106, 226
- Kühlung der Form 168
- Kunststofffedern 108
- Kunststofffelgen 137
- Kunststoffflaschen 176
- Kunststofffolien 51
- Kunststoffgrat 129
- Kunststoffkoffer 178
- Kunststoffschmelzen 1, 46, 95
- Kunststoffverpackungen 213f., 256
- kurzfaserverstärkter Werkstoff 22
- kurzwellige Strahlen 29
- kurzzeitig 21

**L**

Lackierprozess 267  
 Lagerbedingungen 74  
 Lagerung 221  
 Lageüberwachung 122  
 Lageverschiebungen 135  
 Landwirtschaft 216, 254  
 Längenausdehnung 9  
 Längenausdehnungskoeffizient 10  
 Lasteinwirkung 15 f.  
 Lastkonzentration 156  
 Latent-Wärmekissen 250  
 Lautsprecherboxen 108  
 Lebensmittelbereich 28  
 Leichtbau 71, 72, 155  
 Leiterplatte 245, 264  
 linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient 9  
 Linsen 52  
 Logistik 71  
 logistische Optimierung 265  
 lokal  
 - Abreißen 174  
 - Durchbrüche 104  
 - Flexibilität 239  
 - Gelenke 239  
 - Verfärbungen 193  
 - Zerstörung 121  
 lösbare Verbindungen 184, 236  
 Lösungsmittel 40  
 Lösungsprinzip 69  
 Lotuseffekt 37  
 Luftauswerfer 114, 279  
 Luftbereifung 183  
 Luftein schluss 114  
 Luftschiffen 238  
 Lüftungsräder 123  
 Lunker 64, 96, 152 ff.

**M**

makromolekulare Struktur 6  
 Makromoleküle 6  
 Markierungen 98  
 maschinell montiert 141  
 Masselement 146, 150  
 Massekontraktionen 157  
 Massenplaste 2  
 Massenproduktion 73, 253  
 Masseunterschiede 35  
 Masseveränderungen 35  
 Maße zur Verteuerung 33  
 Materialanhäufung 156, 165, 169 f.  
 Materialinhomogenität 52  
 Materialkennwerte 8

Materialumlagerungen 58  
 Materialveränderung 193  
 Materialzerstörung 40  
 Matrix 22  
 Maximaltemperaturen 21  
 mechanische Eigenschaften 59  
 Mechanismus des Medienangriffs 32  
 mediale Belastungen 222  
 Medienangriff 27, 33  
 Medium 29  
 mehrachsige Spannungszustände 82  
 Mehrfachnutzung 99, 110, 260  
 Mehrkomponentenspritzgießen 246, 270 ff.  
 mehrmalige Belastung 80  
 Mensch-Technik-Kommunikation 182  
 Metalle 1  
 Metallgerüst 23  
 metallische Dichtungen 181  
 metastabilen Zustand 250  
 Mikro-Hohlräume 147  
 Mischbauweisen 72  
 mittelbaren Medienangriff 29  
 Mittenauswerfer 97  
 Möbel 212  
 Mobiltelefon 255, 276  
 Modifizierung von Werkzeugen 90  
 molekulare Struktur 5  
 Molekülorientierungen 53, 59, 61  
 Montage 233  
 Montagebruch 191 f., 194, 196, 198 ff.  
 Montageeinrichtung 186  
 Montagefunktionen 73  
 Montagekräfte 77, 201  
 Montagepartner 228  
 Montageprozess 77  
 Montagespannungen 47, 68  
 Montagespritzguss 272  
 Montagetechnik 73  
 Montageverfahren 73  
 Montagevorrichtung 185  
 Montieren 224  
 Motorraum 16  
 Müllbeutel 234  
 multivalente Funktionserfüllung 257

**N**

Nachbearbeitung 186, 230  
 Nachbearbeitungsprozess 134  
 Nachkristallisation 29  
 Nachnutzung 29  
 Nachschwindung 222  
 Nachstabilisierung von Recyclaten 34  
 nachträgliche Geometriebearbeitung 230  
 Nadelverschluss 127  
 Nebenfunktion 29

Nebenprodukt 35  
 Neukonstruktion 20  
 nicht erkennbare Verbindungen 184  
 nicht lösbare Verbindungen 184, 236  
 nicht newtonsche Fließeigenschaften 55  
 Normalien 71, 91, 93, 99, 102, 104, 123, 131f.  
 Normaliensatz 92  
 Nutzen 218  
 Nutzungsende 71  
 Nutzungsphasen 213

**O**

obere Grenztemperatur 14  
 Oberfläche 96  
 Oberflächenbehandlung 21  
 Oberflächengestaltung 276  
 Oberflächenstruktur 113  
 oberflächliche Modifizierung 33  
 Obergrenze 19  
 Öffnung des Werkzeugs 67  
 ökonomische Motivation 33  
 Opfergeometrie 96  
 optische Funktion 52  
 Orientierungen 50, 52f.  
 O-Ring 217, 246  
 Outsert-Spritzgießen 270  
 Oxidation 35  
 oxidativer Abbau 34ff.

**P**

Passungen 121, 189, 220, 258  
 Pflanzgefäß 176  
 Phasenübergang 1, 5  
 Phasenübergangstemperaturbereich 3  
 Phasenwechsel 13, 215  
 physikalischer Medienangriff 31  
 Pilzauswerfer 114  
 plane, Düsenseite 99  
 Plastiktüte 255f.  
 plastische Verformung 22  
 Platine 207  
 Platzbedarf 150  
 Platzwechselvorgänge 6, 44  
 Polarisationsfilter 51  
 Polyamid 38  
 Polyethylen 38  
 polymere Materialkomponente 31  
 Polyolofine 38  
 Polyoxymethylen 27  
 Polypropylen 6f., 27, 38, 81  
 Polystyrol 13, 41  
 POM 30  
 Presssitz 201  
 Pressvorrichtung 185

Prinzip des Knackfroschs 250  
 Prismen 94  
 Produktionsausfall 106, 170  
 Produktionskosten 89  
 Produktionszeiten 82  
 Produktionszyklus 111  
 Produktlebenszyklus 28, 212  
 Profilelemente 234  
 Profilringe 246  
 Profilsysteme 71  
 Prozessdrücke 38  
 Prozessraum 152  
 Prüfflüssigkeiten 28, 58  
 Prüfmedium 57  
 Pumpenteile 123  
 punktartige Wärmequelle 17  
 Pyramidenform 275

**Q**

Qualitätsmerkmale 220  
 Qualitätssicherung 222, 276  
 Quellströmung 61, 95  
 Quellung 216, 222f.

**R**

Radialdichtung 218  
 Radikale 29  
 Randbeschnitt 276, 279  
 Randschicht 61, 152, 154  
 Rapsmethylester 28  
 Rastfenster 190, 198, 201f.  
 Rasthaken 83f., 108, 125, 184, 187, 190f.,  
 198ff., 202  
 Rastnase 198f., 201  
 Rastverbindung 73, 77, 139, 184, 186f.,  
 191, 201  
 rauhe Struktur 171  
 Raumtemperatur 6  
 Rechts-Links-Kombination 103  
 Recycling 213, 234  
 Referenzaussage 58  
 Regenschirm 238  
 Register 289  
 Reinigungsmittel 29  
 Reiβdehnung 74  
 Reparatur 235f.  
 Reparaturfreundlichkeit 213, 235  
 Reproduzierbarkeit 57  
 Reststeifigkeit 6  
 rheologische Ausbalancierung 95  
 Ringauswerfer 114, 140  
 Rippe 25, 162ff., 169f., 179  
 Rippengeometrie 168  
 Rippengrund 170

- Rippenkonstruktionen 139  
 Rippenstrukturen 172  
 Rippentiefe 168  
 Rippenversteifungen 25  
 Rippenwickel 173  
 Risswachstum 49  
 Robustheit 249  
 Rohstoffhersteller 14, 18  
 rotationsgeformte Erzeugnisse 91  
 Rückbau 224  
 Rückwärtsbetrachtung 269  
 Rundheit 227, 232  
 Rundring 217  
 Ruß 34
- S**
- SAN 41  
 Sauerstoff 35  
 Saugrohre 137  
 Säure 27, 37  
 Säureangriff 27  
 Schachteln 119  
 schadensfrei verformen 12  
 Schädigungsmechanismen 32, 34 f.  
 schalenartige Versteifungen 177  
 schalenförmige Geometrie 91  
 schalenförmig gewölbte Strukturen 162  
 Schallplatteneffekt 62  
 Schaltelement 207  
 Schalterelemente 245, 250  
 Schalterstellungen 249  
 Schalttemperatur 216  
 Schaltvorgänge 213  
 Scharniere 241 f.  
 Scheiben von Automobilen 30  
 Scheinwerfer 103, 234  
 Scherbelastung 247  
 Schergeschwindigkeiten 62  
 Scherung 59  
 Schieber 120 ff.  
 Schieberblockierungen 123  
 Schieberführung 122  
 Schieberleisten 120  
 Schieberwerkzeuge 122, 129, 272  
 schlagartig belastet 6  
 Schlauchanschlussstück 122  
 Schlauchanschlussstutzen 122  
 Schlauchboote 238  
 Schlauchstutzen 248, 258  
 Schlaufproblem 83  
 Schließkraft 120  
 Schlitz 205 ff.  
 Schmelzefront 96, 114  
 Schmelzen 1  
 Schmelzezufluss 114  
 Schmelzkerne 133  
 Schmelztemperaturbereich 1, 19  
 Schmelzvorgänge 4  
 Schmierstoffe 28 f.  
 Schnapphaken 184  
 Schnappverbindung 184  
 Schnurstärke 246  
 Schrägsäulen 120  
 schrägverzahntes Zahnrad 128  
 Schrumpffolien 217  
 Schrumpfhülsen 217  
 Schuss 98  
 Schutzatmosphäre 35  
 Schutzfilm 33  
 Schutzschicht 37  
 Schweißverbindungen 232  
 Schwimmflossen 183  
 Schwindung 63, 96, 215, 223, 225 ff.  
 Seitenkettenverzweigungen 6  
 Selbstmontage 212  
 Serienanlauf 192  
 Serienende 90  
 Shape-Memory-Effekte 216  
 Sicherheitsfaktoren 81  
 Sicherung gegen Verdrehen 102  
 Sicken 178  
 Sieben 108  
 Silikon 87  
 Skelett-Haut-Systeme 238  
 Soft-Touch 272  
 Soft-Touch-Anwendungen 23  
 Soft-Touch-Flächen 182  
 Sollbruchstellen 237  
 sortenreine Untergruppen 237  
 Spalte 218  
 Spannungen 12, 227  
 Spannungsbild 221  
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 76, 81, 83  
 Spannungs-Dehnungs-Kurve 13, 77  
 spannungsfrei 50  
 Spannungskonzentration 273  
 Spannungsreduktion 155  
 Spannungsrißbildung 269  
 Spannungsrisse 40  
 Spannungsrißmechanismen 34  
 Spannungsspitzen 195 f., 198, 204, 206, 273  
 Spannungsspitzen im Rippengrund 168  
 Spannvorrichtung 224 f., 228  
 Spannvorrichtungen 226, 231, 233  
 Sperrsichten 33  
 spezifisches Volumen 6, 46, 146, 148, 150, 152  
 Spielpassung 187  
 Spielzeug 177, 211, 214, 240, 249  
 spritzfrisches Polyamid 37  
 Spritzgießen 54  
 Spritzgießmaschine 94

- Spritzgießprozess 60  
 Spritzgießverfahren 89  
 Spritzgusserzeugnisse 91  
 Spritzgussformen 89  
 Spritzgussteil 60, 96  
 Spritzgussverfahren 73  
 Spritzlinge 51  
 spröde 6  
 sprödem Bruch 77  
 Spurenbestandteile 37  
 stabile Zyklen 96  
 Stabilisatoren 34  
 stabilisiert 23  
 Stabilisierung des Randes 118  
 Stabilisierung mit schwarzen Pigmenten 30  
 Stabilisierungsmaterial 23  
 Stammform 102, 129, 234  
 Stanzen 145  
 starr 88, 238  
 starrer Körper 6  
 starre Systeme 87  
 Stecker 258  
 Steckkontakte 267  
 steif 25  
 Steifigkeit 22 f., 74, 87, 161, 178, 249  
 sterische Behinderung 55  
 Stiftauswerfer 98, 102, 106, 113 f., 172 f., 279  
 stofflich-mediale Belastungen 29  
 Stoßkanten 280  
 Strahlung 27, 29  
 strahlungsdurchlässige Partikel 34  
 Streckung 243  
 Streckverhalten 243  
 Strukturierung 171  
 Stückzahl 91  
 Stützvorrichtung 231 f.  
 Symmetriebedingung 123  
 Symmetrie der Form 123  
 symmetrische Werkzeuganlage 103  
 Systeme für Druckwasser 37
- T**
- Tablettenschränke 203  
 Tankflansch 257  
 Taschenlampe 234  
 Tasse 260  
 Taster 207  
 Tauchdüsen 115  
 technische Aufgaben 69  
 technischer Einsatz 7  
 technologische  
   - Abläufe 266  
   - Funktionsintegration 254, 265, 270  
   - Parameter 52  
 teilkristalliner Kunststoff 6
- Telefontasten 272  
 Temperaturabhängigkeit 8, 13  
 Temperaturbereich 1, 4 f.  
 Temperatureinsatzbedingungen 17  
 Temperatureinsatzbereiche 16  
 Temperatureinsatzgrenzen 14  
 Temperaturempfindlichkeit 193  
 Temperaturfenster 17  
 Temperaturgrenze 15  
 Temperaturminderung 147  
 Temperaturprofil 17, 152  
 Tempern 155, 194  
 Tetrapack 213  
 TGA-Kurven 36  
 thermische Ausdehnung 9, 222  
 thermische Belastung 19 f., 82  
 thermische Längenausdehnung 12  
 thermische Längenausdehnungskoeffizienten 10  
 thermisch gravimetrische Analyse, TGA 35  
 thermodynamisches Gleichgewicht 154  
 thermodynamisch günstige Anordnung 40  
 Thermoformen 176 f.  
 Thermoformprozess 276  
 Thermoplaste 1 f., 88  
 thermoplastisches Elastomer 87, 246  
 Tiefe der Rippen 167  
 Toleranz 125, 189, 218, 220, 228, 236, 258  
 Toleranzausgleich 201  
 Tolerierung 94, 135  
 Torsion 199  
 Torsionsbelastung 187  
 Tragetasche 234  
 Transport 15  
 Transportkosten 212  
 Transportsicherungen 92  
 Trennebene 94, 96, 99 ff., 103, 105, 114, 262 f.  
 Trennfläche 101  
 Trennungssprung 100  
 Trinkwasserhausinstallationen 38  
 Tuschieren 121, 123  
 tuschierende Kerne 122  
 Tuscherflächen 105, 108
- U**
- Überladung 96  
 überlagernde Belastungen 187  
 Überspritzen 268  
 Umbau 224  
 Umgebungsdruck 151  
 Umgebungsmedien 18, 28  
 Umgebungstemperaturen 23  
 Umlagerungsprozesse 155  
 umlaufende Einzüge 176  
 Umsetzverfahren 272

- Umweltmedien 208  
 ungeplante Nacharbeit 222  
 ungewollte Demontage 201  
 unmittelbarer Medienangriff 28  
 untere Grenztemperatur 14  
 Unterkühlung 7  
 Unterpolstern mit Folie 106  
 UV-Stabilisatoren 30  
 UV-stabilisierte Typen 34  
 UV-Stabilisierung 31
- V**
- Ventil 217  
 Ventilpilz 138  
 veränderliche Geometrie 212, 214, 217, 238  
 veränderliche Rippengeometrie 166  
 Veränderung der Geometrie 211, 213, 220  
 Veränderung der molekularen Struktur 31  
 Veränderung des Kristallisationsgrades 31  
 Veränderung des Materials 31  
 Verarbeitung 18  
 Verarbeitungsprozess 193  
 Verarbeitungstemperatur 6, 148, 150  
 Verarbeitungsverfahren 162  
 Veraschung 54  
 Verbindungsstelle 185  
 Verbindungstechnik 184  
 Verformbarkeit 231  
 Verformung 43, 85, 227  
 Verformungsprozesse 231  
 Verglasung 7, 194  
 Verjüngung 198  
 verlängerte Holme 119  
 Vermeidung von Spannungsspitzen 84  
 verminderter Spannungen 40  
 Vernetzungsgrade 182  
 Verpackung 13, 15, 177, 239, 256  
 Verrastungen 132  
 Verrundung 170  
 verschiebbare Kern 244  
 Verschlussdüse 115, 128  
 Verschlüsse 250  
 Verschlusskappe 127, 239  
 Versetzte Rippen 165  
 Versprödung 7, 83  
 Verstärkung 81  
 Verstärkungsfaser 39, 82  
 Versteifung 179  
 Verteilerkanal 94f., 115  
 Verteilung von Lunkern 65  
 Verträglichkeit 246f., 273f.  
 Verweilzeit 193  
 Verwerfungen 10  
 Verzug 20, 58, 66, 158, 206, 226f.  
 Verzugsprobleme 225
- Verzweigungen an der Polymerkette 31  
 Verzweigungsarchitekturen 182  
 Vibrionen 232  
 Vielfachwerkzeuge 110  
 Vikat-Erweichungstemperatur 4  
 viskoelastisches Materialverhalten 19  
 viskos Verformungsverhalten 46  
 viskose Verformung 44  
 Viskosität 3, 148  
 Viskositätsunterschiede 215  
 Volumenkontraktion 12  
 Volumenschwindung 12  
 Volumentheorie 12  
 Volumenverminderung 144  
 Volumenverpackungen 261  
 Voraussetzung, Orientierungen 53  
 vorgelagerte Trennebene 115  
 Vorratsbehälter 256  
 Vorserienfertigung 141  
 Vortrocknung 38, 193  
 Vorwärmes 194  
 Vorwärtsbetrachtung 266
- W**
- wabenartige Struktur 165  
 wabenförmige Rippen 166  
 Wanddicke 20, 145, 166, 227, 231, 243  
 Wanddickenreduktion 143  
 Wanddickenunterschiede 144  
 Wärmeabfuhr 106  
 Wärmeausdehnungskoeffizienten 9  
 Wärmebeständigkeit 2  
 Wärmedämmung 16  
 Wärmeführung 174  
 Wärmeleiter 144  
 Wärmeleitfähigkeit 22  
 Wärmestrahlen 29  
 Wärmestrom 168  
 Warmwasserleitungsrohre 38  
 Wartung 99  
 Wartungsaufwand 123, 128  
 Wasseraufnahme 35  
 Wasseraufnahmefähigkeit 216  
 Wechselinsätze 245  
 Weichmacherwirkung 35  
 Weißbruch 77  
 Wellblech 162  
 Werbebotschaft 260  
 Werkstoffkonstanten 8  
 werkstoffliche Verwertung 237  
 Werkstoffverbund 237, 247  
 Werkstoffwechsel 158  
 Werkzeuganlage 96  
 Werkzeugaufbau 93  
 Werkzeugeinbauhöhe 111f., 119, 132

Werkzeugeinsätze 83, 102, 119  
Werkzeughälften 100  
Werkzeughohlraum 148  
Werkzeugkern 125  
Werkzeugrohling 93  
Werkzeugschaden 105f.  
Werkzeugverschleiß 121  
Wintergärten 254  
Wölbung 163f.

## Z

Zähigkeit 148  
Zahnräder 123  
Zeichnungsforderungen 229  
Zentrierringe 92  
zerstörendes Prüfverfahren 57  
Zerteilen des Körpers 58  
Zuführung der Schmelze 95

Zugbelastung 187, 199, 242, 261  
Zugeigenspannungen 48  
Zug-E-Modul 13, 74f.  
Zugentlastung 262  
Zugfestigkeit 74f.  
Zugspannungen 75  
zulässige Dehnung 76, 139  
zulässige Massetemperatur 193  
zunehmende Gangtiefe 141  
zusätzliche Entformungsrichtungen 119  
zusätzliche Kavität 272  
Zusatztstoffe 30  
Zuschlagstoff 27f., 31  
Zustandswechsel 150f.  
Zwangsentformung 138ff., 174, 206  
Zyklopen 137  
Zykluszeiten 96  
Zylindern 94