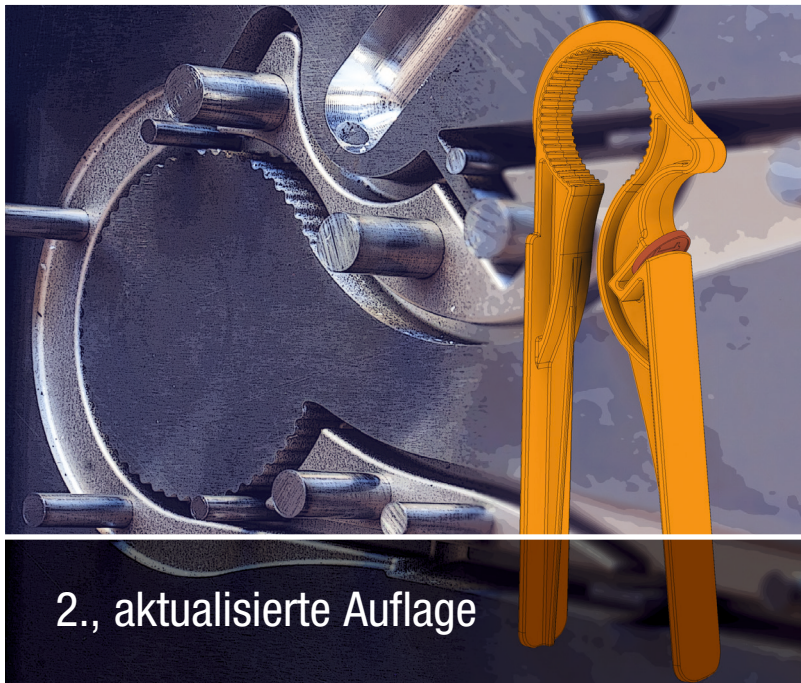


Christoph Jaroschek

Spritzgussteile konstruieren für Praktiker



2., aktualisierte Auflage

HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Christoph Jaroschek

Spritzgussteile konstruieren

für Praktiker

2., aktualisierte Auflage

HANSER



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Aufgrund der besseren Lesbarkeit haben wir auf eine gendergerechte Sprache verzichtet. Selbstverständlich sprechen wir in diesem Buch alle Personen an.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Mark Smith

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelmotiv: © Christoph Jaroschek

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio, Altusried-Krugzell, Germany

Druck und Bindung: Hubert & Co. (Esser bookSolutions GmbH i. G., Göttingen)

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-47023-1

E-Book-ISBN: 978-3-446-47024-8

Inhalt

Der Autor	XI
Einleitung	XIII
1 Bauteile aus Kunststoff	1
1.1 Allgemeines	1
1.1.1 Vergleich Konstruktionen (konventionell vs. Kunststoff)	2
1.1.2 Besonderheiten von Kunststoffen	6
1.1.2.1 Vergleich der Eigenschaften von Kunststoffen und Metallen	6
1.1.2.2 Spezielles mechanisches Verhalten	8
1.1.3 Gründe für den Einsatz von Kunststoffen	12
1.2 Gestaltungsregeln	15
1.2.1 Entformbarkeit	17
1.2.2 Fließweg-Wanddicken-Verhältnis	23
1.2.3 Angussposition	24
1.2.4 Masseanhäufungen vermeiden, Dünnwandigkeit	25
1.2.5 Versteifungen	26
1.2.6 Verrippungen	28
1.2.7 Radien	29
1.2.8 Maßänderung infolge von Temperaturschwankungen	30
1.3 Maßabweichungen zwischen CAD und Spritzgussbauteil	30
1.3.1 Schwindung	31
1.3.2 Verzug	34
1.3.3 Korrekturmaßnahmen bei Maßabweichungen	36

1.4	Gestaltung von Verbindungen	40
1.4.1	Schraubverbindung	41
1.4.2	Schnappverbindungen	43
1.4.3	Verklebungen und Schweißnähte	45
1.4.3.1	Klebeverbindungen	45
1.4.3.2	Schweißverbindungen	47
1.4.3.3	Filmscharniere	50
1.5	Toleranzen und Maße	52
1.6	Dimensionierung	58
2	Herstellverfahren Spritzgießen	61
2.1	Prozess und Wissen für den Konstrukteur	61
2.1.1	Fließweglängen sind begrenzt	62
2.1.2	Formteilfläche bestimmt die Maschinengröße	64
2.1.3	Wanddicken bestimmen die Kühlzeit	65
2.1.4	Beim Kühlen schwindet Kunststoff	66
2.2	Einfluss des Verfahrens auf Bauteileigenschaften	68
2.2.1	Bindenähte, Fließlinien	68
2.2.2	Oberflächenqualität	70
2.3	Faserorientierungen beeinflussen die Bauteilmaße	72
2.4	Vorausschauende Qualitätssicherung	74
2.4.1	Einfallstellen	74
2.4.2	Freistrahle	75
2.4.3	Dieseeffekt	77
2.4.4	Unvollständige Füllung, Gratbildung und Deformation beim Entformen	77
2.5	Spezielle Verfahren	79
2.5.1	Mehrkomponententechnik	80
2.5.1.1	Verfahren allgemein	81
2.5.1.2	Werkzeugtechniken	83
2.5.1.3	Bauteilgestaltung	86
2.5.2	Fluid-Injektionstechnik (FIT)	92
2.5.2.1	Prozesse	95

2.5.2.2	Bauteilgestaltung	99
2.5.2.3	Abschätzung der Kosten	104
3	Werkzeuge	109
3.1	Allgemeine Aufgaben und Funktionen	110
3.2	Herstellung und Kosten	112
3.2.1	Allgemeine Bearbeitung	114
3.2.2	Oberflächen	116
3.2.2.1	Erodieren	116
3.2.2.2	Ätzen	118
3.2.2.3	Laserstrukturierung	119
3.2.2.4	Keramische Oberflächen	120
3.2.3	Stähle	121
3.3	Normalien	125
3.4	Schmelzeführung	130
3.4.1	Kaltkanäle	132
3.4.1.1	Anordnung der Kavitäten	132
3.4.1.2	Anbindung an die Kavitäten	134
3.4.1.3	Entformung des Angussystems	138
3.4.2	Werkzeug mit Vorkammerdüse	140
3.4.3	Isolierkanäle	141
3.4.4	Heißkanäle	143
3.4.4.1	Innenbeheizte Systeme	145
3.4.4.2	Außenbeheizte Systeme	145
3.4.4.3	Heißkanaldüsen	146
3.4.4.4	Kaskadentechnik	149
3.5	Temperierung	150
3.5.1	Konzepte für die Temperierung	155
3.5.1.1	Kontinuierliche Durchflusstemperierung	156
3.5.1.2	Impulskühlung/diskontinuierliche Temperierung	157
3.5.1.3	Variotherme Konzepte bzw. intermittierende Temperierung	158
3.5.2	Realisierung	159

3.6	Entformung	163
3.6.1	Geradlinige Entformung in der Achsrichtung der Öffnungsbewegung	164
3.6.2	Entformung von Konturbereichen, die nicht parallel zur Öffnungsbewegung sind	169
3.6.3	Entformung von Innenhinterschneidungen	171
3.6.4	Entformung von Innengewinden	174
3.7	Effizienzsteigerung mit zwei Trennebenen	174
3.7.1	Etagenwerkzeuge	177
3.7.2	Tandemwerkzeuge	178
3.7.3	Anforderungen an Spritzgießmaschinen für den Einsatz von Etagen- und Tandemwerkzeugen	182
3.7.4	Konstruktive Besonderheiten von Etagen- und Tandemwerkzeugen	184
3.7.5	Heißkanaltechnik für Etagen- und Tandemwerkzeuge	186
4	Simulation	191
4.1	Ziele der Simulation	193
4.1.1	Füllsimulation (rheologische Simulation) für gute Oberflächen .	193
4.1.2	Vorhersage des Verzugs	196
4.1.3	Wärmeflussanalyse	197
4.1.4	Berechnung der mechanischen Belastbarkeit (Strukturmechanik)	198
4.2	Modellgrundlagen für die rheologische Simulation	199
4.2.1	Gestaltmodelle	199
4.2.2	Berechnungsmodelle	203
4.2.3	Materialmodelle	205
4.3	Beispiele und Berechnungsergebnisse	207
4.3.1	Füllverhalten	207
4.3.2	Nachdruckphase	210
4.3.3	Verzug	212
5	Materialauswahl	213
5.1	Übliches Vorgehen bei der Materialauswahl	213
5.1.1	Auswahlkriterium Temperatur	214
5.1.2	Auswahlkriterium Medienbelastung	215

5.1.3	Auswahlkriterium mechanische Belastung	215
5.1.4	Auswahlkriterium spezielle Anforderung	217
5.1.5	Datenbanken	218
5.2	Wichtige Kennwerte	223
5.2.1	Charakteristische Temperaturen	223
5.2.1.1	Glastemperatur	223
5.2.1.2	Schmelztemperatur	223
5.2.1.3	Zersetzungstemperatur	224
5.2.2	Wärmeformbeständigkeitstemperatur	224
5.2.3	Dauergebrauchstemperatur	226
5.2.4	E-Modul und Kriechmodul	228
5.2.5	Temperaturfunktion des E-Moduls	232
5.3	Bemessungsgrenzen für die mechanische Auslegung	235
5.3.1	Kurzzeitbelastungen	235
5.3.2	Langzeitbelastung	236
5.3.3	Abschätzung von Bemessungsgrenzen mit Abminderungsfaktoren	237
Index	239

Der Autor



Prof. Dr. Christoph Jaroschek arbeitete nach seinem Maschinenbaustudium elf Jahre als Leiter der Anwendungstechnik und Verfahrensentwicklung bei einem namhaften Maschinenhersteller, im Bereich Spritzgießverfahren. Seit 1998 ist er Professor für Kunststoffverarbeitung der FH Bielefeld, im Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik.

Einleitung

Viele Konstrukteure sind unsicher, wenn die Materialanforderung für eine Entwicklungsaufgabe ein Kunststoff ist. Ein Grund liegt auch im Ausbildungssystem bzw. dem Wissensstand der Ausbilder und Professoren. Bis ungefähr 1990 war der Weltverbrauch an Kunststoffen noch kleiner als der Verbrauch an Stählen (Bild 1). Als Vergleichsgröße gilt hier das Volumen und nicht das Gewicht. Wenn man die beiden Werkstoffgruppen vergleicht, ist mit Blick auf eine Konstruktion das Volumen eine geeignete Größe, weil speziell bei Kunststoffbauteilen nicht das Gewicht, sondern vielmehr die Größe bzw. das Volumen eine Rolle spielt.

Der Kunststoffbedarf wächst schneller als der Wissenszuwachs bei Konstrukteuren

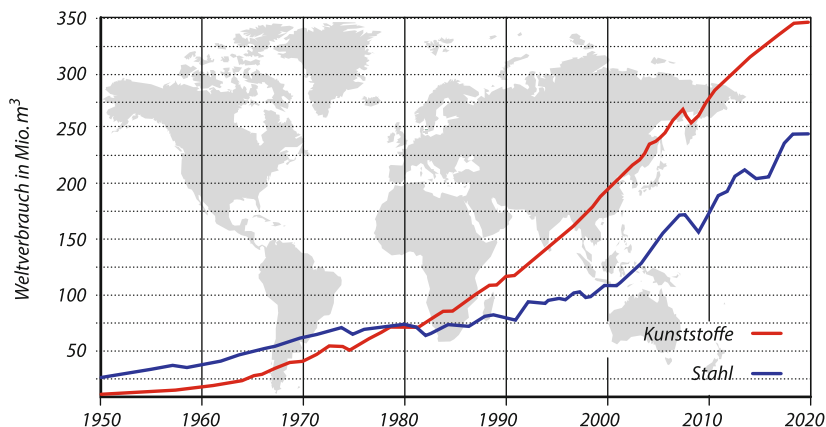


Bild 1 Zeitliche Entwicklung des Bedarfs an Stahl und Kunststoffen
[Datenquellen: World Steel Assoc., Plastics Europe Deutschland e. V.]

Vor 1990 waren Konstruktionen überwiegend aus Metall und die Bedeutung der Kunststoffe auch im Bereich der Ausbildung noch eher gering. Heute hat sich das Bild wesentlich verändert, aber es braucht noch Zeit, bis die Ausbildung sich entsprechend anpasst.

Sehr viele Bücher zum Thema Kunststoffkonstruktionen sind von ausgewiesenen Experten auf dem Gebiet der Kunststoffe selbst verfasst. Vielfach liegt dabei der

Dimensionierung und Berechnung

Schwerpunkt auf der Berechnung bzw. der Dimensionierung von Bauteilen, weniger auf deren Gestaltung. Das vorliegende Buch setzt den Fokus auf die Gestaltung von Bauteilen.

Spritzgusstaugliche Gestaltung

Da die überwiegende Anzahl der Kunststoffbauteile nur geringe Belastungen aushalten müssen, geht es bei sehr vielen Anwendungen meist um die eigentliche Gestaltung. Hier ist wesentlich, dass die meisten Kunststoffbauteile im Spritzgießverfahren hergestellt werden. Ein Konstrukteur sollte daher in erster Linie wissen, was das für die Konstruktion bedeutet.

In diesem Buch liegt der Schwerpunkt auf dem Gebiet der Spritzgießwerkzeuge. Der Konstrukteur sollte sich bewusst sein, dass sich seine gestalterischen Vorgaben mit einem Spritzgießwerkzeug umsetzen lassen müssen.

Kunststoffe im Folgenden synonym für Thermoplaste

Wegen des Schwerpunkts auf das Gebiet der Spritzgussteile werden in diesem Buch überwiegend die thermoplastischen Kunststoffe behandelt. Das sind solche Kunststoffe, die bei höheren Temperaturen schmelzflüssig sind. Im Folgenden wird daher, wenn nicht anders vermerkt, der Einfachheit halber der Begriff Kunststoff synonym für die Thermoplaste verwendet.

Literatur

An vielen Stellen ist der Inhalt dieses Buches vielleicht etwas knapp gehalten. Das Buch soll zunächst die wichtigsten Zusammenhänge aufzeigen, damit der Konstrukteur versteht, warum bei Spritzgussteilen anders konstruiert werden muss als bei Metallteilen. Konkrete Angaben sind an vielen Stellen bewusst nicht formuliert. Das betrifft z. B. Angaben zu Entformungsschrägen oder Radien. Kunststoffe selbst einer Sorte (z. B. PP) gibt es in einer nahezu unüberschaubaren Vielfalt hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften. Die hier genannten Eigenschaften betreffen u. a. auch die mechanische Belastbarkeit. Hier sollte ein Konstrukteur nicht auf Empfehlungen aus Tabellen vertrauen, sondern vielmehr überlegen, welche Auswirkungen ein z. B. zu kleiner/großer Radius für ein Bauteil haben wird. In diesem Buch geht es daher besonders um das Verständnis, sodass die konkreten Angaben für den jeweiligen Anwendungsfall sinnvoll gewählt werden können.

Die Zusammenstellung des notwendigen Wissens für den Konstrukteur in diesem Buch greift auf bestehende Literatur zu.

■ *Prozesswissen*

- Jaroschek – Spritzgießen für Praktiker, Carl Hanser Verlag – Erklärung der physikalischen Vorgänge beim Spritzgießen, konkrete Handlungsempfehlung für das Einstellen einer Maschine, Strategie zur Sicherstellung der Qualität in der Produktion.
- Johannaber – Handbuch Spritzgießen, Carl Hanser Verlag – Sehr umfangreiches Kompendium zum Spritzgießprozess inklusive auch selten verwendeter Spezialverfahren, der verwendeten Maschinen und Werkzeuge.

- Stitz, Keller – Spritzgießtechnik, Carl Hanser Verlag – Spritzgießen von thermoplastischen und vernetzenden Materialien, Maschinen- und Werkzeugtechnik, Kostenrechnung.
- Wübken – Thermisches Verhalten und thermische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen, technisch wissenschaftlicher Bericht, IKV-Aachen, 1975 – Darstellung von zeitlichen Temperaturverläufen innerhalb von Spritzgießwerkzeugen.
- *Werkzeugtechnik*
 - Gastrow – Der Spritzgießwerkzeugbau, Carl Hanser Verlag – Beispielsammlung von Konstruktionszeichnungen von Spritzgießwerkzeugen mit kurzen Erklärungen zur Funktion, guter Fundus als Ideenspeicher für wiederkehrende konstruktive Fragestellungen.
 - Menges, Michaeli, Mohren – Spritzgießwerkzeuge, Carl Hanser Verlag – umfangreiches Kompendium zur Entwicklung und zum Bau von Spritzgießwerkzeugen.
 - Mennig – Werkzeugbau in der Kunststoffverarbeitung, Carl Hanser Verlag – Werkzeuge allgemein (nicht nur Spritzgießwerkzeuge).
 - Mörwald, Karl – Einblicke in die Konstruktion von Spritzgusswerkzeugen, Verlag Brunke Garrels, 1965 – guter Überblick über Spritzgießwerkzeuge, enthält sehr viele Bildvorlagen, die in der nachfolgenden Literatur erneut genutzt werden.
- *Konstruktion*
 - Ehrenstein – Mit Kunststoffen konstruieren, Carl Hanser Verlag – Materialwissen und Berechnung von Kunststoff-Bauteilen.
 - Erhard – Konstruieren mit Kunststoffen, Carl Hanser Verlag – Materialwissen und Berechnung von Kunststoff-Bauteilen.
 - Falke, Meyer – Maßhaltige Kunststoff-Formteile, Carl Hanser Verlag – Übersicht über Toleranzen und Erklärung der aktuellen DIN 16742.
- *Materialwissen*
 - Ehrenstein – Polymere Werkstoffe, Carl Hanser Verlag – gut verständliches Grundlagenwissen über Eigenschaften der Kunststoffe.
 - Weißbach, Dahms, Jaroschek – Werkstofftechnik, Springer Verlag – metallische und polymere Materialien, gemeinsame Darstellung der Prüfverfahren und Anwendung von Kennwerten.

Viele Helfer haben an diesem Buch mitgewirkt. Mein Dank gilt meinen Kolleginnen Angela Ries und Inge Wickenkamp von der FH Bielefeld und meinem Kollegen Steffen Ritter von der Hochschule Reutlingen; den Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitern Christian Falkenstern, Vincent Hüttemann, Stefan Kartelmeyer und Simon Schneiders. Dank

1

Bauteile aus Kunststoff

Dieses Kapitel zeigt die Besonderheiten von Kunststoffbauteilen im Vergleich mit Alternativen aus Metall oder anderen Werkstoffen. Es gibt Gestaltungsregeln, die unmittelbar durch den Herstellungsprozess begründet sind. Die hier zusammengestellten Angaben sollen dem Konstrukteur einen groben Überblick geben.

■ 1.1 Allgemeines

Im Vergleich zu Bauteilen aus Metall zeigen Spritzgussbauteile interessante Unterschiede.

Unterschied zwischen Metall- und Kunststoffteilen

- Bei gleicher Funktion haben Kunststoffteile eine andere Gestalt.
- Häufig lässt sich in einem Kunststoffteil eine herkömmliche Baugruppe realisieren, d. h. viele Funktionen lassen sich direkt mit einem einzigen Bauteil umsetzen.

Beispielsweise gibt es Hefterklemmen aus Metall, Kunststoff und Materialkombinationen (Bild 1.1). Wichtig ist zunächst, dass die Anforderungen erfüllt werden. Die Frage nach besser oder schlechter ist bei der Materialwahl ohne eindeutige Bewertungskriterien nicht möglich.



Bild 1.1 Hefterklemmen aus Metall und Kunststoff

Allgemeine Anforderungen	<p>Die Anforderungen an die Klemme sind auf jeden Fall:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Funktion: Klemmkraft ■ Wirtschaftlichkeit (Herstellkosten) <p>Die Klemmkraft wird bei den Metallvarianten durch die Verformung eines Drahts im elastischen Bereich erzeugt, bei der Vollkunststoffvariante durch die Verformung des Kunststoffs. Wegen des erheblich geringeren E-Moduls eines Kunststoffs ist die Kunststoffvariante nur für kleine Kräfte geeignet und sollte nicht für sehr dicke Aktenordner verwendet werden.</p>
Herstellkosten sind bei Spritzgussteilen nur bei großen Serien günstig	<p>Die Herstellkosten setzen sich zusammen aus den Kosten für das Material, die Produktionsanlage (Maschine und Werkzeug) und den Lohnkosten. Überschlägig sind die Materialkosten die Hälfte der Herstellkosten. Der Materialpreis liegt in der Größenordnung von 2 bis 4 €/kg. Bei der Vollkunststoffversion sind die Kosten sehr gering, weil das Produkt in einem einzigen Prozessschritt entsteht. Zwar sind die Maschinen- und Werkzeugkosten sehr hoch, wenn aber die erwartete Stückzahl die Grenze von ca. 10.000 übersteigt, sind die Werkzeugkosten pro Teil gering. Und wenn pro Stunde viele Spritzgussteile mit einer Maschine hergestellt werden können, sind die Maschinenkosten pro Teil ebenfalls gering.</p>
Funktionsintegration führt zu einfacherer Herstellung	<p>Die Metallklemmen bestehen aus mehreren Elementen, die zusammengefügt werden müssen. Grundsätzlich gilt, je weniger Prozessschritte notwendig sind, desto geringer ist das Ausfallrisiko in der Produktion. Auch das sollte bei einer Zusammenstellung der Herstellkosten berücksichtigt werden.</p>

1.1.1 Vergleich Konstruktionen (konventionell vs. Kunststoff)

Umdenken in der Konstruktion beim Einsatz von Kunststoff

Der Einsatz von Kunststoffen erfordert ein grundsätzliches Umdenken. Am Beispiel einer Wäscheklammer wird deutlich, dass das ältere Produkt aus Holz preiswerter ist als eine ähnliche Kunststoffklammer (Bild 1.2). Beide Versionen bestehen aus zwei Klammerelementen, die über eine Metallfeder zusammengedrückt werden. Die Holzklammer kann aus einem profilgefrästen Brett sehr schnell zugeschnitten werden. Die ähnliche Kunststoffklammer ist in der Herstellung teurer und hat zudem schlechtere Eigenschaften, denn sie kann durch Witterungseinfluss verspröden und brechen.

Eine gelungene Kunststoffklammer besteht aus nur einem einzigen Element, womit der Montageaufwand entfällt. Grundsätzlich können Kunststoffbauteile sehr viele Funktionen beinhalten. Man spricht hier von Funktionsintegration.

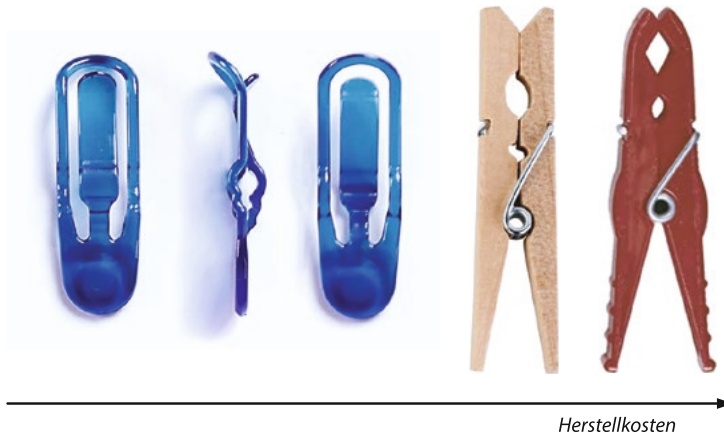


Bild 1.2 Herstellkosten von Wäscheklammern unterschiedlicher Ausführungen

Ein Kunststoffbauteil kann sehr komplex aufgebaut sein, wenn es im Spritzgießverfahren hergestellt wird. Aufgrund des Gießverfahrens für die Herstellung kann die Gestaltung eines Kunststoffbauteils aus beliebigen Freiformflächen bestehen. Bei konventionellen Bauelementen werden die Einzelteile überwiegend aus dem Vollen gefräst und gedreht, sodass hier überwiegend einfache Formen vorherrschen.

Gusskonstruktionen können sehr frei geformte Oberflächen haben

Im Vergleich zu konventionellen Produkten lässt sich verallgemeinert formulieren: Konventionelle Bauteile bestehen oft aus verschiedenen Einzelteilen, die eine Baugruppe bilden. Gute Kunststoffbauteile bestehen im Vergleich oft aus einem einzigen Teil (Bild 1.3). Speziell durch den Einsatz der Spritzgießtechnik können Kunststoffbauteile sehr komplex gestaltet werden, weshalb ein einzelnes Bauteil gleich mehrere Funktionen erfüllen kann. Eine Wäscheklammer in Bild 1.2 muss sich öffnen und schließen lassen und sie muss eine gewisse Klemmkraft im geschlossenen Zustand haben. Konventionell lässt sich das mit einem Federgelenk machen, als gutes Kunststoffbauteil genügt ein einziges Element, wobei die Federkraft durch die Wahl der Stegbreite definiert werden kann.

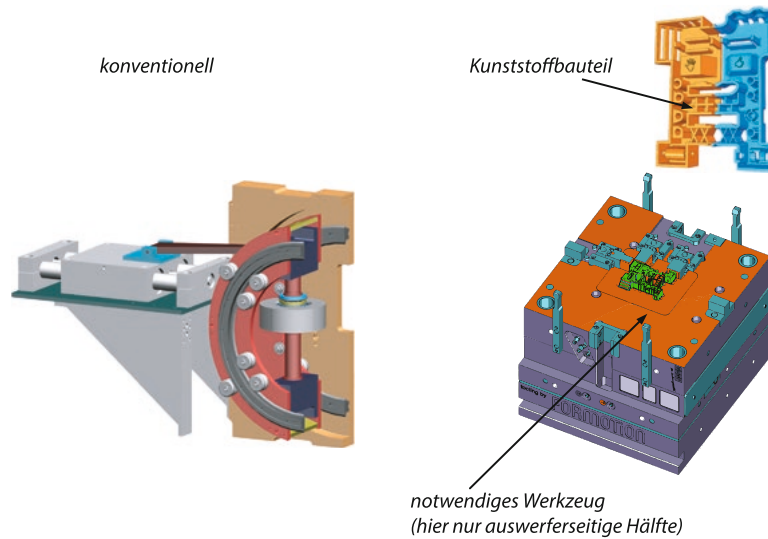


Bild 1.3 Vergleich einer konventionellen Baugruppe aus unterschiedlichen Einzelteilen und eines Kunststoffbauteils mit dem zur Herstellung notwendigen Werkzeug [Bildquelle: Ziebart/FH-Bielefeld, Ritter/HS Reutlingen]

Gute Konstruktionen mit Kunststoff berücksichtigen die Umsetzbarkeit mit Spritzgießwerkzeugen

Bei der Entwicklung eines Kunststoffbauteils muss bereits in der Konstruktionsphase ein Werkzeug mitüberlegt werden, diese schränken in gewisser Weise die konstruktive Freiheit ein. Auf jeden Fall sollte der Konstrukteur eines Spritzgussteils die Möglichkeiten der Werkzeugtechnik kennen, denn leichte Veränderungen der Gestalt eines Kunststoffbauteils können sehr große Wirkung auf die Kosten eines Werkzeugs haben. Diese Werkzeuge bestehen aus vielen Einzelteilen und sind wiederum eine sehr aufwendige Baugruppe. Die Werkzeuge müssen unterschiedliche Aufgaben erfüllen (Bild 1.4). Der eigentliche Formhohlraum, die Kavität, muss mit Schmelze gefüllt werden. Die Wärme der Schmelze muss abgeführt werden (Kühlung), damit das Kunststoffteil fest und stabil wird und über ein Auswerfersystem entformt werden kann.

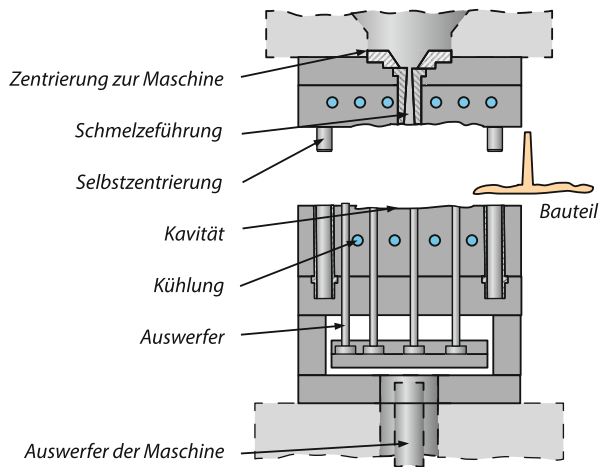


Bild 1.4 Aufbau und Funktionen eines einfachen Spritzgießwerkzeugs

Das Kunststoffbauteil „Polyman“ in Bild 1.3 (rechts oben) ist zu Demonstrationszwecken auf der linken Seite gut und auf der rechten Seite ungünstig gestaltet. Die Beurteilung bezieht sich insbesondere auf die werkzeugtechnische Umsetzung. Für die verschiedenen seitlichen Öffnungen sind auf der schlechten Seite drei Schieber notwendig, die für die Entformung der Hinterschnitte erforderlich sind (Bild 1.5). Durch geringfügige Änderungen an der Gestalt kann die gut konstruierte Bauteilseite völlig ohne Schieber auskommen. Dadurch wird das Werkzeug preiswerter und im Produktionsbetrieb weniger störanfällig bzw. kommt mit geringerem Wartungsaufwand aus.

Demonstrationswerkzeug zeigt Auswirkung guter Bauteilgestaltung auf das Werkzeug

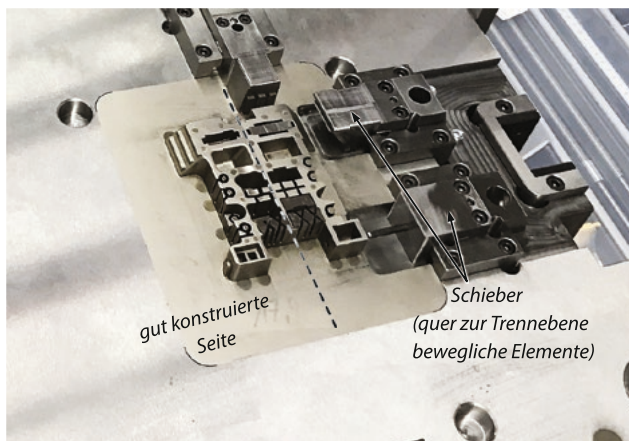


Bild 1.5 Auswerferseite für das Demonstrationsbauteil Polyman
[Bildquelle: Ritter/HS Reutlingen]

1.1.2 Besonderheiten von Kunststoffen

Der größte Vorteil von Kunststoffen ist der niedrige Schmelzpunkt

Die wichtigste Eigenschaft ist die Schmelztemperatur von Kunststoffen, die nur ca. 1/10 im Vergleich zu Metall beträgt (Bild 1.6). Damit ist es möglich, Kunststoffe in Stahlformen mit sehr komplexer Formgebung zu gießen. Die Präzision der Stahlformen kann weitgehend ohne Nacharbeit auf das Kunststoffbauteil übertragen werden und fast beliebig oft wiederholt werden. Die Stahlformen sind jedoch sehr aufwendig und teuer, sodass sich dieses Produktionsverfahren kaum für geringe Stückzahlen eignet. Die Kunststoffteilefertigung ist somit fast immer eine Massenfertigung.

Temperatur der Kunststoffschmelze

Man sollte Schmelztemperatur und Schmelzetemperatur unterscheiden. Die Temperatur der Schmelze ist in der Verarbeitung immer viel höher als die Übergangstemperatur vom Feststoff zur Schmelze. Wenn man es genau nimmt, können nur teilkristalline Kunststoffe schmelzen, denn das Schmelzen bedeutet das Auflösen kristalliner Bereiche. Amorphe Kunststoffe können daher nur erweichen. Das wird möglicherweise erst in Kapitel 5 deutlich, hier werden die speziellen Materialeigenschaften und die charakteristischen Temperaturen behandelt.

1.1.2.1 Vergleich der Eigenschaften von Kunststoffen und Metallen

Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen sind denen der Metalle unterlegen

Im weiteren Vergleich mit den Metallen sind die Eigenschaften sehr verschieden. Somit sind spezielle Anwendungsfälle nur mit einem der beiden Werkstoffe sinnvoll.

Tabelle 1.1 Vergleich von Metallen und Kunststoffen

Eigenschaft	Metall	Kunststoff
E-Modul	hoch	niedrig
Zugfestigkeit und Dehngrenze	hoch	mittel
Dichte/Gewicht	hoch	gering

- Der E-Modul der Metalle und speziell der Stähle ist ca. 100-mal höher als bei Kunststoffen. Anwendungen mit hohen Lastanforderungen sind daher weitgehend auf Metalle beschränkt. Kunststoffbauteile würden sich zu sehr verformen.
- Die Festigkeit der Metalle ist besser als die der Kunststoffe. Hierbei geht es um das Versagen eines Bauteils. Das kann sowohl ein Bruch sein als auch eine unzulässige bleibende Verformung.
- E-Modul und Festigkeit der Kunststoffe sind stark von der Temperatur abhängig. Für Anwendungen bei höheren Temperaturen, das können auch schon 50 °C sein, muss bei längerfristigen Belastungen die Materialwahl besonders sorgfältig erfolgen.

E-Modul von Kunststoffen ist temperaturabhängig und somit nicht konstant

- Die Dichte der Kunststoffe ist nur ca. 1/7 im Vergleich zu Stahl. Anwendungen, die ein bestimmtes Gewicht erfordern (z.B. Pendel für Uhren oder Vorhanggewichte) sind nicht ohne weiteres in Kunststoff ausführbar.
- Einige Kunststoffe sind transparent.

Ein genauer Vergleich unterschiedlicher Werkstoffe zeigt weitere Vor- und Nachteile. Bild 1.6 vergleicht unterschiedliche Werkstoffe jeweils mit Stahl, wobei die Eigenschaften von Stahl jeweils auf den Wert 1 normiert wurden.

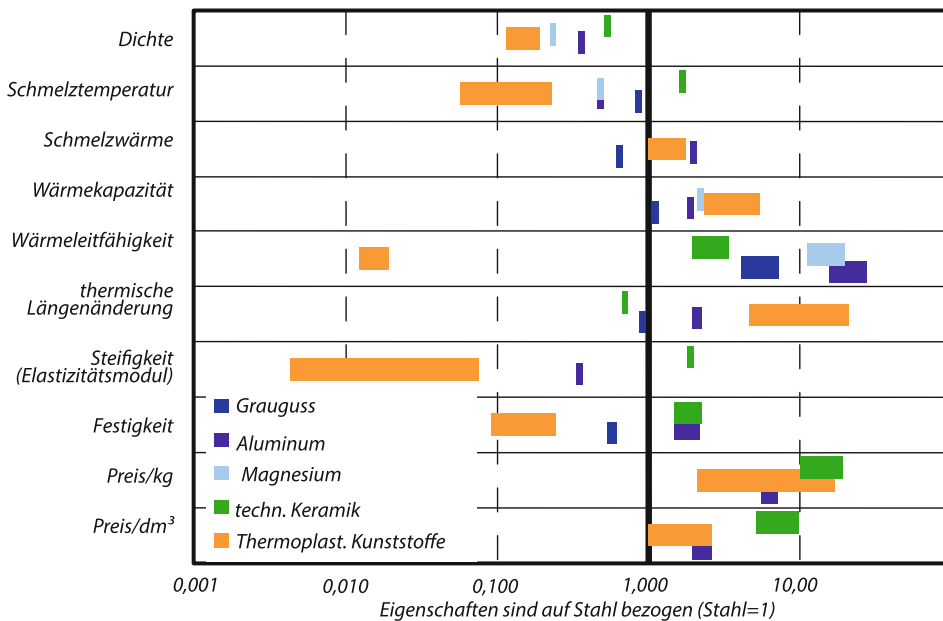


Bild 1.6 Vergleich thermoplastischer Kunststoffe mit Stahl [Bildquelle: WAK-Kunststofftechnik]

Die geringe Wärmeleitfähigkeit bedeutet für die Produktion, dass es zunächst schwierig ist, die Wärme der Schmelze aus dem Bauteilinneren in das Werkzeug abzuleiten. Je dickwandiger ein Bauteil ist, desto länger wird der Abkühlvorgang dauern. Deswegen sind Kunststoffteile nach Möglichkeit dünnwandig. Wanddickensprünge sind ungünstig.

Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit ist es aber auch möglich, lange und dünne Fließwege kontrolliert zu füllen. Kunststoffbauteile können somit erheblich filigraner sein als Metallgussbauteile.

Vielfach wird angenommen, Kunststoffe seien preiswert, was aber nicht den Tatsachen entspricht. Speziell solche Kunststoffe, die für den Einsatz bei erhöhten Temperaturen vorgesehen sind, können pro Kilogramm mehr als 10 € kosten. In Verbindung mit dem Gewicht ergibt sich ein spezifischer Rohstoffpreis, der in €/kg angegeben wird. Dieser ist vergleichbar mit dem der Metalle.

Geringe Wärmeleitfähigkeit ermöglicht präzises Spritzgießen filigraner Strukturen

Kunststoffe sind pro kg meistens teurer als Metalle

1.1.2.2 Spezielles mechanisches Verhalten

Metalle haben eine eindeutige Versagensgrenze (Dehn-, Streckgrenze)

Metalle sind atomar aufgebaut, d. h. es sind einzelne Atome, die beim Abkühlen in regelmäßiger Wiederholung Kristalle bilden. Bei einer Belastung können sich die Atome geringfügig voneinander entfernen, womit nach einer Entlastung der Ausgangszustand wieder erreicht wird. Dieses elastische Verhalten ist linear, d. h. die Verformung nimmt in gleichem Verhältnis wie die Belastung zu. Ab einer Lastgrenze R_p verschieben sich ganze Atomlagen, nach einer Entlastung bleibt eine Verformung (Bild 1.7).

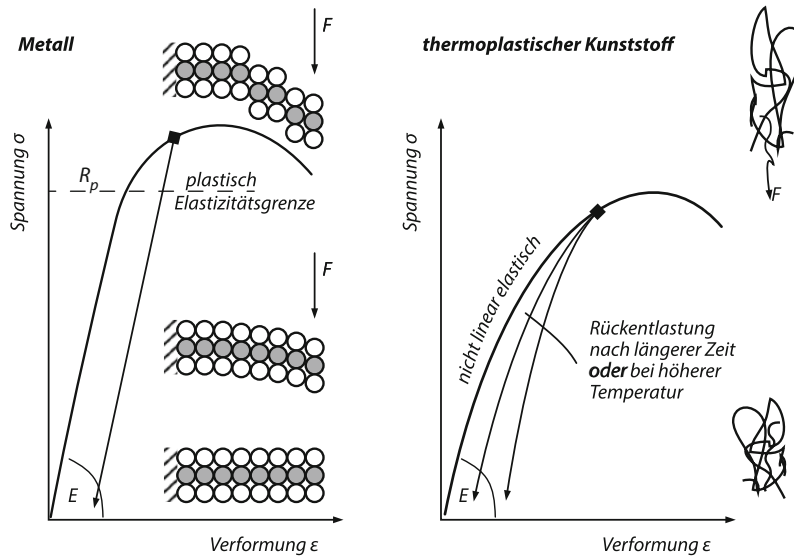


Bild 1.7 Elastische und plastische Verformung von Metallen und Kunststoffen bei unterschiedlicher Belastungshöhe

Mechanisches Versagen der Kunststoffe ist zeit- und temperaturabhängig (viskos)

Kunststoffe sind molekular aufgebaut, man kann sich das wie eine Ansammlung ineinander verschlungener Spaghetti vorstellen. Das gesamte Molekülknäuel ist bei Belastung zunächst elastisch. Bei niedrigen Temperaturen „kleben“ die Molekülketten aneinander, bei höheren Temperaturen können sie aneinander abgleiten. Das Verformungsverhalten ist nicht linear elastisch, d. h. bei höheren Lasten wird die Verformung zunehmend größer. Wie weit eine Entlastung eine vollständige Rückverformung ermöglicht, hängt stark von der Belastungsdauer ab. Eine kurze Belastung ist oft elastisch, während eine zeitlich lang anliegende Last eine nicht reversible viskose Verformung hervorruft.

Unterschied zwischen plastischer und viskoser Verformung

Zur Genauigkeit sollte man die Verformung der Kunststoffe nicht plastisch, sondern viskos bezeichnen. Eine plastische Verformung beschreibt immer eine nicht umkehrbare Verformung, bei den Metallen geschieht das durch das Abgleiten von