



IN DIESEM KAPITEL

Warum überhaupt aus Kunststoff

Die Konstruktionsregeln, mit denen Sie aus Kunststoffen das Optimum rausholen

Beispiele für innovative Kunststoffkonstruktionen

Bonuskapitel 2

Kunststoffgerechtes Konstruieren

Bevor Sie jetzt aus lauter Begeisterung alles, was Sie bislang aus Metall gefertigt haben, nun auf Kunststoff umstellen wollen, vergleichen Sie besser die Vor- und Nachteile von Kunststoffen gegenüber Metallen in Tabelle 2.1.

Wenn in Ihrem Anwendungsfall einige der Vorteile gefordert sind, kann es durchaus Sinn machen, das Bauteil auf Kunststoff umzustellen. Wenn allerdings einige Eigenschaften gefordert sind, die hier unter »Nachteile« gelistet sind, können Sie das Buch aus der Hand legen.

Was ist denn billiger, Kunststoff oder Metall?

Wenn es in erster Linie darum geht, die Kosten eines Bauteils zu senken, dann sind Sie mit Kunststoffen auf jeden Fall sicher gut beraten. Wenn Sie ein Bauteil aus Kunststoff anstatt aus Metall fertigen können, dann können Sie auch bis zu 50% der Kosten einsparen. Hier sind die Gründe dafür:

- ✓ Der Materialpreis von Kunststoff ist in den meisten Fällen niedriger als der von Metallen.
- ✓ Die Verarbeitung benötigt weniger Energie (zum Schmelzen, zum Zerspanen) und ist deswegen kostengünstiger.





28 Kunststoffhandbuch für Dummies

Kunststoffe gegenüber Metallen	
Vorteile	Nachteile
+ Geringere Dichte	– Geringere Wärmebeständigkeit (bei 200°C ist in der Regel Schluss)
+ Gute Geräuschdämpfung	– Größere Wärmedehnung (bis zu 20x höher)
+ Gute Schwingungsdämpfung	– Schlechter Wärmeleiter (Gefahr der lokalen Überhitzung)
+ Thermische Isolation	– Geringere mechanische Kennwerte, siehe E-Modul:
+ Elektrische Leitfähigkeit einstellbar	Stahl 210.000 MPa
+ Elektrische Isolation	Alu 70.000 MPa
+ Gute Beständigkeit gegen aggressive Chemikalien	Kunststoff 10.000 MPa (faserverstärkt)
+ Sehr gute Korrosionsbeständigkeit gegen Wasser, Luft	– Schlechteres Zeitstandverhalten
+ Hohe Gestaltungsfreiheit	– Geringere Gasdichtheit
+ Spezifische Modifikationen möglich	
+ Durchlässig für elektromagnetische Wellen	

Tabelle 2.1: Vor- und Nachteile von Kunststoffen gegenüber Metallen

- ✓ Größere Designfreiheit, selbst komplexe Teile können »in einem Schuss« im Spritzguss hergestellt werden. Somit können auch mehr Funktionen mit einem Bauteil realisiert werden, welche bei einer Lösung aus Metall erst noch nachträglich »angeschraubt« werden müssen.
- ✓ Zwar ist die Festigkeit von Kunststoffen niedriger als die von Metallen, dafür aber weisen die Werte eine geringere Schwankungstoleranz auf als z. B. die von Aluminium, bei dem die Werte fertigungsbedingt um bis zu $\pm 20\%$ schwanken können. Wird ein kritisches Bauteil aus Alu gefertigt, ist mitunter eine 100%-Prüfung erforderlich, bei Kunststoff reicht eine Stichprobe, um sicher zu gehen.

Das Einsparpotenzial ist beispielsweise beim Automobilbau dermaßen bedeutend, dass die Polymer-Industrie die Kosten und Mühen nicht scheut, die Temperatur-Grenze von derzeit 200°C weiter nach oben zu verschieben, um noch mehr Teile des Verbrennungsmotors aus Kunststoff herstellen zu können. Beim Gewicht können dadurch sogar bis zu 70% eingespart werden. Und da ein leichteres Fahrzeug weniger Kraftstoff verbraucht, werden sowohl die Autofahrer als auch die Umwelt einen Nutzen aus dieser Umstellung ziehen.

Allgemeine Hinweise

Kunststoffteile sollten Sie nicht »einfach so« konstruieren. Einfach ein gegebenes Metallteil in der Teile-Datenbank Ihres Unternehmens neu in Kunststoff anlegen und die Geometrie eins zu eins übernehmen, wird praktisch immer schiefgehen.





Der richtige Werkstoff

Bereits durch die Wahl der »richtigen« Polymersorte können Sie Funktionen in das Bauteil integrieren, die bei Verwendung von Metall mehr oder weniger aufwendig extra realisiert werden müssen. Klassisches Beispiel hierfür ist die gelenkige Verbindung, beim Kunststoff mittels Filmscharnier, bei Metallen mittels Bolzen etc. Andererseits »kann« so ein Polymer nicht alles, was Metall kann. Vor allem die Festigkeit ist weit geringer. Aber auch die UV-Beständigkeit und die Temperaturbeständigkeit sind viel geringer. Kunststoffe leiten von Haus aus keinen elektrischen Strom, was zu unerwünschter statischer Aufladung führen kann. Um diese Einschränkungen abzuschwächen oder sogar aufzuheben, kann eventuell ein geeigneter Compound, also eine Mischung mit den richtigen Zuschlagstoffen weiterhelfen. Um diese Fragen zu beantworten ist es empfehlenswert, dass Sie gleich zu Beginn des Konstruktionsprozesses Kontakt zu einem Hersteller von Kunststoffen und Kunststoffmischungen aufnehmen.

Das Ganze muss noch herstellbar sein, also sollte bei der Konstruktion des Produkts auch gleich an die Konstruktion des Spritzgusswerkzeugs gedacht werden. Was geht gar nicht, was geht, wieviel Aufwand im Werkzeug ist dafür erforderlich, also wieviel kostet es, welchen Nutzen bringt es. Und schon hat der Controller Zahlen, mit denen er rechnen kann.

Die FEM – Dein Freund und Helfer

Die meisten Produkte werden heutzutage ja noch während der Konstruktionsphase mittels Simulation nach **Finite-Elemente-Methode** (FEM) durchgecheckt. Bei komplizierten Kunststoffbauteilen wird zusätzlich per FEM die Füllung des Werkzeugs während des Einspritzens simuliert.

Folgende Punkte lassen sich damit bereits in der Konstruktionsphase abklären:

- ✓ Ist das Teil überhaupt herstellbar?
- ✓ Wo werden die Bindenähte liegen? (bloß nicht an den hoch belasteten Stellen des Bauteils)
- ✓ Kommt es eventuell zu Lufteinschlüssen?
- ✓ Wie wird sich das Teil beim Abkühlen verziehen?
- ✓ Und wie stark wird es schwinden?
- ✓ Werden Eigenspannungen auftreten, ist also ein anschließendes Tempern erforderlich?
- ✓ Falls der Compound mit Glasfasern gefüllt ist: Wie werden sich diese beim Einspritzen orientieren?
- ✓ Und die Fertigungsparameter Schließkraft und Füllzeit können auch gleich berechnet werden.



Konstruktionsregeln

Hier noch ein paar Tipps zur Gestaltung von Kunststoffbauteilen.

Wandstärken so stark wie nötig und so gering wie möglich

Hierfür gibt es gleich eine Reihe von Gründen.

1. Kunststoffe sind zwar leicht und preiswert, trotzdem wollen Sie ja das Maximum aus Kosten- und Gewichtsersparnis herausholen, oder?
2. Um die Kühlzeit und damit die gesamte Herstellzeit so gering wie möglich zu halten. Zur Berechnung der Erstarrungszeit t_E biete ich Ihnen zwei Formeln an:

a. wissenschaftliche Formel:

$$T_E = \frac{d^2}{\pi^2 \cdot a} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_{MW} - T_W}{T_E - T_W} \right)$$

Formel 2.1: wissenschaftliche Berechnung der Abkühlzeit

Darin bedeuten:

- ✓ d – Wandstärke
- ✓ a – Wärmeleitfähigkeit
- ✓ T_{MW} – mittlere Massetemperatur im Werkzeug
- ✓ T_W – mittlere Temperatur der Werkzeug-Oberfläche
- ✓ T_E – mittlere Entformungstemperatur (\approx Erstarrungstemperatur)

b. Faustformel:

$$T_E = 2 \cdot d^2$$

Formel 2.2: Faustformel Abkühlzeit

Mit denselben Formelzeichen wie oben.

Sie sehen, in beide Rechenwege geht die Wandstärke im Quadrat ein. Sollte es demnach möglich sein, die Wandstärke zu halbieren, benötigen Sie nur noch ein Viertel der Kühlzeit.

BONUSKAPITEL 2 Kunststoffgerechtes Konstruieren 31

3. Um präzise Bauteile herzustellen. Die Toleranzfeldbreite ist proportional zur Größe des Maßes, auf die sie sich bezieht (siehe DIN 16742). Je kleiner das Maß ist, desto kleiner ist auch die Toleranz.
4. Je größer das Volumen des geschmolzenen Kunststoffs ist, desto eher werden sich Lufteinschlüsse, die gefürchteten Lunker, bilden.
5. Kunststoffe sind schlechte Wärmeleiter und haben hohe Wärmedehnung. Außen am Werkzeug kühlt das Bauteil schnell ab und erstarrt und innen ist es noch heiß, kühlt sich erst allmählich ab – und will sich dabei zusammenziehen. Je größer dieses Innenvolumen ist, desto größer ist der Verzug des Bauteils beziehungsweise desto größer werden die Eigenspannungen sein.

Möglichst keine Änderung der Wandstärke

Auch hier wieder, um die Lufteinschlüsse zu vermeiden. Unterschiedliche Wandstärken bedeuten unterschiedliche Strömungsquerschnitte für die Kunststoffschmelze im Werkzeug. Somit wird beim Wechsel der Wandstärke der Schmelzefluss abgebremst oder wird entspannt, sodass die Luft im Werkzeug in den flüssigen Kunststoff »eingesaugt« werden kann. Außerdem tritt auch hier wieder das Problem mit dem Erstarren außen, während es innen noch heiß und flüssig ist, auf. Wenn dieses Abkühlen wenigstens nicht gleichmäßig verläuft (eben bei unterschiedlichen Wandstärken), dann wird sich das Material beim Schrumpfen (durch Abkühlen) ungleichmäßig zusammenziehen. Dellen oder Einbuchtungen an der Oberfläche sind die Folge. Wo zwei Flächen winklig aufeinandertreffen und eine Kante bilden, wird, geometrisch bedingt, die Wandstärke zunehmen. Folglich sollte sie an solchen Kanten reduziert werden, vorzugsweise durch Abrundungen (siehe Abbildung 2.1).

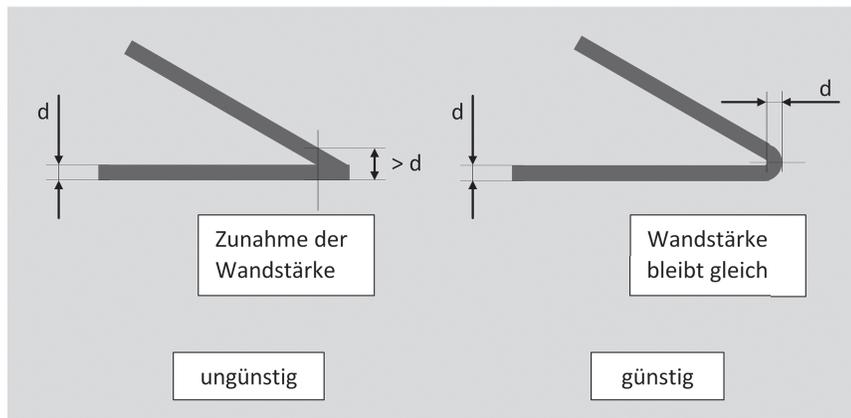


Abbildung 2.1: Winkelige Verbindung zweier Flächen

Anmerkung: Im abgebildeten Beispiel ist zusätzlich zur Verdickung die scharfe Einkerbung ungünstig gestaltet.

32 Kunststoffhandbuch für Dummies

Bindenähte geschickt platzieren

Meistens lässt es sich nicht vermeiden, dass sich im Werkzeug der Schmelzestrom gabelt und irgendwo wieder zusammenfließt, z. B. um Durchbrüche herum. Das Dumme daran ist nur, da, wo die Schmelze wieder zusammenfließt, treffen die beiden Flussfronten aufeinander und der Kunststoff ist nicht mehr »aus einem Guss«, sondern bildet eine Bindenaht. Das hat zur Folge, dass das Bauteil an solchen Bindenähten mechanisch nicht mehr so viel aushält, wie es gemäß Werkstoffkennwert eigentlich sollte. Aus diesem Grund sollte der Weg der Kunststoffschmelze durchs Werkzeug so gestaltet werden, dass die Bindenaht an weniger belasteten Stellen entsteht (siehe Abbildung 2.2).

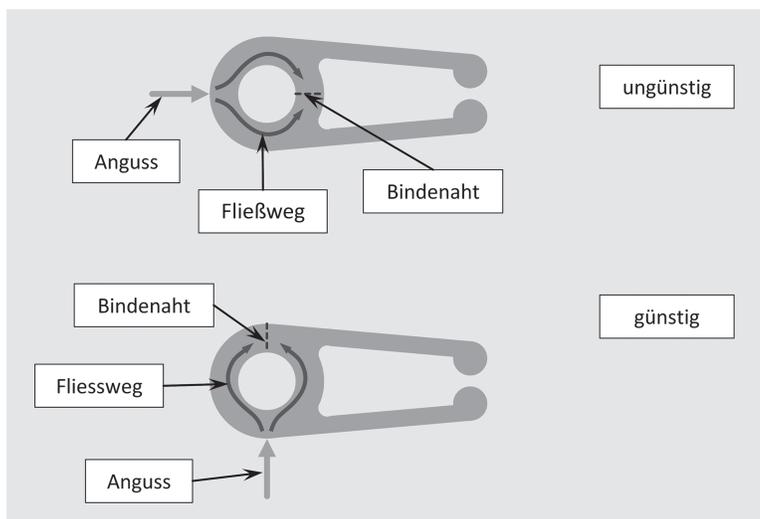


Abbildung 2.2: Lage der Bindenaht

Gleichmäßige Verteilung der Masse anstreben

Wie Sie schon oben unter dem Punkt »gleiche Wandstärken« gelesen haben, nimmt die Gesamtwandstärke zu, wenn zwei Wände mit jeweils gleicher Wandstärke aufeinander treffen. Eine Einbuchtung aufgrund der langsameren Abkühlgeschwindigkeit der dickeren Stelle ist die unvermeidliche Folge. Besonders häufig tritt dieses Problem durch die oft notwendigen Versteifungsrippen auf. Dies bedeutet eine visuelle Qualitätseinbuße. Bei matten oder leicht aufgerauten Oberflächen ist es nicht so schlimm, aber besonders auffällig ist es bei glänzenden Oberflächen. Aus diesem Grund sollten die Versteifungsrippen dünner als die eigentliche Wand gestaltet werden. Hierfür gibt es wieder eine Faustformel: bei amorphen Thermoplasten soll die Rippe nur halb so dick wie die Wand sein, bei teilkristallinen Thermoplasten sogar nur ein Drittel so dick, aufgrund der höheren Schwindung. Schreibt Ihnen aber die FEM-Simulation eine gewisse Rippendicke vor, können Sie entweder aus der Not eine Tugend machen und da, wo das Material einfallen möchte, gleich eine Riefe designen. Oder Sie können am Fuß der Rippe Material aussparen (siehe Abbildung 2.3).

BONUSKAPITEL 2 Kunststoffgerechtes Konstruieren 33

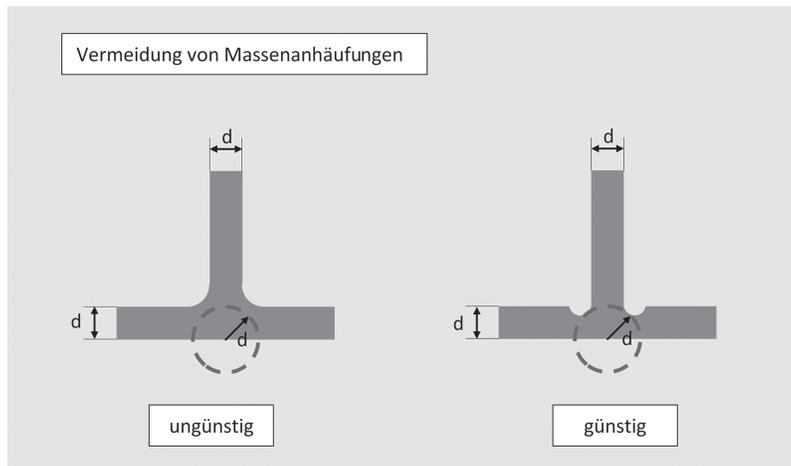


Abbildung 2.3: Aussparung am Rippenfuß

Ein weiteres Beispiel, wo ungewollt Masse angehäuft wird, sind Schraubdome. Die Massenanhäufung mindern Sie hier, indem Sie die Dome über Rippen ans Bauteil anbinden.

Übergänge abrunden

An scharfen Einkerbungen bündeln sich die inneren Spannungen, die aufgrund äußerer Belastung auftreten. Deswegen sollten die Übergänge an Ecken, Rändern und am Fuß von Versteifungsrippen und Schraubdomen abgerundet werden, damit sich die Spannungen über einen größeren Bereich verteilen können. Die Spannung ist ja definiert als Kraft pro Fläche, daraus folgt, wird die Fläche größer, nimmt die Spannung ab. Die Abrundungsradien dürfen aber nicht beliebig groß gewählt werden, weil Sie es sonst wieder mit der Materialanhäufung und damit verbunden mit Einfallstellen zu tun haben werden. Für den optimalen Übergangsradius braucht es keine ganze Faustformel, hier reicht eine Daumenregel: Mit einem Radius von ca. 0,25 mm ersparen Sie sich Einfallstellen.

Möglichst keine großflächigen ebenen Bereiche

Einfach deshalb, weil die fehlerfreie Herstellung so einer Fläche eine der schwierigsten Aufgaben ist, die Ihnen beim Spritzguss begegnen können. Das Problem ist, so eine Fläche ist sehr empfindlich. Einerseits lässt sie sich leicht verformen und ist anfällig für Verzug. Andererseits fällt auf so einer Fläche auch die kleinste Einfallstelle sofort auf (vor allem wenn die Fläche hochglänzend sein soll). Falls so eine Fläche erforderlich ist, können Versteifungsrippen die Probleme mit Verzug und Verformung lindern. Allerdings bergen diese Rippen die Gefahr von Einfallstellen.

34 Kunststoffhandbuch für Dummies

Möglichst keine Hinterschnitte

Zwar können Hinterschnitte im Spritzgussverfahren hergestellt werden, wie Sie in Kapitel 2 gelesen haben (siehe dort den Unterpunkt »Die leidigen Hinterschnitte«), aber nur mithilfe von beweglichen Kernen im Werkzeug. Diese Schieber machen aber zum einen das Werkzeug erheblich teurer, zum anderen kann nicht einfach das Werkzeug geöffnet werden und das Produkt fällt fertig raus, nein, es muss erst noch der Schieber herausgezogen werden.

Für kleinere Hinterschnidungen ist nicht extra ein Schiebekern erforderlich. Kunststoff ist ja elastisch und der Hinterschnitt kann an der Werkzeugkontur vorbeigezogen werden. Es muss aber vorher mittels FEM überprüft werden, dass das Produkt bei dieser Art der Entformung nicht zu sehr gedehnt wird (Abbildung 2.4).

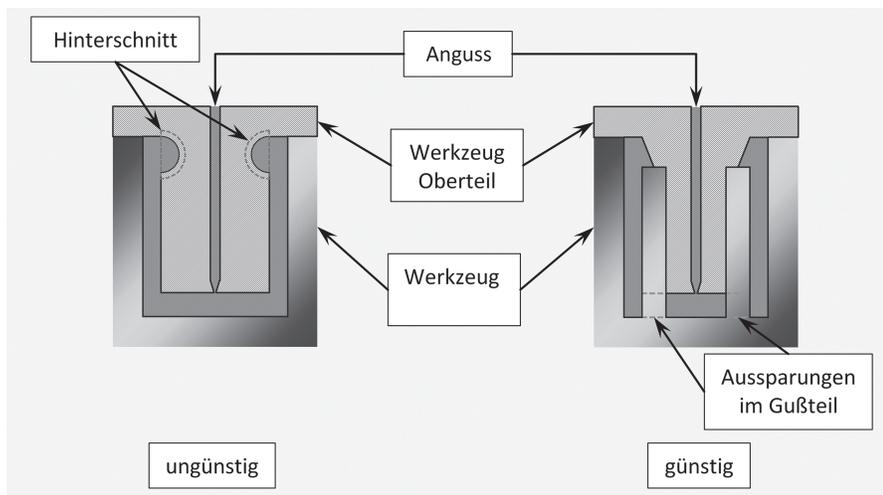


Abbildung 2.4: Vermeidung von Hinterschnitten

Anmerkung: Durch die hinterschnittfreie Gestaltung des Bauteils kann auch der Schnapphaken wirkungsvoller gestaltet werden.

Flächen zur besseren Entformung anschrägen

Ein Bauteil mit Hohlraum oder Vertiefung schrumpft beim Abkühlen regelrecht auf den Werkzeugkern auf. Trotz Beschichtung des Kerns mit Formtrennmitteln bekommen Sie so ein Bauteil nicht mehr entformt. Einzig wirksame Lösung liegt darin, die Wandungen solcher Hohlräume leicht anzuschrägen. Leider kann ich Ihnen für diesen Schrägungswinkel keine Faustformel oder Daumenregel bieten, da der Widerstand, den das Bauteil gegen Abziehen bietet, nicht nur vom Schrumpfmaß abhängt (das wäre ja einfach nur die Wärmedehnung, also ein Polymer-Kennwert), sondern auch von der Rauigkeit, die Sie auf die Oberfläche der Wandung designen haben. Da können Sie einfach nur ausprobieren, mit welchem Winkel Sie am besten fahren. Als Anhaltswert: Die Größenordnung des Schrägungswinkels bewegt sich zwischen 0,5 und 5°.



Spielraum für Wärmeausdehnung gestalten

Kunststoffe haben ja im Vergleich zu Metallen eine sehr hohe Wärmedehnung, sie ist bis zu zwanzig Mal größer. Neben Kunststoffen werden aber hauptsächlich Metalle in der Technik (und sonst wo) als Werkstoff verwendet. Wenn das Kunststoffbauteil in der Endanwendung mit einem Metallteil verbunden werden soll und das Ganze größeren Temperaturschwankungen ausgesetzt wird, dann sollte das Kunststoffteil so gestaltet werden, dass es sich bei Erwärmung ungehindert ausdehnen kann, damit nicht durch gehemmtes Ausdehnen innere Spannungen erzeugt werden. Beispielsweise sollte das Kunststoffteil mittels Langlöchern am Metallteil befestigt werden. Aber auch Dehnfugen oder -bälge können Ausgleich schaffen.

Keine Schrauben mit Spreizwirkung verwenden

Beispielsweise Senkkopfschrauben, denn der Eindruck, den so eine Schraube im Kunststoff erzeugt, führt zu dermaßen großen inneren Spannungen, dass das Teil früher oder später an der Stelle einreißen wird. Flachkopfschrauben sind da eindeutig besser geeignet, da hier die Spannung gleichmäßiger verteilt ist.

Generelle Konstruktionsregeln

Selbstverständlich gelten darüber hinaus weiterhin die allgemein gültigen Regeln für erfolgreiches Konstruieren. In erster Linie müssen die Randbedingungen berücksichtigt werden. Ein für Auftragnehmer und -geber verbindliches Lastenheft, welches hier Klarheit schaffen könnte, liegt leider bisweilen gar nicht vor. Zur Hilfestellung möchte ich hier ein paar typische Fragen auflisten, deren Antworten Ihnen stattdessen Orientierung geben können:

- ✓ Welche mechanischen Belastungen muss das Bauteil aushalten? Liegt ein Lastkollektiv vor?
- ✓ Welchen Medien ist das Bauteil ausgesetzt?
- ✓ Kommt es in Relativ-Kontakt mit anderen Bauteiloberflächen? Anders gefragt: Soll es gut gleiten oder abrollen können? Oder im Gegenteil gut haften?
- ✓ Soll es Strahlenbelastung (Gammastrahlen) aushalten können?
- ✓ Oder »nur« UV-Strahlung? Wird das Bauteil im Freien eingesetzt, folgt gleich die nächste Frage:
- ✓ Muss das Bauteil witterungsbeständig sein?
- ✓ Welchen Temperaturbereich soll das Bauteil aushalten?
- ✓ Soll es Wärme (Kälte) gut isolieren oder gut ableiten?
- ✓ Gibt es Brandschutzanforderungen?
- ✓ Kommt das Bauteil in Kontakt mit Lebensmitteln, Trinkwasser, Lebewesen oder gleich dem Menschen selber?



36 Kunststoffhandbuch für Dummies

- ✓ Spielt die elektrostatische Aufladung eine Rolle oder ist sie kein Problem? Oder soll das Bauteil gar elektrisch leiten können?
- ✓ Wie soll das Teil überhaupt aussehen? Transparent, durchscheinend oder opak? Welche Farbe soll es haben?

Sonst noch was? Soll es wie eine Membran wirken, also (bestimmte) Gase gut durchlassen? Oder im Gegenteil, soll es besonders gasdicht sein, eventuell sogar vakuumtauglich sein? Wird das Bauteil gar militärisch verwendet? Soll es also fürs Radar unsichtbar sein?

Und natürlich nur so genau (oder so gut) wie nötig und nicht wie möglich! Denn höhere Toleranzanforderungen führen nicht zu mehr Qualität, sondern nur zu mehr Ausschuss.

Fazit

Kurz und gut, falls etwas komplett Neues entwickelt werden soll, bei dem es noch nicht viel oder gar keine Erfahrungen mit bereits vorhandenen ähnlichen Lösungen gibt, bleiben Ihnen Versuche und Tests (Dauerlauf, Beständigkeit etc.) wohl nicht erspart. Dafür werden Sie Pionier auf dem Markt für dieses neue Bauteil sein, eine Rolle, die meistens mit einem (komfortablen) Vorsprung gegenüber Wettbewerbern gekennzeichnet ist. Einfacher ist es natürlich, wenn Sie lediglich ein bereits bestehendes Produkt Ihren Zwecken anzupassen haben.

Beispiele

Zum Schluss dieses Kapitels möchte ich Ihnen noch ein paar Beispiele für innovative Konstruktionen vorstellen. Beachten Sie insbesondere die Ausnutzung der speziellen Eigenschaften von Kunststoffen.

Lagerloser Heckrotor

Als kreatives Beispiel dafür, dass die im Vergleich zu Metallen hohe Elastizität von Kunststoffen nicht nur zur Konstruktion des 100.000sten Schnapphakens ausgenutzt werden kann, möchte ich Ihnen in Abbildung 2.5 die Konstruktion eines Heckrotors für Hubschrauber vorstellen, der ganz ohne gelenkige Verbindung auskommt.

Das Querschnittsprofil des Rotorhalses ist in Kreuzform gestaltet. Somit verfügt dieses Profil über ein hohes Flächenträgheitsmoment, wodurch es sehr steif hinsichtlich Biegebelastung wird. Da das Profil aber außen nicht geschlossen ist, setzt es einer Verdrehung nur wenig Widerstand entgegen. Der Anstellwinkel kann somit ohne aufwendige gelenkige Lagerung geändert werden, wie sie bei einer Konstruktion aus Metall erforderlich wäre. Und leichter als eine Lösung aus Metall ist diese Lösung auch noch.



BONUSKAPITEL 2 Kunststoffgerechtes Konstruieren 37

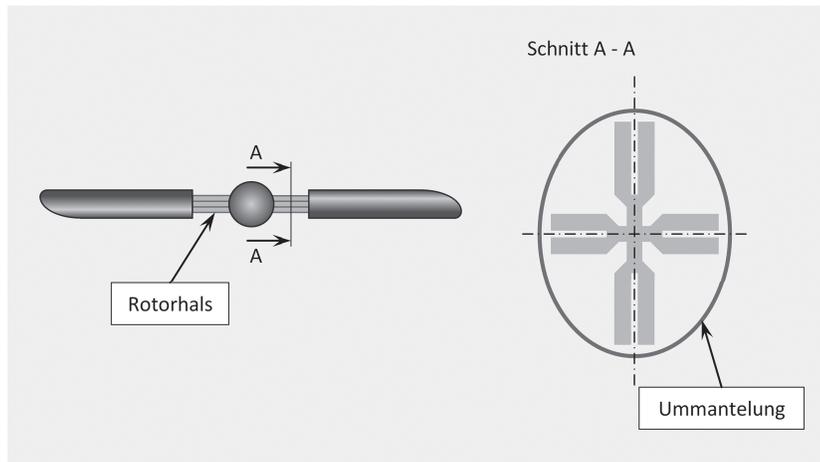


Abbildung 2.5: Gelenkloser Heckrotor

Fasern ausrichten mithilfe von Magnet im Werkzeug

Die Eigenschaften sowohl von Kunststoffen als auch von Metallen hängen bereits von der Verarbeitung ab, bei Kunststoffen allerdings in weit höherem Ausmaß als bei Metallen. Wie dies bei der Gestaltung eines Kunststoffbauteils ausgenutzt werden kann, zeigt das folgende Beispiel. Das Gehäuse für ein Elektronikbauteil wurde aus Kunststoff gefertigt, weil es somit leichter und billiger als ein Metallgehäuse wurde, außerdem entfällt die Nachbehandlung zum Korrosionsschutz (sprich, das Lackieren). Um die Elektronikkomponenten im Inneren dennoch vor magnetischen und elektrischen Feldern zu schützen, wurde der Kunststoff mit Metallfasern gemischt. Damit die Fasern nicht regellos in der Matrix liegen, werden sie mittels Magnetfeld, welches von außen angelegt wird, ausgerichtet (Abbildung 2.6).

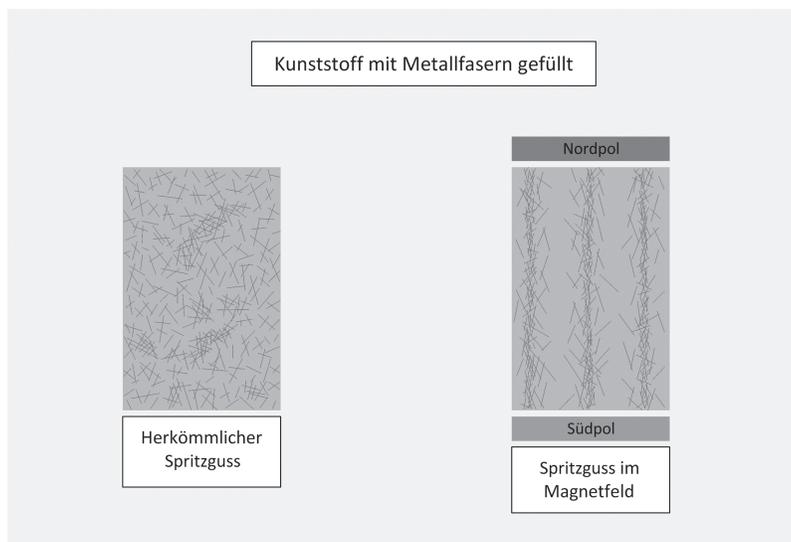


Abbildung 2.6: Ausrichtung von Metallfasern mittels Magnetfeld





38 Kunststoffhandbuch für Dummies

Links ist die Situation im Kunststoff bei konventioneller Herstellung, ohne äußeres Magnetfeld, dargestellt. Die Fasern bilden ein wirres Durcheinander. Durcheinander gewirbelt wurden sie durch den Einspritzvorgang und anschließend wurden sie, so wie sie gerade lagen, festgesetzt durch den erstarrenden Kunststoff. Der Fachbegriff für wirres Durcheinander lautet amorph. Und wie so oft in der Physik, wenn etwas amorph ist, dann können dort Wellen ungehindert durchgehen. Irgendeine Lücke findet sich immer.

Um mit herkömmlichem Spritzguss ein Kunststoffgehäuse herzustellen, welches elektrische und magnetische Felder abschirmt, müsste man so viel Metallfasern untermischen, da könnte man gleich ein Stück Blech nehmen.

Anders die Situation im Bild rechts. Hier wurde außen um das Werkzeug ein Magnetfeld angelegt. Solange der Kunststoff noch geschmolzen und flüssig war, konnten sich die Metallfasern entlang der Feldlinien des Magnetfeldes ausrichten. Dadurch bilden sie eine dichte Barriere, welche die Felder ausreichend abschirmt.

