

HANSER

Gottfried Wilhelm Ehrenstein

Mit Kunststoffen konstruieren

Eine Einführung

ISBN-10: 3-446-41322-7

ISBN-13: 978-3-446-41322-1

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41322-1>

sowie im Buchhandel

4 Werkstoff- und beanspruchungsgerechtes Konstruieren

Die Rechnerunterstützung (CAD), die den Konstrukteur von Routinearbeiten entlastet, und die Konstruktionsmethodik, die systematisch Prinzipien ordnet, klassifiziert und dadurch das Auffinden günstiger Lösungen wesentlich erleichtert, gehören zu den technischen Hilfsmitteln eines Konstrukteurs. Trotzdem entsteht eine Konstruktion nicht nur aufgrund theoretischen Technikwissens, sondern in hohem Maße aus individuellen, kreativen Denkprozessen.

Vermitteln läßt sich jedoch nur das Wissen um Werkstoffe, Beanspruchungen, Fertigungs- und Verbindungsverfahren etc. Demnach spricht man auch von *werkstoff-, beanspruchungs-, fertigungs-, verbindungs-, nutzungs-* und neuerdings auch von *recyclinggerechtem* Konstruieren, was in der konsequenten Durchführung häufig auch zu zueinander widersprüchlichen Lösungen führen kann. Im Folgenden sind bewährte Ausführungsbeispiele für beanspruchungsgerechte Kunststoff-Konstruktionen zusammengestellt.

4.1 Einfache kombinierte Beanspruchung

4.1.1 Biegeweiche Konstruktionen

Die verglichen mit klassischen Werkstoffen niedrigen Elastizitätsmoduln der Kunststoffe ermöglichen biegeweiche Konstruktionen. Die Weichheit einer Konstruktion ist neben dem Elastizitätsmodul und der Bauteilgeometrie auch von der Beanspruchungsart abhängig.

Bild 4.1 zeigt am Beispiel eines Balkens mit Rechteckquerschnitt, dass die auf die Betriebskraft bezogene Verformung im Biegefall (unter der Voraussetzung $l > h$) stets größer als unter Druck- oder Zugbelastung ist.

Verformung

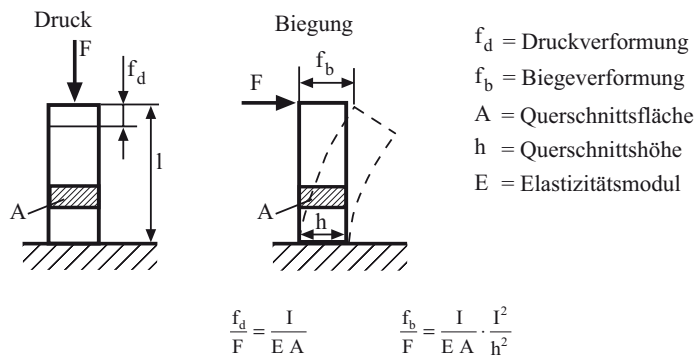


Bild 4.1: Einfluss der Krafrichtung auf die Verformung

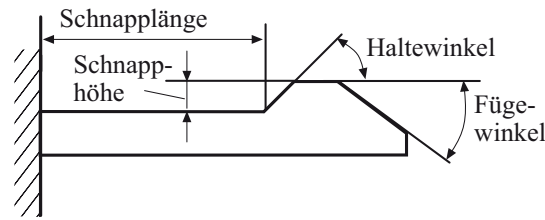


Bild 4.2: Federnder Biege-Haken als Element einer Schnappverbindung

Wenn große Verformungsmöglichkeiten in einer gewünschten Richtung erzielt werden sollen, sollten die angreifenden Kräfte weite Bereiche dieses Formteils auf Biegung (oder auch Torsion) beanspruchen. Starre Strukturen ergeben sich dagegen, wenn die Betriebskräfte überwiegend Zug- oder Druckspannungen erzeugen.

Schnappverbindungen (s. a. Abschnitt 6.8)

Formteile mit erwünscht großen Verformungen sind Federn oder Schnappverbindungen. Schnappverbindungen nutzen die besonderen Gestaltungs- und Verformungseigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen für die Gestaltung einer einfachen, nahezu beliebig lösbaren, wirtschaftlichen Verbindungsart aus. Nocken, Wülste oder Haken der zu verbindenden Teile rasten formschlüssig in entsprechende Hinterschneidungen ein. Die Eindrückkraft hängt von dem Fügewinkel und der Reibungszahl ab, ebenso die Lösekraft vom Haltewinkel, der bestimmt, ob die Verbindung lösbar oder nichtlösbar ist, Bild 4.2.

Schnapphöhe

Die wirksame Höhe der Formschlussfläche (Schnapphöhe) kann bei biegebeanspruchten Strukturen wegen der leichteren Verformbarkeit deutlich größer ausgeführt werden als bei nur zug- oder druckbeanspruchten geschlossenen Strukturen, sogenannten Ringschnappverbindungen mit relativ starrem Kreisquerschnitt. Daher ist der Biegebalken ein bewährtes und beliebtes Konstruktionselement für Schnapphakenverbindungen. Umgekehrt genügt bei Ringschnappverbindungen häufig eine geringe Hinterschneidung. Durch Längsschnitte lassen sich steife Ringschnappverbindungen in biegeweiche Kreissegmente aufteilen, Bild 4.3.

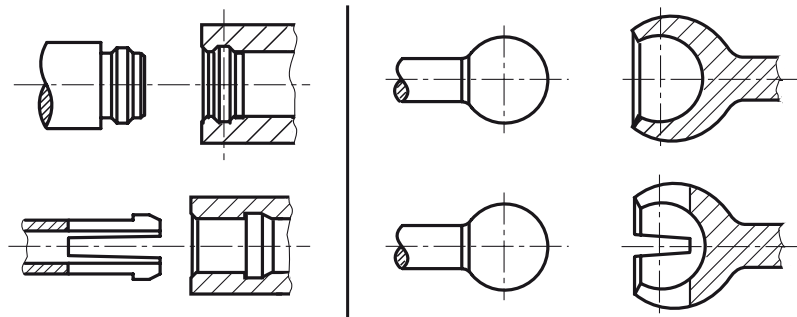


Bild 4.3: Ringschnappverbindung

oben: beim Fügen überwiegend auf Zug beansprucht

unten: mit großem Biegeanteil durch Segmentierung des Kreisquerschnitts

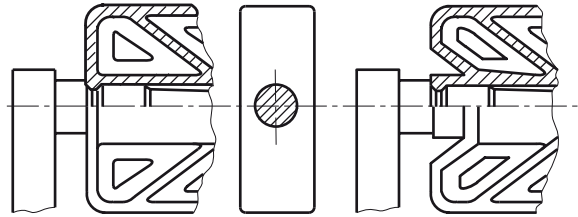


Bild 4.4: Befestigung eines Fahrradpedals über eine Schnappverbindung:
links: ohne Biegeanteil mit nur geringer Schnapphöhe
rechts: überwiegend Biegung mit größerer Schnapphöhe

Da Schnapphaken selten beansprucht werden, kann die Werkstoffbeanspruchung relativ hoch sein, jedoch kleiner als die Streckgrenze, da sonst bleibende Verformungen auftreten.

Filmgelenke (s. a. Abschnitt 6.9)

Extrem biegeweich sind dünnwandige Bereiche von Konstruktionen wie Film- oder Feder-gelenke, die als integrierte Bindeglieder zwischen gegeneinander zu bewegenden Teilen wirken. Bei einer Gehäuse/Deckel-Verbindung ist der Übergang in den dünneren Scharnierquerschnitt durch strömungsgünstige Radien ausgeformt, um die für eine hohe Biegewechselfestigkeit vorteilhafte Moleküllängsorientierung im beweglichen Gelenkbereich zu begünstigen und Kerbempfindlichkeiten im schroffen Übergangsbereich zu vermeiden, Bild 4.5.

Scharnier

Die Orientierung kann zusätzlich dadurch verstärkt werden, dass das Scharnier kurz nach dem Entformen im noch warmem Zustand mehrmals bewegt, also zusätzlich gereckt wird.

Das Konstruktionsprinzip der biegeweichen Gestaltung liegt auch dem Leitungsclip in Bild 4.6 zugrunde: Vier Leitungsclips mit biegeweicher Innenlagerung und steiferer äußerer Ab-

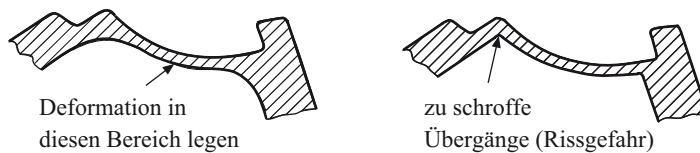


Bild 4.5: Filmgelenk als Deckel/Gehäuse-Verbindung aus PA 6

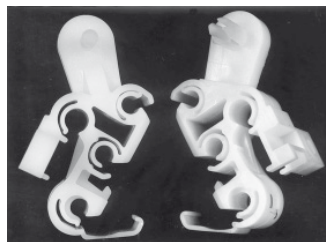


Bild 4.6: Mehrfachleitungsclip mit steifen Abstützungen und biegeweichen Lagerungen (TRW, Enkenbach)

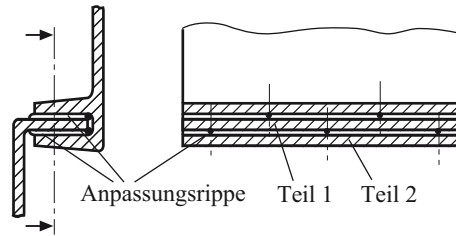


Bild 4.7: Spielfreiheit durch biegeweiche Anpassungsrippen

stützung für höhere Belastungen werden in einem Teil mit einer über ein Scharniergelenk angeformten, federnden Verschlusslasche gespritzt, die an einer Rastnase am Clipselement eingehakt wird und die eingeklipsten Leitungen sichert. Die Leitungslagerungen werden damit anpassungsfähig an Durchmesserschwankungen.

Anpassungsrippen

weiche Rippen

Ein weiteres eindrucksvolles Beispiel sind die sogenannten Anpassungsrippen, bei denen beim Zusammenfügen die Verformungsfähigkeit der Kunststoffe ausgenutzt wird. Eine bewährte Maßnahme, um eine spielfreie Passung zu gewährleisten, sind sogenannte biegeweiche Anpassungsrippen. Dabei wird bewusst in kleinen Bereichen eine maßliche Überlappung angestrebt und beim Zusammenfügen eine Biegeverformung der Stege/Anpassungsrippen an diesen Stellen in Kauf genommen, Bild 4.7.

4.1.2 Biegeweiche, zug- und drucksteife Konstruktion

Anpassungsrippen eines Verlängerungsstückes für eine Sekundenwelle sollen die Montage erleichtern. Der leicht biegbare Außenring ist jedoch zugsteif, sodass eine ausreichende, kraftschlüssige Verbindung erhalten bleibt, Bild 4.8.

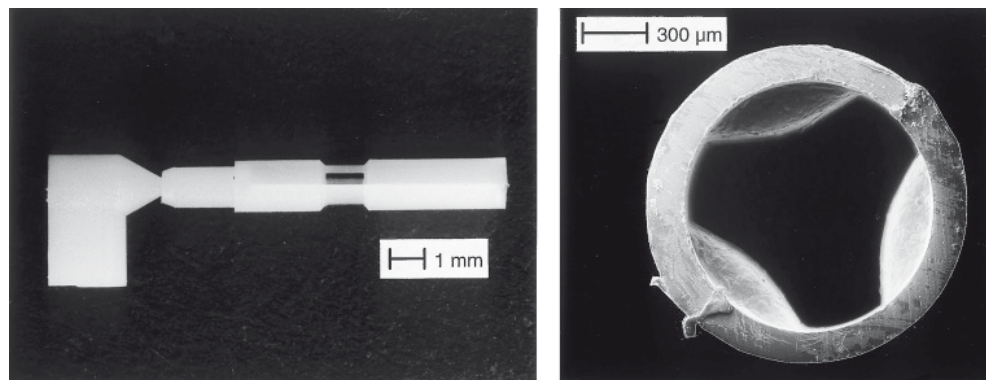


Bild 4.8: Anpassungsrippen in Verlängerungsstück einer Sekundenwelle aus POM (Breiter, Dau-dringen)

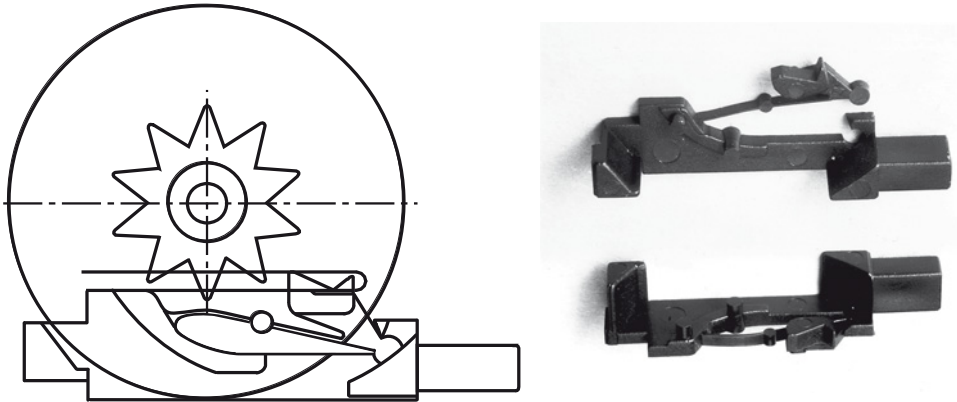


Bild 4.9: Drucktasten zum Schalten eines Kodierschalters (Beiter, Dauchingen)

Ein Druckstasenelement dient zum Schalten eines Kodierschalters. Bei hin- und hergehender Bewegung wird das Schaltelement einmal durch Biegen des Armes zur Seite gedrückt, beim Schalten als drucksteife Konstruktion schiebt es den Schalterzahn weiter, Bild 4.9.

4.1.3 Biegeweiche, torsionssteife Konstruktion

Wird ein Stab mit kreisförmigem Querschnitt senkrecht zu seiner Achse mit jeweils um 90° versetzten Einschnitten versehen, wird Material von den Randbereichen weggenommen, und es entsteht ein richtungsabhängig biegeweiches Element. Die Torsionssteifigkeit wird jedoch nicht wesentlich beeinträchtigt, da immer noch geschlossene Profilquerschnitte vorliegen.

Eine Anwendung ist eine Ausgleichskupplung aus dem biegewechselfesten POM, Bild 4.10. Auf dem gleichen Prinzip beruht das in Bild 4.11 dargestellte Gelenk, dessen doppelkardanische Wirkung durch zwei um 90° versetzte Filmscharniere erzielt wird. In der abgebildeten Größe (Wellendurchmesser 1,5 mm) kann eine Winkelverlagerung von insgesamt 15° ausgeglichen werden, dabei aber nur ein verhältnismäßig geringes Moment von etwa 5 N cm übertragen werden.

biegeweich/
torsionssteif

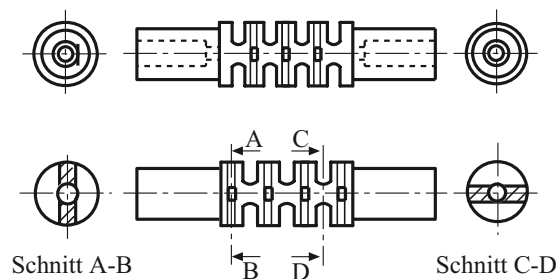


Bild 4.10: Biegeweiche, torsionssteife Ausgleichskupplung mit um 90° versetzten Einschnitten aus POM

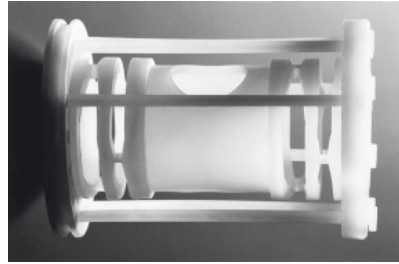


Bild 4.11: Scharniergelenke einer kardanisch aufgehängten Bodenplatte eines Schwingschleifers aus PP mit jeweils zwei um 90° versetzten Filmscharnieren (Hoechst AG)

4.1.4 Biegesteife Konstruktion

biegesteifes Profil

Da die maximale Randfaserspannung und bei gegebenem Biegemoment das äquatoriale Widerstandsmoment eine geeignete Größe zur Beurteilung des Formeinflusses auf die Biegebeanspruchung darstellt, gilt die Konstruktionsregel: *Querschnitte mit viel Werkstoff in den Randbereichen sind besonders biegesteif*. Das Bild 4.12 enthält eine Rangfolge der Biegesteifigkeit verschiedener Querschnittsformen bei jeweils gleicher Querschnittsfläche, d. h. bei gleichem Werkstoffbedarf.

		2	4	6	8	10 [%]
I-Profil (schmal)		100 %				
U-Profil		81,3				
I-Profil (breit)		57,6				
Vierkantrohr		57,5				
Rohr (dünnwandig)		48,7				
Winkel		40,7				
Rechteck 5:1		30,9				
T-Profil (hoch)		26,5				
T-Profil (breit)		21,1				
Rohr (dickwandig)		19,9				
Rechteck 2:1		19,6				
Quadrat		13,8				
Kreis (massiv)		11,7				

Bild 4.12: Rangfolge verschiedener Querschnittsformen für Biegesteifigkeit bei jeweils gleicher Querschnittsfläche (nach Steinhilper/Kahle)

Bedingt durch die Verarbeitungstechnologie sind Formteile aus Kunststoffen häufig Platten- und Schalenkonstruktionen. Wegen des niedrigen E-Moduls sind die Bauteile erheblich weniger steif als formgleiche Metallstrukturen. Um die Bauteilsteifigkeit zu erhöhen, bieten sich folgende, auch miteinander kombinierbare Möglichkeiten an:

- Erhöhung des Elastizitätsmoduls, z. B. durch Glas-, Kohlenstoff-, Aramidfaserverstärkung,
- Vergrößerung der Wanddicke,
- Anbringen von Rippen oder Sicken.

4.1.5 Biegesteife, torsionsweiche Konstruktionen

Ein derartiges Konstruktionsprinzip ist mit Faserverbundkunststoffen bereits durch die einfachste, die unidirektionale Faseranordnung zu erreichen, da hierbei in Faserrichtung hohe Zug- und Druckspannungen bei geringen Dehnungswerten aufgenommen werden können. Parallel zur Faserrichtung wird dagegen weder die Schubfestigkeit noch die Schubsteifigkeit erhöht. Dazu wäre eine Faseranordnung unter 45° notwendig.

Diese werkstoffbedingten Eigenschaften können durch geeignete geometrische Formgebung noch verstärkt werden. Das Flächenträgheitsmoment als eine die Biegesteifigkeit kennzeichnende Größe wird dadurch vergrößert, dass möglichst viel Werkstoff möglichst weit von der neutralen Faser angeordnet wird. Solange der Querschnitt an seinem äußeren Umfang nicht geschlossen wird, bleibt dieser torsionsweich. Dieses Konstruktionsprinzip ist werkstoffunabhängig.

Bild 4.13 zeigt einen lagerlosen Hubschrauber-Heckrotor aus GFK, bei dem die Verstellung des Anstellwinkels allein über Verdrehung des zwar biegesteifen jedoch gleichzeitig torsionsweichen Sternprofils erfolgt.

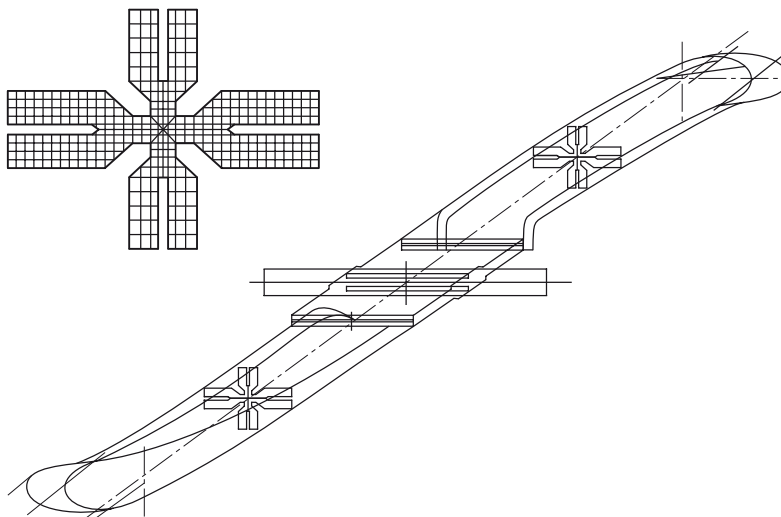


Bild 4.13: Lagerloser Heckrotor als biegesteife, torsionsweiche Konstruktion aus GFK (MBB, München)

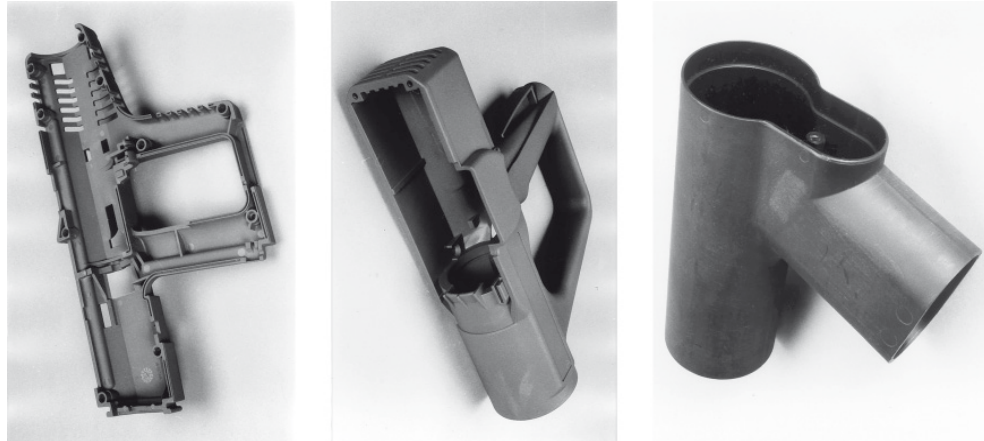


Bild 4.14: Bohrmaschinengehäuse aus zwei geteilten Halbschalen bzw. torsionssteiferem, leichterem teilgeschlossenem Gehäuse bzw. ganz geschlossenem Gehäuse (Hilti, Nersingen/Ensinger, Nufringen)

4.1.6 Torsionsfeste, torsionssteife Konstruktionen

Ein durch ein Drehmoment M_t auf Torsion beanspruchtes Bauteil zeigt über dem Querschnitt eine lineare Verteilung der Torsionsverformung. Der Maximalwert liegt im Randbereich. Aus der Spannungsverteilung folgt, dass bei Torsionsbeanspruchung in der Querschnittsmittle weniger Werkstoff erforderlich ist als in den Randbezirken, wo ein geschlossenes Profil gebildet sein sollte, Bild 4.14. Unter der weiteren Voraussetzung minimalen Werkstoffbedarfs werden diese Bedingungen am besten von einem dünnwandigen Rohr erfüllt.

geschlossene
Profile

torsionssteifes
Profil

Bild 4.15 enthält eine Zusammenstellung verschiedener Profilformen gleicher Fläche mit ihren auf den dünnwandigen Rohrquerschnitt bezogenen, relativen Torsionssteifigkeiten. (vgl. auch Einfluss verschiedener Rippenformen auf die Torsions- und Biegesteifigkeit von Profilen in Tabelle 5.1).

Eine weitere Möglichkeit zur Torsionsversteifung bietet die gegenseitige Versteifung durch Zusammenfügen von Einzelteilen an. Ein Staubsaugergehäuse besteht aus zwei biegesteif verrippten, zum Teil mehrwandigen Einzelteilen, Bild 4.16. Durch Zusammenfügen von Ober- und Unterteil mittels Schnappverbindungen und Bandage erhält man einen ausreichend torsionssteifen und -festen Körper.

4.1.7 Biegesteife, torsionssteife Konstruktionen

Der Forderung nach gleichzeitiger Biege- und Torsionssteifigkeit kommt der Querschnitt eines Rohres am nächsten, dessen Herstellung nach dem Spritzgießverfahren jedoch auf Entformungsschwierigkeiten des Kerns stoßen kann. Eine Möglichkeit ist die Kernschmelztechnik, die sogar nichtziehbar Kerne im Spritzgießverfahren zulässt, Bild 4.17. Durch eine geschlossene Form mit runden Ansaugkanälen in der Wand und zusätzlichen Rippen wird die Konstruktion biege- und torsionssteif.

		20	40	60	80	100 [%]
Rohr (dünnwandig)	○	100 %				
Vierkantrohr	□	93,3				
Rohr (dickwandig)	⊗	40,9				
Kreis (massiv)	⊙	24,1				
Quadrat	■	17,8				
Rechteck 2:1	▭	14,9				
Rechteck 5:1	▭	11,2				
T-Profil (hoch)	┌	8,8				
T-Profil (breit)	└	8,5				
Winkel	└┐	6,5				
I-Profil (breit)	┌─┐	6,4				
U-Profil	┌─┐	5,2				
I-Profil (schmal)	┌─┐	2,2				

Bild 4.15: Rangfolge verschiedener Querschnittsformen für Torsionssteifigkeit bei jeweils gleicher Querschnittsfläche (nach Steinhilper/Kahle)

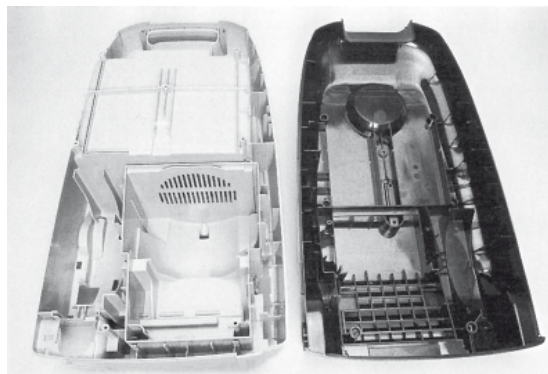


Bild 4.16: Versteifung eines Staubsaugergehäuses durch Verbinden zweier verrippter, spritzgegossener Hälften zu einem kraftschlüssigen, torsionssteifen Hohlprofil (AEG, Rotenburg)

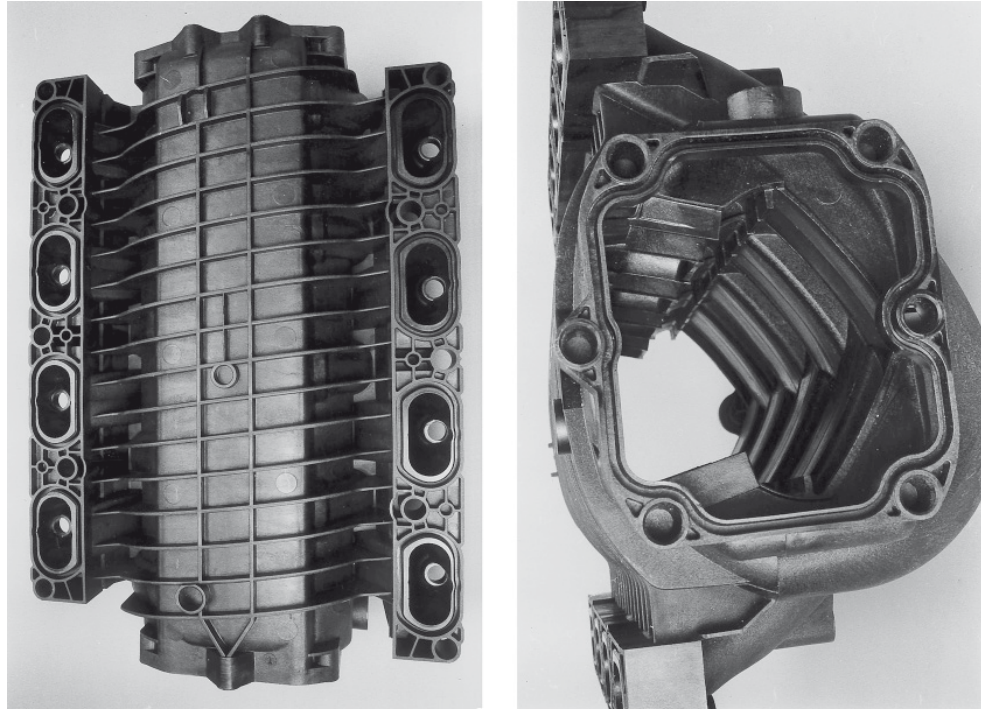


Bild 4.17: Ansauganlage im Spritzguss mit runden Kanälen in der Kernschmelztechnik (BMW, Landshut)



Bild 4.18: Kupplungspedal mit geschlossenem Hohlprofil (links) (BMW) und verripptem Doppel-T-Profilquerschnitt aus PA 66-GF (rechts) (Mercedes-Benz/BASF)

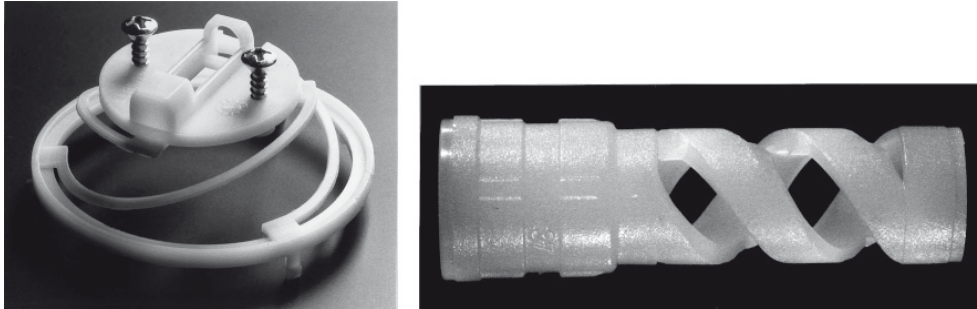


Bild 4.19: Spritzgegossene Schraubenfedern aus POM als Ventildederelemente
links: Federteller einer Füllstandsanzeige (Hähl & Ludwig, Diesslingen)
rechts: Druckluftspritzventil mit Torsionsfeder (Helvoet BV, Helle voetsllues, NL)

Bei einem gekröpften KFZ-Kupplungspedal wird ein stehendes Doppel-T-Profil mit einer Kreuzverrippung zwischen seinen Schenkeln verstärkt. Zusätzlich wird zwischen den Kröpfungsstellen die Öffnungsrichtung des Profils verlagert, sodass auf einfache Weise die Verdrehung des Pedals unter der Trittbelastung verkleinert wird, Bild 4.18 rechts.

torsions- und
biegesteif

Das Konstruktionsprinzip der Torsionsversteifung von flächigen Bauteilen ist die Diagonalverrippung. Im Fall des Torsionsrohres aus Faserverbundkunststoffen wird diese Festigkeits- und Steifigkeitsanisotropie in Form eines Kreuzverbandes mit spiralförmig unter $\pm 45^\circ$ zur Rohrlängsachse angeordneten Fasern erreicht.

4.1.8 Torsionsweiche Konstruktionen

Die geringe Schubsteifigkeit der Kunststoffe erfüllt bereits vonseiten des Werkstoffs die Voraussetzung für eine torsionsweiche Konstruktion, z. B. als Feder- oder Schnappelemente. Torsionsweiche Querschnittsgeometrien ergeben sich nach Bild 4.19 dadurch, dass der Schubfluss am Außenumfang durch Schlitze unterbrochen wird.

Bild 4.19 links zeigt ein Federelement zur Füllstandskontrolle eines Glasvorratsbehälters einer Entkeimungsanlage. Der Federteller wird in einer Ebene gespritzt, beim Entformen gestreckt und anschließend gespannt, sodass ein leistungsfähiges Federelement entsteht.

torsionsweich

Bild 4.19 rechts zeigt Teile eines Druckluftsprühventils mit torsionsweicher Feder aus POM, bei dem eine Null-Fehler-Produktion angestrebt wird.

4.1.9 Zugfeste, zugsteife und torsionsweiche Konstruktionen

Derartige komplexe Aufgabenstellungen lassen sich mit Faserverbundkunststoffen durch gezielte Anordnung der, vor allem auf Zug zu beanspruchenden Fasern, in diesem Falle kombiniert mit einer weichen Matrix, lösen, Bild 4.20. Für ein Verbindungselement im Rotorkopf eines Hubschraubers wurde dieses durch die unidirektionale Anordnung von zugsteifen und zugfesten Stahldrähten mit 15 mm \varnothing , eingebettet in eine torsionsweiche PUR-Elastomer-Matrix, erreicht.

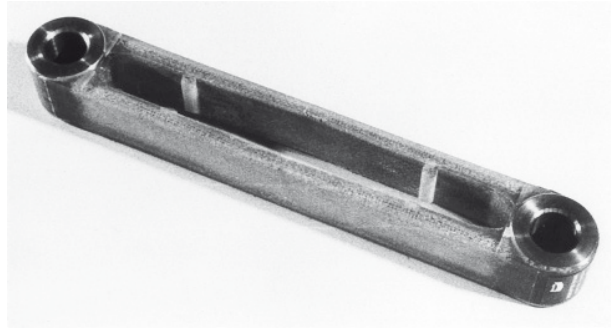


Bild 4.20: Zugfestes, zugsteifes und zugleich torsionsweiches Verbindungselement am Rotorkopf eines Hubschraubers (MBB, München)

4.1.10 Schubfeste, schubsteife Konstruktionen

Die Schubspannungsverteilung über einem querkraftbeanspruchten Rechteck-Querschnitt ist parabolisch. Die maximalen Schubspannungen treten im Bereich der Schwerpunktschwerachse auf; die oberen und unteren Ränder sind schubspannungsfrei, Bild 4.21. Bemerkenswert ist ferner der Einfluss der Querschnittslage auf den Querkraftverlauf.

Schub Daraus folgt unmittelbar: Querschnitte mit viel Werkstoff im Bereich der Schwerpunktschwerachse sind besonders schubsteif. Dieser Forderung entspricht das Vollkreisprofil am besten; am ungünstigsten verhält sich dagegen ein schlankes I-Profil, Bild 4.22. Biegebeanspruchte und schubbeanspruchte Bauteile sind daher gerade gegenläufig zu dimensionieren.

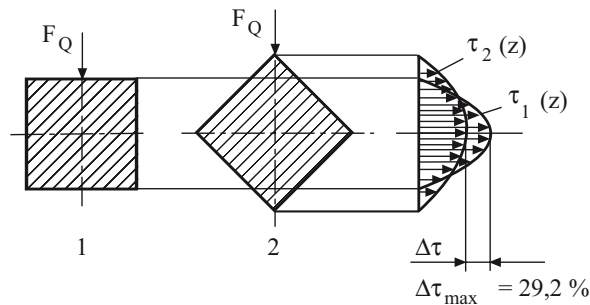


Bild 4.21: Schubspannungsverlauf verschiedener Querschnitte bei Querkraftbeanspruchung

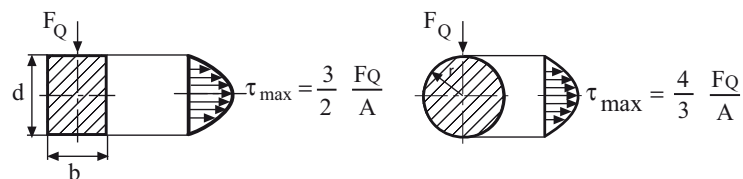


Bild 4.22: Schubspannungsverteilung in querkraftbeanspruchten Querschnitten

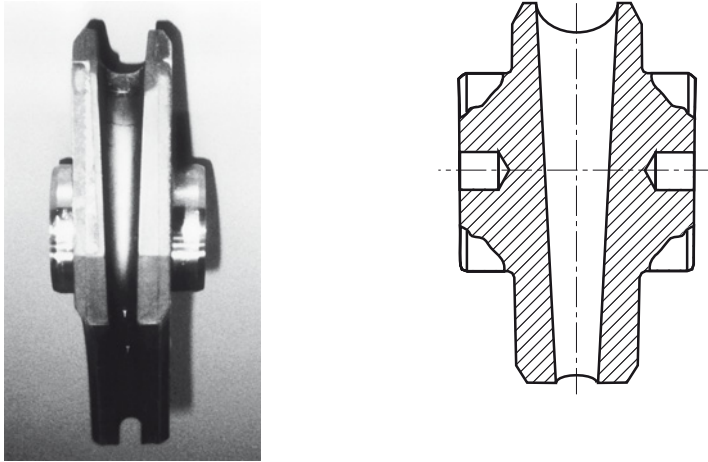


Bild 4.23: Gleichmäßige Schubbeanspruchung eines Federelements durch Vergrößerung der Schichtdicke (SLM, Winterthur)

Ein Beispiel für eine schubweiche, schubfeste Konstruktion mit über dem Radius gleichmäßige Schubspannungen durch Vergrößerung der Schichtdicke ist ein Gummielement in der schweizerischen E-Lok 2000, Bild 4.23.

4.1.11 Druckweiche, drucksteife Konstruktionen

Zu Bauelementen, die bereits auf geringe Druckbelastungen mit relativ großen Verformungen reagieren müssen, zählen u.a. Dichtungen zum Ausgleich hoher Formungenauigkeiten, weiche Druckfedern oder Druckdämpfer. Elastomere mit flacher Druck/Stauchungs-Charakteristik bieten die werkstoffseitige Voraussetzung für derartige Konstruktionen. Eine gestalterische Maßnahme, um hohe Verformungen in Richtung einer äußeren Druckbelastung zu erzielen, ist die Umwandlung von Druckspannungen im Bauteil in Schubspannungen, Bild 4.24. Der maximale Federweg wird bei gleichem Werkstoffaufwand um 30 % erhöht.

Druck

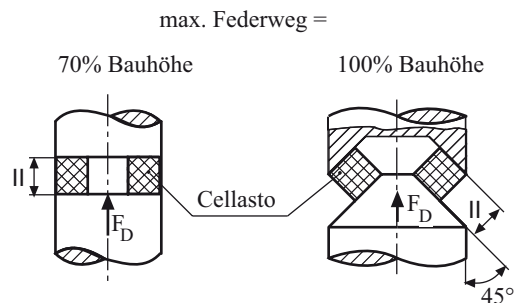


Bild 4.24: Erhöhung des Federweges einer Elastomer-Feder gleicher Bauhöhe durch Änderung der Beanspruchungsrichtung

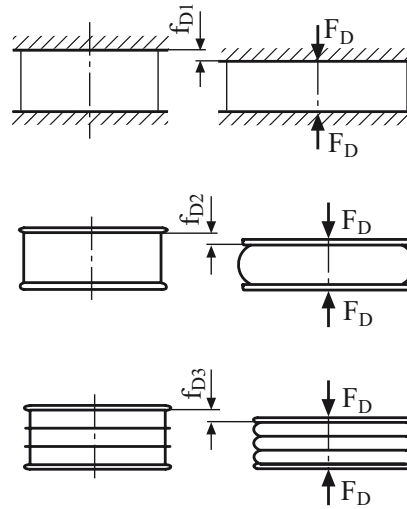


Bild 4.25: Erhöhte Drucksteifigkeit ($f_{D1} > f_{D2} > f_{D3}$) bei Elastomer-Druckfedern durch Zwischenbleche
 Oben: Querdehnung an den Stirnflächen unbehindert (keine Reibung und Haftung)
 Mitte: Querdehnung an den Stirnflächen verhindert durch Haftung
 Unten: Querdehnung durch einvulkanisierte Zwischenbleche weitgehend verhindert

Umgekehrt wird die Drucksteifigkeit einer Druckfeder vergrößert, wenn die Querdehnung weitgehend verhindert wird. Dies kann z. B. durch einvulkanisierte Zwischenbleche geschehen, Bild 4.25 und Bild 4.28, wobei die Schubweichheit einer solchen Struktur erhalten bleibt.

Anpassungsrippen

Allgemein bekannt dürften auch die Bausteine der Fischer-Technik sein mit Verbindungszapfen aus POM mit druckweichen Anpassungsrippen von 0,1 mm Höhe und einer Toleranz des Verbindungszapfen im Schiebereich von $0,8 \pm 0,02$ mm bzw. im Schiebesitz des Steines aus ABS von $3 + 0,02$ mm, Bild 4.26.

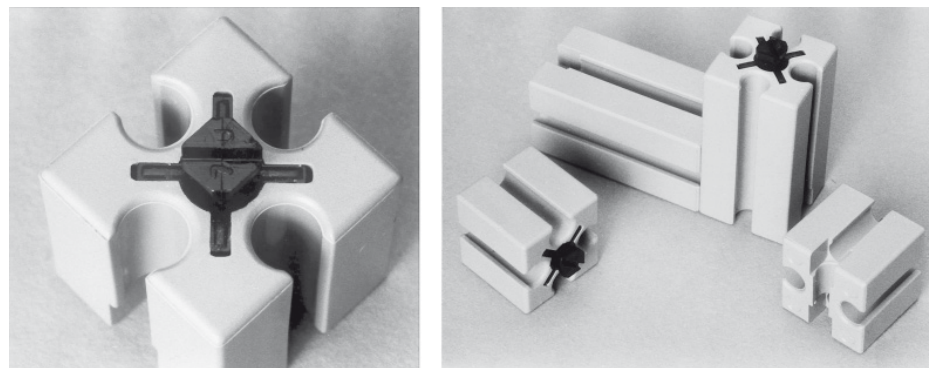


Bild 4.26: Anpassungsrippen im Schiebesitz eines Bausteins der Fischer-Technik (Fischer, Waldachtal)

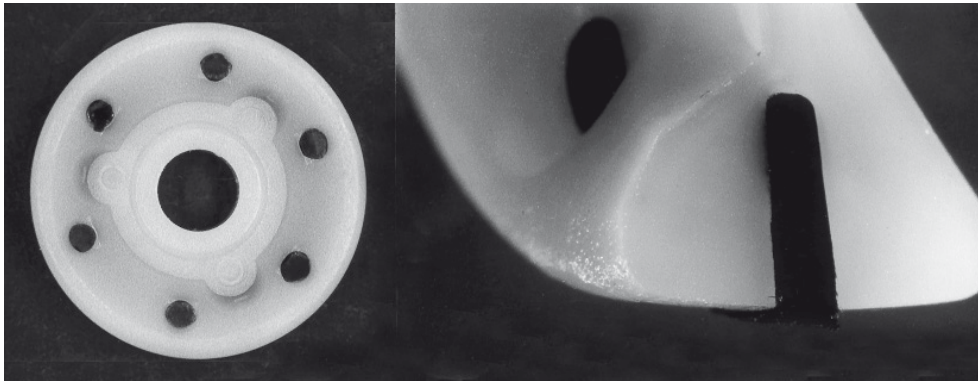


Bild 4.27: Druckfeste und -steife Rolle aus POM mit druckweicher PUR-Einlage für weichen Ablauf (rotho, St. Blasien)

Eine Kombination von druckweicher und drucksteifer Konstruktion stellen die sogenannten Softrollen dar. Hochfestes, drucksteifes POM bildet den tragenden Rollenkörper mit Gleitlagerausbildung zur Aufnahme einer Metallachse in der Mitte. Eine druckweiche Einlagerung in die Lauffläche aus schwarzem thermoplastischen PUR erlaubt ein weiches Aufsetzen und Abrollen, Bild 4.27. Die Herstellung erfolgte im Zweikomponentenspritzguss, was eine feste, formschlüssige Verankerung beider Elemente erlaubt.

Beispiele von drucknachgiebigen Konstruktionen findet man auch im Zusammenhang mit einem ganz anderen Problemkreis, nämlich bei der Beherrschung bestimmter Toleranz- und Passungsanforderungen: Bauteile müssen meistens mit definiertem Spiel zu anderen Bauteilen passen. Unrealistisch enge Toleranzen festzulegen, führt dabei selten zum Erfolg, eher zu hohem Ausschuss.

Durch die Ausrichtung der Zwischenbleche eines Metall-Gummi-Feder-Elementes einer Lokomotive kann parallel zur Biegekante der Bleche durch bevorzugte Schubverformung eine größere Weichheit ($c_x = 0,15 \text{ kN/mm}$) erzielt werden als senkrecht zur Blechfläche unter Wirkung von Druckkräften ($c_z = 2 \text{ kN/mm}$) bei Aufnahme der Brems- und Beschleunigungskräfte, Bild 4.28. Zur Aufnahme der Achsfederkräfte in der 3. Richtung wirken Schub- und Normalspannung gleichzeitig und ergeben eine Steifigkeit von $c_y = 0,37 \text{ kN/mm}$.

anisotrope
Steifigkeit

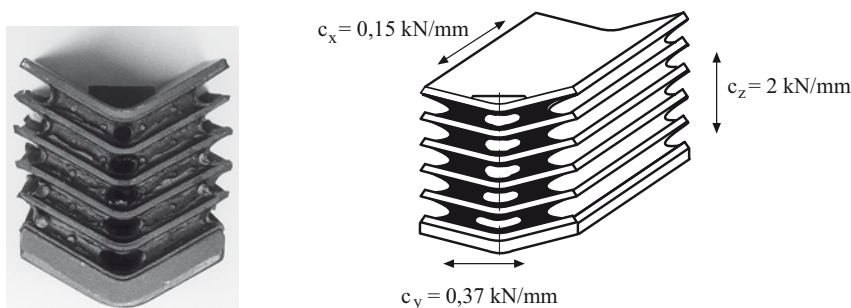


Bild 4.28: Achs-Federelement der Schweizerischen Lokomotive 2000 (SLM, Winterthur)

4.2 Akustik Design

Bei der Substitution eines Metallteils durch Kunststoffe kann schon wegen der viel geringeren Steifigkeit und höheren mechanischen Dämpfung ein vertrautes oder erwartetes Geräusch so geändert werden, dass es ein möglicher Kunde nicht wiedererkennt. Wegen der Komplexität des Vorganges und der Nichtvorhersehbarkeit von Schallabstrahlung und -intensität lässt sich ein akustisches Design nur experimentell durchführen. Hierzu wird die Geräuschemission eines Teiles im Realbetrieb aufgenommen und gespeichert. Die lokale Verteilung der Schallintensität und die Frequenzen, die von verschiedenen Teilbereichen des Bauteils abgestrahlt werden, sind zu analysieren besonders um Gebiete zu lokalisieren, die für Störgeräusche verantwortlich sind. Mittels digitaler Filter werden die Frequenzbereiche manipuliert oder ausgefiltert, die zu Störgeräuschen führen.

Frequenzbereiche

Eine Geräuschminimierung kann normalerweise durch höhere Bauteilsteifigkeit, Verbesserung des Übertragungsverhalten, höheres Gewicht und höhere Materialdämpfung erreicht werden. Da bei Kunststoffen ein höheres Bauteilgewicht in der Regel unerwünscht ist und das Material aufgrund anderer Funktionen, wie thermischer Belastbarkeit und Medienbeständigkeit, von vornherein festliegt und nur wenig geändert werden kann, bleiben die Parametersteifigkeit und Übertragungsverhalten – im Wesentlichen übrig. Beide können durch konstruktive Maßnahmen wie Rippen, Sicken und schalenförmige Gestaltung, aber auch durch Steifigkeitssprünge durch unterschiedliche Materialien beeinflusst werden.

Literatur zu Kapitel 4:

- | | |
|---|---|
| Brünings, W.-D., Hauck, C.,
Müller, D. | <i>Untersuchung an Prototypen von KFZ-Pedalen aus PA-GF, Kunststoffe</i> 79 (1989) 5, S. 448–451 |
| Ehrenstein, G.W., Erhard, G. | <i>Konstruieren mit Polymerwerkstoffen</i> , Carl Hanser Verlag, München, 1983 |
| Fischer, A. | <i>persönliche Mitteilung</i> , Fischerwerke, Waldachtal, 1994 |
| Kraft, W.W. | <i>Akustische Optimierung von Fahrzeugbauteilen aus Kunststoff</i> , Vortrag BASF-Vorabendveranstaltung zur VDI-Tagung, Ludwigshafen, 22.3.94 |
| N. N. | Hoechst-Report 2/90: <i>Höchstleistungen mit Hostaform</i> , Hoechst AG, Frankfurt |
| Steinhilper, W., Kahle, U. | <i>Biegung, Schub und Torsion beeinflussen die Gestalt eines Bauteils</i> , <i>Maschinenmarkt</i> 87 (1981) 75, S. 1548–1550 |