

Überblick der wichtigsten Belastungsarten und Belastungsfälle

1	Grundbegriffe der technischen Mechanik	1
1.1	Belastungsarten	2
1.1.1	Zugbelastung	2
1.1.2	Druckbelastung	2
1.1.3	Biegebelastung	3
1.1.4	Schubbelastung (Querkraftbiegung)	4
1.1.5	Torsionsbelastung.....	5
1.1.6	Scherbelastung.....	5
1.1.7	Flächenpressung	6
1.2	Stabilitätsprobleme (Knicken, Beulen, Kippen)	6
1.3	Zusammengesetzte Belastung.....	7
2	Belastungsfälle.....	7
3	Zulässige Beanspruchung	7

Formelzeichen und Begriffe:

A	Querschnittsfläche
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
I	Flächenträgheitsmoment
L	Länge
M	Moment
W	Widerstandsmoment
b	Breite
e	Randfaserabstand
h	Höhe
Δ	Differenz
ε	Dehnung
σ	Spannung

Indizes:

b	Biegung
d	Druck
p	polar
t	Torsion
v	Vergleichsspannung
x	in x-Richtung
y	in y-Richtung
z	Zug
0	ursprünglich

1 Grundbegriffe der technischen Mechanik

Belastung

Als Belastung wird die Wirkung von äußeren Lasten (Kräfte, Momente) auf feste Körper bezeichnet.

Beanspruchung

Als Beanspruchung wird die Wirkung von inneren Kräften (Spannungen) im Werkstoff bezeichnet.

Beanspruchungsarten

Es werden folgende zwei Grundbeanspruchungsarten unterschieden:

- Normalspannungen (σ) \Rightarrow wirken senkrecht (normal) zur Querschnittsebene (Zug- und Druckspannungen)
- Tangentialspannungen (τ) \Rightarrow wirken parallel (tangential) zur Querschnittsebene (Scher-, Schub- und Torsionsspannungen)

Formänderung

Als Formänderung wird die infolge der Belastung bzw. der Beanspruchung auftretende Änderung der Bauteilform bezeichnet, z. B.:

- Zugspannung \Rightarrow Verlängerung
- Druckspannung \Rightarrow Stauchung
- Biegespannung \Rightarrow Durchbiegung
- Schubspannung \Rightarrow Verdrehung, Schiebung

1.1 Belastungsarten

1.1.1 Zugbelastung

Belastung \Rightarrow Kräfte wirken entgegengesetzt parallel zur Stabachse.

Das Bauteil wird gedehnt.

Kommentar:

Die Zugbeanspruchung stellt die versagensrelevante Beanspruchungsart für die Kunststoffe dar.

Häufig ist die Zugbelastung mit weiteren Belastungen kombiniert. Reine Zugbelastung kommt selten vor.

Beanspruchung	Normalspannung $\sigma = \frac{F_z}{A}$; mit $A = b \cdot h$
Formänderung	Verlängerung $\Delta L = L - L_0 \Rightarrow$ Dehnung $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$

Tabelle 1 Zugbeanspruchung

1.1.2 Druckbelastung

Belastung \Rightarrow Kräfte wirken gegeneinander parallel zur Stabachse

Das Bauteil wird gestaucht.

Kommentar:

Die Druckbeanspruchung stellt keine versagensrelevante Beanspruchungsart für die Kunststoffe dar.

Die Druckfestigkeit der thermoplastischen Kunststoffe liegt in der Regel deutlich höher als ihre Zugfestigkeit.

Reine Druckbelastung kommt selten vor und ist hauptsächlich auf prismatische Körper mit einem geringen Verhältnis von Länge zum Querschnitt beschränkt (Ziegelsteine). Sie wird oft mit der Flächenpressung verwechselt (siehe auch 1.1.7).

Beanspruchung	Normalspannung $\sigma = \frac{F_d}{A}$; mit $A = b \cdot h$
Formänderung	Verkürzung $-\Delta L = L_0 - L \Rightarrow$ Dehnung $\varepsilon = -\frac{\Delta L}{L_0}$

Tabelle 2 Druckbeanspruchung

1.1.3 Biegebelastung

Belastung \Rightarrow Kräfte wirken quer zur Stabachse und bilden ein Biegemoment (M_b).

Das Bauteil wird gebogen.

Kommentar:

Die Biegebelastung führt immer gleichzeitig zur Zug- und Druckbeanspruchung. Die maximale Zugbean-

spruchung ist dabei der versagensrelevante Beanspruchungsteil. Eine hohe Druckbeanspruchung sollte als ein Hinweis auf potentielle Stabilitätsprobleme (Knicken, Beulen) gewertet werden.

Die Biegebelastung stellt die häufigste Beanspruchungsart bei stabförmigen und flächigen Bauteilen dar.

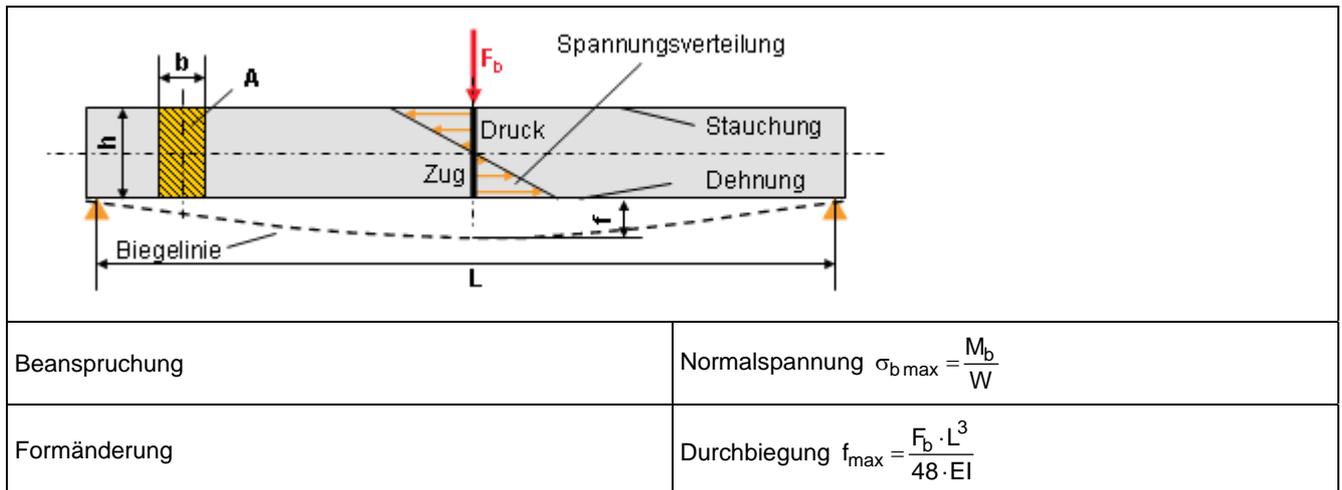


Tabelle 3 Biegebeanspruchung

1.1.4 Schubbelastung (Querkraftbiegung)

Belastung \Rightarrow Schubbelastung tritt meist als Begleiterscheinung von Biegebelastung auf. Sie wirkt sowohl in den senkrechten als auch in den waagerechten Querschnittsebenen.

Die Belastung verursacht eine Verschiebung der parallel zueinander liegenden Stirnflächen.

Kommentar:

Die Schubbeanspruchung kann bei klobigen Querschnitten

$$\left(\frac{L}{h} < 10\right)$$

unter Biegung von Bedeutung sein. Sie kann zu einer Erhöhung der Durchbiegung führen. Ihre Wirkung wird in der Vergleichsspannung (s. zusammengesetzte Beanspruchung) berücksichtigt.

Beanspruchung	Schubspannung $\tau = \frac{F}{A}$
Formänderung	Durchbiegung, Schiebung

Tabelle 4 Schubverformung eines kompakten Biegebalkens

Beanspruchung	Schubspannung $\tau = \frac{F}{A}$
Formänderung	Durchbiegung, Schiebung

Tabelle 5 Schubverformung (Prinzip) zwischen den Längsschichten eines Biegebalkens

1.1.5 Torsionsbelastung

Belastung \Rightarrow Kräfte wirken paarweise in der Querschnittsebene senkrecht zur Stabachse und bilden ein Torsionsmoment (M_t), welches den Querschnitt verdreht.

Das Bauteil wird verdreht.

Kommentar:

Die Torsionsbelastung tritt meist in Kombination mit der Biegebelastung auf.

Beanspruchung	Schubspannung $\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p}$
Formänderung	Verdrehung $\Phi_{\max} = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_p} \Rightarrow$ Schiebung

Tabelle 6 Torsionsbeanspruchung

1.1.6 Scherbelastung

Belastung \Rightarrow Zwei gleichgroße gegeneinander gerichtete Kräfte wirken in einer Ebene quer zur Stabachse.

Auslegung von querbelasteten Bolzenverbindungen (Niete, Stifte, Schrauben etc).

Das Bauteil wird gesichert.

Die Scherfestigkeiten einiger LANXESS Kunststoffe sind in der Technischen Information „Scherfestigkeiten repräsentativer LANXESS Thermoplaste“ angegeben. Sie dienen hauptsächlich der Auslegung von Trennwerkzeugen und sollten nicht mit der Schubfestigkeit (z. B. bei Torsion) verwechselt werden.

Kommentar:

Die Scherbelastung ist meist mit der Biegebelastung verbunden. Sie spielt eine wichtige Rolle bei der

Beanspruchung	Schubspannung (Scherspannung) $\tau = \frac{F}{A}$
Formänderung	Abscherung, Verschiebung

Tabelle 7 Scherbeanspruchung

1.1.7 Flächenpressung

Belastung \Rightarrow Kontakt zwischen zwei Körperoberflächen.

Die Belastung führt zur Pressung der Kontaktflächen.

Kommentar:

Die Flächenpressung führt selten zum Versagen aber oft zur Funktionsbeeinträchtigung durch lokale

Oberflächendeformation. Sie spielt eine wichtige Rolle bei der Auslegung von Laufrollen, Zahnrädern, Gleitlagern und Schraubverbindungen. Eine Sonderform der Flächenpressung ist die Lochleibung bei Nietverbindungen.

Die Flächenpressung wird oft mit der Druckbelastung verwechselt.

Beanspruchung	Hertz'sche Pressung
Formänderung	Lokale Deformation

Tabelle 8 Flächenpressung

1.2 Stabilitätsprobleme (Knicken, Beulen, Kippen)

Belastung \Rightarrow Kritische Kraft, kritischer Druck

Die Belastung verursacht eine rasch eintretende Formänderung des Bauteils (Kollaps), die häufig zum Versagen führt.

Kommentar:

Die Stabilitätsprobleme stellen ein Steifigkeitsproblem dar. Sie können bereits unterhalb der zulässigen Beanspruchung des Werkstoffes auftreten. Neben schlanken Stäben und Trägern sind vor allem flächige und verrippte Strukturen davon gefährdet. Vorsicht bei freien Rippenkanten unter Druckbelastung.

Knicken des Stabes 	Kippen eines Profils 	Beulen eines Rohrs
Beanspruchung		Druckspannungen
Formänderung		Plötzliches Kollabieren (Instabilität)

Tabelle 9 Stabilitätsprobleme

1.3 Zusammengesetzte Belastung

Bedingt durch die sowohl komplexe Bauteilgeometrie als auch die komplexen Belastungsverhältnisse, handelt es sich in der Praxis in der Regel um eine aus mehreren Belastungsarten zusammengesetzte Beanspruchung. Die von ihr ausgehende mehrachsigige Beanspruchung wird durch die Vergleichsspannung beschrieben, welche das Äquivalent einer einachsigen Normalspannung darstellt und damit die Vergleichbarkeit mit den an Prüfstäben (einachsig) ermittelten Festigkeitswerten ermöglicht. Die für Kunststoffe am gebräuchlichsten benutzte Vergleichsspannung ist die nach von Mises.

Für den zweiachsigen (ebenen) Spannungszustand gilt:

$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2}$	
Beanspruchung	Vergleichsspannung (z. B. nach von Mises)
Formänderung	überlagert

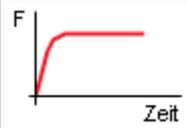
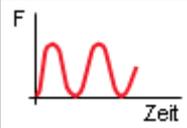
Tabelle 10 Vergleichsspannung

2 Belastungsfälle

Grundsätzlich werden bei den Kunststoffen die gleichen Belastungsfälle wie im klassischen Maschinenbau unterschieden. Aus Rücksicht auf das ausgeprägte Relaxations- und Retardationsverhalten (Kriechen) der Kunststoffe, hat es sich jedoch als sinnvoll erwiesen, innerhalb des statischen Belastungsfalls, zwischen weiteren Belastungsfällen zu differenzieren, wie z. B.:

- einer einmaligen, kurzzeitigen
- einer häufigen kurzzeitigen
- einer langzeitigen

Belastung.

Statisch einmalig kurzzeitig Statisch mehrmalig kurzzeitig Statisch langzeitig	
Dynamisch schwellend	

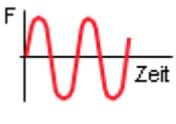
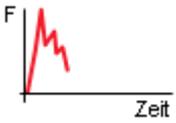
Dynamisch wechselnd	
Stoßartig (Crash)	

Tabelle 11 Belastungsfälle

3 Zulässige Beanspruchung

Die zulässige Beanspruchung (Spannung, Dehnung) ist bei Kunststoffen, abgesehen von den Belastungsarten und -fällen, im hohen Maße von der Temperatur, der Verarbeitung und den Umgebungsmedien abhängig.

In Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren liegen für die wichtigsten thermoplastischen LANXESS Kunststoffe Durethan® und Pocan® zulässige Beanspruchungswerte für Spannung bzw. Dehnung vor. Sie können bei den zuständigen Experten, bzw. über durethan-pocan@lanxess.com erfragt werden.

Die Größenordnung der zulässigen Beanspruchung bei statischer Belastung kann für teilkristalline Werkstoffe grob nach der folgenden Regel abgeschätzt werden:

Bei einer einmaligen kurzzeitigen Belastung:

ca. 95 % Streckdehnung bei unverstärkten und ca. 50 % der Bruchdehnung bei GF-verstärkten Werkstoffen

Bei einer häufigen kurzzeitigen Belastung:

ca. 60 % der einmalig kurzzeitig zulässigen Werte

Bei Langzeitbelastung, dynamischer und stoßartiger Belastung:

ca. 0,5 % Dehnung

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen – und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Versuchsprodukte (Typbezeichnung beginnend z. B. mit DP, TP, KL oder KU):

Es handelt sich um Verkaufsprodukte im Versuchsstadium (Versuchsprodukte), deren Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Endgültige Aussagen über Typkonformität, Verarbeitungsfähigkeit, Langzeiterprobung unter verschiedenen Bedingungen oder sonstige produktions- und anwendungstechnische Parameter können daher nicht gemacht werden. Eine endgültige Aussage über das Produktverhalten bei Einsatz und Verarbeitung kann nicht getroffen werden. Jegliche Verwendung des Versuchsprodukts erfolgt außerhalb unserer Verantwortung. Die Vermarktung und dauerhafte Belieferung mit diesem Material ist nicht gewährleistet und kann jederzeit eingestellt werden.