

Steifigkeit

Nach Flächengewicht und Dicke ist die Steifigkeit die nächstwichtigste Eigenschaft, die bei der Kartonauswahl berücksichtigt werden muss. Steifigkeit ist besonders wichtig, wenn der gewählte Karton für Verpackungen eingesetzt werden soll.

Die Steifigkeit des Kartons ermöglicht es, das Material sowohl im Grafik- als auch im Verpackungsbereich in einem breiten Anwendungsspektrum einzusetzen. Ohne Steifigkeit könnte der Karton seine wichtigste Funktion nicht erfüllen: den Schutz des verpackten Produkts vor Einflüssen der Umgebung.

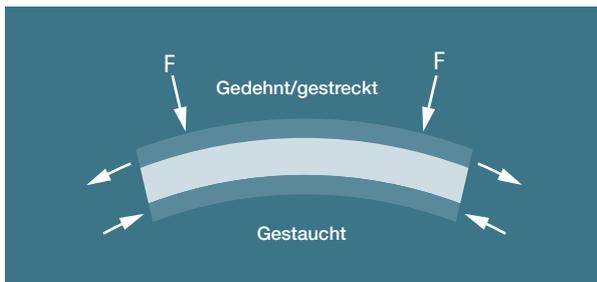
Die Steifigkeit steht in enger Beziehung zu anderen Festigkeitseigenschaften, wie z. B. Stauchwiderstand, Zähigkeit, Rill- und Faltfähigkeit usw. Dennoch ist die Steifigkeit als eigenständige Eigenschaft zu betrachten, die problemlos messtechnisch erfasst werden kann. Ihr Zusammenspiel mit anderen Parametern hingegen ist nicht so einfach zu verstehen.

Für Kartonverarbeiter und/oder Kartonanwender ist die Steifigkeit ein bedeutender Parameter, der große Auswirkungen auf die Verarbeitungs- und Abpackleistung hat. Größtmögliche Steifigkeit muss bei möglichst geringem Flächengewicht und mit möglichst niedrigen Kosten erreicht werden, wobei dennoch eine stets gleichbleibende Qualität zu gewährleisten ist. Auch nach Verlassen der Abpacklinie spielt die Steifigkeit eine wichtige Rolle in der Distributionskette auf dem Weg zum Einzelhandel bis hin zum Verbraucher.

Für den Kartonhersteller zählt die Steifigkeit zu den wichtigsten Kartoneigenschaften. Ihre Werte werden im Kartonherstellungsprozess besonders sorgfältig überwacht, damit sie den spezifizierten Werten entsprechen. Jedes Kartonprodukt wird so ausgelegt, dass die gewählte Faserzusammensetzung und -struktur die kostengünstigste Alternative darstellt, um die gewünschten und gleichbleibenden Leistungsmerkmale zu erzielen.

Merkmale der Steifigkeit

Steifigkeit wird als der Biege widerstand definiert, den der Karton einer bestimmten, von außen einwirkenden Kraft entgegenbringt.



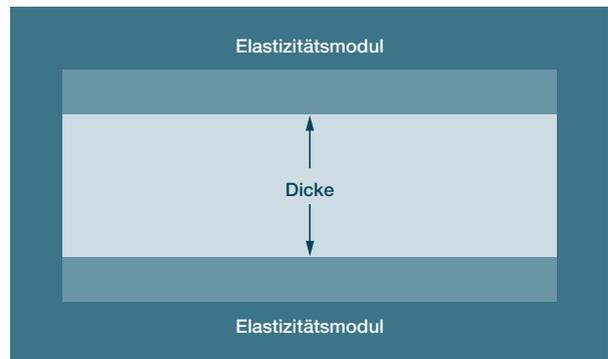
Wirkung des Biegens durch externe Kräfte

Sie kann auch als Kraft definiert werden, die nötig ist, um ein bestimmtes Stück eines Materials um eine bestimmte Strecke oder um einen bestimmten Winkel zu biegen. Diese Definition wird bei den am häufigsten verwendeten Messverfahren angewendet.

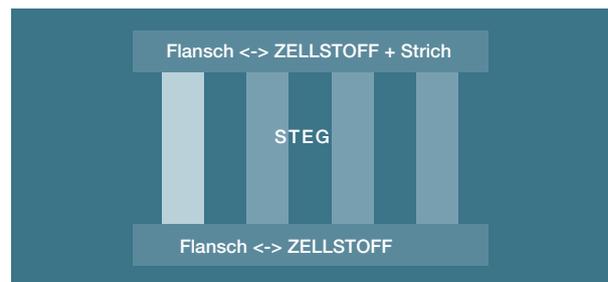
Hohe Steifigkeit kann durch große Dicke sowie einen hohen Elastizitätsmodul in den äußeren Lagen eines mehrlagigen Bogens erreicht werden. Eine hohe Zugsteifigkeit in den äußeren Lagen ist von großer Bedeutung, um der Zugbelastung beim Biegen widerstehen zu können. Die Elastizitätseigenschaften sind in hohem Maße von der Art der verwendeten Fasern abhängig. Lange Zellstofffasern ermöglichen eine gute Bindung und somit einen hohen Elastizitätsmodul. Sie kommen daher am effektivsten in den äußeren Lagen von Karton zum Einsatz. Auch die Dicke wird von der Art der Fasern beeinflusst. Mechanisch aufgeschlossene Fasern führen beispielsweise zu höherem Volumen, wenn sie in den Innenlagen des Kartons verwendet werden. Die Erhöhung der Steifigkeit funktioniert bei mehrlagigem Karton nach dem Doppel-T-Träger-Prinzip, bei dem im Vergleich zu einem massiven Querschnitt eine höhere Steifigkeit pro Gewichtseinheit erreicht wird. Zur optimalen Ausnutzung der Fasereigenschaften müssen die verschiedenen Faserlagen gut miteinander verbunden sein.

Unterschiedlicher Aufbau der Kartonlagen

Bei der Wahl zwischen verschiedenen Kartonprodukten



Optimierung der Steifigkeit durch richtige Faserwahl



Doppel-T-Träger-Prinzip

ist das Biegeverhalten des mehrlagigen Kartons ein entscheidendes Kriterium. Die Lagen auf der konvexen Seite des Kartons werden beim Biegen des Kartons gedehnt, die Lagen auf der konkaven Seite gestaucht. Außerdem gibt es eine Zwischenschicht, die als Neutrallage bezeichnet wird und bei der keine Längenänderung auftritt. Der Widerstand der Oberflächenlagen gegenüber solchen Dehnungen und Stauchungen wird anhand ihres Elastizitätsmoduls gemessen und hat erheblichen Einfluss auf die Steifigkeit des Bogens.

Ein hoher Elastizitätsmodul wird durch die Verwendung von reinem, gebleichtem Zellstoff erreicht, der aus Holzarten wie Kiefer und Fichte gewonnen wird. Dieser Faserstoff enthält relativ lange Fasern, die bei der Konsolidierung in der Kartonmaschine eine hervorragende Faserbindung erzielen.

Elastizität

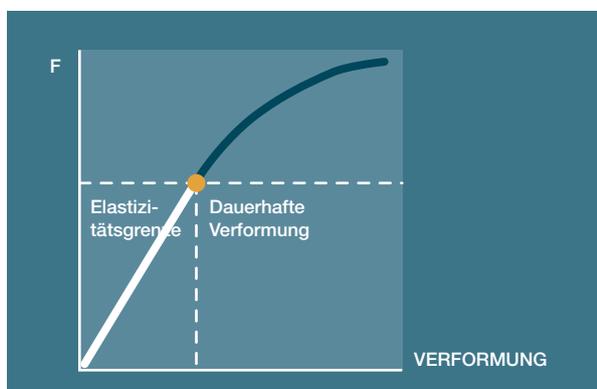
Elastizität ist die physikalische Eigenschaft, die es dem Material ermöglicht, seine ursprüngliche Form wieder einzunehmen, sobald die Kraft nicht mehr ausgeübt wird. Die Elastizitätsgrenze bezeichnet die maximale Kraft, die ausgeübt werden kann, bevor das Material dauerhaft verformt wird. Diese Prinzipien gelten für die Festigkeit aller festen Materialien, einschließlich Karton.

Sie werden im Hookeschen Gesetz definiert, das besagt, dass sich bei kleineren Verformungen bis zur Elastizitätsgrenze (sowohl Streckung als auch Stauchung) die Spannung proportional zur Dehnung verhält, d. h.:

$$\begin{array}{ccc} \text{Spannung} & = & E \times \text{Dehnung} \\ / & & \backslash \\ \text{Ausgeübte Kraft} & & \text{Verformung} \end{array}$$

Dabei ist die Proportionalkonstante E der Elastizitätsmodul oder Youngsche Modul und wird in N/m² oder Pa ausgedrückt.

Alle Materialien, wie z. B. Stahl, Glas, Kunststoffe und Karton besitzen einen charakteristischen Elastizitätsmodul, der von der Zusammensetzung abhängt.



Karton ist ein elastisches Material

Steifigkeit ist wie oben definiert der Biegegegenstand gegenüber einer von außen einwirkenden Kraft. Dies kann als Gleichung des Elastizitätsmoduls und der Dicke ausgedrückt werden:

$$\text{Steifigkeit} = S = \text{Konstante} \times E \times t^3$$

Die Kubikzahl in dieser Gleichung gilt für homogene Materialien, vorausgesetzt, die Elastizitätsgrenze wird nicht überschritten. Bei vollgebleichtem Zellstoffkarton und Chromokarton beträgt die Indexzahl etwas weniger als 3, ca. 2,5 – 2,6. Die Steifigkeit hängt deshalb unmittelbar von der Dicke des Materials ab. Wird die Dicke einer bestimmten Kartonqualität zum Beispiel verdoppelt, steigt die Steifigkeit gleichzeitig um das 5,5-Fache. Der Feuchtigkeitsgehalt des Kartons hat großen Einfluss auf den Elastizitätsmodul und damit auf die Steifigkeit. Als Faustregel gilt, dass die Steifigkeit mit jedem Prozent, um das der Feuchtigkeitsgehalt steigt, um 10 % abnimmt.

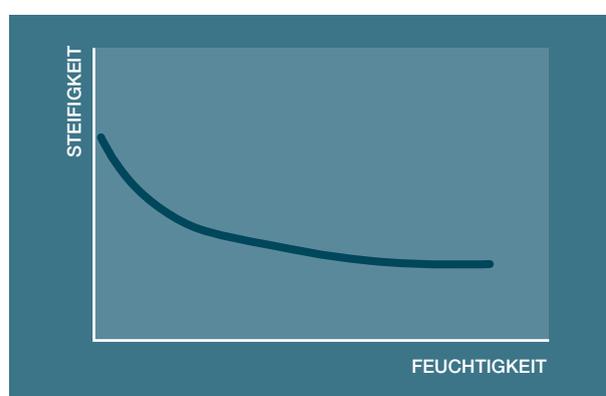
Beurteilung der Steifigkeit

Steifigkeit bezeichnet die Eigenschaft eines Materials, einer von außen einwirkenden Kraft oder Belastung entgegenzuwirken. Das Ausüben einer mechanischen Spannung verursacht eine Dehnung oder Verformung. Abhängig von der Art der Belastung ist dies eine Streckung oder Stauchung des Materials.

Für die Beurteilung der Steifigkeit von Papierprodukten ist eine große Zahl verschiedener Verfahren entwickelt worden. Von diesen sind einige, wie zum Beispiel das Resonanzverfahren, besser für Produkte mit geringerer Steifigkeit geeignet (<150 g/m²). Andere Verfahren wie das Vierpunkt-Verfahren sind günstiger bei Produkten mit höherer Steifigkeit (z. B. bei Wellpappen oder Fluting).

Bei Kartonprodukten werden jedoch meist die folgenden vier Verfahren angewendet:

- Biegesteifigkeit ISO 5628 (mNm) (L&W 5°) (DIN 53 121)
- Biegegegenstand ISO 2493 (mN) (L&W 15°)
- Biegemoment ISO 2493 (mNm) (Taber 15°)
- Biegesteifigkeit ISO 5629 (mNm) (L&W Resonanz) (DIN 53 123).

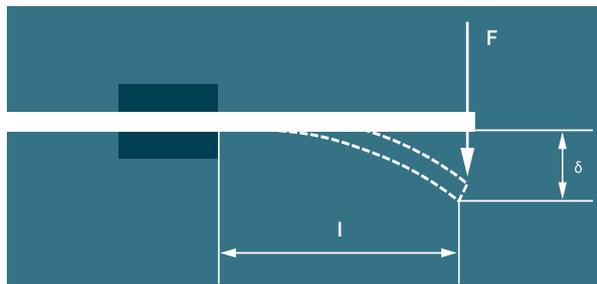


Verhältnis von Steifigkeit zu Feuchtigkeitsgehalt

Chromkartonprodukte werden mit Hilfe des Taber-Verfahrens geprüft, wobei der ermittelte Messwert für das Biegemoment in den entsprechenden Wert für den Biege widerstand umgerechnet wird.

Bei vollgebleichtem Zellstoffkarton wird in umgekehrter Richtung verfahren und der Taber-Wert aus dem Wert für den Biege widerstand errechnet.

Da sich Karton anisotrop verhält, werden die Messungen an streifenförmigen Proben durchgeführt, die in Längsrichtung (MD) und in Querrichtung (CD) zur Kartonbahn geschnitten wurden. Anhand des Steifigkeitsverhältnisses (MD/CD) kann die Anisotropie des Kartons geprüft werden.



Definition von Biege widerstand und Biege steifigkeit

Der Biege widerstand ist die Kraft, die aufgewendet werden muss, um eine rechteckige Kartonprobe um 15° zu biegen. Die Biege steifigkeit wird aus der Kraft berechnet, die für eine Biegung um 5° notwendig ist.

Für die meisten Kartonsorten überschreitet ein Biege winkel von 15° bei Weitem die Elastizitätsgrenze. Ein Winkel von 5° liegt in der Regel innerhalb der Elastizitätsgrenze und wird als Standardwert anerkannt. Die genaue Bestimmung des Winkels ist dabei sehr wichtig, da eine Abweichung von nur 0,5° zu einem Messfehler von etwa 10 % führt.

Biege steifigkeit, Biege widerstand und Biegemoment werden mit Hilfe des Zweipunkt-Verfahrens gemessen. Bei diesem Verfahren wird ein Ende der Probe eingespannt (siehe Abbildung oben). Dann wird in einer Entfernung l von der Einspannung eine Kraft F auf die Probe ausgeübt. Die Probe biegt sich dann um die Strecke delta.

Begriffsdefinition

Karton verhält sich anisotrop, das heißt, dass seine Eigenschaften richtungsabhängig sind, was auf die Ausrichtung der Fasern in Längsrichtung zurückzuführen ist. Daher muss die Steifigkeit stets in Längs- und in Querrichtung gemessen werden. Dabei wird die Steifigkeit in Längsrichtung stets höher sein als in Querrichtung.

Das Steifigkeitsverhältnis ist ein Begriff, der das Verhältnis zwischen der Steifigkeit in Längs- und in Querrichtung bezeichnet. Je größer der Quotient ist, desto höher ist die Steifigkeit in Längsrichtung im Verhältnis zur Steifigkeit in Querrichtung.

$$\text{Steifigkeitsverhältnis} = \frac{S_{MD}}{S_{CD}}$$

Um die Steifigkeit mit einem Wert angeben zu können, ist es möglich, die Werte für Längs- und Querrichtung in einem geometrischen Mittelwert (GM) zusammenzufassen:

$$S_{GM} = \sqrt{S_{MD} \times S_{CD}}$$

Dieser Mittelwert wird nur selten verwendet, um die Anforderungen an die Steifigkeit zu bestimmen, ist aber nützlich, wenn die Produkte hinsichtlich der absoluten Steifigkeit verglichen werden sollen, oder wenn die Faltschachtelkonstruktion keine Richtung bevorzugt. Ganz allgemein gilt, dass größere Faltschachteln eine höhere Steifigkeit in Längsrichtung und kleinere Faltschachteln eine höhere Steifigkeit in Querrichtung aufweisen sollten.

Messbare Eigenschaften

Biege steifigkeit (ISO 5628)

Prüfverfahren und -geräte, PTE

Die Biege steifigkeit wird im Allgemeinen mit einem Messmer-Büchler-Steifigkeitsprüfer gemessen. Ein 38 mm breiter Kartonstreifen wird in das Instrument eingespannt und um 5° gebogen. Das freie Ende des Kartonstreifens berührt eine Kraftmessdose; die registrierte Kraft ist proportional zur Steifigkeit des Kartons. Die Einspannungsvorrichtung wird dann um weitere 10° gedreht und die Kraft beim nun vorliegenden Winkel von 15° als Biege widerstand bei 15° erfasst und in mN ausgedrückt.

$$\text{Biege steifigkeit (L\&W 5°)} = \frac{60 \times l^2}{\pi \times \text{Grad} \times b} \times \text{Biege kraft (5°)}$$

(Einheit = mNm)

l = Probenlänge (m) = 0,050

pi = 3,14

Grad = Biege winkel (°) = 5

b = Probenbreite (m) = 0,038

daher gilt :

$$\text{Biege steifigkeit (L\&W 5°)} = 0,2514 \times \text{Biege kraft (5°)}$$

Messbare Eigenschaften

Biege widerstand und Biegemoment (ISO 2493)

Beachten Sie bitte, dass eine genaue Umrechnung der Biegesteifigkeit in das Biegemoment oder den Biege widerstand nicht möglich ist.

Biege widerstand (L&W 15°) mN = Biegemoment (Taber 15°) mNm × 20,70

Definition des Biegemoments

Das Biegemoment ist das Produkt aus dem Biege widerstand und der Länge der Probe, auf die eine Kraft ausgeübt wurde, um sie um 15° zu biegen.

Prüfverfahren und -geräte, Taber

Die Messung des Biegemoments wird unter Verwendung eines Taber-Steifigkeitsprüfers durchgeführt. Dabei wird ein Ende eines 38 mm breiten Kartonstreifens eingespannt und auf das andere eine Kraft ausgeübt, um es um 15° zu biegen. Das Biegemoment wird direkt von der Skala abgelesen und entsprechend dem Gewichtswert korrigiert. Der Mittelwert für die Messergebnisse, die in entgegengesetzten Richtungen ermittelt wurden, wird festgehalten und in mNm angegeben.

Biegemoment (Taber 15°) mNm = Biege widerstand (L&W 15°) mN × 0,0483

Hinweis: Wird Taber in gcm (Grammzentimeter) angegeben, gilt: Taber in mNm = Taber in gcm × 0,0981

Kartonauswahl

Steifigkeit ist wahrscheinlich einer der am häufigsten spezifizierten Kartonparameter. Kartonverarbeiter oder Endanwender können daher auf umfassende Informationen zu diesem Thema zurückgreifen.

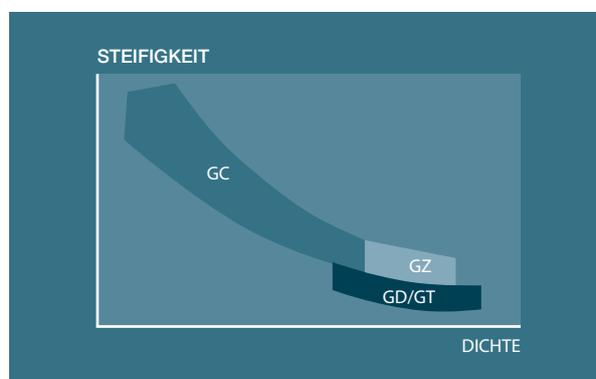
Es ist jedoch nicht einfach, den Steifigkeitsgrad auf die Anforderungen an das Endprodukt abzustimmen. In den meisten Fällen beruht die Auswahl auf Erfahrungswerten. Dem Kartonanwender stehen komplexe Theorien zur Verfügung, die ihm bei der Kartonauswahl helfen. Diese Theorien verlieren jedoch bei geringfügigen Änderungen im Produktions- oder Prozessablauf ihre Relevanz.

Bei der Auswahl von Karton für eine neue Anwendung oder ein neues Produkt müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Zuerst werden Gewicht und Größe des zu verpackenden Produkts, bei grafischen Anwendungen die potentielle Beanspruchung des Kartons eingeschätzt. Ist dies erfolgt, kann das endgültige Produktdesign unter Berücksichtigung der genannten Faktoren abgeschlossen werden. Bei Faltschachteln ist es erst möglich, den Grad der Steifigkeit festzulegen, wenn Form und Maße feststehen. An dieser Stelle scheint der Hinweis angebracht, dass nicht alle Kartonqualitäten mit gleichem Flächengewicht oder gleicher Dicke auch die gleiche Steifigkeit aufweisen.

Hinzu kommt, dass auch das gewünschte Druckbild und das äußere Erscheinungsbild bei der Auswahl berücksichtigt werden müssen.

Vollgebleichter Zellstoffkarton (GZ) bietet hervorragende Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften pro Flächengewichtseinheit des Materials. Auf der anderen Seite bietet Chromokarton (GC) aufgrund seines Volumens eine hohe Steifigkeit in Relation zum Flächengewicht.

Alle Primärfaserprodukte wie GZ und GC zeichnen sich durch eine hervorragende Konstanz und Reproduzierbarkeit aus. Sie bieten im Vergleich zu Altfaserkarton mit hoher Dichte eindeutige Vorteile, denn dieser kann durch seinen geringeren Primärfaseranteil nicht mit hohem Volumen gefertigt werden und verfügt daher stets über eine geringere Steifigkeit pro Flächengewichtseinheit.



Wichtige Eigenschaften

Die Steifigkeit ist eine primäre Festigkeitseigenschaft von Karton, die relativ einfach gemessen werden kann. Folgende grundlegende Merkmale von Karton beeinflussen die Steifigkeit:

- Flächengewicht
- Dicke
- Volumen oder Dichte
- Mehrlagigkeit oder Einlagigkeit

Andere Eigenschaften, die in enger Beziehung zur Steifigkeit stehen:

- Reißfestigkeit
- Zugfestigkeit
- Feuchtigkeitsgehalt

Der Feuchtigkeitsgehalt kann entscheidenden Einfluss auf die Steifigkeit haben, da ein hoher Feuchtigkeitsgehalt die Steifigkeit erheblich verringert. Trockenerere Produkte verfügen dagegen über eine höhere Steifigkeit.

Auch andere Eigenschaften werden davon beeinflusst, z. B.:

- Klebefähigkeit (Rückfederungskraft)
- Rillfähigkeit

Die Steifigkeit hat außerdem einen großen Einfluss auf den Ausbeulwiderstand der Faltschachtel.