SANCO® GROUP

Anwendungstechnische Informationen

Glasbruch durch mechanische Spannungen

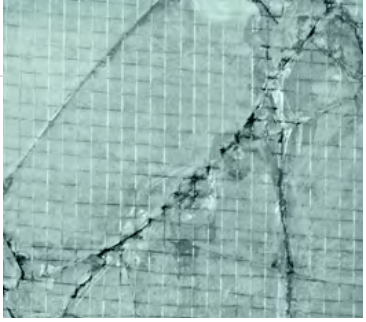
www.sanco.de

WERKSTOFFKUNDE GLAS

In der Werkstoffkunde werden die mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen bei Belastungen beschrieben. Viele der dafür verwendeten Begriffe stammen aus dem Alltag.
Um die Kenngrößen von der Geometrie eines Werkstoffes unabhängig zu machen, werden Kräfte auf Flächeneinheiten bezogen. Die Kraft, die pro Flächeneinheit in einem Körper wirkt, ist eine so genannte mechanische Spannung. Ihre physikalische Einheit ist dieselbe wie für Druck: Kraft pro Fläche = N/m^2 = Pa (Pascal) bzw. N/mm^2 = MPa (Megapascal). Den aus einer Belastung herrührenden Spannungen setzt der Werkstoff seine Festigkeit entgegen. Überschreitet eine mechanische Spannung die materialeigene Festigkeit eines Werkstoffes, geht er kaputt. Misst man im Moment der Zerstörung, wie fest man an einem Probekörper gezogen oder darauf gedrückt hat, ergibt sich ein Maß für die maximale Belastbarkeit dieses Materials. Je nach Richtung der Lasteinwirkung (Zug, Druck, Biegung, Torsion) können sich durchaus unterschiedliche Festigkeitswerte ergeben.

Erklärung wichtiger Werkstoff-Begriffe und Kennwerte

Begriff	Maßeinheit	Beschreibung
Zugfestigkeit	N/mm^2	Wert der maximalen Zugspannung, die ein Werkstoff erträgt, bevor er bricht.
Druckfestigkeit	N/mm^2	Wert der Spannung, unter der der Werkstoff bei Druck versagt.
E-Modul	N/mm^2	Beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung und elastischer Dehnung. Ist eine Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes.
Streckgrenze	-	Wert der Spannung, bei der eine plastische Verformung beginnt.
Elastische Verformung	-	Material geht nach Wegfall der Belastung in seinen Ausgangszustand zurück.
Plastische Verformung	-	Irreversible Verformung eines Materials nach Überschreiten der Streckgrenze.



Werkstoffe verhalten sich bei Beanspruchung sehr unterschiedlich. Geht ein Material nach Wegfall einer Zugbelastung in seinen Ausgangszustand zurück, so war die Verformung „elastisch“. Der Elastizitätsmodul (E-Modul) beschreibt das Verhältnis von Spannung zu Dehnung bei der Verformung eines Werkstoffes im elastischen Bereich. Führt beispielsweise wie bei Gummi schon niedrige Spannung zu hoher elastischer Dehnung, ist der E-Modul klein, das Material ist sehr nachgiebig. Steife Materialien wie Stahl sind durch einen hohen E-Modul gekennzeichnet.

Der E-Modul von Glas liegt mit 70.000 MPa etwa im selben Bereich wie Aluminium.
Glas ist steif und kann sich gut elastisch verformen.

Mit „Streckgrenze“ wird die Spannung bezeichnet, ab der sich ein Material unter Zugbelastung irreversibel = „plastisch“ verformt (Bsp. Kaugummi). Wird die Grenze der plastischen Verformbarkeit und damit die Zugfestigkeit des Materials überschritten, kommt es zum Bruch.
Ein Material, das sich kaum plastisch verformen lässt, wird als spröde bezeichnet. Beispiele sind trockene Kekse, Keramiken und Glas. Das Gegenteil von spröde ist zäh. Diese Eigenschaft wird Leder nachgesagt, aber auch viele Metalle sind besonders zäh. Die Zähigkeit beschreibt die Widerstandskraft gegen Bruch oder Rissausbreitung.

Glas ist zwar elastisch, jedoch sehr spröde. Glas bricht ohne vorheriges plastisches Fließen (Sprödbruch). Deshalb versagt Glas schlagartig, ohne jegliche Ankündigung.

Mechanische und thermische Eigenschaften unterschiedlicher Glasarten

Eigenschaft	Maßeinheit	Floatglas	Teilvorgespanntes Glas (TVG)	Einscheibensicherheitsglas (ESG)
Biegefestigkeit*	N/mm²	45	70	120
Druckfestigkeit	N/mm²	700 – 900	700 – 900	700 – 900
Elastizitätsmodul	N/mm²	ca. 70.000	ca. 70.000	ca. 70.000
Temperaturwechselbeständigkeit	K	40	100	150
Bearbeitung nach Herstellung	-	Ja	Nein	Nein
Spontanbruch möglich	-	Nein	Nein	Ja
Glasbruchgefahr	-	Groß	Mittel	Gering
Bruchverhalten	-	Radiale Anrisse, große Bruchstücke	Radiale Anrisse, kleinere Stücke	Netzartige Risse, stumpfkantige Krümel

*Für einen statischen Nachweis zur Bemessung von Glasscheiben gelten die Werte der jeweils für die gewünschte Anwendung relevanten Normen!

AUSLÖSEMECHANISMEN
FÜR MECHANISCHEN GLASBRUCH

Die Festigkeit von Glas wird nicht allein durch den chemischen Aufbau und die molekulare Struktur bestimmt. Herstellungsbedingte innere Spannungen sowie kleine Glasdefekte wie Risse und Einschlüsse setzen die Bruchfestigkeit herab.

Glas hat eine sehr hohe Druckfestigkeit, die je nach Glaszusammensetzung zwischen 700 – 900 N/mm² liegt. Das entspricht der mechanischen Spannung, die entsteht, wenn ein Mensch mit ca. 70 – 90 kg Gewicht auf einem Quadratmillimeter Fläche stehen würde (oder 7 – 9 Tonnen auf einem Quadratzentimeter).

Glas ist sehr widerstandsfähig gegen Belastungen, die zu Druckspannungen führen, jedoch nicht gegen solche, die Zugspannungen erzeugen. Die Zugfestigkeit von Glas beträgt nur etwa ein Zehntel seiner Druckfestigkeit.

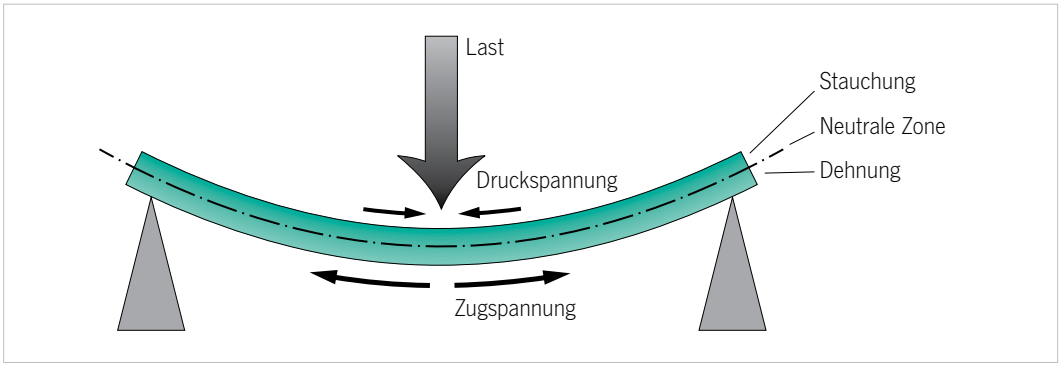
Reine Druckbelastungen entstehen bei Glas aber nur selten. Jede Durchbiegung einer Scheibe erzeugt immer eine Kombination aus Zug- und Druckbelastungen. Glas bricht immer dann, wenn durch Belastung seine Zugfestigkeit überschritten wird.

Teilvorgespanntes Glas (TVG) und Einscheibensicherheitsglas (ESG) haben höhere Zugfestigkeiten als Floatglas. Die Belastbarkeit von Verbundsicherheitsglas (VSG) hängt von der Glasart ab, aus der es hergestellt wurde. Durch die Verklebung mit Folie hält VSG aber nach einem Bruch die Bruchstücke zusammen. Der in Drahtglas eingelegte Draht hingegen schwächt den homogenen Querschnitt von Glas und reduziert die Festigkeit in vielerlei Hinsicht.
Die schwächste Zone einer Glasscheibe ist in der Regel die Glaskante. Durch das Schneiden, Brechen und Bearbeiten von Glas entstehen hier die meisten Mikrodefekte.

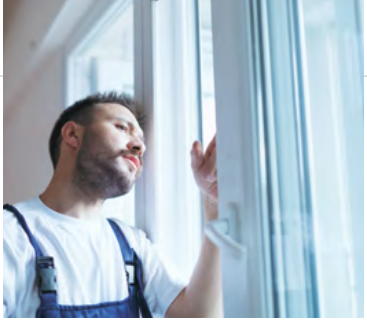
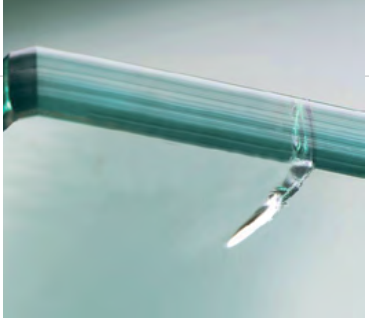
Die Qualität der Kantenausbildung ist maßgeblich für die Biegezugfestigkeit. Je schlechter die Kantenbeschaffenheit, umso weniger belastbar ist das Glas. Eine ausgesplitterte Schnittkante mit starken Einkerbungen und Ausbrüchen, aber auch beim Transport verursachte Kantenbeschädigungen können die Belastbarkeit einer Scheibe drastisch reduzieren. Eine Kantenbearbeitung durch Schleifen oder Polieren hingegen erhöht die Belastbarkeit.

! Für die Glasbruchgefahr maßgeblich ist die Zugfestigkeit an der Kante.

Dass Glas spröde bricht, macht man sich übrigens beim Glaszuschnitt gezielt zunutze: Durch Anritzen mit einem Glasschneider wird die Glasoberfläche kontrolliert geschwächt und anschließend unter Zugspannung gesetzt bis es entlang der vorgegebenen Linie bricht.



Beim Durchbiegen einer Glasplatte wird die Oberseite gestaucht (Druck) und die Unterseite gedehnt (Zug).

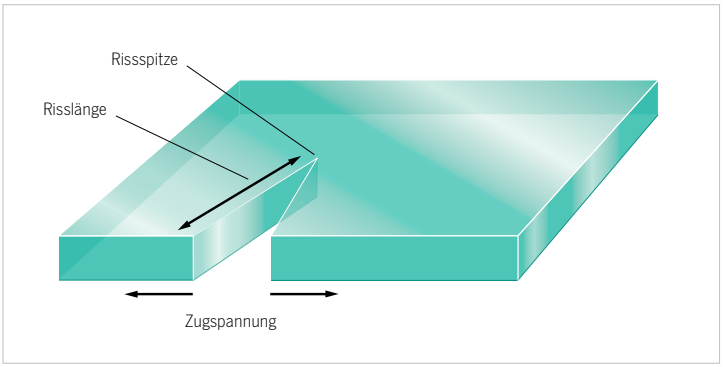
Bruchmechanik

In einem homogenen Material verteilen sich Zugspannungen gleichmäßig über den Querschnitt. An Kerben, Rissen und Störstellen hingegen kommt es zu komplizierten Spannungsgefügen mit den höchsten Spannungen an den Rissspitzen. Bei genügend Energiezufuhr durch mechanische oder thermische Belastung vergrößert sich ein Riss.

Zähes Material kann zugeführte Energie durch plastische Verformung an der Rissspitze abbauen. Deshalb breitet sich ein Riss darin nur bei sehr hoher Energieaufnahme weiter aus. Glas verfügt jedoch nicht über solche internen „Knautschzonen“. Als spröder Werkstoff hat es nur eine geringe Risszähigkeit.

Je länger ein Mikroriss, umso höher wird die Spannung an seiner Spitze und umso geringer ist die Zugfestigkeit des Materials. Kurz gesagt: Der längste Riss bestimmt die Festigkeit. Wird bei Belastung die kritische Spannungsintensität überschritten, kommt es bei Glas zu einem instabilen Risswachstum.

Nach langsamem, durch eine glatte Bruchfläche gekennzeichnetem Anlaufen erreicht ein Bruch eine Konstante, für jede Glasart typische Maximalgeschwindigkeit, erkennbar an einem aufgerauten Bruchspiegel. Zusammen mit weiteren Phänomenen an den Bruchflächen (Wallnersche Linien, Lanzettbrüche) kann dies bei mikroskopischer Analyse Hinweise auf den Ort des Bruchausgangs, die Größe der bruchauslösenden Spannung und die Bruchrichtung geben. Sprünge mit besonders hoher Bruchspannung können sich an der Kalt-Warm-Grenze aufspalten.



Durch Zugbeanspruchung kann sich ein Riss öffnen und bei Überschreitung der kritischen Spannungsintensität an der Spitze schnell ausbreiten.

DIE URSACHEN – MECHANISCHE SPANNUNGEN IN EINER GLASSCHEIBE

Verformungen beim Bewegen einer Scheibe, Dehnen, Durchbiegen und Verdrehen verursachen in ihr Spannungen. Aber auch ohne äußere Krafteinwirkung können durch Temperaturänderungen in Glas mechanische Spannungen erzeugt werden. Glas bricht, wenn diese Spannungen seine Zugfestigkeit überschreiten. Die Zugfestigkeit von Glas ist nicht immer gleich: Mikrodefekte oder Schäden an der Glaskante können die Zugfestigkeit drastisch reduzieren.

Für einen Glasbruch gibt es vielfältige Ursachen. Nicht alle lassen sich sofort am Bruchbild ablesen. Ob eine durchgehend gesprungene Scheibe auf Grund einer thermischen oder einer mechanischen Belastung versagt hat, kann erst bei genauerer Analyse festgestellt werden. Bei unklaren Fällen sollte ein Experte hinzu gezogen werden, der aus dem Bruchbild und der Form und Größe der Bruchstücke die richtigen Rückschlüsse auf die bruchauslösende Spannung zieht. Die Stelle des Bruchausgangs und die Bruchrichtung zu ermitteln und daraus die richtigen Schlüsse zu ziehen, erfordert nicht nur Wissen, sondern auch einiges an Erfahrung.

Die Analyse eines Bruchbildes kann durch die Kombination mehrerer Einflüsse erschwert sein. Eine weitere Tücke liegt in der möglichen Zeitverzögerung zwischen wahrer Ursache und Bruch, beispielsweise wenn sich eine Scheibe mit einer durch Stoß beschädigten Kante später durch Klimaeinflüsse wölbt. Warmes Wetter und/oder niedriger Luftdruck führen zur Ausdehnung des im Scheibenzwischenraum eingesperrten Volumens. Da Glas elastisch ist, gibt die Scheibe dem Innendruck durch Ausbauchen nach (konvex). Der umgekehrte Fall, die Durchbiegung nach innen (konkav) tritt bei kalten Temperaturen und hohem Luftdruck auf.

Allgemeine Bruchregeln

Brüche gabeln sich immer nur in ihre Ausbreitungsrichtung. Verfolgt man die Gabelungen zurück, kommt man zum Ausgangspunkt. Ein Sprung kann einen bereits vorhandenen niemals überspringen. Die mittlere Anzahl der Bruchstücke ist abhängig vom Belastungsgrad im Augenblick des Brucheintritts.

Trotzdem kann erst die genaue Betrachtung des Bruchverlaufs und insbesondere des Bruchursprungs die Ursache endgültig klären. Zur tatsächlichen Feststellung der Bruchursache muss der Ausgangspunkt des Bruches analysiert werden.

Erkennungsmerkmale mechanischer Sprung
(z. B. durch Biegebelastung)

- Einlauf von der Kante in die Scheibenfläche rechtwinklig oder nicht
- Durchlauf der Scheibendicke nicht rechtwinklig

Ein Biegebruch verläuft nicht immer den Weg des geringsten Widerstandes.

Mechanische Ursachen und Beispiele für Glasbruch

Zeitpunkt	Art der Last	Beispiele
Bei Handling und Transport	Mechanische Punktlast	- Stoß/Schlag auf Kante oder Ecke beim Abstellen auf hartem Untergrund - Kantenschlag mit hartem Gegenstand oder Anstoßen - Drehen/Kippen der Scheibe über abgestellte Ecke - Falsches Handling auf Transportgestellen - Steinchen zwischen Glasscheiben
	Mechanische Flächenlast	- Zu große Höhendifferenzen bei Transport von Isolierglas ohne Druckausgleich (im Gebirge)
Beim Einbau	Mechanische Punktlast	- Unterdimensionierte Glasklötze - Falsches Handling des Klotzhebers - Steinchen oder Metall zwischen Kante und Klotz - Zu hoher Anpressdruck der Glasleiste durch Verschraubung oder Vernagelung - Hammerschlag auf Glashalteleiste - Sonstige Schlag- oder Stoßeinwirkungen
	Mechanische Streckenlast	- Verbiegen der Scheibe - Verwindung des Flügelrahmens
Im eingebauten Zustand	Mechanische Flächenlast	- Zu große Luftdruck-, Temperatur- und Höhendifferenzen zwischen Produktions- und Einbauort - Dachschneelawine oder lang anhaltende hohe Schneelast bei Überkopfverglasung - Unterdimensionierte Scheibe bei hoher Windlast (Sturmböe)
	Mechanische Streckenlast	- Falsche Dimensionierung von Glas zu Rahmen (Längenänderungen nicht berücksichtigt) - Falsche Dimensionierung Glasdicke - Verwindende oder klemmende Flügelrahmen - Bewegungen im Baukörper, die sich auf die Scheibe übertragen - Zu geringer SZR bei innenliegenden Sprossen - Sprossenscheiben nicht planparallel sondern konkav produziert
	Mechanische Punktlast	- Beschuss mit Waffen - Geschoss aus Steinschleuder - Wurf mit Stein oder sonstigen schweren/harten Gegenständen - Hammerschläge - Ballwurf - Hagelschlag - Vogelflug - Anprall von Personen - Zu harte Distanzpunkte auf Sprossenkreuzen - Berührung von Konstruktion oder Gegenständen bei Nutzung (geöffneter Fensterflügel schlägt an)

Ursachen und Beispiele für thermischen Glasbruch

Zeitpunkt	Art der Belastung	Beispiele
Bei Handling und Transport	Direkte Sonneneinstrahlung	- Nicht (oder transparent) abgedeckte größere Glaspakete - Nicht (oder transparent) abgedeckte dickere Gläser - Nicht (oder transparent) abgedeckte Wärmedämm- oder Sonnenschutz Isoliergläser im Stapel - Nicht gelöste Transportbänder bei Lagerung
Im eingebauten Zustand	Teilbeschattung, Schlagschatten	- Dachüberstände - Fensterlaibung - Markisen oder Rollläden - Bäume und Sträucher - Gegenstände außen vor dem Fenster - Nachbarbebauung
	Hitzestau	- Innenliegender Sonnenschutz mit zu geringem Abstand - Schwere Gardinen dicht an der Innenscheibe - Sonnenbestrahlte übereinander geschobene Schiebetüren und -fenster
	Erhöhte Wärmeabsorption der Sonnen-einstrahlung	- Bemalen oder Bekleben von Scheiben, v. a. bei Verwendung dunkler Farben - Raumseitige Teilabdeckung durch innenliegende Jalousie direkt an der Scheibe oder durch Poster, Schilder, Plakate, großes Pflanzenblatt direkt auf der Scheibe - Dunkle Gegenstände direkt hinter der Scheibe wie Sitzmöbel, Aktentaschen oder Koffer, Klavier, u.v.m. - Wärmedämmbeschichtung bei 3-fach Isolierglas auf der mittleren Scheibe ohne besondere Vorkehrungen - Nachrüsten von Glas mit Folienprodukten für Sonnenschutz
	Lokale Erwärmung durch Wärmequellen	- Heizluftgebläse, Grill, Schweißgeräte, Auspuff, Lötlampen, wärmeabstrahlende Beleuchtungskörper oder ähnliches dicht an der Scheibe - Heizkörper in zu geringem Abstand von der Scheibe - Verlegung von Gussasphalt mit unzureichender Schutzabdeckung - Glaswäsche mit sehr heißem Wasser / Wasserdampf
	Einbau im SZR	- Erhöhte Wärmeabsorption durch Jalousien, dunkle Sprossen oder Elektroantriebe für Beschattungssysteme

Mechanisch oder thermisch oder sogar beides – für Sprünge im Glas gibt es vielfältige Auslösemechanismen. Bereits in der gründlichen Planung lassen sich Probleme erkennen und vermeiden.

Ihr SANCO Partner berät Sie gerne!

www.sanco.de