

Glasbruch durch thermische Spannungen



Glasbruch durch thermische Spannungen

Warum bricht Glas?

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 Quadratmeter).

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.

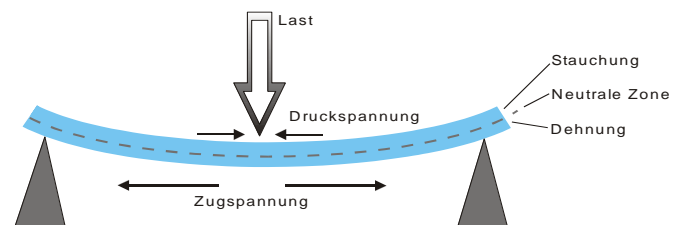
Reine Druckbelastungen entstehen bei Glas aber nur selten. Jede Durchbiegung einer Scheibe erzeugt immer eine Kombination aus Zug- und Druckbelastungen. Glas bricht immer dann, wenn durch Belastung seine Zugfestigkeit überschritten wird.

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.

Das 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

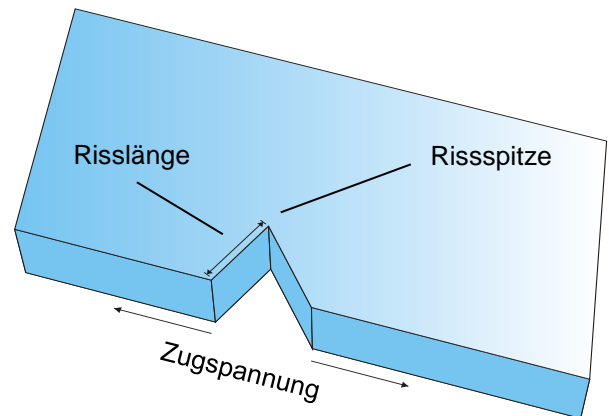
In einem homogenen Material verteilen sich Zugspannungen gleichmäßig über den Querschnitt. An Kerben, Rissen und Störstellen hingegen kommt es zu komplizierten Spannungsgefügen mit den höchsten Spannungen an den Risspitzen. Bei genügend Energiezufuhr durch mechanische oder thermische Belastung vergrößert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

Zähes Material kann zugeführte Energie durch plastische Verformung an der Risspitze 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.

Mechanische und thermische Eigenschaften unterschiedlicher Glasarten

Eigenschaft	Maßeinheit	Floatglas	Teilvorgespanntes Glas (TVG)	Einscheibensicherheitsglas (ESG)
Biegefestigkeit*	N/mm	45	70	120
Druckfestigkeit*	N/mm	700 - 900	700 – 900	700 – 900
Temperaturwechselbeständigkeit	K	40	100	150
Bearbeitung nach Herstellung		Ja	Nein	Nein
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!

Thermische Spannungen in einer Glasscheibe: Die Ursachen

Starke ungleichmäßige Erwärmungen (Teilbeschattung) können im Glas zu hohen Spannungen führen und im Extremfall einen so genannten Thermoschock, d.h. einen Glasbruch infolge thermischer Überbelastung auslösen. Bei innovativer Bauweise werden Beanspruchungen häufig unterschätzt:

- Bei Gläsern mit erhöhten Ansprüchen an Gestaltung und Funktion

- In komplexen Aufbauten oder besonderen Geometrien oder Gestaltungen (z. B. Kantenlänge kleiner als 60 cm und ungünstiges Seitenverhältnis).

Die Auswahl der Glasprodukte muss an die jeweilige Belastungssituation angepasst werden. Thermische Belastungen sind ebenso zu beachten wie Schnee-, Wind- und Klimlasten.

Bereits in der Planungsphase sollten alle Beteiligten auf Besonderheiten hingewiesen werden, um thermische Belastungen frühzeitig zu erkennen und durch die Auswahl der Glasprodukte und der Glasdicken Überbeanspruchungen zu vermeiden.

Planung und Einbau



Ist die Temperaturverteilung inhomogen, entstehen in einem Material thermisch induzierte Spannungen. Eine durch Sonnenstrahlen oder andere Hitzequellen in Teilbereichen erwärmte Glasfläche dehnt sich aus. Die nicht bestrahlten kalten Bereiche kommen dadurch unter Zugspannung. Wird die versagensrelevante Zugfestigkeit überschritten, kommt es zum Bruch. Die Temperaturwechselbeständigkeit oder Thermoschockbeständigkeit sagt aus, welchen Temperaturunterschied ein Material noch ohne Schädigung ertragen kann. Bei Glas geht ein thermisch induzierter Bruch in aller Regel rechtwinklig von der Kante aus, weil es dort die geringste Zugfestigkeit aufweist.

Der Rand einer Glasscheibe ist durch den Einbau in einen Rahmen immer beschattet. Bei plötzlichem Sonneneinfall auf die kalte Außenscheibe eines Fensters im Winter wird die Glasfläche durch Absorption der Strahlung rasch erwärmt. Der Rand bleibt jedoch weiterhin kalt. Dadurch treten im abgedeckten Randbereich Zugspannungen auf. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Tiefe des Glaseinstandes hierbei keine große Rolle spielt (ift Rosenheim, Forschungsvorhaben HIWIN, 2003). Ein tieferer Glaseinstand in Verbindung mit hochwärmendämmenden Rahmen führt gegenüber Konstruktionen mit einem üblichen Glaseinstand von ca. 15 mm zu keinem signifikant höheren

Glasbruchrisiko. Allerdings gilt: Je größer die Scheibe, umso höher können diese thermisch induzierten Randspannungen werden. Auch die Art des verwendeten Abstandhalters ist für das Glasbruchrisiko nicht entscheidend. Unterschiedliche Temperaturen innerhalb einer Glasscheibe entstehen aber auch durch plötzliche Teilbeschattung (Schlagschattenwurf).

Bei 3-fach Isolierglas sollten möglichst nur die beiden äußeren Scheiben eine Beschichtung tragen (Pos. 2 und 5). Trägt die mittlere Scheibe eine Wärmedämmbeschichtung, kann sie absorbierte Wärme nicht mehr durch Abstrahlung weitergeben, sie heizt sich stark auf. Wird der Temperaturunterschied zwischen Mitte und Rand zu hoch – und das noch in Kombination mit einer schlechten Kantenausbildung – ist die maximal zulässige Randzugspannung schnell überschritten. Es kommt zu einem thermischen Bruch der mittleren Scheibe – je schlechter deren Kante, umso schneller. Die Verwendung von ESG erhöht die Temperaturwechselbeständigkeit um ein Vielfaches.

Anwendung und Nutzung

Bekleben und Bemalen von Glas

Werden nachträglich Folien oder Farben auf Glasscheiben angebracht, ergibt sich bei direkter Sonneneinstrahlung eine unterschiedliche Aufheizung. Besonders kritisch sind dunkle, stark absorbierende Materialien. Die Temperaturunterschiede können die Glasbruchgefahr erhöhen. Auch Sonnenschutzfolien, die nachgerüstet werden, können unliebsame Folgen auslösen.

Teilbeschattung

Liegt ein Teil der Scheibe im Schatten, während der andere Teil starker Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist, liegt eine erhöhte thermische Belastung vor. Die ungleichmäßige Erwärmung kann im Glas thermischen Stress auslösen. Empfehlung: Teilbeschattung kann durch außenliegende Jalousien oder Rollläden zumindest teilweise vermieden werden.

Ist bereits vor der Ausführung einer Verglasung bekannt, dass durch Teilbeschattung starke thermische Belastungen der vorgesehenen Gläser erzeugt werden, so wird empfohlen zur Herabsetzung des Bruchrisikos im Einzelfall die Verwendung von Einscheibensicherheitsglas (ESG) zu prüfen.

Thermische und mechanische Spannungen bei Herstellung, Bewegung, Erwärmung

Verformungen beim Bewegen einer Scheibe, Dehnen, Durchbiegen und Verdrehen verursachen in ihr Spannungen. Aber auch ohne äußere Krafteinwirkung können durch Temperaturänderungen im 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 hinzugezogen werden, der aus dem Bruchbild und der Form und Größe der Bruchstücke die richtigen Rückschlüsse auf die bruchauslösende Spannung zieht.

Bei Herstellung, Bewegung und Einbau sind die Glas Fandel Anwendungstechnischen Informationen / Verglasungsrichtlinien zu beachten.

Wärmestau

Bei nachträglichem Anbringen einer innenliegenden Beschattung entsteht für das Glas thermischer Stress. Wichtig ist hierbei die Beachtung einer ausreichenden Ventilation oder einem ausreichenden Abstand zwischen Glas und Sonnenschutz. Heizkörper oder Beleuchtungen in Glasnähe erzeugen ebenfalls thermische Spannungen. Hier ist ebenfalls auf ausreichenden Abstand zu achten. Bei bodentiefer Verglasung kann der Hitzestau durch nahegerückte Möbelstücke entstehen. Im Zweifel sollten diese Situationen vermieden werden.

Schiebetüren und -fenster

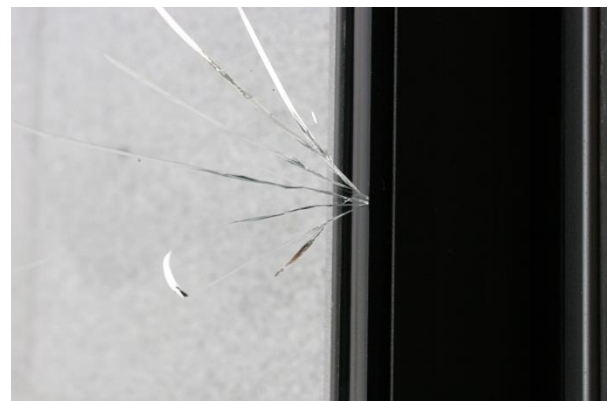
Aufheizung kann ebenfalls durch übereinander geschobene Gläser entstehen. Bei vollständigem übereinander schieben ergibt sich eine starke Aufheizung. Die Hitze kann nicht entweichen: Verglaste Elemente nicht vollständig übereinander schieben.

Gläser mit erhöhter Absorption oder Drahteinlage

Eingefärbte Gläser und Gläser mit absorbierenden Beschichtungen sowie VSG (bei 3-fach Isolierglas in mittlerer Position) sind ebenfalls höheren thermischen Spannungen ausgesetzt. Kritischer verhalten sich Gläser mit Drahteinlage. Glas und Metall haben unterschiedliche thermische Ausdehnungen.

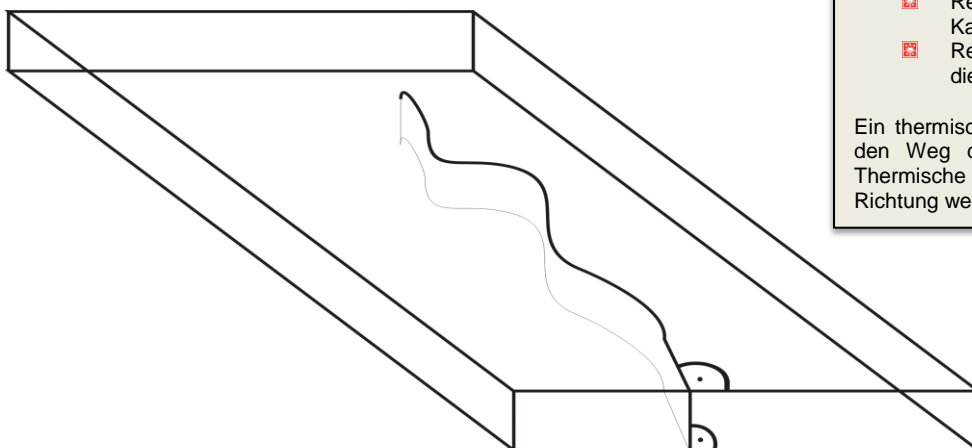
Reinigung

Bei der Reinigung sollte auf sehr heißes Wasser oder Wasserdampf verzichtet werden. Da eine exakte „Schmerzgrenze“ des Glases nicht feststeht, ist eine Reinigung ohne thermische Beanspruchung empfehlenswert.



Thermischer Palmsprung

Ursachen und Beispiele für thermischen Glasbruch		
Zeitpunkt	Art der Belastung	Beispiele
Bei Handling und Transport	Direkte Sonnenbestrahlung	<ul style="list-style-type: none"> ☒ 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/-haltebalken bei Lagerung
Im eingebauten Zustand	Teilbeschattung, Schlagschatten	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Dachüberstände ☒ Fensterlaibung ☒ Markisen oder Rollläden ☒ Bäume und Sträucher ☒ Gegenstände außen vor dem Fenster ☒ Nachbarbebauung
	Hitzestau	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Innenliegender Sonnenschutz mit zu geringem Abstand ☒ Schwere Gardinen dicht an der Innenscheibe ☒ Sonnenbestrahlte übereinander geschobene Schiebetüren und -fenster
	Erhöhte Wärmeabsorbtion der Sonneneinstrahlung	<ul style="list-style-type: none"> ☒ 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. ☒ Wärmebeschichtung bei 3-fach Isolierglas auf der mittleren Scheibe ohne besondere Vorkehrungen ☒ Nachrüsten von Glas mit Folienprodukten für Sonnenschutz
	Lokale Erwärmung durch Wärmequellen	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Heizluftgebläse, Grill, Schweißgeräte, Auspuff, Lötlampen, wärmeabstrahlende Beleuchtungskörper oder ähnliches dicht an der Scheibe ☒ Heizkörper in zu geringem Abstand von der Scheibe ☒ Glaswäsche mit sehr heißem Wasser / Wasserdampf
	Einbau im SZR	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Erhöhte Wärmeabsorbtion durch Jalousien, dunkle Sprossen oder Elektroantriebe für Beschattungssysteme



Erkennungsmerkmale Thermosprung

- ☒ Rechtwinkliger Einlauf von der Kante in die Scheibenfläche
- ☒ Rechtwinkliger Durchlauf durch die Scheibendicke

Ein thermischer Sprungverlauf geht immer den Weg des geringsten Widerstandes. Thermische Sprünge können mehrfach die Richtung wechseln.

Mechanische Ursachen und Beispiele für Glasbruch		
Zeitpunkt	Art der Last	Beispiele
Bei Handling und Transport	Mechanische Punktlast	<ul style="list-style-type: none"> ☒ 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	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Zu große Höhendifferenzen bei Transport von Isolierglas ohne Druckausgleich (Gebirge)
Beim Einbau	Mechanische Punktlast	<ul style="list-style-type: none"> ☒ 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 Schläge- oder Stoßeinwirkungen
	Mechanische Streckenlast	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Verbiegen der Scheibe ☒ Verwindung des Flügelrahmens
Im eingebauten Zustand	Mechanische Flächenlast	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Zu große Luftdruck-, Temperatur- und Höhendifferenzen zwischen Produktions- und Einbauort ☒ Dachschneelawine oder lang anhaltende Schneelast bei Überkopfverglasung ☒ Unterdimensionierte Scheibe bei hoher Windlast (Sturm böe)
	Mechanische Streckenlast	<ul style="list-style-type: none"> ☒ Falsche Dimensionierung von Glas zu Rahmen (Längenveränderungen nicht berücksichtigt) ☒ Falsche Dimensionierung der 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	<ul style="list-style-type: none"> ☒ 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 Flügel schlägt an)

Fazit

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.