

Thermisch induzierte Spannungen - Glas hat Grenzen

Belastungen, welche sich durch Temperaturunterschiede im Glas ergeben können, werden häufig unterschätzt. Sie werden etwa durch Teilbeschattung, lokale Erwärmung, aufgeklebte Folien, Bemalungen oder durch zu grosse Scheibeneinstände im Rahmen hervorgerufen. Wird der thermischen Beanspruchung von Glas Beachtung geschenkt, kann die Gefahr von Glasbrüchen gesenkt werden. Text und Bilder: Reto Meili und Markus Läubli, SIGAB

Ein Glasbruch aus einer Spannung, welche durch Temperaturdifferenzen entstanden ist, wird umgangssprachlich auch als «Thermoschock» bezeichnet. Solche Glasbrüche sind häufig als sogenannte Palmsprünge anzutreffen, z. B. bei einer dunklen Möblierung (Sofa), welche zu nahe am Isolierglas steht.

Physikalische Grundlagen

Im Vergleich zu anderen Baumaterialien (z. B. Metallen) ist Glas ein schlechter Wärmeleiter: Es kann sich z. B. durch Sonneneinstrahlung, Wärmestrahler oder Kochherde örtlich aufheizen, ohne dass die Wärme abgeführt oder

gleichmässig verteilt wird. Die erwärmten Stellen im Glas dehnen sich in der Folge aus, während die kalten Bereiche ihre Struktur beibehalten. Die verschiedenen Ausdehnungen führen zu örtlichen Zugspannungen, welche ab einer bestimmten Grösse oder im Zusammenspiel mit einer weiteren Einwirkung einen Glasbruch zur Folge haben können. Ein typisches Beispiel sind Temperaturdifferenzen, welche bei starker Sonneneinstrahlung entstehen: Die Sonne bescheint und erwärmt den mittleren Teil der Glasfläche, der Glasrand oder die beschatteten Flächen bleiben kalt. Je nach Zusammensetzung oder Beschichtung des Glases

erwärmt sich dieses stärker oder schwächer. Eingefärbtes Glas hat eine höhere, eisenarmes Weissglas eine tiefere Energieabsorption als normales Floatglas. Beschichtungen mit einer Energieabsorption von über 50% lösen thermisch induzierte Spannungen aus und erhöhen das Risiko eines Glasbruches. Dasselbe gilt für das Bekleben mit Folien. Wie robust sich Glas bei Temperaturdifferenzen verhält, wird umgangssprachlich mit «Temperaturwechselbeständigkeit» ausgedrückt - Beständigkeit gegen Temperaturunterschiede und plötzliche Temperaturwechsel. Sie gibt an, wie hoch Temperaturdifferenzen innerhalb der Scheibenfläche ungefähr sein dürfen, ohne dass die entstehenden Spannungen eine kritische Grenze überschreiten und zu einem Glasbruch führen (siehe Tabelle 1). Dabei spielt die Lage bzw. Distanz der vorhandenen Temperaturextreme in der Scheibenfläche sowie die Qualität der Glaskanten eine massgebende Rolle. Die Temperaturwechselbeständigkeit ist beispielsweise bei Einscheiben-Sicherheitsglas dank der inneren Vorspannung fünfmal höher als bei normalem Floatglas.

Floatglas	40 K	gem. SN EN 572-1
Teilvorgespanntes Glas (TVG)	100 K	gem. SN EN 1863-1
Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG)	200 K	gem. SN EN 12150-1
Heissgelagertes Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG-HST)	200 K	gem. SN EN 14179-1
Drahtglas und Drahtspiegelglas	15 K	

Tabelle 1: Temperaturwechselbeständigkeiten verschiedener Glasprodukte

LE VERRE

Contraintes induites thermiquement : le verre a ses limites

Les contraintes auxquelles le verre est soumis en raison des écarts de température sont souvent sous-estimées. Elles peuvent être suscitées par des ombrages partiels, un échauffement localisé, des films autocollants, des peintures ou par un enfoncement trop important du vitrage dans le châssis. Tenir compte des contraintes thermiques du verre diminue clairement les risques de bris de verre.

Un bris de verre à la suite d'une contrainte mécanique consécutive à des écarts de température est communément appelé « choc thermique ». De tels bris se présentent souvent sous forme de craquelures palmées, par ex. lorsqu'un élément de mobilier foncé tel qu'un sofa est disposé trop près du verre isolant.

Notions de physique

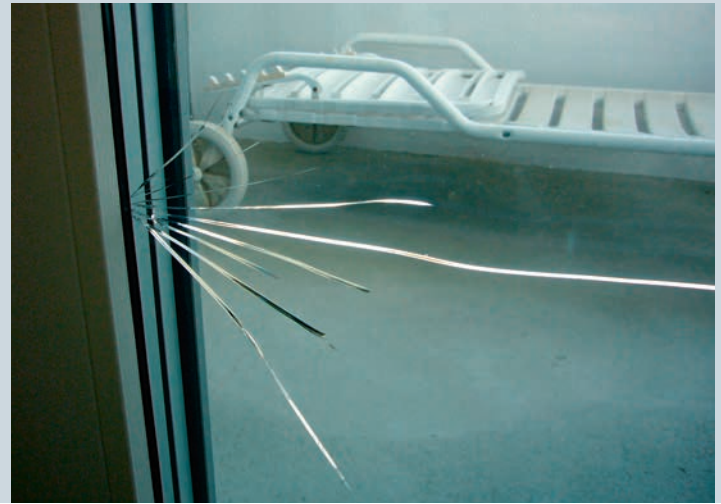
Par rapport aux autres matériaux de construction, comme les métaux, le verre est un mauvais conducteur de chaleur : ainsi, il peut s'échauffer localement sous l'effet du rayonnement solaire, d'une source de chaleur rayonnante ou d'une cuisinière sans que la chaleur ne soit évacuée ou répartie uniformément. Dans ce

cas, les parties du verre réchauffées se dilatent, tandis que les zones froides conservent leur structure. Les dilatations répétées entraînent des contraintes de tension locales qui peuvent déboucher sur un bris de verre à partir d'un certain niveau ou lorsqu'un autre effet s'y ajoute. Les écarts de température résultant d'un ensoleillement fort en sont un

exemple typique : le soleil éclaire et réchauffe le milieu du vitrage tandis que les bords ou les surfaces ombragées demeurent froides. Le verre s'échauffe plus ou moins en fonction de sa composition ou de son revêtement. Par rapport au verre float normal, le verre teinté absorbe plus d'énergie, tandis que le verre blanc, qui contient peu de fer, en



Der Grill im Hintergrund stand vor dem Glasbruch direkt beim Isolierglas. Dessen Benutzung löste den abgebildeten thermischen Glasbruch aus. Avant que le verre ne se brise, le grill en arrière-plan se trouvait directement devant le verre isolant. C'est son utilisation qui a engendré le bris de verre thermique illustré.



Montagehinweis: Gläser mit sichtbar vorbeschädigten oder sehr schlecht geschnittenen Kanten sollten nicht eingebaut werden. Consignes de montage : les vitres aux bords visiblement endommagés ou très mal découpés ne doivent pas être installées

Planung

Vorstehende Gebäudeteile, äussere Beschattungseinrichtungen oder andere Körper auf der Aussenseite der Fassade können eine Teilbeschattung auf den Gläsern hervorrufen. Dadurch können sich Teilbereiche des Glases schneller erwärmen, während beschattete Bereiche kalt bleiben. Heizkörper oder Auslässe von Kühlgeräten in unmittelbarer Nähe von Verglasungen können ebenfalls zu lokal erhöhten Glastemperaturen führen. Es muss ein ausreichender Abstand zwischen Wärmequelle und Glas eingeplant und für eine gute Ablüftung des Zwischenraums gesorgt werden. Bei 3-fach-Isoliergläsern wird die mittlere Scheibe am stärksten durch thermische Einwirkungen belastet. Aus diesem Grund werden Beschichtungen (z. B. Wärmedämmbeschichtungen) meistens bei den äusseren Scheiben (Glaspositionen 2 und 5) eingesetzt.

Kommen Aspekte hinzu, welche die thermische Einwirkung erhöhen (z. B. stark absorbierende Beschichtungen), wird angeraten, die mittlere Scheibe allenfalls vorzuspannen. Alternativ wird Floatglas mit geringerem Eisenoxidgehalt oder Floatglas mit bearbeiteten Kanten verwendet. Architekten, Planern und Unternehmern wird empfohlen, den Bauherrn über thermisch optimierte Glasaufbauten im Vorfeld aufzuklären.

Montage und Verglasung

Durch die fachgerechte Montage von Gläsern lässt sich das Risiko thermisch verursachter Glasbrüche minimieren. Glas dehnt sich wie andere Baumaterialien bei einer Temperaturerhöhung aus. Damit keine unnötigen Zwängungen entstehen, ist z. B. bei Glas-Metall-Konstruktionen auf eine korrekte Verklotung zu achten. Ebenfalls sollte auf ein sorgfältiges Einbauen der Gläser

geachtet werden, um Beschädigungen der Glaskanten zu vermeiden. Gläser mit sichtbar vorbeschädigten oder sehr schlecht geschnittenen Kanten sollten nicht eingebaut werden. Während des Transports und auf der Baustelle ist besonders darauf zu achten, dass keine beladenen Glasböcke in der Sonne stehen. Zwischen den Gläsern kann es zu Wärmestaus kommen, welche unter Umständen einen Bruch begünstigen.

Nutzung

Entscheidend für die Entstehung thermischer Glasbrüche sind der Glasaufbau sowie die durch die Nutzung entstehenden zusätzlichen Belastungen. Grundsätzlich soll eine übermässige Wärmeeinwirkung auf Gläser vermieden werden. Dazu gehören Wärmestaus infolge Möblierung, innerer Beschattungen, Cheminéeöfen, Klebefolien oder Bemalungen. >

absorbe moins. Les revêtements dont l'absorption d'énergie est de plus de 50 % déclenchent des tensions induites thermiquement, ce qui augmente le risque de bris de verre. Il en va de même pour le collage de films. La robustesse du verre face aux écarts de température est également appelée « résistance au chocs thermiques », à savoir la résistance aux écarts de température et aux change-

ments de température soudains. Cette notion indique les risques inhérents aux écarts de température à l'intérieur de la surface vitrée, sans que les tensions générées ne dépassent une limite critique qui entraînerait un bris de verre. La situation et l'importance des écarts de températures existant dans la surface vitrée ainsi que la qualité des bords de verre sont des éléments déterminants. Ainsi, avec du

verre de sécurité trempé, la résistance aux changements de température est cinq fois supérieure à celle du verre float normal grâce à la précontrainte interne.

Planification

Les éléments de construction en saillie, les dispositifs d'ombrage extérieurs ou d'autres éléments du côté extérieur de la façade peuvent partiellement occulter les vitres. Certaines parties de celles-ci peuvent alors s'échauffer plus vite, tandis que des zones obscurcies demeurent froides. Des radiateurs ou des orifices de sortie d'appareils frigorifiques situés à proximité directe de vitrages peuvent également entraîner localement des hausses de température du verre. Un écart suffisant entre

la source de chaleur et le verre doit être planifié et une bonne aération de l'espace intérieur doit être assurée. Avec des triples verres isolants, la feuille centrale est la plus soumise aux contraintes thermiques. Aussi utilise-t-on généralement des revêtements (par ex. des couches d'isolation thermique) sur les feuilles extérieures (positions du verre 2 et 5). Si d'autres facteurs d'augmentation de l'effet thermique s'ajoutent à cela (par ex. des revêtements fortement absorbants), il est conseillé de précontraindre la vitre centrale. Une alternative consiste à utiliser du verre float contenant peu d'oxyde de fer ou dont les bords sont traités. Il est recommandé aux architectes, planificateurs et entrepreneurs d'expliquer au préalable aux maîtres d'œuvre >

Verre float	40 K	selon SN EN 572-1
Verre partiellement précontraint	100 K	selon SN EN 1863-1
Verre de sécurité trempé	200 K	selon SN EN 12150-1
Verre de sécurité trempé stocké à chaud (ESG-HAST)	200 K	selon SN EN 14179-1
Verre armé et glace armée	15 K	

Tableau 1 : résistances aux chocs thermiques de différents produits vitrés

GLAS

> Wärmestrahler oder Grills dürfen nicht zu nahe an Verglasungen platziert werden. Aussenliegende Beschattungen (z. B. Storen) sollten vollständig herabgelassen werden, um eine Teilbeschattung zu vermeiden.

Fazit

Vielfach wird bei Glasbruch vorschnell ein Thermoschock diagnostiziert, ohne die betreffende Scheibe genauer zu untersuchen. Um mit Sicherheit von einer thermischen Überbelastung des Glases ausgehen zu können, muss der Bruchausgang an der Glaskante analysiert werden. In der Regel geschieht dies bei der Umglasung. Hierbei gilt es, zusätzlich Verklotzung, Falzraum und Glaskante zu überprüfen. Vielfach führt eine Kombination verschiedener Einwirkungen zum Bruch des Glases. Glas hat Grenzen – wird bei Planung, Verarbeitung, Einbau und Nutzung von Gläsern auf die Vermeidung thermischer Beanspruchungen geachtet, so trägt dies sicherlich zur Minimierung thermischer Überbelastungen bzw. der Gefahr von Glasbrüchen bei. Die SIGAB-Richtlinie 103 (2013): «Thermische Beanspruchung von Glas», welche über die im Artikel genannten Themen informiert, ist in absehbarer Zeit in deutscher und französischer Sprache erhältlich und kann über die Webseite des SIGAB bestellt werden.

Quelle: SIGAB, Schweizerisches Institut für Glas am Bau, www.sigab.ch ■

LE VERRE

> les avantages des structures vitrées thermiquement optimisées.

Montage et vitrage

Le montage des vitrages dans les règles de l'art minimise le risque de bris de verre pour raisons thermiques. Comme les autres matériaux de construction, le verre se dilate lorsque la température augmente. Pour éviter toute contrainte inutile, il faut veiller à un calage correct, par ex. dans le cas de constructions en verre et en métal. De même, il convient de veiller à une pose minutieuse des vitres afin d'éviter d'endommager les bords. Les vitres dont les bords sont visiblement endommagés ou très mal découpés ne doivent pas être installés. Pendant le transport et sur le chantier, il faut notamment veiller à ce qu'aucun chevalet chargé ne soit exposé au soleil. Des accumulations de chaleur susceptibles d'entraîner un bris de verre peuvent apparaître entre les vitres.

Utilisation

La structure de la vitre ainsi que les contraintes supplémentaires qui découlent de l'utilisation sont déterminantes pour éviter les bris de verre thermiques. De manière générale, il convient d'éviter les accumulations de chaleur trop fortes provoquées par un élément de mobilier, un ombrage intérieur, un poêle, un film autocol-

lant ou de la peinture sur des vitres. Les sources de chaleur rayonnante ou les grills ne peuvent pas être placés trop près des vitres. Les ombrages extérieurs tels que les stores doivent être abaissés totalement pour éviter tout ombrage partiel.

Conclusion

En cas de bris de verre, l'on diagnostique souvent trop hâtivement un choc thermique sans examiner de plus près la vitre concernée. Pour pouvoir déduire avec certitude une contrainte thermique excessive du verre, le départ du bris doit être analysé sur le bord. Généralement, cela se produit au moment du remplacement du vitrage. C'est aussi l'occasion de contrôler le calage, la feuillure et le bord. Souvent, un bris de verre découle de plusieurs effets combinés. Le verre a ses limites. Eviter les contraintes thermiques pendant la planification, la transformation, la pose et l'utilisation de verres contribue assurément à minimiser les contraintes thermiques excessives ou le risque de bris de verre. La directive SIGAB 103 (2013) : « Contraintes thermiques du verre », qui informe des thèmes cités dans l'article, sera bientôt disponible en allemand et en français et pourra être commandée sur le site Web du SIGAB. ■

Source : SIGAB, Institut suisse du verre dans le bâtiment, www.sigab.ch