

Glasbruch an der Fassade

Nach dem Absturz von drei Fassadengläsern an einer hinterlüfteten Glasfassade im Mittelland hat der Metaltec Suisse den Auftrag erhalten, eine Expertise über die Ursachen, über allfällige technische Fehler an der Konstruktion sowie über eventuelle Normenabweichungen zu erstellen. Text: Oliver Däschler und Kurt Speiser, Bilder: Kurt Speiser

Die Fassadenkonstruktionen wurden Ende 2006 montiert. Nach über zehn Jahren, in denen die Fassade in Gebrauch stand, fielen drei Glaselemente auf der Südseite herunter. Die erste Scheibe am 29. August 2017, um 11.45 Uhr, die zweite und die dritte Scheibe fielen am selben Tag um 14.54 Uhr herunter. Um den Personenschutz sicherzustellen, wurden die betreffenden gefährdeten Zonen noch am selben Tag gesperrt.

Meteorologische Situation

Um mögliche Einflüsse der sommerhaften Temperaturen mit einbeziehen zu können, wurden die Temperaturen der vier Tage vor dem Glasbruch sowie die Temperatur am Unfalltag genau erfasst und tabellarisch festgehalten.

Tag	Datum	Temperatur
Freitag	25.08.2017	28 °C
Samstag	26.08.2017	30 °C
Sonntag	27.08.2017	26 °C
Montag	28.08.2017	30 °C
Dienstag	29.08.2017	31 °C Unfalltag
Mittwoch	30.08.2017	31 °C

Quelle: *accuweather.com*
Die herrschenden Temperaturen vor und am Unfalltag.

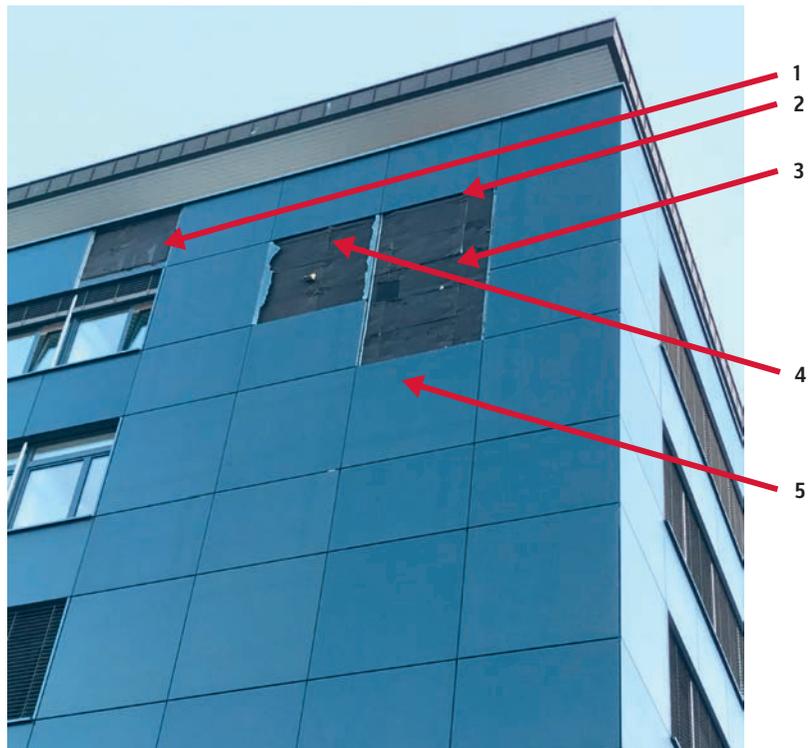


Bild 1 / Photo n° 1 :

- 1, 2, 3 Heruntergefallene Verglasung
- 4 Im Oktober demontierte Aufhängungen mit Verglasung
- 5 Im Oktober infolge Randbeschädigung demontierte Verglasung
- 1, 2, 3 Vitrages tombés
- 4 Éléments de suspension démontés avec verre en octobre
- 5 Vitrage démonté en octobre suite à des dommages sur le rebord

EXPERTISE / CHAMBRE D'EXPERTS DE METALTEC SUISSE

Quand le vitrage lâche

Suite à la chute de trois vitres de façade sur une façade en verre ventilée par l'arrière, dans le Mittelland, Metaltec Suisse a été mandatée pour procéder à une expertise des causes, des possibles défauts techniques de construction et des éventuels écarts par rapport aux normes.

Les constructions de façades ont été montées fin 2006. Après plus de dix ans d'utilisation, trois éléments de vitre sur la façade sud ont cédé. La chute du premier bloc est intervenue le 29 août 2017 à 11 h 45, le deuxième et le troisième le même jour à 14 h 54. Le jour-même, l'accès

aux zones à risque en question a été fermé pour garantir la sécurité des personnes.

Situation météorologique

Pour éviter de tenir compte de l'impact des températures estivales, les températures des quatre jours

précédant le bris de glace et la température du jour de l'accident ont été consignées avec précision, sous forme de tableaux.

Constatactions des experts

À l'arrivée des services de secours, les cornières de fixation verticales

collées sur les vitrages SG (Structural Glazing) étaient restées dans leurs ancrages. Il a ainsi pu être démontré que la défaillance concernait les vitrages et non pas les points de colle.

La destruction des vitrages est intervenue à l'endroit même où

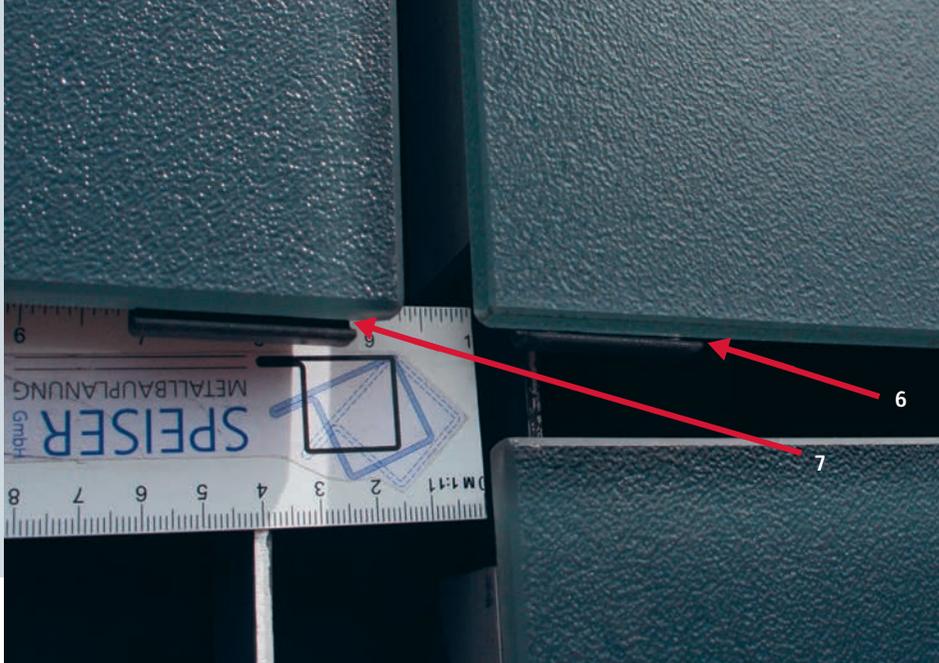


Bild 2 / Photo n° 2 :

6 Glasaufleger mit fehlendem Neoprenauflager.

7 Glasaufleger mit Neoprenauflager.

6 Appui pour verre avec support néoprène manquant.

7 Appui pour verre avec support néoprène présent.

Feststellungen durch den Experten

Die vertikalen Befestigungs-Winkelprofile, die mit den Verglasungen SG (Structural Glazing) verklebt wurden, sind beim Eintreffen der Feuerwehr noch in den Verankerungen geblieben. Somit konnte belegt werden, dass die Verglasungen und nicht die Verklebungen versagt haben.

Die Verglasungen wurden beim eingesetzten Standort in der Fassade zerstört und nicht etwa durch den Aufprall am Boden. Die Konstruktion wurde einseitig mit einem Fixpunkt und anderseitig mit einem Gleitlager aus Kunststoff ausgebildet.

SG-Verklebungen

Die Verglasungen wurden nicht vierseitig umlaufend, sondern nur zweiseitig vertikal verklebt. So besteht bei einem Glasbruch die Möglichkeit, dass Teile der Verglasungen herunterfallen können.

Krafteinleitung aus den Verglasungen

Bei SG-Verglasungen ist es vorgeschrieben, dass die vertikalen Lasten, welche aus den

Verglasungen resultieren, über die unteren Glasaufleger abgetragen werden. Die bestehende Konstruktion verfügt über zwei Glasaufleger pro Verglasung, welche die vertikalen Lasten der Verglasungen über selbstklebende Glasvorlegebänder in die Unterkonstruktion einleiten. Der Klebstoff der Glasvorlegebänder für die Glasaufleger hat sich über die Nutzungsdauer gelöst, somit konnten sie sich verschieben oder sie sind abgefallen.

Glasbeschädigungen

Bei einem Teil der stichprobeartig untersuchten Verglasungen stellte der Experte muschelartige Glasverletzungen fest. Das Glasbruchrisiko wird bei Verglasungen aus Einscheiben-Sicherheits-Glas (ESG) durch die muschelartige Verletzung der Glasrandkanten, infolge Beeinträchtigung im Druckzonenbereich, vergrößert.

Emaillierung

Durch die Emailbeschichtung auf der Verglasungs-Rückseite wurde ein freies Zersplittern verhindert und die Scheiben fielen in grösseren

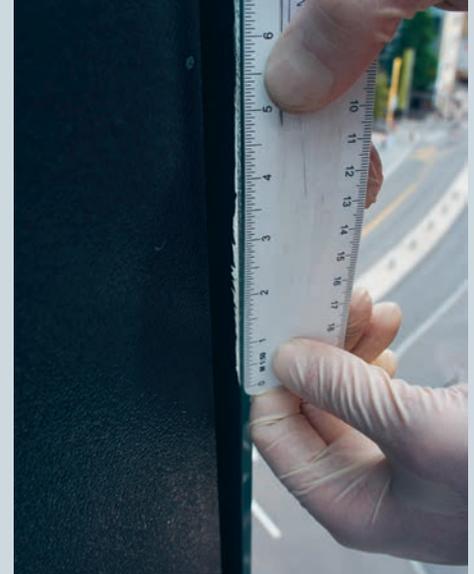


Bild 3: Bei der Kontrolle stellte der Experte fest, dass zum Teil die Emaillierung der Glasrandkanten, die als Haftbrücke für die SG-Verklebungen dienen, abblättern.

Photo n° 3 : Lors de son contrôle, l'expert a constaté l'écaillage d'une partie de l'émail sur les bords du verre qui sert de pont d'adhérence pour les collages de SSG.

Stücken herunter bis sie am Boden zerbrachen. Weiter wird durch die Emaillierung der Verglasung die Biegefestigkeit des Glases verringert, sodass für derartige Scheiben eine niedrige Biegezugspannung zulässig ist. Je nach Farbgebung können emaillierte Gläser aber auch in thermischer Hinsicht problematisch werden. So können aufgrund einer lokalen Aufheizung der Scheiben durch Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen Temperaturdehnung erhebliche Zwangsbeanspruchungen entstehen, die zu einem thermisch induzierten Versagen der Scheibe führen können.

Nickelsulfid-Einschluss

Aufgrund meteorologischer Situationen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Verglasungen infolge eines Nickelsulfid-Einschlusses oder weiteren oben beschriebenen Punkten zerstört wurden. Bei der Kontrolle stellte der Experte fest, dass die Verglasungen teilweise bei den Stirnkanten mit einer Indikatorfarbe markiert waren.

Durch die vor dem Heat-Soak-Test aufgetragene blaue Markierung stellt sich während >

Jour	Date	Température
Vendredi	25.08.2017	28 °C
Samedi	26.08.2017	30 °C
Dimanche	27.08.2017	26 °C
Lundi	28.08.2017	30 °C
Mardi	29.08.2017	31 °C Jour de l'accident
Mercredi	30.08.2017	31 °C

Source : accuweather.com
Les températures avant et pendant le jour de l'accident.

ils étaient posés sur la façade et non pas suite au choc au sol. La structure a été conçue avec un point fixe sur un côté et un coulisseau en plastique sur l'autre.

Collages SG

Les vitrages n'ont pas été collés sur les quatre côtés, mais seulement sur les deux côtés verticaux. Ainsi, en cas de bris de glace, il est possible que des éléments du vitrage tombent.

Transfert de force des vitrages

Pour les vitrages SG, il est préconisé d'assurer la retenue des charges verticales résultant des vitrages au travers des supports inférieurs. La structure existante dispose de deux

supports pour verre par vitrage qui transfèrent les charges verticales des vitrages vers la structure porteuse au travers de joints de vitrage en bande autocollants. La colle de ces joints de vitrage s'est dissoute avec le temps, de sorte qu'ils ont pu bouger et même tomber.

Domages au verre

L'expert a constaté des cassures conchoïdales du verre pour une partie des vitrages étudiés par échantillonnage. Dans le cas de >



Bild 4: Glasrandkanten-Verletzung, die vor dem SG-Verkleben mit der Einhängkonstruktion entstanden ist. Um die Glasverletzung zu verdecken, wurde die Bruchstelle mit Klebmasse bestrichen.

Photo n° 4 : Dommages sur les bords du verre apparus avant le collage du SSG sur la structure suspendue. Pour dissimuler le dommage subi par le verre, le point de casse a été comblé au mastic.



Bild 5: Eine deutlich sichtbare Beschädigung der Glasrandkante.
Photo n° 5 : Un dommage bien visible sur le bord du verre.

> dem Testverfahren bei 280 °C eine Farbveränderung ein. Aus dem blauen Punkt wird eine bräunlich beige Farbe. Diese bräunlich beige Indikatorfarbe auf den Stirnseiten der Verglasungen weist nach, dass die Verglasungen einem Heat-Soak-Prozess unterzogen wurden. Somit kann bei den verbauten Verglasungen angenommen werden, dass zumindest der grösste Teil der Verglasungen einem Heat-Soak-Test unterzogen wurden.

Gemäss den Normen wie beispielsweise SN EN 14179-1 sind alle ESG-Verglasungen unauslöschlich an den Glasecken oder auf der Glaskante zu kennzeichnen. Die Stempel fehlten auf den Verglasungen vollständig. Weder an den Glasecken noch an den Stirnseiten sind sie zu fin-

den. Die Indikatorfarbe ist teilweise schlecht ersichtlich oder bei einzelnen Verglasungen nicht vorhanden. Das Risiko für einen Spontanbruch durch Nickelsulfid-Einschluss liegt z.B. bei einer 10 mm dicken Verglasung (wie bei diesem Fall verbaut) bei zirka sechs Tonnen Glas. (Quelle Glassolution Sant-Gobin).

Dies bedeutet, dass bei der Fläche von zirka 250 m² ein möglicher Einschluss vorhanden sein kann. Bei der beschriebenen Fassade wurden rund 480 m² vorgehängte, hinterlüftete Verglasungen verbaut. Dadurch mussten die Planer und der ausführende Fassadenbauer mit etwa zwei Glasbrüchen infolge von Nickelsulfid-Einschlüssen auf die gesamte Fassadenfläche rechnen. Durch die Glaswahl (ESG) und die zweiseitige Befestigung (SG) wurde aus

Sicht des Experten dem vorhandenen Risiko nicht genügend Rechnung getragen.

Schlussfolgerung des Experten

Die Tagestemperaturen waren über mehrere Tage sehr heiss. Zusätzlich hat am Unfalltag die Sonne um die Mittagszeit sehr intensiv (keine Wolken) im flachen Einfallswinkel auf die dunkel emaillierten ESG-Gussverglasungen eingestrahlt. Da an diesem Tag kein Wind wehte, konnten sich die emaillierten Verglasungen extrem stark aufheizen. Ohne Wind entsteht eine laminare Strömung, welche am oberen Ende des Gebäudes die höchste Temperatur erreicht. Der Baukörper wirkte als Wärmespeicher, welcher die Wärme der Vortage aufnahm. Durch die oben beschriebenen Ei-

EXPERTISE / CHAMBRE D'EXPERTS DE METALLTEC SUISSE

> vitrages en verre de sécurité trempé (VST), les cassures conchoïdales sur les rebords du verre causées par une restriction dans la zone de pression augmentent le risque de bris de glace.

Émaillage

La couche émaillée sur le revers du vitrage a évité une fragmentation libre et la chute de plus gros éléments de vitre au sol. Par ailleurs, l'émaillage du vitrage réduit la flexibilité du verre, de sorte qu'une tension de flexion inférieure est admise pour ces vitres. Selon la teinte, les vitrages émaillés peuvent également être problématiques.

Ainsi, un échauffement local des vitres causé par les rayonnements du soleil et l'expansion thermique associée génèrent des contraintes importantes, qui peuvent conduire à des défaillances d'origine thermique de ces vitres.

Inclusion de sulfure de nickel

La situation météorologique ne permet pas d'exclure que les vitrages aient pu casser suite à une inclusion de sulfure de nickel ou pour d'autres motifs décrits ci-dessus. Lors du contrôle, l'expert a constaté qu'une encre indicatrice marquait une partie des vitrages au niveau des chants.

Le marquage bleu appliqué avant le test Heat Soak provoque un changement de teinte durant la procédure de test à 280 °C. Le point bleu prend une couleur beige brunâtre. Cet indicateur de couleur beige brunâtre sur les chants montre que ces vitrages ont été soumis à un test Heat Soak. On peut ainsi supposer qu'au moins la majeure partie des vitrages ont été soumis à un test Heat Soak.

Selon les normes telles que la norme SN EN 14179-1, tous les vitrages VST doivent présenter un marquage ineffaçable placé dans les angles ou sur la tranche du verre.

Les cachets étaient totalement absents des vitrages. Ils étaient à

la fois introuvables dans les angles et sur les chants du verre. L'encre indicatrice est parfois difficilement visible, voire absente de certains vitrages.

Le risque de rupture spontanée par inclusion de sulfure de nickel apparaît pour un vitrage de 10 mm d'épaisseur (comme celui utilisé dans ce cas) à partir d'env. six tonnes de verre. (Source Glassolution Saint-Gobain).

Cela signifie que pour une surface d'env. 250 m², une inclusion est possible. Dans la surface décrite, près de 480 m² de vitrages suspendus et ventilés par l'arrière ont été posés. Les planificateurs et le

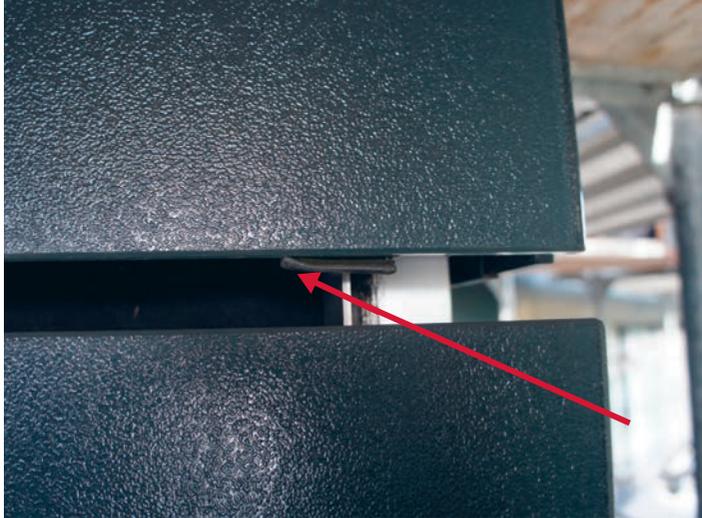


Bild 6: Der metallische Kontakt mit der Glasrandkante erhöht den Druck enorm.

Photo n° 6 : Le contact du métal sur le bord du verre augmente considérablement la pression.



Bild 7: Im Eckbereich haftende Indikatorenfarbe.

Photo n° 7 : Encre indicatrice adhérente au niveau de l'angle.

genschaften konnten die Verglasungen aussergewöhnlich heiss werden. Diese Temperaturen können einen Spontanbruch der Verglasung Nr. 1 und Nr. 2 ausgelöst haben. Die Verglasung Nr. 3 wurde von herabfallenden Glasteilen der oberen «explodierenden» Verglasung zerstört. Als weitere Möglichkeit kann ein Glaskontakt

mit den Glasauflegern infolge nicht korrekter Lasteinleitung in den Baukörper zum Versagen der Verglasung geführt haben (**Bild Nr. 6**).

Aus Sicht des Experten können bei grossen thermischen Belastungen weitere Verglasungen zerstört werden und in dessen Folge ab-

stürzen sowie möglicherweise Personenschäden verursachen. Um das Risiko von Schäden zu reduzieren müssten nach dem heutigen Stand der Technik die Verglasungen mit besseren fachgerecht gesicherten und Heat-Soakgetesteten Verglasungen erstellt werden.



Bild 8: Vor dem Heat-Soak-Test, Stempel mit Indikatorfarbe blau.

Photo n° 8 : Avant le test Heat Soak, cachet avec encre indicatrice bleue.



Bild 9: Nach dem Heat-Soak-Test, Stempel Indikatorfarbe bräunlich beige.

Photo n° 9 : Après le test Heat Soak, cachet avec encre indicatrice beige brunâtre.

Bei den verwendeten ESG-Verglasungen wurde kein Splitterschutz eingebaut. Um die Resttragfähigkeit gewährleisten zu können, hätte aus Sicht des Experten eine VSG-Verglasung aus teilvorgespanntem Glas (TVG) eingebaut werden müssen. Die Verglasungen mit Splitterschutzfolien nachzurüsten und einen zusätzlichen Rahmen auf die hintere Glasseite aufzukleben, ist aus Sicht des Experten mit grossen Aufwendungen und Prüfungen verbunden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit könnte auch keine Zulassung für diese Nachrüstung von den Prüfstellen erbracht werden.

Aufgrund der oben aufgeführten Aussagen empfiehlt der Experte eine alternative Fassadenkonstruktion als Ersatz für die bestehende Fassadenbekleidung in Betracht zu ziehen. ■

constructeur de façade ont ainsi dû déplorer deux bris de glace pour l'ensemble de la façade, suite à des inclusions de sulfure de nickel. Aux dires de l'expert, le choix du verre (VST) et la fixation bilatérale (SG) n'ont pas suffisamment tenu compte du risque.

Conclusions de l'expert

Les températures en journée ont été très élevées pendant plusieurs jours. De plus, le jour de l'accident, les rayons du soleil de midi ont été très intenses (sans nuages) et ils frappaient avec un angle d'incidence plat les vitrages coulés en VST émaillé sombre. En l'absence de vent durant

cette journée, les vitrages émaillés ont pu chauffer très fortement. Sans vent, un flux laminaire se produit et atteint sa température maximale à l'extrémité haute du bâtiment. Le corps du bâtiment a servi d'accumulateur de chaleur, absorbant la chaleur des jours précédents. Les propriétés décrites ci-dessus ont pu provoquer un échauffement inhabituel des vitrages, ce qui peut avoir déclenché une rupture spontanée des vitrages n° 1 et n° 2. Le vitrage n° 3 a été touché par la chute des morceaux de verre du vitrage du dessus lorsqu'il a « explosé ». Une autre possibilité serait un contact entre le verre et les éléments de suspension

suite à une mauvaise répartition des charges dans le corps du bâtiment, qui auraient causé une rupture du vitrage (photo n° 6).

De l'avis de l'expert, des contraintes thermiques élevées pourraient endommager d'autres vitrages et provoquer leur chute, et avec elle d'éventuels dommages corporels. Pour réduire le risque de dommages, l'état actuel de la technique impose la production de vitrages sécurisés dans les règles de l'art et soumis à un test Heat Soak.

Aucune protection contre les éclats n'a été employée pour les vitres VST

utilisées. Pour garantir la portance résiduelle, l'expert émet l'avis qu'un vitrage VFS en verre partiellement contraint (VPP) aurait dû être utilisé. Du point de vue de l'expert, l'ajout d'un film pare-éclats sur les vitrages et d'un cadre supplémentaire sur l'arrière du verre est coûteux et nécessiterait de nombreux contrôles. Par ailleurs, il est très probable que les centres de contrôle ne valident pas cette modification.

Au vu des éléments mentionnés ci-dessus, l'expert recommande d'envisager une structure de façade alternative en remplacement du revêtement existant. ■