

Gläserner Juwel über der Vorfahrt

Nach rund vierjähriger Bauzeit wurde im Dezember das 5-Stern-Superior-Hotel The Chedi in Andermatt eröffnet. Zwischenzeitlich hat das erste Hotel des neuen Resorts einen schneereichen Winter hinter sich. Die gewichtigen Schneemassen haben auch den «gläsernen Juwel», die komplett aus Glas gebaute Überdachung der Hotelvorfahrt, einer harten Prüfung unterzogen.

Text: Corsin Roffler und Ronny Estermann, Bilder: Roffler Ingenieure, Malans, und Ruch AG, Altdorf

Transparent, technisch und doch sehr edel wirkt das gläserne Dach über der Vorfahrt des Hotels The Chedi im Ferienort Andermatt. Neben der Schutzfunktion vor Wind und Wetter setzt es dem äusseren Erscheinungsbild des Hotels die Krone auf. Die Projektierung und Ausschreibung sah vor, die Dachfläche von 12,9 m Breite und 10,0 m Tiefe auf Glasträger, welche in einem Raster von 1,7 m angeordnet sind, aufzulegen. Die rund 10 m langen Dachträger wären dann – so war es vorgesehen – im Bereich der Betondecke auszuklinken gewesen, um die Gesamthöhe des Daches möglichst tief zu halten. In der Startphase der Umsetzung änderte die mit der Berechnung und Ausführungsplanung beauftragte Firma Roffler Ingenieure die Konstruktion zu einem Glasträger mit angehängter Stahlunterkonstruktion. Der grosse Vorteil dieser Änderung lag ausschliesslich in der daraus resultierten Kürzung der Dachträger um ca. 1,5 m, was deren Herstellung und Handling wesentlich vereinfachte. Dazu kam, dass die Dachgläser über der Betondecke vollflächig emailliert sind, was die Unterkonstruktion unerkennbar macht und die Materialisierung somit frei gewählt werden konnte.



Hotel Chedi: Das Hauptgebäude mit der Vorfahrt.
Hôtel Chedi : le bâtiment principal et son entrée

Hohe Schneelasten

Als massgebende Belastung der Konstruktion ist standortbedingt die hohe Schneelast anzusehen. Die nach SIA 261 berechnete Schneelast beträgt $9,5 \text{ kN/m}^2$, was etwa einer Nassschneehöhe von 2,4 m entspricht. Dagegen ist das Eigengewicht der Konstruktion von etwa 1,5

kN/m^2 eher gering. Seitlich kann zudem eine Windlast von $2,5 \text{ kN/m}^2$ wirken.

Konstruktion komplett aus Glas

Die Stützen und Dachträger sind aus 5-fach-Verbundsicherheitsglas mit PVB-Folie hergestellt ($5 \times 12 \text{ mm}$ mit PVB-Folie 1,52 mm). Die Dachfläche besteht aus 3-fach-Verbundsicherheitsglas ($3 \times 12 \text{ mm}$ mit Sentry-Plus-Folie 1,5 mm). Aus produktionstechnischen Gründen sind die einzelnen Glasbahnen in der Dachfläche zweiteilig ausgeführt. Die vertikalen Frontverglasungen sind mit 2-fach-Verbundsicherheitsglas ($2 \times 12 \text{ mm}$ mit PVB-Folie 1,52 mm), realisiert. Sämtliche Verglasungen sind aus gehärteten Einzelscheiben aufgebaut. Alle sichtbaren Verbindungsteile bestehen aus geschliffenem Chromstahl. Die verdeckte Unterkonstruktion im hinteren Bereich des Daches ist feuerverzinkt.

Auflage der Glasträger

Die Glasträger sind – wie bereits erwähnt – über die Stahlunterkonstruktion auf der Betondecke abgestellt. Da die Unterkonstruktion nur an vier Punkten am Beton befestigt ist, lassen sich Verformungen infolge Schwinden und >

AUVENTS ÉLÉGANTS

L'entrée surmontée d'un joyau de verre

Près de quatre ans après le début de sa construction, l'hôtel 5 étoiles Superior The Chedi a ouvert ses portes à Andermatt en décembre. Le premier hôtel du nouveau complexe a essuyé, entre-temps, un hiver particulièrement neigeux. Les fortes chutes de neige ont aussi mis à rude épreuve le « joyau de verre », l'auvent tout en verre qui couvre l'entrée de l'hôtel.

Transparent et sophistiqué, sans rien perdre de son élégance, c'est ce qui caractérise l'auvent de verre qui couvre l'entrée de l'hôtel The Chedi sur le site de villégiature d'Andermatt. Outre sa fonction de protection contre le vent et les intempéries, il vient également couronner l'éclat extérieur

de l'hôtel. L'étude de projet et l'appel d'offres avaient prévu d'installer le toit de 12,9 m de largeur pour 10,0 m de profondeur sur des piliers de verre disposés tous les 1,7 m. Selon les plans initiaux, il aurait ainsi fallu dégager les poutres d'environ 10 m de longueur au niveau de la dalle en béton, afin

de conserver la hauteur maximale du toit aussi profondément que possible. Lors de la phase de lancement de la mise en œuvre, la société Roffler Ingenieure, chargée de la conception et de la planification de l'exécution, a finalement opté pour des piliers de verre combinés à une structure

porteuse en acier. Seul intérêt de cette modification, mais non des moindres : elle a permis de raccourcir les poutres d'environ 1,5 m, ce qui a largement facilité leur fabrication et leur manipulation. Les poutres surmontant la dalle en béton sont en outre émaillées sur toute leur surface, ce qui masque



Glas über der Vorfahrt schützt die Gäste.
Le toit de verre au-dessus de l'entrée protège les clients.

Bautafel

Objekt:	Hotel The Chedi, Andermatt
Bauherrschaft:	Andermatt Swiss Alps AG
Architekten:	Denniston International Architects & Planners Ltd., Kuala Lumpur (Malaysia) Germann & Achermann AG, Altdorf
Gesamtverantwortung und Ausführung Glasdach:	Ruch AG, Altdorf
Bemessung Glasdach:	Roffler Ingenieure GmbH, Malans
Ausführungsplanung Glasdach:	Roffler Ingenieure GmbH, Malans
Glaslieferant:	BGT Bischoff Glastechnik AG, Bretten (D)



Das Glasdach ruht auf acht gläsernen Stützen.
Le toit de verre repose sur 8 piliers en verre.

la structure porteuse et laisse le choix des matériaux.

De fortes chutes de neige

Contrainte de taille pour les architectes: ce site connaît d'importantes chutes de neige. La charge de neige calculée selon la norme SIA 261 atteint 9,5 kN/m², soit une couche de neige mouillée de 2,4 m de haut. Le toit en lui-même n'enregistre pourtant qu'un modeste 1,5 kN/m². Il peut aussi supporter un vent latéral de 2,5 kN/m².

Tout en verre

Les piliers et les poutres sont en verre

de sécurité composite (VSC) à quintuple vitrage recouvert d'un film PVB (5 × 12 mm, film PVB de 1,52 mm). Le toit est constitué de VSC à triple vitrage (3 × 12 mm avec film Sentry Plus de 1,5 mm). En raison de la technique de production, chacune des vitres qui forme le toit est divisée en deux. Les vitres verticales avant sont en VSC à double vitrage (2 × 12 mm avec film PVB de 1,52 mm). Toutes les vitres ont été fabriquées à partir de verre simple durci. Tous les éléments de raccord visibles sont en acier chromé poncé. La structure porteuse dissimulée à l'arrière du toit est galvanisée à chaud.

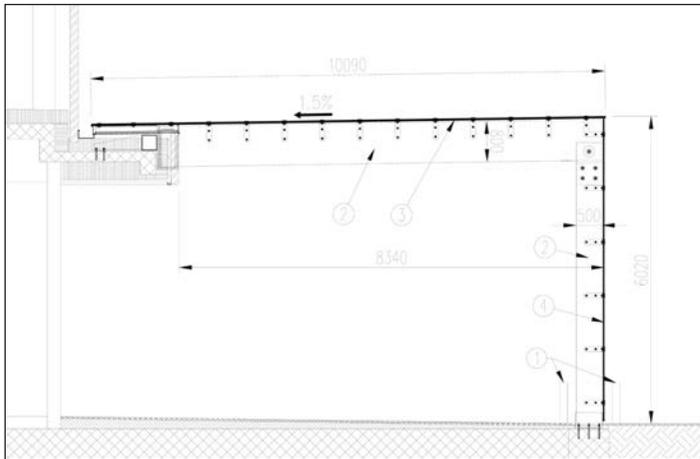
Socle des piliers de verre

Comme indiqué précédemment, les piliers de verre reposent sur la dalle en béton qui surmonte la structure porteuse en acier. La structure porteuse n'étant rattachée au béton qu'en quatre points, toute déformation due au retrait ou au fluage est évitée. Les piliers de verre se prolongent dans le socle en tubes d'acier carrés directement soudés aux autres structures porteuses au niveau des attaches des piliers de verre. Côté bâtiment, les extrémités des piliers sont logées dans un sabot en acier et coulées dans le mortier. Le mortier ne pouvant pas absorber les contraintes de

traction, chacune des poutres de verre est fixée par deux vis, ce qui a permis un montage simple, rationnel et précis sur la structure porteuse déjà en place (cf. schéma 6).

Assemblage d'angle délicat

Le bouton de vitrage (raccord de la poutre au pilier) constitue un détail particulièrement délicat. Au stade de projet, il était question d'un appui à fourchette. Cette option consiste à ramener au niveau du bouton les feuilles extérieures du VSC en ce qui concerne la poutre, et les feuilles intérieures en ce qui concerne le pilier. >



Vertikalschnitt:

- 1 Anfahrtschutz
- 2 Dachträger und Stütze VSG 5 × 12 PVB
- 3 Dachglas VSG 3 × 12 SGP
- 4 Frontglas VSG 2 × 12 PVB

Coupe verticale :

- 1 Protections antichoc
- 2 Poutres et piliers VSC 5 × 12 PVB
- 3 Vitres du toit VSC 3 × 12 SGP
- 4 Vitres avant VSC 2 × 12 PVB

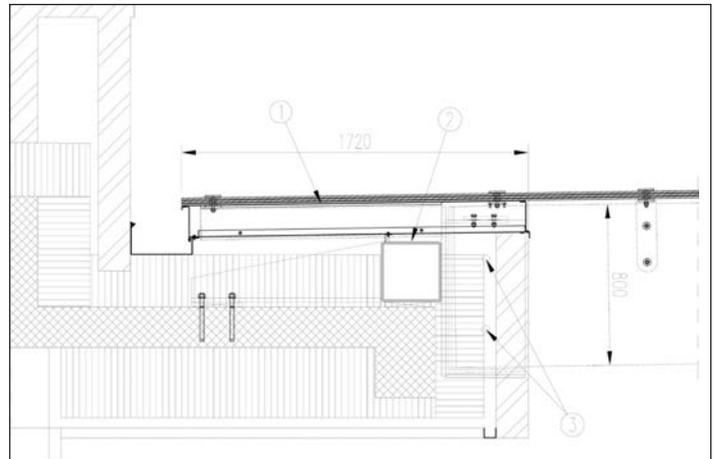
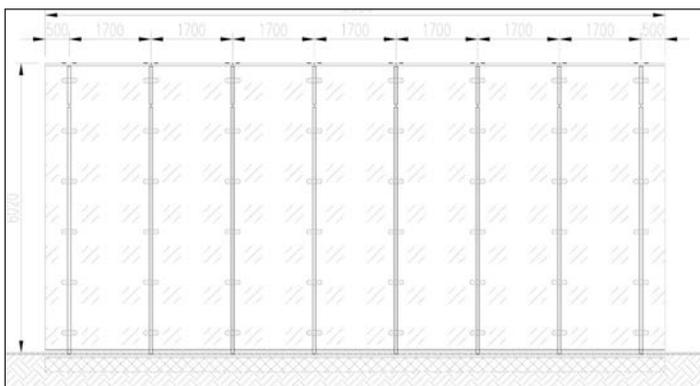


Bild 6: Detail Trägersauflager:

- 1 Dachglas emailliert
- 2 Quadratstahlrohr 300 × 300 × 12,5
- 3 Verschraubungen

Figure 6: Détail d'un support de poutre :

- 1 Verre émaillé du toit
- 2 Tube d'acier carré 300 × 300 × 12,5
- 3 Raccords vissés



Frontansicht

Vue de face



Gebäudeseitiges Trägersauflager, in der Wand versenkt.

Support de poutre côté bâtiment, encastré dans le mur

> Kriechen restlos vermeiden. Die Verlängerungen der Glasträger im Auflagebereich bestehen aus Vierkantstahlrohren, welche mit den restlichen Unterkonstruktionen direkt an die Halterungen der Glasträger geschweisst sind. Die gebäudeseitigen Enden der Glasträger sind in einen Stahlschuh geführt und mit Mörtel eingegossen. Da der Mörtel keine

Zugkräfte aufnehmen kann, sind die Glasträger jeweils mit zwei Schrauben gesichert. Diese Lösung ermöglichte eine einfache, rationelle und präzise Montage an die bereits montierte Unterkonstruktion (siehe Bild 6).

Delikate Eckverbindung

Als delikates Detail ist der Glasknoten (die

Verbindung des Dachträgers mit der Stütze) zu betrachten. Im Projekt wurde eine Gabelanlagerung vorgeschlagen. Bei dieser Variante werden beim Dachträger die äusseren Scheiben des Verbundsicherheitsglases beim Knoten zurückversetzt, bei der Stütze die inneren Scheiben. Dies bedingt jedoch, dass die Stützen und Träger aus einem Verbundsicherheits-

AUVENTS ÉLÉGANTS

> Elle implique toutefois que les piliers et les poutres soient en VSC à six feuilles au moins pour qu'il reste un ensemble de deux feuilles. Dans cet assemblage, les poutres sont donc réduites à deux feuilles au niveau du bouton alors que les quatre autres feuilles ne servent plus à rien. Les poutres auraient aussi pu être assemblées aux piliers par des plaques d'acier montées de côté, mais cette idée a également été rejetée ou en tout cas adaptée par souci esthétique.

En pratique, les plaques d'acier ont ainsi été remplacées par des plaques vitrées. Mais comment transférer, dans ce cas, les fortes charges verticales des poutres aux piliers ?

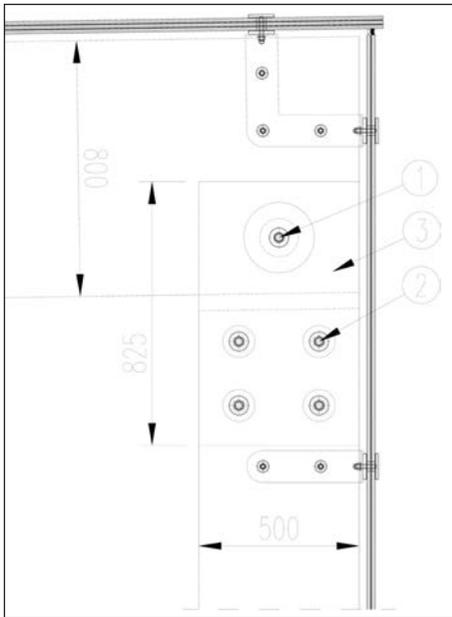
Il aurait été intéressant de transposer directement ces forces de la poutre au pilier par calage, de telle façon que les plaques latérales ne servent qu'à stabiliser l'assemblage. Les vitrages composites pouvant cependant présenter un décalage de +/- 2 mm, il existait un risque qu'une couche intermédiaire se forme sur une seule vitre, qui aurait alors subi une charge excessive. Et il aurait été très compliqué d'adapter a posteriori le calage déjà évoqué au décalage exact survenu. La solution des plaques vitrées placées de part et d'autre assurant également le transfert de force verticale a donc été poursuivie et menée à terme.

Le transfert de force des poutres aux plaques passe par un seul gros boulon qui constitue une articulation à cet endroit. Les variations de longueur des poutres dues aux fluctuations de température peuvent ainsi être corrigées par une légère rotation. Et pour ne pas compromettre la stabilité, la plaque d'assemblage d'angle est fixée au pilier par quatre tiges filetées plus petites. Le boulon et les tiges filetées pèsent ainsi sur les douilles collées aux perçages du verre à l'aide de mortier de scellement. Le décalage est ainsi compensé et la charge également répartie sur toutes les feuilles (cf. figures 8 et 9).

Sécurisation de l'assemblage d'angle

Pour vérifier que le bouton avait bien été conçu conformément à la pièce réelle, deux boutons ont été testés dans un modèle en taille réelle. Le test a été mené dans le centre de compétences Construction métallique et de façades de la Haute école de Lucerne. La première pièce à l'essai a d'abord été soumise à la charge d'exploitation calculée pendant une heure pour observer si le film recouvrant les plaques vitrées ou les remblais au mortier des perçages du verre travaillaient ou non. Après la décharge, une déformation persistante d'environ 1 mm, imputable au patinage aux points de jonction, a >

RAFFINIERTE ÜBERDACHUNGEN



← Bild 8
Detail Eckverbindung / Glasknoten:
1 Grosser Bolzen
2 Verschraubung
3 Glasplatten VSG

← Figure 8
Détail d'un assemblage d'angle /
bouton de vitrage :
1 Grand boulon
2 Raccord vissé
3 Vitrages VSC

Bild 9 →
Eckverbindung / Glasknoten

Figure 9 →
Assemblage d'angle / bouton de vitrage



Versuchsaufbau für Bauteilversuch.
Essai de montage dans le cadre des essais de pièces



Bruch am Versuchsmuster bei 500kN.
Modèle d'essai brisé par 500 kN

> glas (VSG) mit mindestens sechs Scheiben bestehen, so dass jeweils ein Verbund aus zwei Scheiben bestehen bleibt. Der Nachteil dieser Verbindung ist, dass die Träger beim Knoten auf nur zwei Scheiben reduziert werden und die restlichen vier Scheiben keine Funktion mehr haben. Eine weitere Möglichkeit wäre eine Verbindung der Stützen und Träger über seitlich montierte Stahlplatten gewesen. Aus optischen Gründen jedoch wurde auch diese Variante verworfen, respektive abgewandelt. Bei der Ausführung kamen, für die erwähnten seitlichen Stahlplatten, Glasplatten zur Anwendung. Dabei stellte sich die Frage, wie die hohen Vertikallasten von den Dachträgern auf die Stützen übertragen werden sollten. Von Vorteil wäre es, diese Kräfte direkt vom Träger über eine Verklotzung auf die Stütze abzutragen. Damit wären die seitlichen Platten nur zur Stabilisierung der Verbindung nötig gewesen. Da bei den Verbundgläsern aber mit einem Kantenversatz von +/- 2 mm zu rechnen ist, bestand die Gefahr, dass möglicherweise eine Zwischenschicht nur auf einer einzelnen Glasscheibe aufgestanden wäre und diese dadurch eine Überbelastung erfahren hätte. Und den erwähnten Klotz nachträglich auf den genauen Kantenversatz anzupassen, wäre nur mit grossem Aufwand zu realisieren gewesen. Daher wurde die Idee mit den jeweils beidseitig angebrachten Glasplatten, welche auch die Vertikalkraft übertragen können, weiter verfolgt und schlussendlich realisiert.

Die Kraftübertragung vom Dachträger in die Platten wird nur über einen einzelnen, grossen Bolzen geführt, wodurch dort ein Gelenk entsteht. Dies hat den Vorteil, dass die Längenänderungen der Träger infolge Temperaturschwankungen mit einer leichten Drehbewegung aufgenommen werden können. Damit die Stabilität nicht verloren geht, ist die Eckverbindungsplatte mit vier kleineren Gewindestangen an die Stütze befestigt. Der Bolzen und die Gewindestangen drücken nun auf Hülsen, welche mit einem

Vergussmörtel in die Glasbohrungen geklebt sind. So konnte der Kantenversatz ausgeglichen werden und alle Scheiben sind gleichmässig belastet (siehe Bilder 8/9).

Absicherung der Eckverbindung

Zur Sicherstellung, dass die Berechnungen des Knotens mit dem realen Bauteil übereinstimmen, wurden zwei Knoten in einem 1:1-Modell geprüft. Die Prüfung erfolgte im Kompetenzzentrum Fassade- und Metallbau an der Hochschule Luzern. Der erste Prüfkörper ist zuerst mit der errechneten Gebrauchslast belastet und eine Stunde gehalten worden. Dabei wurde geprüft, ob die Folie an den Glasplatten oder die Vergussmörtel-Verfüllungen in den Glaslöchern kriechen. Nach der Entlastung konnte eine bleibende Verformung von ca. 1 mm festgestellt werden, was auf den Schlupf in den Verbindungen zurückzuführen war. Anschliessend wurde wieder belastet, diesmal jedoch bis auf die 2,5-fache Tragsicherheitslast (300kN). Diese wurde ca. fünf Minuten gehalten. Die Verbindung hielt dieser Einwirkung stand und konnte ohne Beschädigung wieder demontiert werden.

Für den zweiten Versuchskörper wurde der Prüfstand leicht umgebaut, damit dieser noch stärker belastet werden konnte. Nach der Überprüfung der Gebrauchs- und Tragsicherheitslast wurde die Belastung auf die vierfache Tragsicherheitslast gesteigert und so gehalten. Nach zwei Minuten ist die zweite Scheibe des Dachträgers gebrochen. Dies bei einer Last von 500 kN (50 Tonnen). Durch den Verbund der PVB-Folie blieb das Glas kompakt zusammen. Nach sofortiger Entlastung wurde der Prüfkörper - mit defekter Scheibe - noch einmal für fünf Minuten mit der Tragsicherheitslast belastet. Der defekte Prüfkörper hielt diesen Anforderungen stand.

Fazit der Versuche

Es konnte festgestellt werden, dass der Knoten den Anforderungen standhält. Dass der Widerstand um ein Vielfaches höher ist, wurde zum Teil auf die Versuche unter Laborbedingungen zurückge-

AUVENTS ÉLÉGANTS

> été constatée. La structure a ensuite été soumise à une charge 2,5 fois supérieure à la charge de sécurité structurale (300 kN) pendant environ cinq minutes. L'assemblage a supporté cette épreuve et a ensuite pu être démonté sans dommage.

Pour la deuxième pièce à l'essai, le banc d'essai a été un peu modifié afin de pouvoir faire peser sur la pièce une charge encore plus importante. Après vérification de la charge d'exploitation et de la charge de sécurité structurale, la charge a été augmentée à 4 fois la charge de sécurité et maintenue en l'état. La deuxième vitre de la poutre s'est brisée au bout de deux minutes sous une charge de 500

kN (50 tonnes). L'adhésion du film PVB a maintenu le verre en un ensemble compact. Après avoir été immédiatement soulagée, la pièce à l'essai (y compris la vitre abîmée) a de nouveau été soumise à la charge de sécurité structurale pendant cinq minutes. La pièce défectueuse a supporté ces exigences.

Conclusion des essais

On a pu constater que le bouton supporte les exigences. La résistance bien plus élevée s'explique en partie par les conditions de laboratoire dans lesquelles les essais ont été réalisés. La charge appliquée peut en réalité dévier légèrement du centre exact car des forces horizontales peuvent

aussi intervenir. Le vieillissement du mortier n'a en outre pas pu être pris en compte.

Bases des piliers

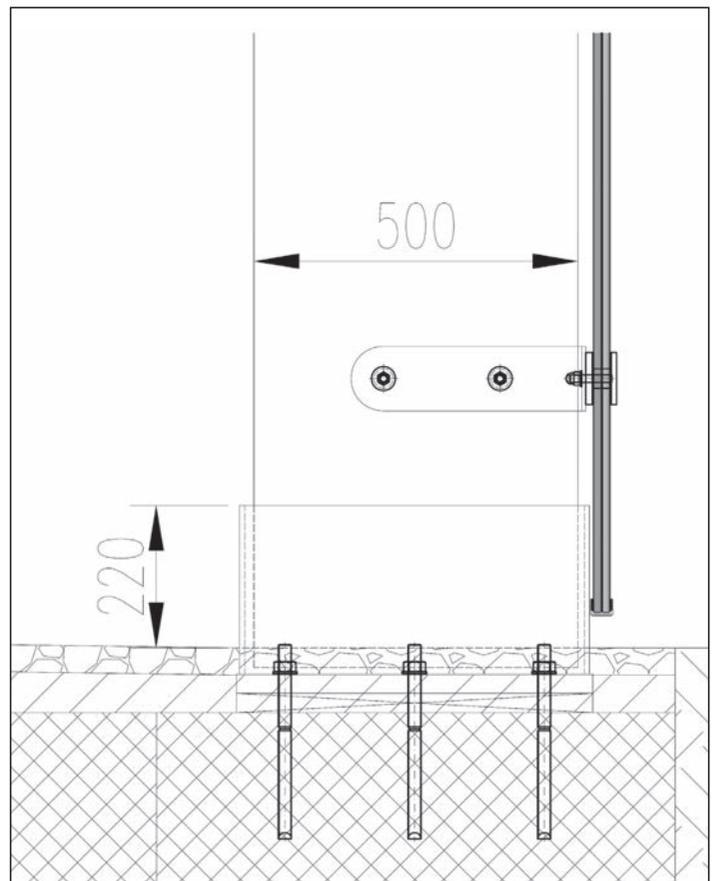
Les bases des piliers subissent une forte pression, ce qui ne pose pas problème avec le verre. Les sabots des piliers sont en acier chromé et les vitres sont coulées dans le mortier. Les sabots ont été placés 22 cm au-dessus du sol afin d'éviter toute dégradation lors d'éventuels travaux de nettoyage, par exemple lorsque la neige est déblayée.

Stabilité des poutres et des piliers

Les poutres en VSC à quintuple vitrage (5 × 12 mm avec film >



Stützenfuss
Base d'un pilier



Detail Stützenfuss
Détail de la base d'un pilier

AUVENTS ÉLÉGANTS

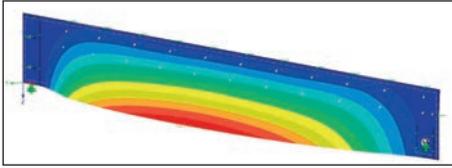
> PVB de 1,52 mm) sont conçues comme des supports flexibles. Les piliers étant très minces, un contrôle de stabilité en cas de renversement latéral s'imposait. La stabilité au renversement a été calculée en retenant l'hypothèse que les différentes vitres sont jointes sans adhérer les unes aux autres. On peut ainsi envisager tous les scénarios, de l'absence

d'adhésion à l'adhésion maximale du film PVB.

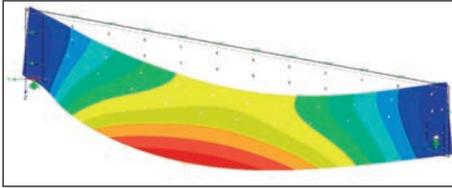
La stabilité des piliers a été calculée avec le même souci d'étudier le comportement adhésif. Les piliers sont maintenus contre le flambage latéral par les vitres avant.

Simulation de bris

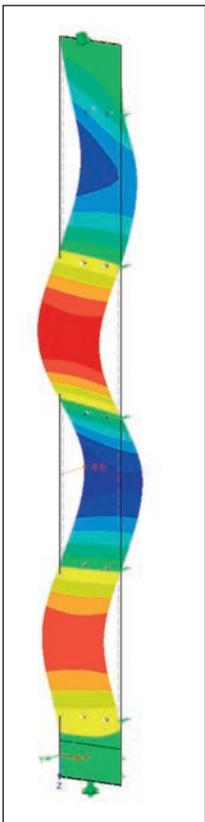
Pour ces calculs de stabilité des



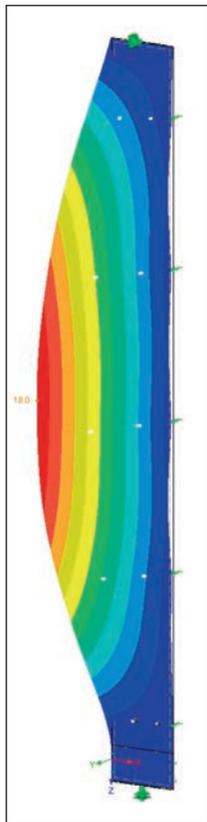
Berechnung Dachträger gegen seitliches Abkippen
Hypothèse de comportement d'une poutre en cas de renversement latéral



Berechnung Dachträger gegen seitliches Abkippen und Auslenken
Hypothèse de comportement d'une poutre en cas de renversement latéral et fléchissement



Mögliche Knickfigur der Stütze
Forme de flambage possible des piliers



Mögliche Knickfigur der Stütze
Forme de flambage possible des piliers

> führt. Die Lastenleitung kann in Realität vom genauen Zentrum leicht abweichen, da je nachdem noch horizontale Kräfte wirken. Zudem konnten Alterungsprozesse des Verbundmörtels nicht berücksichtigt werden.

Die Stützenfüsse

Die Stützenfüsse werden durch hohe Druckkräfte belastet. Dies stellt für den Werkstoff Glas keine Probleme dar. Die Stützenschuhe sind aus Chromstahl gefertigt und die Gläser mit Mörtel eingegossen. Konstruktiv wurden die Stützenschuhe 22 cm über den Boden geführt um Beschädigungen durch allfällige Reinigungsarbeiten wie Schneeschaufeln oder ähnlichem, vorzubeugen.

Stabilität der Dachträger und Stützen

Die Dachträger aus 5-fach-Verbundsicherheitsglas (5x12 mm mit PVB-Folie 1,52 mm) sind als Biegeträger ausgebildet. Durch die hohe Schlankheit der Träger war die Stabilität gegen seitliches Kippen zu prüfen. Die Berechnung der Kippsicherheit erfolgte unter der Annahme, dass die Einzelgläser ohne Verbundwirkung miteinander verbunden sind. Damit sind alle Szenarien, von keinem Verbund bis maximalem Verbund der PVB-Folie, berücksichtigt. Die Stützen wurden mit denselben Überlegungen zum Verhalten des Verbundes auf Stabilität bemessen. Dabei sind diese durch die Frontverglasung gegen seitliches Ausknicken gehalten.

Bruchhypothese

Bei der Bemessung der Dachträger und der Stützen war speziell darauf zu achten, dass ein Verbundsicherheitsglas - bei einer Beanspruchung als Scheibe - bei einem Bruch keine Resttragfähigkeit mehr aufweist. Dies bedeutet, dass auch ein Float- oder teilvorgespanntes Glas sofort herunterfällt, wenn alle Glasscheiben gebrochen sind. Falls dieses Szenario einträte, würde der Träger trotzdem noch in den Löchern des Stahlschuhs, der Eckverbindung sowie den Punkthaltern des Dachglases hängen. Er könnte jedoch keine Lasten mehr aufnehmen. Die gesamte Konstruktion ist so bemessen, dass bei einem Ausfall von zwei der fünf aufeinander liegenden Scheiben der Stützen oder der Dachträger, die Konstruktion die Traglast immer noch abtragen kann. Beim Ausfall von drei oder mehr Einzelscheiben der Verbundsicherheitsgläser unter voller Nutzlast ist dies nicht mehr gegeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies geschieht ist realistisch gesehen jedoch gegen Null anzunehmen. Die Stützen wurden bauseits zudem gegen Anprall von Fahrzeugen geschützt. ■

poutres et des piliers, il était crucial de considérer qu'une fois brisé, un VSC (solicité en tant que couche unique) n'oppose plus aucune résistance. Lorsque toutes les vitres sont cassées, même un verre float ou partiellement précontraint tombe donc immédiatement. Si ce scénario se produisait, le pilier ne

pourrait plus supporter aucune charge mais resterait attaché au niveau des trous du sabot d'acier, de l'assemblage d'angle et des fixations ponctuelles de la vitre du toit. L'ensemble est conçu de telle manière qu'en cas de défaillance de deux des cinq vitres superposées des piliers ou des poutres, il conserve sa

capacité de chargement. En cas de défaillance de trois épaisseurs de VSC ou plus à charge utile complète, en revanche, la résistance n'est plus garantie. La probabilité de ce scénario est cependant quasiment nulle. Les piliers ont également été protégés contre les chocs de véhicules. ■