

Knacken und knallen

Die Knackgeräusche an einer Pfosten-Riegel-Fassade durch statisch und thermisch bedingte Spannungen waren so stark, dass es zum Streitfall kam. Was der Fassadenbauer falsch gemacht hat und wie er die Fehler hätte vermeiden können, erläutert der Autor. Text und Bilder: Karsten Zimmer

Der Metallbauer hatte für den Kläger eine verglaste Fassade aus Aluminiumprofilen erstellt. Nach deren Fertigstellung wurden heftige «Knack- und Knallgeräusche» bemängelt. Diese wurden objektiv als störend empfunden und waren weit aus grösser, als man im Rahmen des technisch Machbaren bei einer vergleichbaren Pfosten-Riegel-Fassade erwarten konnte.

Der Sachverständige war vom Gericht aufgefordert worden, über die Behauptungen des Klägers ein Gutachten anzufertigen. Dafür wurden ihm die Systemunterlagen mit den Verarbeitungsrichtlinien, die Werkplanung und der Standsicherheitsnachweis zur Verfügung gestellt. Zudem fand ein Ortstermin statt. Zur Messung und Speicherung der Oberflächentemperaturen an der Südwest- und Nordwestfassade wurden insgesamt vier Messstellen sowohl innen als auch aussen eingerichtet.

Verschrauben Sie richtig

Bei der Konstruktion handelt es sich um eine verglaste Fassade in Pfosten-Riegel-Bauweise mit mittelgrau beschichteter Oberfläche. Die Pfostenprofile laufen über die Höhe von etwa 5,8 m konstruktiv durch und die Riegelprofile sind stumpf und passgenau fugenlos zwischen die Pfosten eingesetzt. Die Anschlüsse zwischen Riegel- und Pfostenprofilen erfolgen durch T-Verbinder, die als Rohrabschnitte aus Aluminium auf den Pfostenprofilen verschraubt sind. Die Riegelprofile werden über diese T-Verbinder gesteckt und in den Pfosten stirnseitig durch den Glasfalz eingeschraubt. Die Mittelriegel sind aus statischen Gründen mit zu-



Heftige Knackgeräusche im Abstand von wenigen Minuten wurden vom Auftraggeber dieser Fassade bemängelt. Le client s'est plaint de craquements importants au niveau de la façade à quelques minutes d'intervalle.

sätzlichen Einschubprofilen versehen, die in den Innenrohren der Riegelprofile liegen.

Die Fassade ist eine rechtwinklige Übereckkonstruktion, wobei die Ecke nach Westen und die Fassadenfelder nach Südwest und Nordwest ausgerichtet sind. In der Fassadenecke werden die Riegelprofile übereck gestossen durchgeführt. Die Gläser sind hier mit Stufenrandverbund direkt gestossen. Die Eckriegel sind als starre 90-Grad-Ecken zwischen den Fassadenpfosten eingespannt. Drei Pfosten der Südwestfassade und ein Pfosten der Nordwestfassade sind jeweils

mittig über zweiteilige seitliche Laschenkonstruktionen an der raumseitigen Stahlkonstruktion verankert. Die Verschraubungen sind mit senkrechten Langlöchern ausgestattet. Unten steht die Fassade auf einer Sockelunterkonstruktion aus Stahlwinkeln. Oben sind die Pfosten mit Einschubprofilen vertikal verschiebbar über eine Winkelkonstruktion am Holzrahmenverbund der Dachkonstruktion verschraubt. Zumindest der Wandanschlusspfosten der Nordwestfassade ist mittig zusätzlich am Rohbau verankert. Eine viermonatige Temperaturmessung ergab aussen

SINISTRE AU NIVEAU DE LA FAÇADE

Bruits et craquements

Les craquements générés au niveau d'une façade à montants et traverses par des tensions statiques et thermiques étaient si forts qu'ils ont conduit à un litige. L'auteur explique les erreurs du constructeur et comment il aurait pu les éviter.

Le constructeur métallique avait réalisé pour le plaignant une façade vitrée à base de profilés en aluminium. Après l'achèvement des travaux, ce dernier s'est plaint d'importants « bruits et craquements ». Ces derniers, jugés objectivement dérangeants, étaient nettement plus importants que ce à quoi on pouvait s'attendre pour une telle façade à montants et traverses. L'expert a été mandaté par le tribunal pour vérifier la réclamation du plaignant. Les documents du système ont été mis à sa disposition, ainsi que les directives d'usage, le plan

d'exécution et le justificatif de stabilité statique. Une inspection sur site a également eu lieu. Quatre points de mesure intérieurs et extérieurs ont été installés pour mesurer et enregistrer les températures de surface au niveau de la façade sud-ouest et nord-ouest.

Vissez correctement

La construction est une façade vitrée à montants et traverses avec un revêtement de surface gris moyen. Les profilés des montants s'étendent sur une hauteur d'env.

5,8 m et ceux des traverses sont obtus et ajustés sans joints entre les montants. Les raccords entre les profilés des montants et des traverses sont des connecteurs en T vissés sur les profilés des montants en tant que sections de tubes en aluminium. Les profilés des traverses sont calés par-dessus ces connecteurs en T et vissés de face dans les montants à travers la feuillure du verre. Pour des raisons statiques, les traverses intermédiaires sont pourvues de profilés enfichables supplémentaires dans les tubes intérieurs des profilés des traverses. La fa-

çade est une construction en équerre où l'angle est orienté côté ouest et les sections de la façade côté sud-ouest et nord-ouest. Dans l'angle de la façade, les profilés des traverses ont été raccordés en diagonale. Les vitrages y sont raccordés directement avec la jonction du bord. Les traverses d'angle sont encastrées en tant qu'angles fixes de 90° entre les montants de la façade. Trois montants de la façade sud-ouest et un montant de la façade nord-ouest sont ancrés au centre à la construction en acier côté pièces via des constructions >

eine maximale Temperaturdifferenz von 45 und innen eine maximale Temperaturdifferenz von 25,4 °C.

Achten Sie auf die Lastableitung

Während des Ortstermins wurden im Abstand von etwa fünf Minuten eindeutig vernehmbare Knackgeräusche festgestellt. Grundsätzlich führen statische und temperaturbedingte Spannungen in Metallprofilen an den Anschlusspunkten zu Zwängungen und Formänderungen. Diesen Spannungen ist entweder durch schon im Zehntelmillimeterbereich funktionierende ausreichende Gleitwirkung der Anschlusskonstruktionen oder durch die Ausbildung vollständig starrer Anschlüsse zu begegnen.

Bei einem starren Anschluss ist jedoch die Durchbiegung der Konstruktionen zu beachten. In einer Pfosten-Riegel-Fassade können also lokal durchaus starre Verbindungen hergestellt werden, wenn die Begrenzung der Durchbiegung und die spannungsfreie Bewegungsmöglichkeit des Gesamtsystems sowie eine statisch bestimmte Lastableitung beachtet werden.

Konstruieren Sie geräuscharm

Ein objektiver Massstab zur Bewertung von Knackgeräuschen an Metallkonstruktionen liegt nicht vor. Nach den anerkannten Regeln der Technik sind diese jedoch so auszuführen, dass die thermisch bedingten Formänderungen der Profile spannungsfrei aufgenommen werden können. Dies wird zum Beispiel im Kapitel 2.8.2.4 im Fachregelwerk gefordert. Das bedeutet für den Fassadenhersteller, dass die technisch möglichen Massnahmen zur geräuschfreien Ableitung von last- und temperaturbedingten Spannungen durchzuführen sind. Auch dann sind jedoch Geräusche an Pfosten-Riegel-Fassaden nicht auszuschliessen und systembedingt hinzunehmen. Es ist also zu prüfen, ob im Rahmen des Standsicherheitsnachweises und bei der Ausführung tatsächlich alle technischen Vorkehrungen zur Verminderung von Knackgeräuschen beachtet wurden.

Führen Sie die richtigen Nachweise

Die Prüfung des Standsicherheitsnachweises ergab, dass bei dem Nachweis der Verformungen und Lasten der Südwestfassade ein Feld mit einer Konstruktionsbreite von 2920 mm nicht berücksichtigt wurde. Die Eckfelder beider Fassaden sind ebenfalls nicht beachtet worden. Weder Verankerungen zum Gebäude, noch Verschraubungen zur Stahlkonstruktion oder systeminterne Anschlüsse wurden nachgewiesen oder definiert. Die Verformungsnach- >

Hinweis der Redaktion

So hilft Ihnen das Fachregelwerk

Im Fachregelwerk finden Sie im Kapitel 1.4.9 Thermische Längenänderungen von Elementen im Stahl- und Metallbau eine Excel-Tabelle, mit der Sie einfach und schnell die erwartete Längenänderung je nach Material, Temperaturdifferenz und Profillänge berechnen können. Bestell-Information Seite 46.

SCHADENFALL AN DER FASSADE



Die Befestigung der Fassade an der raumseitigen Stahlkonstruktion lässt keinen Abbau der Spannungen zu.

La fixation de la façade à la construction en acier côté pièces ne permet pas d'évacuer les tensions.

> weise wurden für die beiden Fassadenseiten unabhängig voneinander geführt ohne die Berücksichtigung der dreidimensionalen Anordnung des Gesamtsystems. Die horizontale Windbelastung in Fassadenquerrichtung führt jedoch in der direkt übereck anschließenden Fassade zu einer horizontalen Belastung in Längsrichtung mit Längsspannungen und zusätzlichen Verformungen im Eckbereich. Der Sachverständige kommt zu dem Ergebnis, dass der Nachweis nur zur überschlägigen Vorbemessung der Systemprofile zu gebrauchen ist. Knackgeräusche sind unter diesen Randbedingungen durch die Windbelastung nicht zu vermeiden. Um die Geräusche zu verringern, muss eine horizontale Verformungsmöglichkeit der Anschlüsse der Eckriegel zum ersten Pfosten der Südwestfassade gewährleistet werden. Diese Anschlüsse sind beispielsweise über Langlöcher in der T-Stossverschraubung sowie eine Bewegungsfuge zwischen Eckriegel und Pfostenprofil verschiebbar auszuführen. Der Standsicherheitsnachweis ist zu vervollständigen.

Beachten Sie die Verformungen

Auf den Oberflächen der innen liegenden Aluminiumhohlprofile wurden

SINISTRE AU NIVEAU DE LA FAÇADE

> latérales en 2 parties. Les raccords à vis sont dotés de trous oblongs verticaux. Dessous, la façade repose sur une ossature porteuse à base de cornières en acier. En haut, les montants sont vissés à la poutre maîtresse en bois du toit via une cornière au moyen de profilés enfichables ajustables verticalement. Le montant de raccordement mural de la façade nord-ouest est ancré au gros œuvre au centre. Des relevés de température sur 4 mois ont révélé un écart maximum de 45° C à l'extérieur et de 25,4° C à l'intérieur.

Attention à l'évacuation des charges

Lors de l'inspection sur site, des craquements ont été clairement perçus à 5 minutes d'intervalle. Les tensions statiques et thermiques entraînent en principe contraintes et déformations dans les profilés métalliques aux points de raccordement. Ces tensions résultent soit d'une propriété de glissement suffisante des raccordements, soit de la formation de raccords complètement rigides. En cas de raccord rigide, il faut cependant faire attention à la déforma-

tion des constructions. Au niveau d'une façade à montants et traverses, des raccords rigides conviennent donc tout à fait localement en tenant compte de la limitation de la déformation et de la mobilité sans contrainte de l'ensemble du système, et d'une dérivation statique des charges.

Construisez silencieux

Il n'existe aucun critère objectif permettant d'évaluer les craquements de constructions métalliques. Selon les règles techniques reconnues, elles doivent cependant être réalisées de manière à ce que les déformations thermiques des profilés puissent être absorbées sans la moindre tension. Cela est stipulé par ex. au chapitre 2.8.2.4 du recueil des directives techniques. Le fabricant de la façade doit donc mettre en œuvre des mesures techniques pour dériver en silence les tensions liées aux charges et aux températures. Même dans ces conditions, des bruits ne sont pas exclus au niveau des façades à montants et traverses. Il faut donc vérifier dans le cadre du justificatif de stabilité statique et de l'exécution si toutes les

précautions techniques ont effectivement été observées pour réduire les craquements.

Fournissez les justificatifs appropriés

Le contrôle du justificatif de stabilité statique a révélé qu'une section d'une largeur de 2920 mm n'a pas été prise en compte dans le justificatif des déformations et des charges de la façade sud-ouest, de même que les angles des deux façades. Ni les ancrages au bâtiment, ni les raccords à vis à la construction en acier ou les raccords internes du système n'ont été justifiés ou définis. Les preuves de déformation ont été apportées pour les 2 côtés de la façade indépendamment l'un de l'autre, sans tenir compte de l'agencement tridimensionnel du système complet. L'action horizontale du vent dans le sens transversal de la façade entraîne cependant au niveau de la façade une charge horizontale dans le sens de la longueur avec des tensions longitudinales et des déformations supplémentaires. Par ailleurs, il n'y avait aucun justificatif pour les déformations dues au vent au niveau de l'angle. L'expert parvient à la

conclusion que le justificatif ne sert qu'à évaluer approximativement les profilés du système. Dans ces conditions, les craquements dus au vent sont inévitables. Afin de réduire les bruits, une possibilité de déformation horizontale des raccords des traverses d'angle au premier montant de la façade sud-ouest doit être assurée. Ces raccords doivent par exemple être ajustables au moyen de trous oblongs dans le vissage du joint en T et d'un joint de dilatation entre la traverse d'angle et le profilé du montant. Le justificatif de stabilité statique doit être complété.

Attention aux déformations

Sur les surfaces des profilés creux en aluminium côté intérieur, des écarts de température de 25° C ont été constatés. Cela entraîne une déformation linéaire d'env. 0,6 mm/m. Dans le sens vertical, la construction est pourvue d'une possibilité de glissement suffisante au niveau des têtes de montants. Une déformation sans tension de 3,5 mm sur la hauteur de la façade d'env. 5,8 m est possible au-dessus des

Temperaturdifferenzen von 25 °C festgestellt. Das führt zu einer Längenänderung von etwa 0,6 mm pro einem Meter. In vertikaler Richtung ist die Konstruktion mit ausreichender Gleitmöglichkeit an den Kopfpunkten der Pfosten vorgerichtet. Eine spannungsfreie Formänderung von 3,5 mm über die Fassadenhöhe von etwa 5,8 m ist über die Einschubkonstruktionen an den Kopfpunkten der Pfosten möglich. Fraglich ist jedoch die Gleitfähigkeit der Laschenverschraubungen zur Stahlkonstruktion. Diese Verschraubungen sind zum Beispiel mittels Kunststofflagern und geringen Drehmoments gleitfähig herzustellen. Eine andere Möglichkeit ist die Montage von durchgehenden Distanzröhrchen. Eine Gleitmöglichkeit der Riegel in horizontaler Richtung ist nicht berücksichtigt. Die Längenänderung von 6,7 mm über die Gesamtlänge der Fassade von 11,2 m wirkt sich nicht linear in eine Richtung aus. Daher zwängen die Riegel an einem Pfosten gegeneinander. Die Längenausdehnungen der Riegel führen also zu Zwängungen an allen T-Stößen der Riegel zu den Pfosten. Der Metallbauer hätte durch konstruktive Massnahmen darauf reagieren müssen. Die Hohlprofile der Pfosten-Riegel-Konstruktion bieten in Verbindung mit der Stahlkonstruktion einen Resonanzkörper, so dass jede ruckhafte Entspannung auch im Zehntelmillimeterbereich zu einem Knackgeräusch führt.

Fazit: Grundsätzlich nicht komplett geräuschlos

Unter Beachtung der Verhältnismässigkeit von Aufwand und Nutzen sind folgende Massnahmen zur Verringerung der Geräuschbelastung an der Fassade notwendig:

- 1) Die horizontale Verformungsmöglichkeit der Anschlüsse der Eckriegel zum ersten Pfosten der Südwestfassade ist zu gewährleisten.
- 2) Der Standsicherheitsnachweis ist zu vervollständigen.
- 3) Die Gleitfähigkeit der Laschenverschraubungen zwischen Fassadenpfosten und Stahlkonstruktion ist dauerhaft herzustellen.
- 4) Die Pfostenprofile sind als «Notmassnahme» mit Quarzsand zu füllen.

Grundsätzlich ist es möglich, die Fassade bei entsprechender Beachtung der konstruktiven Details geräuscharm herzustellen. Fehler liegen insbesondere in einem unvollständigen und mangelhaften Standsicherheitsnachweis der Fassade begründet.

Allerdings ist auch nach Durchführung dieser Massnahmen nicht von einer komplett geräuschlosen Konstruktion auszugehen. ■

Autor: Dipl.-Ing. Karsten Zimmer ist Technischer Geschäftsführer des Bundesverbandes Metall (BVM) in Essen.

constructions enfichables au niveau des têtes de montants. La capacité de glissement des raccords à vis à la construction en acier est toutefois douteuse. Ces raccords doivent par ex. être rendus coulissants à l'aide de paliers en plastique et d'un faible couple. Une autre possibilité réside dans le montage de petits tubes d'écartement continus. Aucun glissement horizontal des traverses n'est prévu. La déformation linéaire de 6,7 mm sur toute la longueur de la façade de 11,2 m n'a aucune répercussion linéaire dans un sens. Les traverses se rejoignent donc au niveau d'un montant. Les dilatations longitudinales des traverses entraînent donc des contraintes au niveau de l'ensemble des joints en T entre les traverses et les montants. Le constructeur métallique aurait dû réagir en conséquence. En combinaison avec la construction en acier, les profilés creux de la construction à montants et traverses forment une caisse de résonance, de telle sorte que chaque atténuation des tensions génère un craquement, même pour un dixième de millimètres.

Bilan : pas totalement silencieux

En tenant compte du rapport investissement/bénéfice, les mesures suivantes de réduction des nuisances sonores sont indispensables au niveau de la façade :

- 1) La possibilité de déformation horizontale des raccords des traverses d'angle au premier montant de la façade sud-ouest doit être assurée.
- 2) Le justificatif de stabilité statique doit être complété.
- 3) La capacité de glissement des raccords à vis à la construction en acier doit être durable.
- 4) Les profilés des montants doivent être remplis de sable quartzé en tant que « mesure d'urgence ».

Il est en principe possible de réaliser une façade silencieuse en tenant compte du cahier des charges. Les erreurs s'expliquent notamment par un justificatif de stabilité statique incomplet et insuffisant. Toutefois, mêmes ces mesures ne garantissent pas une construction totalement silencieuse. ■

L'auteur: Karsten Zimmer, ing. dipl., est directeur technique de la Bundesverband Metall (BVM) à Essen.