

# Zum Kraftfluss in gestossenen Biegeträgern aus Verbundsicherheitsglas

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Ringli, René M.

**Publication date:**

2016

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010609164>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISSERTATION ETH NR. 23236

**ZUM KRAFTFLUSS IN GESTOSSENEN BIEGETRÄGERN AUS  
VERBUNDSICHERHEITSGLAS**

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH  
(Dr. sc. ETH Zürich)

vorgelegt von

RENÉ MARKUS RINGLI  
MSc ETH Bau-Ing.

Bürger von Einsiedeln SZ  
geboren am 12. Mai 1986

angenommen auf Antrag von

Prof. Thomas Vogel, Referent  
Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider, Korreferent

2016

## Kurzfassung

Glaskonstruktionen werden in der jüngeren Vergangenheit gerne als Eyecatcher in der Architektur eingesetzt. Diese neuerlangte Bekanntheit und Beliebtheit führt dazu, dass immer aussergewöhnlichere und atemberaubendere Glasstrukturen projiziert werden. Eine solche Struktur sind volltransparente Biegeträger mit grossen Spannweiten, welche sowohl in Längs- als auch in Querrichtung aus mehreren einzelnen Glasscheiben bestehen. Zwischen den einzelnen Scheiben sorgt ein Interlayermaterial dafür, dass die Scheiben zusammenhalten.

Durch das spröde Versagen von Glas, den ungewöhnlichen Trägeraufbau und die daraus resultierenden Spannungskonzentrationen stellen diese Strukturen eine grosse Herausforderung für die bearbeitenden Ingenieure dar, da geeignete einfache analytische Modelle fehlen, die das Tragverhalten beschreiben und dadurch das Verständnis hierfür fördern.

In der vorliegenden Arbeit wird ein analytisches Modell vorgestellt, das die wichtigsten Effekte, die zur Spannungskonzentration beitragen, berücksichtigt. Das Modell arbeitet mittels einigen Vereinfachungen wie beispielsweise der Annahme von rein linear elastischem Materialverhalten und der Approximation der unteren Kante eines Trägers unter Biegebeanspruchung als Bereich reiner äusserer Zugbeanspruchung.

Das analytische Modell berücksichtigt die Kraftumverteilung infolge der unterschiedlichen Steifigkeiten des Trägermaterials und des Interlayers mittels Schlupf-Differenzialgleichung, den Einfluss der lateralen Biegebeanspruchung infolge Exzentrizität der resultierenden Kraft mittels Biegung eines Sandwichelements und die Berücksichtigung von lokalen Effekten mithilfe einer zusätzlichen lokalen Biegebeanspruchung.

Experimentelle Untersuchungen sowie Finite-Elemente-Simulationen zeigen, dass das analytische Modell im Wesentlichen funktioniert.

Weiterführende Finite-Elemente-Simulationen zeigen, dass die Höhe der Spannungskonzentration stark von der Schubsteifigkeit des verwendeten Interlayermaterials abhängig ist, die wiederum temperatur- und lastdauerabhängig ist.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass hohe Interlayersteifigkeiten zu hohen Spannungskonzentrationen führen. Bei einer geringen Interlayersteifigkeit erfolgt die Kraftübertragung zwischen den einzelnen Scheiben in einem grösseren Bereich, was einerseits dazu führt, dass sich die Spannungen innerhalb des Trägers gleichförmiger ausbreiten können, was in geringeren Spannungskonzentrationen resultiert. Andererseits kann der grössere aktivierte Bereich dazu führen, dass sich hintereinanderliegende Stösse gegenseitig beeinflussen. Das heisst, bei der Bemessung sind jeweils mindestens zwei Lastfälle zu untersuchen: einmal unter der Annahme von hohen Interlayersteifigkeiten und einmal mit der Annahme von geringen Interlayersteifigkeiten.

Die Simulationen zeigen, dass sich die Spannungskonzentrationen durch Modifikationen in der Ausbildung der Träger und im Speziellen der Stösse bei gleicher äusserer Beanspruchung signifikant reduzieren lassen. So führen sowohl die Verwendung von dünneren Aussenscheiben, als auch die Aufspaltung der Aussenstösse mittels einer kurzen Zwischenscheibe zu geringeren Spannungskonzentrationen im Bereich der Aussenstösse.

## Abstract

Glass as a building material has been used since the Roman age and it is still considered modern and elegant. In the recent past, new developments allowed architects to establish transparent building envelopes and stunning designs. Such a new development are fully transparent long span beams, which consist of several glass panes in the longitudinal as well as in the lateral direction. In these structures, the panes were glued together using an interlayer material, which has a significant lower stiffness than glass.

These beams have geometric singularities, which lead to stress concentration next to each joint. In combination with the brittle failure mode of glass, these stress concentrations are the point of matter regarding the load-bearing capacity. Therefore, structural engineers need on the one hand reliable models to estimate the maximum tensile stress and on the other hand an understanding of the load-bearing behavior in order to come up with suitable solutions.

In the first part of this thesis, an analytical model is presented, which considers the main effects that are influencing the stress concentrations in the joint cross sections. The model is based on several assumptions and simplifications such as linear elastic material behavior for all materials or approximation of the lower edge of a beam under bending action as a region of pure tensile action.

The analytical model considers the load redistribution due to the different stiffness of the base material and the interlayer using the slip equation, the influence of lateral bending as a result of the eccentricity of the residual force by means of bending of a sandwich element and taking into account of local effects using an addition local bending action.

Laboratory tests as well as finite element simulations show that in general the analytical model works well.

Further finite element simulations show that the stress concentrations highly depend on the shear stiffness of the interlayer material. The shear stiffness in turn strongly depends on temperature and load duration.

In general, it can be claimed that a high interlayer stiffness will lead to a high stress concentration. On the other hand, in case of a low interlayer stiffness, the force transfer between the panes takes place in a larger area, which results in lower stress concentrations. This because the force has the possibility to spread equally within each pane. However, the larger influence zone may lead to an interaction between neighboring joints. Therefore, at least two different load cases have to be considered during design: one with the assumption of high interlayer stiffness and one with the assumption of low interlayer stiffness.

The finite element simulations unveil that the stress concentrations can be reduced by modification of the joint configuration. Both, thinner outer panes and the use of intermediate panes will reduce the maximal tensile stress significantly in the area of an outer joint.