

Scheiben kalt biegen

SCHUBVERBUND IM RANDBEREICH VON GLASSCHEIBEN (TEIL 2).

AN DER BERGISCHEN UNIVERSITÄT WUPPERTAL WURDE DER SOGENANNT KANTENSCHUBVERBUND IM RANDBEREICH VON VSG-SCHEIBEN (KS-SCHEIBE) ENTWICKELT. DAMIT LASSEN SICH IN GLASSCHEIBEN KRÜMMUNGEN EINPRÄGEN, OHNE DASS EINE THERMISCHE BEHANDLUNG NOTWENDIG IST.

Glasscheiben werden gekrümmt, indem man sie thermoplastisch in Form bringt. So lassen sich nahezu alle Biegelinien bzw. Formen spannungsfrei realisieren. Gekrümmte Scheiben und insbesondere doppelt gekrümmte Scheiben, wie z.B. Systeme in Form einer Kuppel, verfügen über eine sehr hohe Steifigkeit. Diese nimmt bei zunehmender Last überproportional ab (Bild 1). Es entwickelt sich eine Gewölbewirkung, indem die in den Scheiben radial wirkenden Druckkräfte mit einem umlaufenden Ring von Zugkräften im Gleichgewicht stehen (Bild 2). Bei größeren Belastungen kann es neben dem Glasbruch auch zum Stabilitätsversagen, d.h. zum plötzlichen Durchschlagen der Scheibe kommen.

In ebenen Glasscheiben hingegen überwiegen zunächst Biegedruckspannungen an der Oberseite und Biegezugspannungen an der Unterseite (siehe Teil 1 des Artikels, Glas+Rahmen 2/2006, Seite 18+19). Ab einer Verformung über die Scheibendicke hinaus, gleitet das System von einem Biegesystem hin zu einem Membransystem. Die Biegespannungen werden von den Membranspannungen überlagert. Die Steifigkeit

DER AUTOR:



Dipl.-Ing. Hanno Sastré hat an der BU-Wuppertal Architektur studiert und war dort bis Ende 2005 am Lehrstuhl für Tragwerklehre mit Forschung und Lehre betraut. Z. Zt. ist er wiss. Assistent an der TU-Graz. Tel. +43/316/873-6713; E-mail: Sastré@KS-glas.de

der Scheiben nimmt mit steigender Belastung zu (Bild 3), so dass die Tragwirkung in der Glasfläche der eines Seils oder eines Tuchs ähnelt. In der Fläche überwiegen radial wirkende Zugkräfte, die am Rand mit einem Druckring im Gleichgewicht stehen (Bild 4).

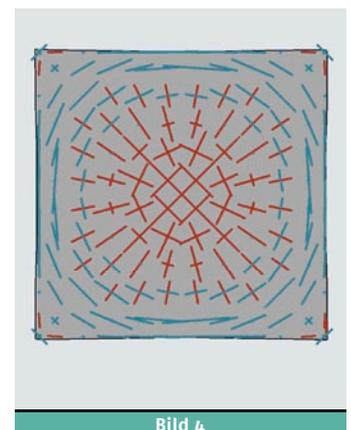
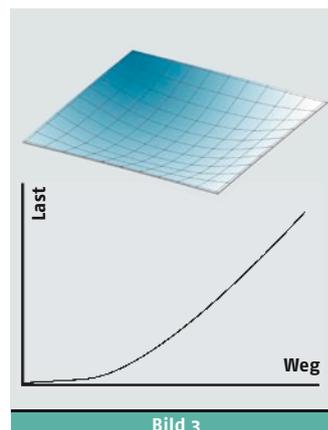
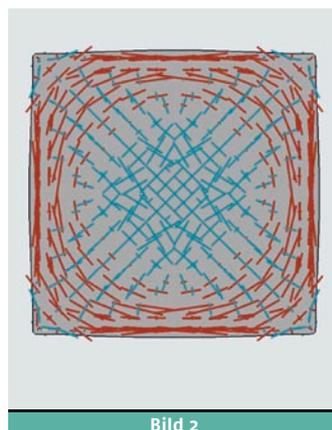
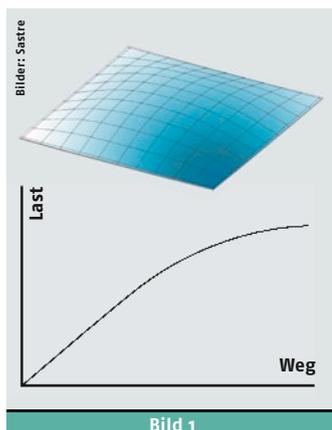
Diese Membrankräfte können als Umkehrung der beschriebenen Gewölbewirkung angesehen werden. Als ungünstigster Fall ist eine allseitig gelagerte Scheibe zu betrachten, die z.B. mit Pressleisten fixiert wurde. Die Ränder dieser Scheiben bleiben frei verdrehbar, wobei die Ecken, ähnlich einer punktelagerten Scheibe, dazu tendieren abzuheben (siehe Bild 4 im 1. Teil des

Artikels). In den Eckbereichen entwickeln sich Biegezugspannungen an der Last-zugewandten Seite. Die maximalen Zugspannungen treten nicht mehr in Feldmitte, sondern in Richtung der Ecken auf. Im Schnitt sieht man eine flügelartige Biegelinie (Bild 5a), ähnlich der einer zweiseitig gelagerten KS-Glasscheibe, d.h. einer Scheibe mit Kanten-schubverbund.

KALTES KRÜMMEN

Dieser Verformungszustand kann durch ein am Rand der Scheibe befindliches schubfestes Element „festgehalten“ werden, indem das Element erst im verformten Zustand „aktiv“ wird (Bild 5b). Beim Entlasten federt die Scheibenkonstruktion etwas zurück (Bild 5c). Die resultierende Verformungsfigur ist eine Kombination aus Plattenverformung und der KS-charakteristischen Biegelinie. In die Scheiben wird mit der Verformung auch eine Vorspannung eingepreßt.

Bei einer Belastung in entgegengesetzter Richtung (Bild 5d) kommt es zur Überlagerung der eingepreßten Spannungen mit den Spannungen aus der Gewölbewirkung. Zur



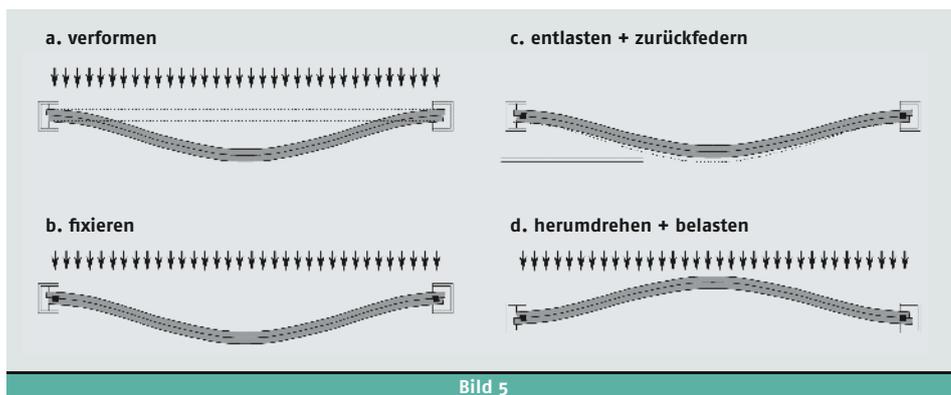


Bild 5

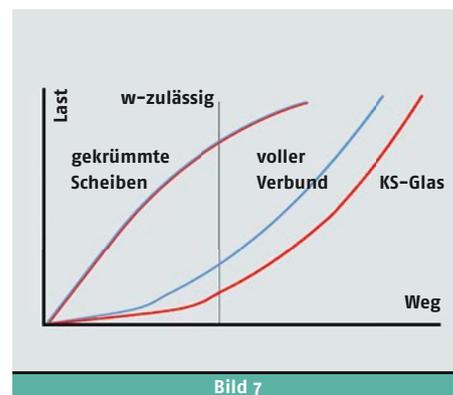


Bild 7

Verdeutlichung der Spannungsentwicklung in gekrümmten KS-Gläsern werden im Folgenden die Spannungsquerschnitte der einzelnen Verformungsstadien in Feldmitte aufgezeichnet. Aufgrund der Komplexität der räumlichen Spannungsverläufe haben sie jedoch nur hypothetischen Charakter.

Die Scheiben wurden zunächst bis zu $1/50$ verformt und anschließend in umgekehrter Richtung als KS-Glas belastet. Bei der Verformung der gestapelten Einzelscheiben, kommt es zu deutlichen Membranspannungen (Bild 6). Durch das Rückfedern vermindern sich diese Spannungen. Die herumgedrehte und bis zu einer Durchbiegung von $1/100$ belastet KS-Scheibe entwickelt Gewölbedruckspannungen, die mit den eingepprägten Spannungen verrechnet werden. Bei der Verwendung von thermisch vorgespannten Gläsern, wie z.B. TVG, müssen auch die Druckvorspannungen der Gläser Berücksichtigung finden. Um für dieses Beispiel die resultierende Oberflächenspannung zu ermitteln, wird die Eigenspannung des TVG mit 50N/mm^2 angesetzt und zu den resultierenden Spannungen addiert.

POTENZIALE DER NEUENTWICKLUNG

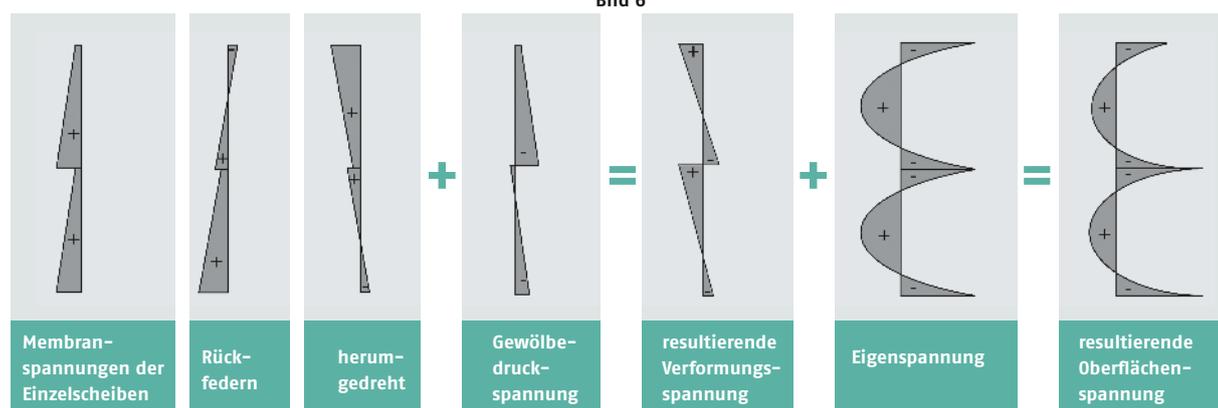
KS-Scheiben und KS-gekrümmte Scheiben weisen insbesondere in den Eckbereichen größere Spannungen auf als herkömmliche Scheiben. Die kalt gekrümmten Scheiben tragen die Lasten ähnlich wie zwei übereinander liegende Kuppeln über Ihre Gewölbewirkung ab. Das führt zu einer Steifigkeit, die mit der einer monolithischen Scheibe gleicher Gesamtdicke annähernd übereinstimmt. In Bild 7 ist das Lastverformungsverhalten dieser Systeme im Vergleich dargestellt. Die linken Kurven in dem Diagramm überlagern sich annähernd. Rechts davon wird exemplarisch das Lastverformungsverhalten ebener Scheiben dargestellt. Die KS-Scheibe hat etwa 90% der Steifigkeit einer im vollen Verbund tragenden Scheibe erreicht.

In den technischen Richtlinien gilt eine Durchbiegungsbegrenzung von $1/100$. Scheiben größerer Spannweite erreichen wegen ihrer Biegeweichheit leicht diese Grenze und werden deshalb i.d.R. auf Grund ihrer Durchbiegung und nicht ihrer maximalen Zugspannungen bemessen. Die leicht gekrümmten Scheiben tragen, bei gleicher Verformung w -zulässig, im Vergleich zu den

ebenen Scheiben etwa das Vierfache an Last. Angaben zum Einsparpotenzial sind Abhängig von der Berechnungsmethode und den am Markt gängigen Glasdicken. So kann es zu einer Gewichtsersparnis von bis zu 35% im Vergleich zu herkömmlichen V(S)G kommen. Eine temperaturunabhängige und dauerhafte Ertüchtigung der Steifigkeit ermöglicht leichtere Scheiben bzw. größere Spannweiten. Größere Scheibenspannweiten erlauben im Fensterbau einen verringerten Rahmenanteil an der Gesamtfläche und tragen damit zur Reduzierung der Baukosten bei. Ein geringerer Rahmenanteil bedeutet für Fenster auch eine höhere Transparenz - das KS-Glas könnte ein Weg dahin sein. Unternehmen, die an einer Zusammenarbeit in Sachen KS-Scheiben mit dem Lehrstuhl für Tragwerklehre und Baukonstruktion der TU-Wuppertal interessiert sind, wenden sich bitte an den Verfasser.

Der Lehrstuhl für Tragwerklehre und Baukonstruktion wird vom 24. bis 28. April 2006 auf der Industriemesse in Hannover seine Neuentwicklungen am Innovationstand Nordrhein-Westfalen (Halle 2, Stand C36) präsentieren.

Bild 6



Literatur:
Glas im Konstruktiven Ingenieurbau; Sedlacek, Blank, Laufs, Güssgen. 1999. ISBN 3-433-01745-X

Composit Glas; Schwalbenhofer u.a. in Vision, Beiträge aus Architektur und Bauingenieurwesen, Heft 4, Wuppertal 2003.