

Punktförmige Glas-Halterung mit „Planar“-System:

Ausreichende Gelenkwirkung

Jens Schneider

Seit der Entwicklung des „Planar“-Systems durch Pilkington im Jahre 1987 nimmt das weltweite Interesse an flächenbündigen Glasfasaden weiter zu. Zweifellos hat die neue Möglichkeit, Glas dieses Typs als ein Bauelement und nicht nur als passives Element bei der Verkleidung von Gebäuden einzusetzen, die Planung und Konstruktion einiger der herausragendsten Gebäude der letzten 20 Jahre geprägt.

Bei der Betrachtung der Glassysteme mit punktförmiger Halterung, die für eine vollständig bündige Fläche – ohne hervorstehende Klemmplatten oder „Knöpfe“ – entwickelt wurden, zeigen sich zwei grundlegende Methoden, mit denen eine Verbindung zum Glas hergestellt werden kann. Die erste, basierend auf dem ursprünglichen „Planar“-Konzept, erfolgt durch Bohren eines kleinen Senkloches in das Glas. Eine Halterung aus rostfreiem Stahl wird anschließend in diesem Loch befestigt. Die zweite Befestigungsmethode wurde Ende der 80er Jahre auf dem Markt eingeführt und

erfordert ein größeres Senkloch, in dem ein Gelenkbeschlag mit einem mechanischen Gelenk befestigt wird.

Während die Befestigung mit „Planar“ einen robusten Verbund an der Oberfläche des Glases darstellt und eine Gelenkwirkung durch elastische Zwischenschichten im Bereich der Halterbefestigung erreicht wird, ermöglicht der Gelenkbeschlag die vollständig freie Drehung in einer Position innerhalb oder in der Nähe der Glasscheibe.

Vor der Entwicklung des „Planar“-Systems hatte man das Konzept, eine Glasscheibe an einer Reihe von Punkten anstatt in einem Rahmen zu halten, wegen der hohen lokalen Spannungen, die im Bereich der Bohrungen auftreten, aufgegeben. Mit der elastischen Lagerung und Gelenkwirkung können die im Bereich der Bohrungen auftretenden Spannungsspitzen gegenüber einer vollständig starren Einspannung deutlich reduziert werden. In Verbindung mit der Verwendung von thermisch vorgespannten Gläsern (ESG, TVG) konnte so das Konzept einer Punktlagerung für Glas umgesetzt werden.

Vorteile in der praktischen Anwendung

Zur Reduzierung der auftretenden Spannungen im Bohrbereich bei flächiger Belastung ist die Anordnung eines Gelenks in der Scheibenebene am günstigsten, wodurch sich allgemein die Auffassung durchgesetzt hat, daß reine Gelenkhalter mit Kugelenken besser geeignet seien, als z. B. das „Planar“-System mit elastischen Zwischenschichten außerhalb der Scheibenebene im Haltebereich. Dabei wurde zudem unterstellt, daß durch die Verwendung elastischer Zwischenschichten im Haltebereich überhaupt keine Gelenkwirkung erzielt werden kann.

Am Institut für Statik der TU Darmstadt wurden daher Untersuchungen zur Gelenkwirkung durchgeführt, die

zeigen, daß das „Planar“-System für statische Berechnungen als gelenkig unterhalb der Lasteinleitungsplatte eingestuft werden kann und keine starre Einspannung erzeugt. Es muß dabei das Versatzmoment zwischen Scheibenebene und Lasteinleitungsplatte berücksichtigt werden.

Es gibt zudem bei der Befestigung punktgelagerter Gläser mit „Planar“-Haltern auch eine Reihe von Vorteilen, insbesondere bezüglich der optischen Wirkung:

1. Die Bohrung und die außen sichtbaren Beschläge können deutlich kleiner ausgeführt werden.
2. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Verglasung in einem Rahmen ergeben sich bei einer Punktbefestigung größere Verformungen, besonders wenn die Scheibe nur an vier Auflagerpunkten gehalten wird – wodurch eine maximale Transparenz erreicht werden kann. Hierbei bestimmt sich die Glasdicke für typische Scheibengeometrien häufig über die Durchbiegungsbegrenzung (z. B. $\frac{1}{100}$ mit l = kürzester Abstand zwischen den Haltepunkten) und nicht über das Spannungskriterium. Bei Ausnutzung des Spannungskriteriums können große sichtbare Verformungen auch bei normalem Gebrauch auftreten, die architektonisch nicht gewünscht sind. Aufgrund dieser Erkenntnisse traf Pilkington bei der Entwicklung des „Planar“-Systems die bewußte Entscheidung, die Glashalter nicht als mechanische Gelenkhalter in der Scheibenebene auszubilden. Die dabei durch das Versatzmoment auftretenden höheren Spannungen im Bohrbereich müssen berücksichtigt werden, sind aber häufig nicht maßgebend für die Dimensionierung. Je nach Größe und Seitenverhältnis kann die Durchbiegung einer mit vier „Planar“-

Der Autor war von April 1997 bis März 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Statik der TU Darmstadt bei Prof. Dr.-Ing. J.-D. Wörner im Bereich Konstruktiver Glasbau. Zudem ist er Mitautor des Buches Glasbau, Springer-Verlag. Es folgten zahlreiche weitere Veröffentlichungen. Darüber hinaus ist er Mitglied im Arbeitskreis Glasbau des Baulichen Überwachungsvereins (BÜV e. V.) und seit Mai 2001 Mitarbeiter im Ingenieurbüro Schlaich, Bergermann und Partner, Stuttgart.

Halterungen befestigten Glasscheibe um bis zu 25 % geringer ausfallen, als die einer gleich großen, mittels reinen Gelenkhaltern gehaltenen Scheibe.

3. Für rechteckige Scheibengeometrien, bei denen vier Halter nicht ausreichen, müssen zwei zusätzliche Halter an den langen Kanten des Glases vorgesehen werden (6-Punktlagerung). In diesem Fall wird das Kriterium zur Dimensionierung der Glasscheibe die Spannung und nicht mehr die Durchbiegung. Hier ist der Einfluß des Versatzmomentes der „Planar“-Halterung gegenüber einem Gelenkhalter von Vorteil. Während bei reinen Gelenkhaltern das Biegemoment im Bereich der mittleren Halter immer deutlich größer ist als im Bereich der Randhalter, trägt beim „Planar“-System das Versatzmoment im Bereich der Eckhalterungen zur Entlastung der mittleren Halter und einem ausgewogenerem Momentenverlauf bei.

Es zeigt sich also, daß die Halter des beschriebenen Systems Vorteile gegenüber Gelenkhaltern haben können, weil das Verhältnis zwischen Steifigkeit und Gelenkigkeit für die praktische Anwendung ausgewogener ist als bei reinen Gelenkhaltern.

Untersuchungen zur Gelenkwirkung

Senkrecht zur Scheibenebene sind punktgelagerte Glasscheiben nahezu immer statisch unbestimmt gelagert, da für eine statisch bestimmte Lagerung nur drei Auflagerreaktionen benötigt werden, die Scheiben jedoch meistens an vier oder sechs Punkten befestigt werden (Bild 1). Wegen der geringen Dicke der Scheiben im Verhältnis zu ihren Abmessungen und der damit verbundenen geringen Steifigkeit senkrecht zur Scheibenebene kann man jedoch von einer zwingungsarmen Lagerung sprechen. Der Einfluß der Lagerung muß bei der Berechnung natürlich berücksichtigt werden.

Daher ist entscheidend, ob sich die Punkthalter im Auflagerbereich ver-

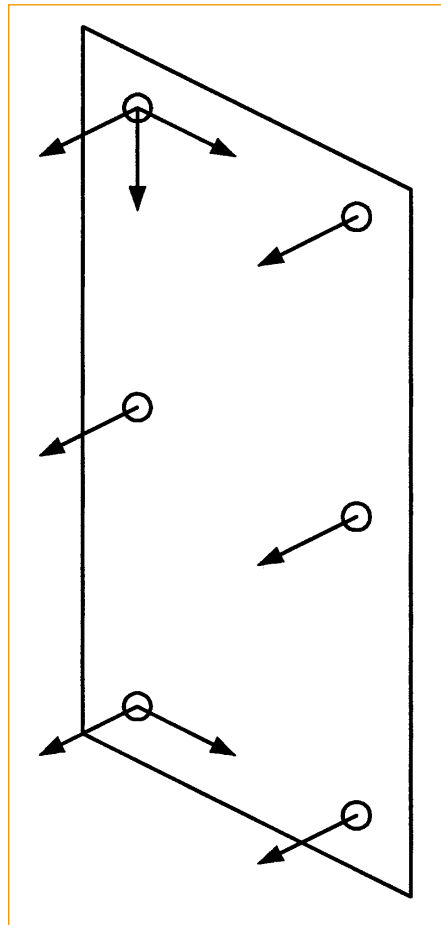


Bild 1: Zwängungsarme Lagerung senkrecht zur Scheibenebene mit sechs Punkthaltern (statisch unbestimmt)

drehen können. Ist dies nicht der Fall, wird die Scheibe im Halterbereich eingespannt und es entstehen höhere Spannungen im Bohrungsbereich als bei einer gelenkigen Lagerung, die eine Verdrehung zuläßt. Man unterscheidet folglich zwischen gelenkigen und starren Haltern. Gelenkige Halter werden zusätzlich in Halter mit

Gelenk in Scheibenebene und Gelenk außerhalb der Scheibenebene unterschieden. Bei Gelenken außerhalb der Scheibenebene muß das entstehende Versatzmoment rechnerisch berücksichtigt werden. Aufgrund von Untersuchungen am Institut für Statik der TU Darmstadt [8] in Verbindung mit Finite-Element-Berechnungen [5] konnte gezeigt werden, daß auch das „Planar“-System als gelenkig unterhalb der Lasteinleitungsplatte (im Bereich der Silikonscheiben) einzustufen ist. Wegen der großen Steifigkeitsunterschiede zwischen den Stahlelementen des Glashalters und den Silikonscheiben (Bild 2), kann sich der Glashalter bei üblichem Einsatz mit Glasscheiben im Bauwesen in ausreichendem Maße verdrehen. Bei den Versuchen [5, 8] wurden Glasscheiben aus ESG der Nenndicke 10 mm und der Abmessungen 1000 × 1000 mm mit vier Punkthaltern in den Eckbereichen untersucht. Dazu wurden die Scheiben waagrecht gelegt und mit einer Punktlast im Scheibenmittelpunkt bis zum Bruch belastet. Neben der Kraft wurde die Verformung der Scheiben in Scheibenmitte sowie Dehnungen in Scheibenmitte (drei Richtungen) und im Bereich der Bohrungen (je 2 DMS neben den Bohrungen) gemessen. Die Versuchsergebnisse wurden mit Berechnungsergebnissen eines Finite-Element-Modells (Programmpaket ANSYS 5.5.2) des Systems verglichen (Bild 3). Dabei wurden Vergleichsberechnungen mit der Randbedingung starre Lagerung und gelenkige Lagerung an der Unterseite der Lasteinleitungsplatte durchgeführt. Da geometrisch lineare und geometrisch nichtlineare Berechnungen durchgeführt wurden, wurde

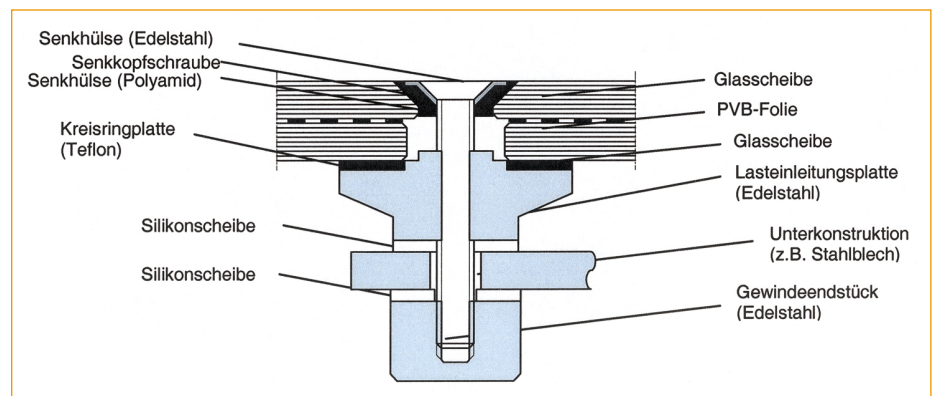


Bild 2: Aufbau des „Pilkington-Planar-Halters“, hier in Verbindung mit VSG

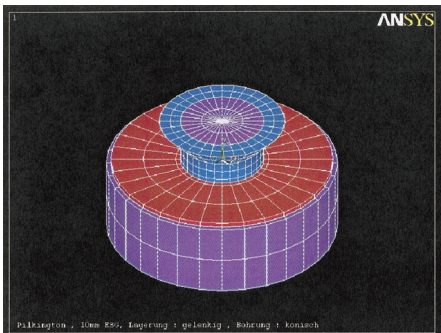


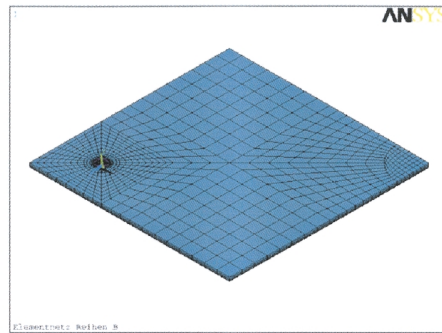
Bild 3: FE-Modell des „Planar“-Halters, Modell einer 1/4-Scheibe der FE-Berechnungen (Ausnutzung der Symmetrie)

zusätzlich die Randbedingung „Halter in Scheibenebene verschieblich“ und „Halter in Scheibenebene unverschieblich“ untersucht, denn in den Versuchen wurden die Glashalter mit Stahlblechen verschraubt, die mittels Schraubzwingen an Stahlträgern befestigt waren. Es zeigte sich anhand der Berechnungen, daß die Glashalter trotz sehr starken Anziehens der Schraubzwingen als verschieblich einzustufen waren.

Bild 4 zeigt anhand der in den zwölf Versuchen gemessenen und der berechneten Verformungen, daß für die Randbedingung gelenkige, verschiebliche Lagerung bei nichtlinearen Berechnungen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Versuchsergebnissen und Berechnungen auftritt. Bei Annahme einer starren Lagerung dagegen werden die Verformungen in Scheibenmitte bei linearen und nichtlinearen Berechnungen stark unterschätzt.

Vergleicht man die geometrisch linearen Berechnungen mit den geometrisch nichtlinearen Berechnungen bei Annahme einer gelenkigen Lagerung, zeigt sich allgemein, daß die linearen Berechnungen im Bereich von Belastungen bis zu ca. 2,5 kN noch gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen ergeben, dann jedoch stark von den gemessenen Werten abweichen.

Vergleicht man die gemessenen Dehnungen in der Scheibenmitte mit den berechneten Werten (Bild 5, Versuch 1 mit DMS ausgewertet), zeigt sich ebenso, daß mit der Randbedingung gelenkig, verschieblich bei nichtlinearen Berechnungen gute



Übereinstimmung erzielt werden kann. Erst bei sehr hohen Belastungen ab ca. 8 kN weichen die gemessenen Werte stärker von den berechneten ab und nähern sich den Werten bei Annahme einer starren Lagerung. Derartige Belastungen und die damit verbundenen Krümmungen treten

die berechneten Dehnungen an dieser Stelle ausgewertet. Aufgrund der örtlichen Anordnung der DMS geben diese Werte nicht die auftretenden Maximaldehnungen im Bohrungsbereich wieder, die Meßwerte eignen sich jedoch in Verbindung mit den Messungen in Scheibenmitte zur Beurteilung der Güte des Berechnungsmodells und damit der anzusetzenden statischen Randbedingungen.

Man erkennt, daß die Dehnungen an der Bohrungskante erst realistisch erfaßt werden, wenn im FE-Modell der Glashalter im Bereich zwischen Glas und Zwischenmaterialien (Polyamidhülse, Kreisringplatte aus Teflon) zusätzlich Kontaktelemente generiert werden, die gewährleisten, daß nur bei Kontakt Kräfte übertragen werden können (Bild 7). Zu einer genauen Erfassung der gemessenen Dehnungen kann es erforderlich sein, zusätz-

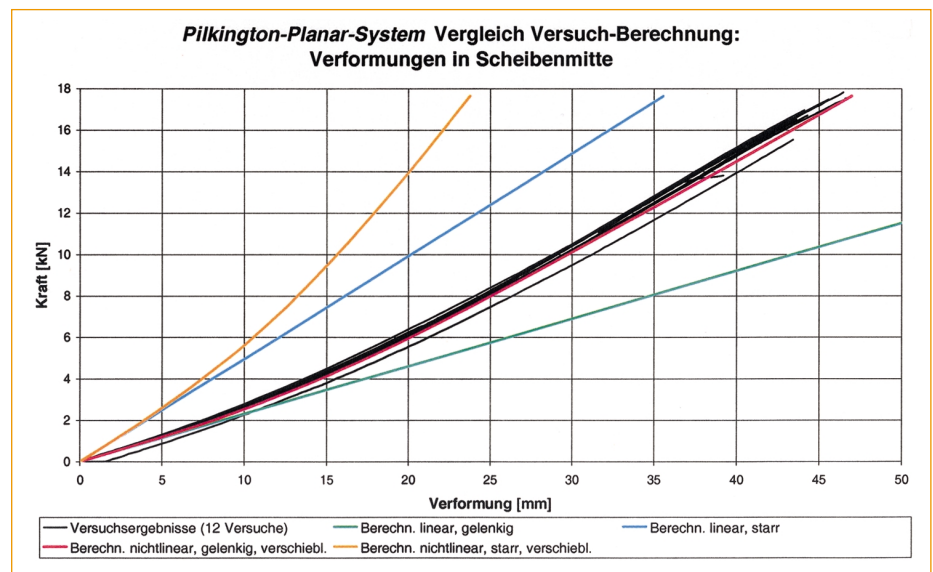


Bild 4: Vergleich zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen (Verformungen in Scheibenmitte)

für eine Scheibe mit der Fläche 1 m² in der Praxis jedoch nicht auf. Bei Annahme einer starren Lagerung werden die Dehnungen insbesondere im unteren, bemessungsrelevanten Bereich, überschätzt.

Schließlich wurde untersucht, inwiefern auch die Dehnungen im Bereich der Bohrungen in den Berechnungen realistisch wiedergegeben werden (Bild 6). Die Dehnungen wurden im Versuch ca. 3 mm von der Bohrungskante entfernt parallel zu den Scheibendiagonalen gemessen (Versuch 1 mit DMS, [5, 8]). Daher wurden auch

lich die Elastizitätsmodule der Zwischenmaterialien zu variieren [7].

Die globale statische Randbedingung gelenkig für den Glashalter kann daher auch hier bestätigt werden. Mit der Randbedingung starr können die gemessenen Dehnungen nur in einem sehr kleinen Bereich bis ca. 1,4 kN zutreffend wiedergegeben werden.

Stehen keine nichtlinearen Berechnungsmethoden mit Kontaktelementen

zur Verfügung, kann es sinnvoll sein, zur Abbildung der lokalen Effekte im Bohrungsbereich eine Grenzwertbetrachtung mit der Randbedingung starre Lagerung durchzuführen. Diese liegt dann deutlich auf der sicheren Seite. Obige Ergebnisse decken sich mit den Untersuchungen an anderen Punkthalersystemen in [7].

Fazit: Der Glashalter des „Planar“-Systems ist aufgrund der großen Steifigkeitsunterschiede zwischen den Stahlelementen und Silikonscheiben des Halters als gelenkig unterhalb

der Lasteinleitungsplatte einzustufen. Für den üblichen Einsatz im Bauwesen bei punktgelagerten Scheiben (z. B. bei Wind- und Schneebelastung) kann von einer ausreichenden Gelenkwirkung ausgegangen werden.

Für Berechnungsmodelle mit der Methode der finiten Elemente ist zu beachten, daß eine genaue Erfassung der Spannungsverteilung im Bohrungsbereich, z. B. mit nichtlinearen Berechnungsmethoden unter Verwendung von Kontaktelementen, erforderlich ist, um die Gelenkwirkung rech-

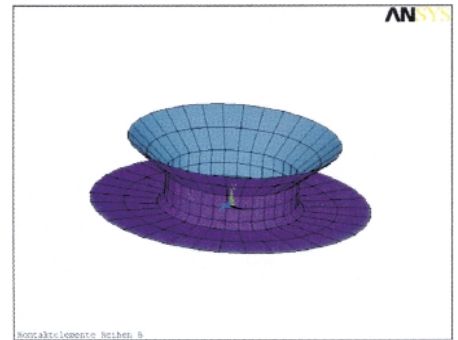


Bild 7: Darstellung der Kontaktelemente im Bohrungsbereich

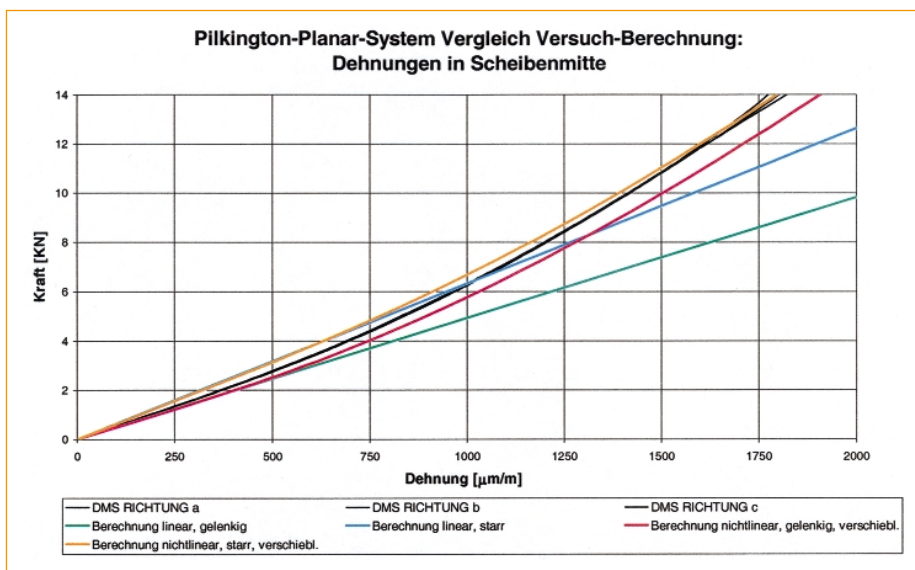


Bild 5: Vergleich zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen (Dehnungen in Scheibenmitte)

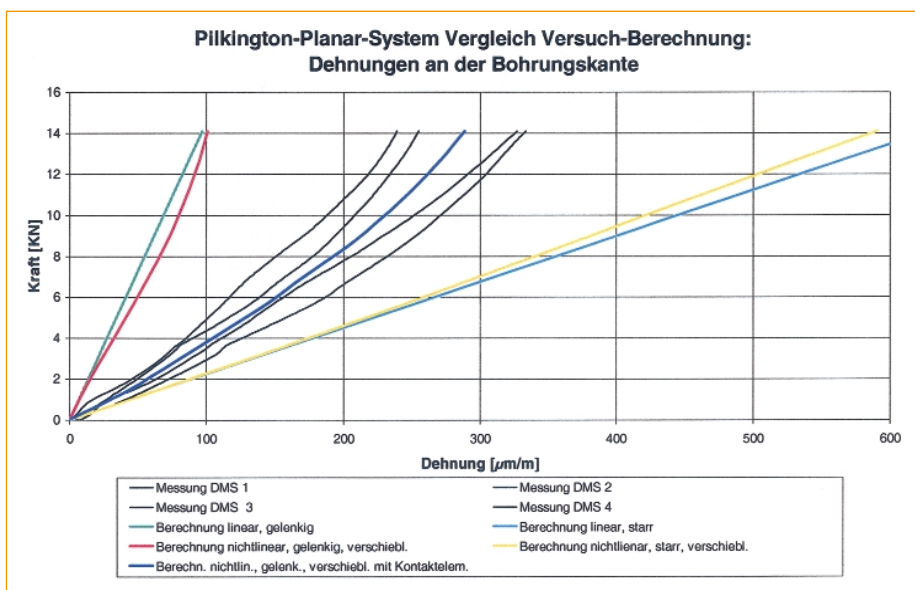


Bild 6: Vergleich zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen (Dehnungen im Bereich der Bohrungen)

nerisch ansetzen zu können. Stehen derartige Berechnungsmethoden nicht zur Verfügung, kann es sinnvoll sein, zur Abbildung der lokalen Effekte im Bohrungsbereich eine Grenzwertbetrachtung mit der Randbedingung „starre Lagerung“ durchzuführen. □

Literatur:

- [1] DIN 1249-10: Flachglas im Bauwesen, Chemische und physikalische Eigenschaften. Beuth, Berlin 1990.
- [2] Wörner, J.-D., Schneider, J., Fink, A.: Glasbau. Grundlagen, Berechnung, Konstruktion. Springer, Berlin 2001.
- [3] DIN 18 516-4: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet, Einscheiben-Sicherheitsglas. Beuth, Berlin 1990.
- [4] DIBt: Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen, Ausgabe September 1998. Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin 1998.
- [5] Muth, S.: Experimentelle und rechnerische Bestimmung der Tragfähigkeit von punktgelagerten Einfachverglasungen aus ESG. Diplomarbeit am Institut für Statik der TU Darmstadt, 2001, unveröffentlicht.
- [6] Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Landesstelle für Bautechnik: <http://www.lgabw.de/lfb>, Merkblätter aus dem Bereich Glasbau.
- [7] Schneider, J.: Festigkeit und Bemessung punktgelagerter Gläser und stoßbeanspruchter Gläser. Dissertation, Institut für Statik TU Darmstadt, in print.
- [8] Technische Universität Darmstadt, Institut für Statik: Versuchsbericht Nr. 123.1.01 vom 10. 04. 2001: Belastungsversuche an konisch gebohrten Einfach- und Isolierverglasungen.