

Zum Einfluß spezieller Schattenkonfigurationen auf die Wärmespannungen in sonnenbeschienenen Glasscheiben*)

Von Dieter Stahn und Ulrich Seidelmann, Freiburg i. Br.

(Mitteilung aus dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg i. Br.)

(Eingegangen am 12. Dezember 1980)

Dieser Beitrag setzt eine frühere Arbeit fort, worin für großflächige Fenster aus wärmeabsorbierendem Glas mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms berechnet wird, welche Wärmespannungen unter Einwirkung von Sonnenstrahlung bei teilweiser Abschattung der Scheiben entstehen. Die höchsten Zugspannungen treten an den Scheibenrändern auf; die maximalen Randzugspannungen können deutlich

erhöht sein, wenn neben rahmenbedingten Abschattungen noch zusätzliche Schlagschatten wirksam sind. In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluß einer als besonders gefährlich eingeschätzten Schattenkonfiguration mit einer keilförmigen Grenze von erwärmtem zu abgeschattetem Scheibenbereich systematisch untersucht, wobei die Größe des Keilwinkels variiert wird.

Effect of special shading patterns on thermal stresses in sunlit glass panes

This contribution continues a previous finite element analysis of the effect of partial shading of heat-absorbing building glass from solar radiation. The highest tensile stresses occur at the edges of the pane; the maximum edge tensile stresses, arising from the shading effect of the

frame, can be significantly increased by the effect of additional shading. In this work, the influence of a particularly dangerous shading pattern bordered by two intersecting diagonal shading lines is investigated by systematically varying the included angle.

De l'influence des configurations spéciales d'ombre sur les contraintes thermiques dans des vitrages ensoleillés

Cette étude fait suite à un travail antérieur dans lequel on étudie à l'aide d'un programme aux éléments finis les contraintes thermiques induites par le rayonnement solaire dans une fenêtre en verre absorbant lorsqu'une partie du vitrage est à l'ombre. Les contraintes de tension maximales se produisent au bord du vitrage et peuvent être notab-

lement accrues lorsque d'autres ombres s'ajoutent à celle introduite par l'encadrement. Dans ce travail on a étudié systématiquement l'influence d'une configuration d'ombre estimée particulièrement dangereuse, à savoir celle produisant une frontière en forme de coin entre une partie de vitrage chauffée et une partie de vitrage à l'ombre, l'angle de ce coin étant variable.

Ungleichmäßige Temperaturverteilungen in großflächigen Verglasungen rufen Wärmespannungen hervor. Diese überlagern sich mechanisch bedingten Belastungen und tragen – wie Schadensfälle im Bauwesen zeigen – in einigen Fällen nicht unerheblich zur Bruchgefährdung der Scheiben bei.

1. Problemstellung und Anmerkungen zum Lösungsweg

Temperaturdifferenzen in den Scheibenflächen werden häufig, insbesondere bei wärmeabsorbierenden Gläsern, verursacht durch Einwirkung von Sonnenstrahlung bei teilweiser Abschattung der Scheiben. Außer der Abschattung durch die Scheibenrahmen können zusätzliche Schatten, z. B. erzeugt durch Rolläden, Balkone, Mauervorsprünge usw., wirksam sein und erhöhte Zugspannungen hervorrufen. Dies ist besonders bedeutsam für die Ränder der Scheiben, wo – bedingt durch die Verarbeitung – aktivierbare Materialfehler normalerweise nicht auszuschließen sind. Über die Auswirkungen von randparallelen Schlagschatten an Längs- bzw. Querkannten von sonnenbeschienenen rechteckigen Glasscheiben auf die Wärmespannungen wurde bereits früher berichtet [1]. Im vorliegenden Beitrag (siehe auch [2]) werden wei-

tere Ergebnisse der numerischen Spannungsanalyse mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms mitgeteilt, und zwar für den bisher nicht näher untersuchten Fall einer nach der Erfahrung als besonders gefährlich geltenden Schattenkonfiguration mit einer keilförmigen Grenze von erwärmtem zu abgeschattetem Scheibenbereich, wobei die Spitze des Keils mittig an einer Rahmenabdeckung liegen soll und das Keilinnere erwärmt ist (siehe Einsatz in Bild 1). Die übrigen Annahmen für die Berechnungen sind die gleichen wie bei [1]: Scheibenformat (1 000 × 500) mm²; Rahmenabdeckung (Falzeinstand) 20 mm; Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = 20$ K zwischen erwärmtem und abgeschattetem Scheibenbereich. Der angenommene Temperatursprung an den Schattengrenzen simuliert die Wirkung von Schlagschatten in verschärfter Form (schlimmster Fall), was auf Grund der damit verbundenen Überbewertung der resultierenden Wärmespannungen zu konservativen Aussagen hinsichtlich der ertragbaren thermischen Beanspruchungen führt. Die Scheiben sollen bei ihrer thermisch bedingten Deformation keinen mechanischen Kräften infolge ihrer Halterung in den Rahmen unterworfen sein.

2. Ergebnisse

Die Bild 1 zugrunde liegende Belastungssituation ist in dem Bildeinsatz wiedergegeben. Dabei wird angenommen, daß die Spitze der keilförmigen Grenze von erwärmtem zu abgeschattetem Scheibenbereich mittig auf die

*) Teil eines Vortrages, gehalten auf der International Conference on Thermal Stresses in Materials and Structures in Severe Thermal Environments am 20. März 1980 in Blacksburg, Virginia (USA).

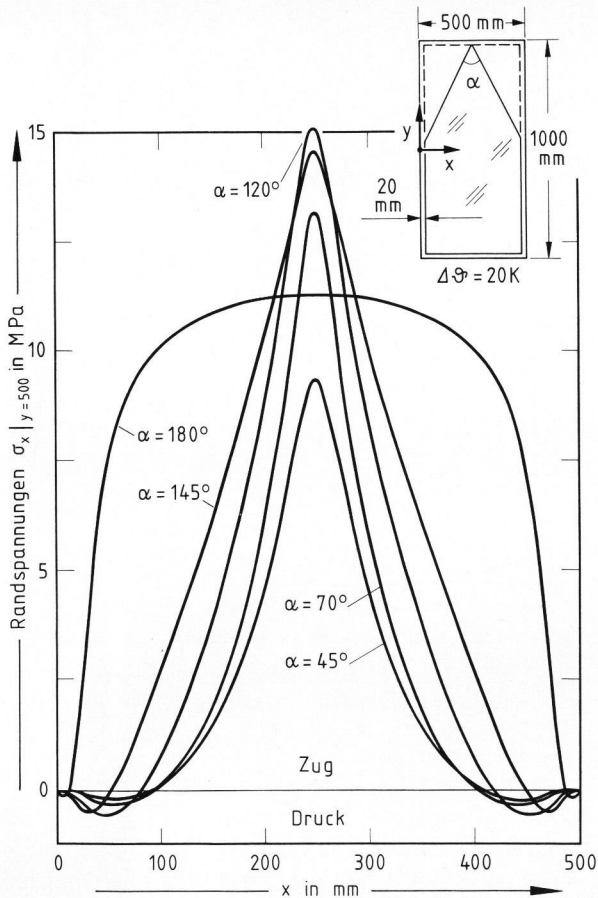


Bild 1. Verteilung der tangentialen Wärmespannungen σ_x an der oberen Querkante einer sonnenbeschienenen, teilweise abgeschatteten Glasscheibe (siehe Bildeinsatz) für verschiedene Winkel α an der keilförmigen Grenzlinie zwischen erwärmtem und abgeschattetem Scheibenbereich. (Angenommene Temperaturdifferenz $\Delta\theta = 20\text{ K}$, Dehnungsmodul $= 7,43 \cdot 10^4\text{ MPa}$, linearer Wärmeausdehnungskoeffizient $= 8,2 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$) [2].

Rahmenabdeckung an der Oberkante stößt. Das Diagramm zeigt die Verteilung der tangentialen Randzugspannungen σ_x entlang der Scheibenoberkante ($y = 500\text{ mm}$) für verschiedene Werte des Keilwinkels α . (Der Fall $\alpha = 180^\circ$ stellt den Vergleichsfall dar, bei dem nur die rahmenbedingten Abschattungen wirksam sind.) Nach Bild 1 erreichen die Zugspannungen am oberen Scheibenrand ihr Maximum stets in Randmitte ($x = 250\text{ mm}$). Je nach Größe des Winkels α kann der Maximalwert der Spannungen σ_x größer oder auch kleiner als im Vergleichsfall $\alpha = 180^\circ$ sein; die Ausdehnung des Spannungsmaximums über den oberen Scheibenrand für die verschiedenen Winkel α ist gegenüber dem Vergleichsfall stets auf einen sehr viel engeren Bereich beschränkt.

Bild 2 zeigt die in der Mitte der Scheibenoberkante vorliegende tangential Zugspannung σ_x in Abhängigkeit vom Winkel α der zusätzlichen Abschattung. Man ersieht daraus, daß die Spannungsüberhöhung am Scheibenrand vor der Keilspitze am größten ist, wenn $\alpha \approx 120^\circ$ beträgt.

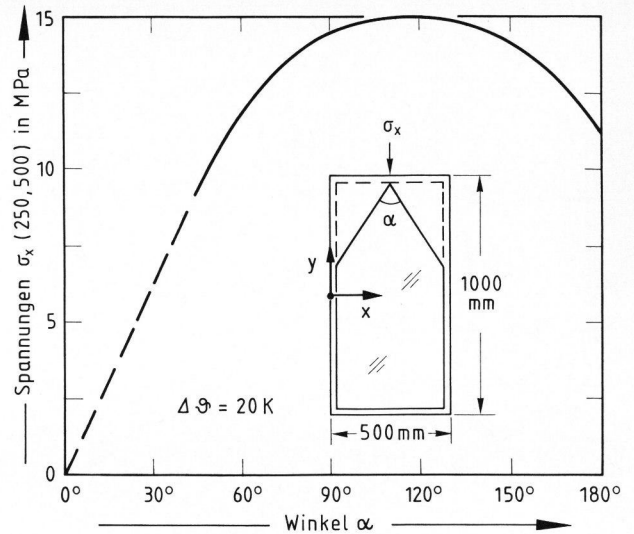


Bild 2. Maximale Randzugspannung σ_x in der Mitte der oberen Scheibenquerkante in Abhängigkeit vom Keilwinkel α .

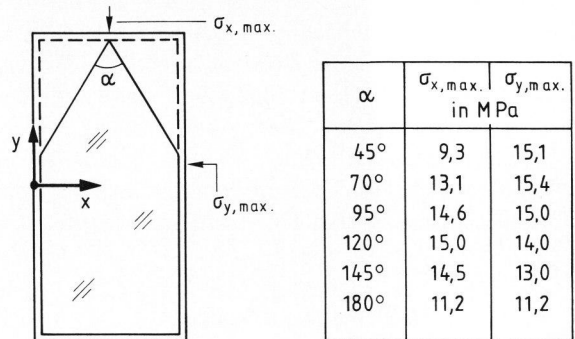


Bild 3. Maximale Randzugspannungen $\sigma_{x,max}$ und $\sigma_{y,max}$ an der oberen Scheibenquerkante bzw. den Scheibenlängskanten für verschiedene Keilwinkel α [2].

Dieser Maximalwert der Spannung $\sigma_x(250, 500)$ liegt um etwa 34 % höher als im Vergleichsfall $\alpha = 180^\circ$.

Bei einem Überblick über das gesamte resultierende zweidimensionale Spannungsfeld wurde gefunden, daß unter den zugrunde liegenden Voraussetzungen bei der betrachteten Schattenkonfiguration eine noch höhere tangential Zugspannung am Scheibenrand auftreten kann. Sie liegt für $\alpha = 70^\circ$ an den Scheibenlängskanten nahe denjenigen Stellen vor, wo die Schenkel der keilförmigen Grenzlinie seitlich auf die Rahmenabdeckungen treffen (siehe Bild 3). Die Spannungsüberhöhung von σ_y beträgt hier gegenüber dem Vergleichsfall $\alpha = 180^\circ$ etwa 38 %.

Es sei nun der Fall behandelt, daß die Spitze der keilförmigen Grenze von erwärmtem zu abgeschattetem Scheibenbereich mittig an der Rahmenabdeckung einer Scheibenlängskante liegt. Wie aus Bild 4 zu ersehen ist, wird hier der absolut höchste Randzugspannungswert vor der Keilspitze am Scheibenrand bei einem Keilwinkel $\beta \approx 120^\circ$ erreicht. Dabei ist die tangential Spannung

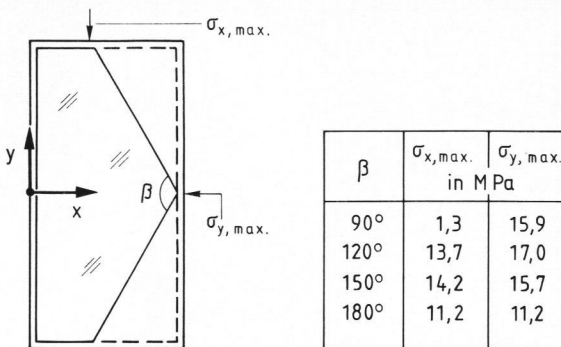


Bild 4. Maximale Randzugspannungen $\sigma_{x, \max.}$ und $\sigma_{y, \max.}$ an den Scheibenquerkanten bzw. der rechten Scheibenlängskante für verschiedene Keilwinkel β [2].

$\sigma_{y, \max.}$ um etwa 52 % gegenüber dem entsprechenden Wert des Vergleichsfalls $\alpha = 180^\circ$ erhöht. Von allen bisher untersuchten Schattenkonfigurationen stellt dies den gefährlichsten Fall hinsichtlich der Auswirkungen auf die Randzugspannungen dar. Bei einer Beurteilung der daraus resultierenden Bruchgefährdung für eine Glasscheibe hat man allerdings auch den Umstand zu berücksichtigen, daß die Ausdehnung dieses Spannungsmaximums über den Scheibenrand gegenüber dem Vergleichsfall $\beta = 180^\circ$ sehr eng begrenzt ist (siehe Bild 5), was nach statistischen Überlegungen über die Verteilung von Materialfehlern die Bruchwahrscheinlichkeit unter Umständen verringert.

3. Schlußbemerkungen

Insgesamt gesehen läßt sich feststellen, daß die Auswirkungen zusätzlicher Schlagschatten auf den Höchstwert der Zugspannungen an den Scheibenrändern – gemessen am Beitrag der rahmenbedingten Abschattungen – von eher untergeordneter Bedeutung sind; in einer Reihe von Fällen sind sie erheblich geringer als bisher [3] angenommen wurde.

Um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher Wärmespannungen in wärmeabsorbierenden Ver-

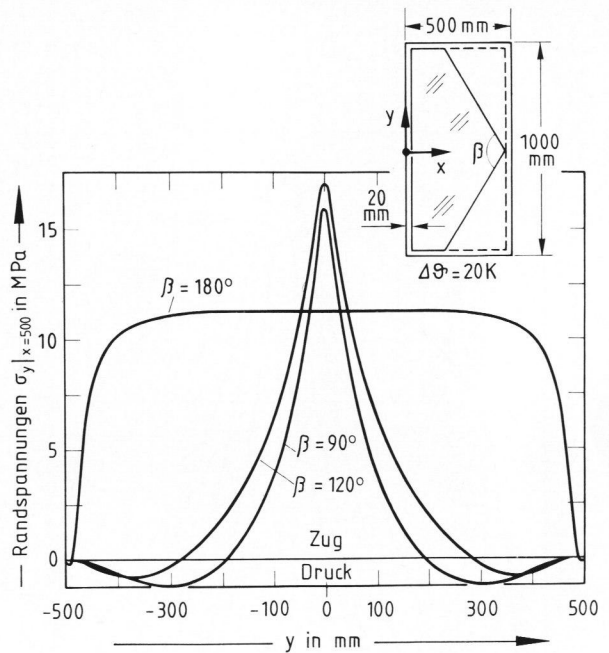


Bild 5. Verteilung der tangentialen Randzugspannungen σ_y an der rechten Scheibenlängskante für verschiedene Keilwinkel β [2].

glasungen im Bauwesen zu verringern, sollte das Hauptgewicht der Bemühungen daher mehr auf eine Optimierung der Breite der Randabdeckung (Falzeinstand) der Glasscheiben, auf eine Optimierung der thermischen Eigenschaften (Wärmeabsorption, -leitvermögen, -kapazität usw.) der Rahmenmaterialien und auf eine Optimierung des Wärmeüberganges zwischen Glasscheiben und Rahmen gelegt werden.

Die Autoren danken der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF), Köln, und der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. (HVG), Frankfurt (Main), für ihre Unterstützung dieser Untersuchungen.

4. Literatur

- [1] Stahn, D.: Wärmespannungen in großflächigen Verglasungen. Glastechn. Ber. 50 (1977) S. 149–158.
- [2] Stahn, D.: Thermal stresses in heat-absorbing building glass subjected to solar radiation. In: Hasselman, D. P. H. und Heller, R. A. (Hrsg.): Proc. Int. Conf. Thermal Stresses in Materials and Structures in Severe Thermal Environments, Virginia Polytechn. Inst. State Univ., Blacksburg 1980. New York, London: Plenum Press 1980. S. 305–323.
- [3] Tinted glass. Pittsburgh Plate Glass Industries, Techn. Service Report No. 104 C.

81R0144