

Tragendes Glas?

Autor(en): **Bosshard, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 27/28

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78742>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

asic-Reihe: Neuzeitliche Aufgaben
Walter Bosshard

Tragendes Glas?

Entmaterialisierung und Transparenz sind Grundtendenzen heutiger Architektur. Immer öfter wird dem Ingenieur für die Tragkonstruktion im Hochbau die Frage gestellt, ob Glas tragende Funktionen ausserhalb der engen Grenzen konventioneller Verglasungstechnik übernehmen könne. Eine Antwort wird nachfolgend in drei Schritten gesucht: ein Streifzug durch die Geschichte des Fensterglases von den gotischen Kathedralen bis zu den spektakulären Glasarchitekturen unseres Jahrhunderts soll zuerst zeigen, wo wir heute bezüglich industrieller Glasproduktion, Tragfunktion und Konstruktion stehen. Als zweites wird der Stand unserer praktischen Bemessungsverfahren für Glas im Lichte der nun zwei Jahrzehnte alten Bruchmechanik von Glas kritisiert. Schliesslich folgt eine differenzierte praktische Antwort auf die Titelfrage.

Kleiner Streifzug durch die Geschichte des Fensterglases

Fensterglasproduktion

Glas hat Bauherren, Baumeister, Architekten fasziniert, seit es als durchscheinendes, später als durchsichtiges Fensterglas verfügbar wurde (Tabelle 1). Effiziente industrielle Produktionsverfahren (Ziehverfahren) für transparente Glastafeln grossen Massstabs gibt es seit 1914, sekurisiertes Glas (Einscheiben-Sicherheitsglas, ESG) seit 1930. Gegossenes Glas ist durchscheinend, aber nicht durchsichtig; durch Schleifen und Polieren erhält man daraus Spiegelglas, ein Verfahren, das 1662 erfunden wurde. Die Spiegelglastechnologie erreichte ihren Höhepunkt mit Formaten bis 2,5×20 m nach dem zweiten Weltkrieg. Ab 1960 wurden das gezogene Glas und das Spiegelglas durch das Floatglas verdrängt.

Glasarchitektur, Tragfunktion und Konstruktion

Jedes Produktionsverfahren für Fensterglas hat seine «Kathedralen» hervorgebracht (Bilder 1 bis 4). Aus der Sicht der Tragfunktion ist eine normale vertikale Verglasung aus Einzelscheiben aufgebaut, welche die lokalen Druckunterschiede (Windkräfte) zwischen innen und aussen aufnehmen und über Rahmen und eventuell

Sprossen zur Haupttragkonstruktion weiterleiten. Die Markthallen-, Bahnhofhallen- und Gewächshausverglasungen des 19. Jahrhunderts gehen über diesen Normalfall hinaus, indem Gläser auch «über Kopf» schräg bis horizontal eingebaut wurden. Die lokale Tragfunktion erweitert sich auf Schneelasten, eingestautes Wasser und Personenlasten bei der Begehung durch Unterpersonal.

Aussergewöhnlich ist das Palm House in Bicton, eine Eisen-, Glas- und Kuppelkonstruktion von rund 8 m Grundrissdurchmesser (Bild 7). Ein Zeitgenosse aus der Erstellerzeit sei dazu zitiert: «Als das Eisenwerk aufgestellt, aber noch nicht verglast war, konnte der leiseste Wind das Ganze von oben bis unten in Bewegung bringen ... Sobald das Glas eingesetzt war, erwies es sich als vollkommen stabil.» Dem Glas ist in diesem Fall die Haupttragfunktion der Ausfachung des sonst labilen Gitterwerks der Sprossen zugewiesen worden. Die langjährige Bewährung dieser kühnen Konstruktion dürfte sowohl dem handwerklichen Geschick ihrer Erbauer bei der Fügung der Verglasung wie der geringen Abmessung des Bauwerks zuzuschreiben sein. Mick Eekhout berichtet in [3], diese Art der Ausfachung durch die Glasscheiben sei im 19. Jahrhundert bei Gewächshäusern allgemein verbreitet gewesen. Die relativ kleinen Glasscheiben wurden mit Fensterkitt in das Gitterwerk eingefügt.

Bei sehr grossen Glastafeln wie in Bild 3 kann beim Abstellen das Ausknicken unter Glaseigenlast für die Bemessung der Glasdicke bestimmend werden. Weil der

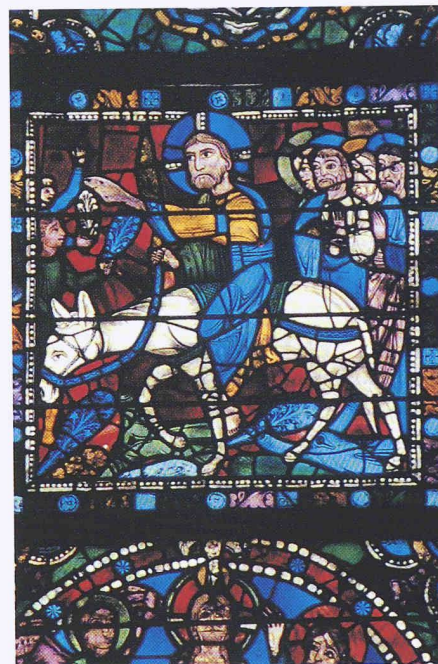


Bild 1. Kathedrale von Chartres, 1220. 2600 m² Glasgemälde. Geblasene, bleigefasste Einzelscheiben

Preis von Glas mit der Dicke überproportional anwächst, wurden solche Spiegelglastafeln am oberen Rand aufgehängt und mit geklebten vertikalen Glasrippen als Aussteifung versehen.

Die Konstruktion der Verglasung der Gewächshäuser bei der Cité des sciences et de l'industrie von Peter Rice (Bild 4, [2]) nimmt dieses Vorhangprinzip auf; aufgehängt werden hier aber Felder von 4×4 an den Ecken punktuell verbundenen ESG-Tafeln von 2×2 m Abmessung und 12 mm Dicke (Bild 5). Die Aussteifung quer zur Glasfläche übernehmen vorgespannte Seil-

Überarbeitete Fassung eines Vortrags an der Monatsversammlung des BSA Zürich vom 31. März 1994 im Konferenzzentrum Grünhof der SBG.

Zeit	Produktion		Formate	Ausstoss einer Produktionseinheit
	Giessen	Blasen Ziehen		
um 0, Rom	Fenstergläser		bis 70×100 cm	
Mittelalter		Zylinderblas- und Streckverfahren	20×20 cm bleigefasst	Waldglashütten einige m ² /d
1662	Giessen, Schleifen, Polieren: Spiegelglas			
18./19. Jh.		bessere Öfen	bis 1,9×1,9 m	einige 100 m ² /d: Tafelwalzen
1914		Ziehverfahren		
1930		ESG «Sekurite»		
1960			bis 2,5×20 m	6000 m ² /d
ab 1960	Floatglas		321×600 cm	35 000 m ² /d und mehr

Tabelle 1. Kleine Geschichte des Glases im Hochbau

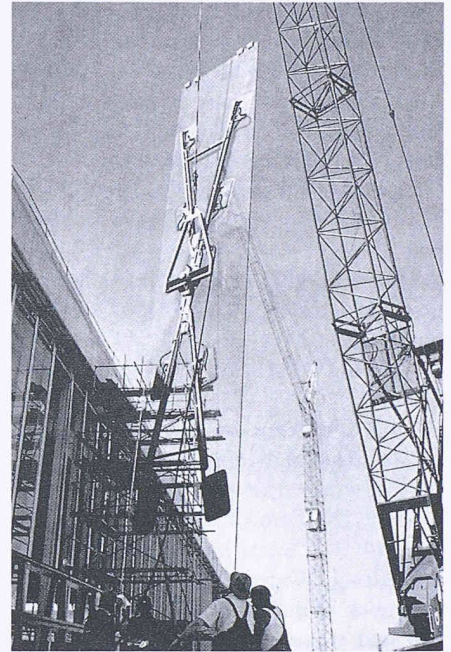


Bild 3.
Maison de la Radio von H. Bernard, Paris 1963.
Grossformatige hängende Spiegelglastafeln

Bild 2.
Kristallpalast von J. Paxton, London 1851.
Verglasung 84 000 m², ein Drittel der damaligen
Jahresproduktion von Fensterglas in England

balken, welche die Eckverbindungen stützen. Die Punktverbindungen zu den Glastafeln sind zum Glas exakt zentrische, momentenfreie Kugelgelenke mit Teflonschicht in der Gelenkpflanne. Die Aufhängung der Tafelfelder am rostfreien Stahlskelett erfolgt über vorgespannte Stahlfedern (Bild 6), welche in der Konstruktion die zähe Verformungskennlinie simulieren,

die ihr von den Materialeigenschaften des Glases her fehlt. Die Glasfelder sind mit diesen Verbindungen in der Lage, den schlagartigen Ausfall einer Tafel ohne weiteren Schaden aufzufangen. Die Fugen zwischen den Glastafeln sind mit Silikon geschlossen.

Ähnliche Konstruktionen mit vorgehängartig überlokal tragendem Glas und Seilverspannung der Flächen hat Mick

Eekhout jüngst realisiert [3]. Auffallend ist bei Rice und Eekhout der vorsichtige, konstruktiv aufwendige Umgang mit dem spröden Material Glas.

Ein Jahrhundertbauschaden als Warnung

Realisierte Kathedralen haben eine weitreichende Vorbildwirkung. Rasch ver-



Bild 4.
Gewächshäuser der Cité des sciences et de l'industrie von Aadrien Fainsilber und Peter Rice, Paris 1990. Hängende, mit vorgespannten Seilträgern senkrecht zur Glasebene gehaltene Tafelfelder aus sekurisiertem Floatglas

gessen werden die Fehlschläge. Auch bei den «Glaskathedralen» unserer Zeit hat es lehrreiche Fehlschläge gegeben. Grösste Ausmasse erreichten die Schäden am John Hancock Tower in Boston (Bild 8) mit 10 344 Doppelverglasungseinheiten an 60 Geschossen bei einer Gebäudehöhe von 200 m. Die Verglasung wies folgenden Aufbau auf:

- Erste Verglasung geschliffenes Spiegelglas, Innenfläche Aussenglas silberbeschichtet;
- Zweite Verglasung sekurisiertes Floatglas.

Als Schadenursache wurde ein gelöteter Bleisteg-Randverbund ermittelt. Dieses System wurde seit 1930 verwendet: Thermopane. Neu waren die Grösse der Einheiten (114×292 cm) und die Silberbeschichtung. Wegen der hohen Exposition bezüglich Wind und Temperaturdifferenzen und wegen der knappen Bemessung der Scheibendicke im unteren Teil des Hochhauses entstanden Ermüdungsrisse im Randverbund, welche sich systematisch in die Aussenscheiben fortpflanzten und diese zerstörten.

Wohl auch auf Grund dieses Schadenfalles hat gelötetes Isolierglas seine Marktstellung verloren. Heute dominiert bei Doppelverglasungseinheiten der organisch geklebte Randverbund. Der Fall John Hancock Tower ist eine Warnung an alle, welche mit Glas im Hochbau Neues entwickeln und bauen oder auch nur Bewährtes in eine neue Grössenordnung übertragen wollen. Konstruieren bei der Tragkonstruktion ist fast ausschliesslich Konstruieren mit zähen Baustoffen und Bauteilen. Ein entscheidender Teil der Konstruktionsregeln des Stahlbetons, des Stahlbaus, des Holz- und Mauer-

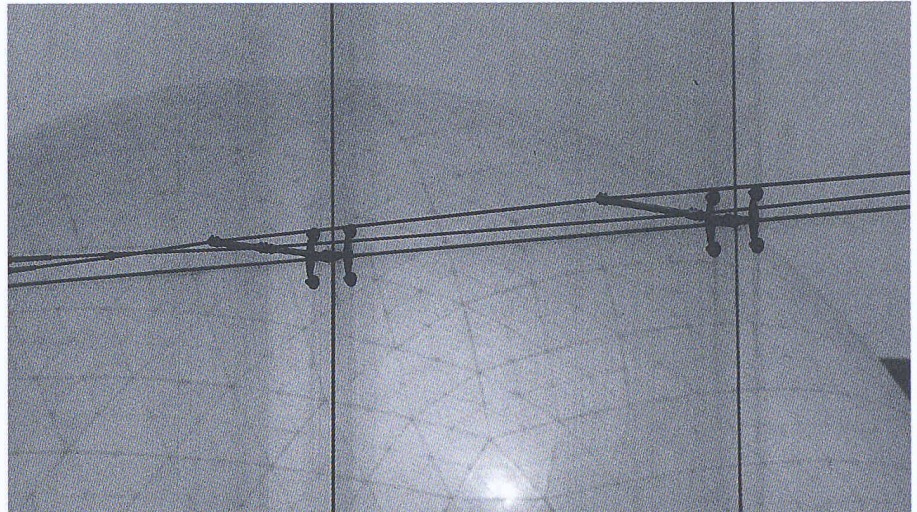


Bild 5.
Detail zu Bild 4:
Hängende, in den Eckpunkten verbundene ESG-Tafeln 2×2 m mit Seilverspannung

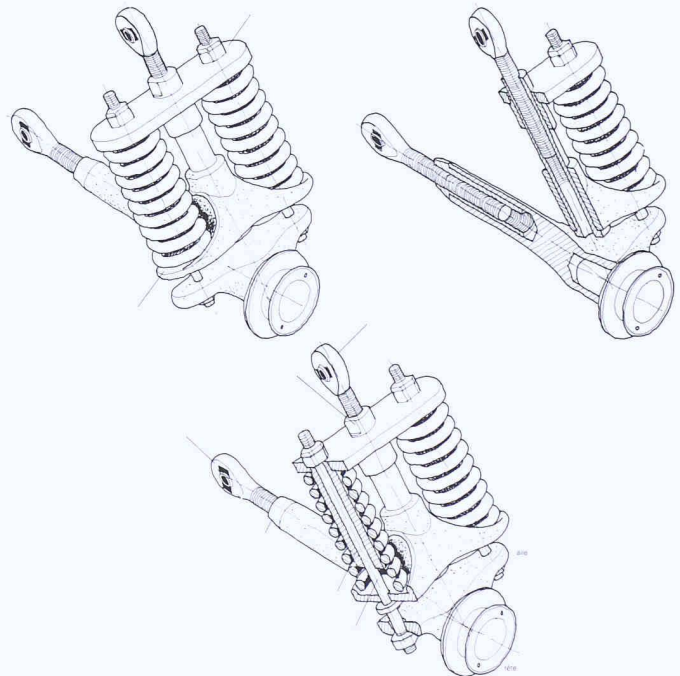
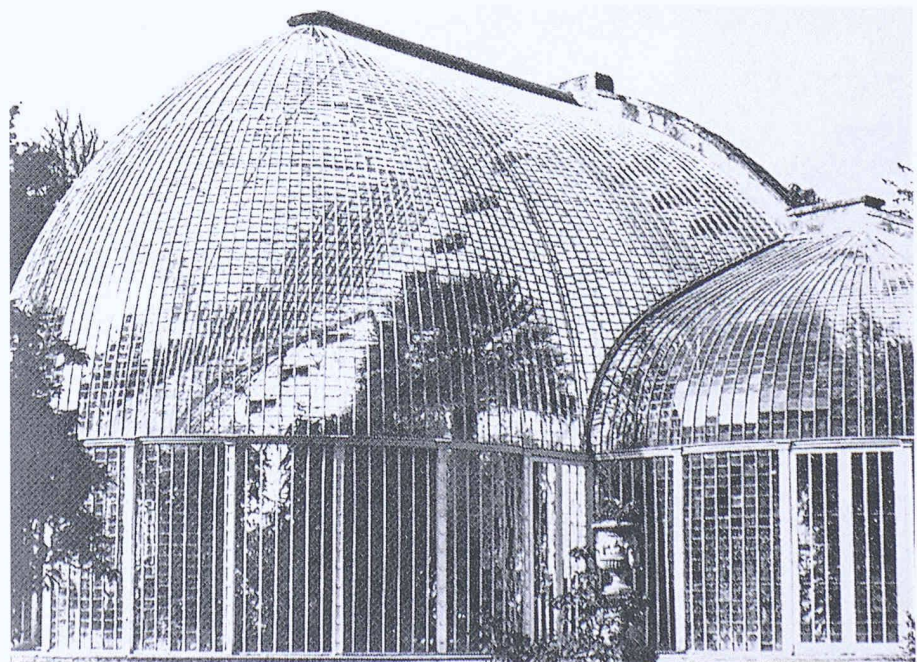


Bild 6.
Detail zu Bild 4:
Vorgespanntes Feder-element zur Simulation der fehlenden Zähigkeit bei der Aufhängung der Tafelfelder am Traggerüst

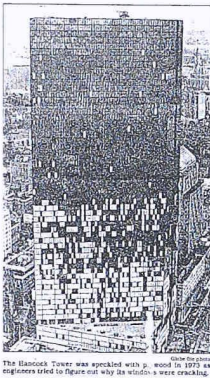
Risstiefe	Schwelle für Spannungsrissskorrosion
1 μ	100 N/mm ²
10 μ	32 N/mm ²
45 μ	15 N/mm ² , Annahme für die Glasdickenbemessung (CH-Glasnorm 03)
100 μ	10 N/mm ²
1000 μ	3 N/mm ²

Tabelle 2.
Schwellenspannungen für Spannungsrissskorrosion

Bild 7.
Palm House von H. und D. Bailey, Bicton England, 1843. Kuppelkonstruktion mit aussteifender Tragwirkung der gekitteten Glasscheiben



IT WAS A TOWER OF TRIBULATION



The Hancock Tower was speckled with p. wood in 1973 as engineers tried to figure out why its windows were cracking.

Bild 8. John Hancock Tower von I.M. Pei & Partner, Boston 1965–1976. Pressefoto Boston Globe 1973, mit Sperrholzverkleidungen bei den ausgebauten gebrochenen Verglasungseinheiten

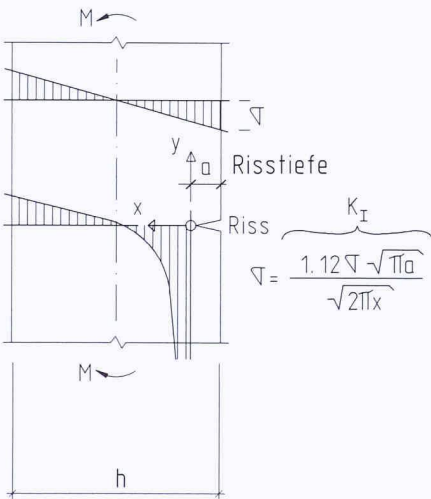


Bild 10. Geschwindigkeit der Rissausbreitung in Funktion von Spannungsintensitätsfaktor und Umgebungsbedingungen

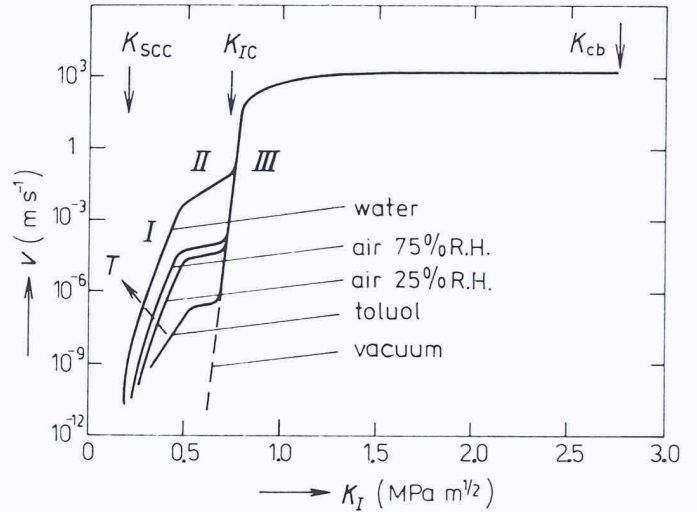


Bild 9. Schnitt durch einen Glasplattenstreifen der Dicke h, mit Spannungsverteilung am ungestörten Querschnitt und am Querschnitt mit Riss

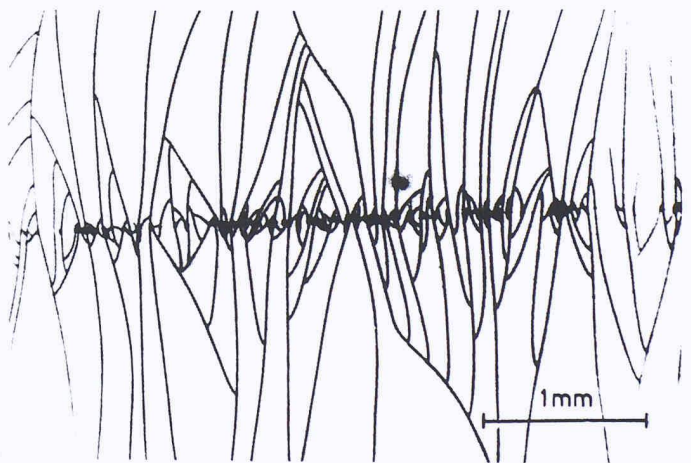


Bild 11. Mikrorisse in Glasoberfläche, verursacht durch Reiben mit einem Glasstab und sichtbar gemacht durch Ionenaustausch (Bild F.M. Ernberger)

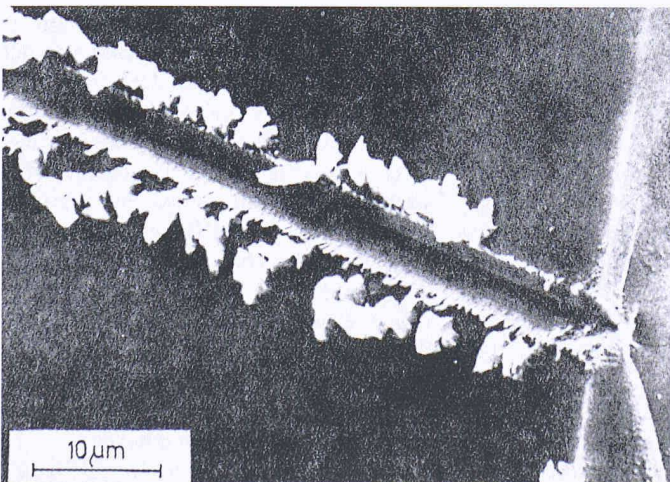


Bild 12. Spur eines Diamanten auf Fensterglas. Winkel der Spitze 70°, Auflagekraft 0,05 N, Kratzgeschwindigkeit 1 µm/sec (Bild H. Huber)

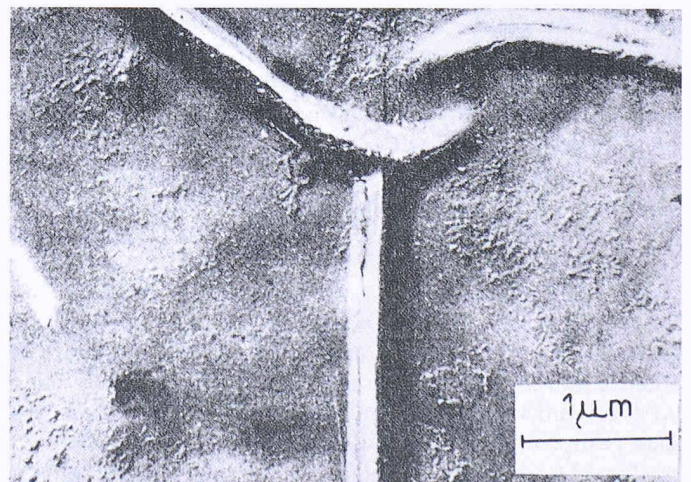


Bild 13. Spur eines harten Staubkorns beim Polieren einer Glasoberfläche (Bild S. Minar)

werksbaus zielt darauf, duktilen Verhalten sicherzustellen. Nur unter dieser entscheidenden Voraussetzung können wir so gelassen mit Last und Zwang umgehen, wie wir es bei unseren Tragkonstruktionen tun, ohne wirklichen Respekt vor unbekanntem Zwängen, lokalen Schwachstellen und Spannungskonzentrationen, weil wir der «Schlauheit» des Materials fast blind vertrauen können. Glas verfügt nicht über diese Schlauheit. Deshalb ist Konstruieren mit Glas etwas grundsätzlich Neues und anderes.

Bruchmechanik von Glas

Bei näherem Hinsehen zeigt sich sogar, dass die technische Festigkeitslehre, welche beispielsweise auch der praktischen Glasdickenbemessung im Fensterbau zugrundeliegt [1], die wesentlichen Einflussgrößen für das Versagen von Glas gar nicht zur Kenntnis nimmt. Bild 9 zeigt einen Schnitt durch einen Plattenstreifen der Dicke b aus elastischem Material. Ein Biegemoment M [Nm/m] erzeugt im ungestörten Querschnitt nach der technischen Biegelehre eine lineare Spannungsverteilung mit der Randspannung $M/(b^2/6)$. Ist in der Oberfläche ein Riss der Tiefe a mit scharfer Rissspitze vorhanden, so entsteht eine sehr hohe Spannungskonzentration nach dem Gesetz

$$(1) \quad \sigma = K_1 / \sqrt{2\pi a} \\ \text{mit } K_1 = 1,12 \sigma \sqrt{2\pi a}$$

Der Spannungskonzentrationsfaktor K_1 bestimmt nun über die Geschwindigkeit der Rissausbreitung (Bild 10):

- unterhalb einer Schwelle K_{scc} für K_1 findet kein Risswachstum statt (der Fusszeiger scc steht für Spannungsrisskorrosion).

- über der Schwelle K_{scc} für K_1 gibt es einen Bereich langsamen Risswachstums, wobei das Wasser als Korrosionsmittel wirkt. Am langsamsten wachsen die Risse im Vakuum, am schnellsten unter Wasser.

- Oberhalb einer Grenze K_{ic} für K_1 erfolgt der Bruch sehr rasch.

Feine und feinste Risse und Kratzspuren in Fensterglas sind unvermeidlich. Die Bilder 11 bis 13 zeigen in verschiedenen Vergrößerungen solche Verletzungen der Oberfläche. Fensterglas hat die Ritzhärte 5 bis 6. Es wird von gehärtetem Stahl, von allen Feldspatmineralien, von Quarz, Korund und Diamant geritzt.

Die dargestellten Kratzer haben die Größenordnung von 1 bis 10 μ . Im Gebrauch sind auch grössere Kratzer unver-

Funktion des Glases	Antwort auf die Eignungsfrage
Kräfte einleiten und an die Tragkonstruktion weitergeben: Verglasungen	Ja, aber <ul style="list-style-type: none"> ▪ nur bewährte Systeme verwenden, und nur in dem Bereich von Grösse, Lage, Lagerung, Material, Belastung und Umgebungsbedingungen, in dem die Bewährung wirklich nachgewiesen ist ▪ Neuerungen als Prototypen behandeln und nur in kleiner Zahl einsetzen ▪ Alle Regeln der Hersteller bezüglich Klotzung, Lagerung, Fugen und Handhabung einhalten
Kräfte weiterleiten von Glas über Glas an Tragkonstruktionen und Fundationen: hängende, seitlich gestützte Scheibenketten und Scheibenfelder. Ganzglasanlagen	Ja, eventuell, aber <ul style="list-style-type: none"> ▪ nur mit ESG oder VSG ▪ nur mit einem objektspezifisch durchdachten Sicherheitskonzept ▪ bei Verbindungsmitteln darf nie direkter Kontakt Glas - Glas oder Glas - Stahl entstehen, auch nicht unter Last oder nach Alterung der Fugenmaterialien ▪ im Gegensatz zu normalen Tragwerken müssen Zwangserscheinungen vollständig beherrscht werden. Eine Gutmütigkeit des Materials bei unkontrolliertem Zwang gibt es bei Glas nicht ▪ ist der Entwicklungs-, Planungs- und Konstruktionsaufwand zur Lösung dieser Probleme gerechtfertigt? Wer bezahlt ihn?
Kräfte ableiten von Tragwerksteilen über Glas auf andere Tragwerksteile: beispielsweise Verbandswirkung von Glasscheiben oder Tragwände und Stützen aus Glas	Nein, nie

Tabelle 3.
Eignung von Glas für Tragelemente

meidlich, ebenso die Feuchtigkeit der Luft. Bei 75% relativer Feuchtigkeit erhält man in Funktion der Risttiefe die in der Tabelle 2 aufgeführten Schwellenspannungen für Spannungsrisskorrosion.

Man erkennt aus diesen Zahlen, dass die Spannungen aus technischen Festigkeitsberechnungen für den Werkstoff Fensterglas wenig aussagen. Die massgebenden Parameter sind - neben dem Spannungsniveau nach der technischen Festigkeitslehre - die vorhandenen Risttiefen und der Wassergehalt der Umgebung. Das hat weitreichende Folgen: die Vorgabe von Bemessungsspannungen ist sinnlos, wenn man die unvermeidlichen Kerben, Kratzer und Anrisse, die Spannungen aus Zwang sowie die Spannungsspitzen an Kontaktstellen mit anderen Bauteilen und Verbindungsmitteln nicht kontrollieren kann. Um mit Glas den Zuverlässigkeitsansprüchen zu genügen, welche normalerweise an Tragelemente gestellt werden, wären demnach folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Kontrolle der Riss- und Kerbtiefen im Lieferzustand;
- Kontrolle der Riss- und Kerbeinflüsse beim Transport, beim Handling auf der Baustelle und während der Nutzung;
- Konstruktive Vermeidung von unkontrollierten Zwangsspannungen;
- Konstruktive Vermeidung von lokalen Spannungsspitzen, wie beispielsweise aus dem kraftschlüssigen Kontakt mit Stahl oder anderen harten Materialien im Ver-

bindungsbereich, während der ganzen Nutzungsdauer.

Nur in einem so unter Kontrolle gebrachten Umfeld ist ein sinnvolles Bemessungskonzept für Glastragelemente denkbar, zum Beispiel in der einfachen Form:

$$(2) \quad \text{Lastfaktor} \cdot K_1 < K_{scc} / \text{Widerstandsbeiwert}$$

Für die richtige Einschätzung der Lastseite muss, neben den Einwirkungen, die maximale Riss- oder Kerbtiefe im Lieferzustand bekannt sein, welche in K_1 eingeht. K_{scc} ist abhängig vom Wassergehalt der Umgebung und vom Material. Diese bruchmechanischen Daten für das bei uns kommerzialisierte Fensterglas sind zurzeit nur der Größenordnung nach aus der Literatur bekannt [4]. Es wäre eine vornehme Aufgabe der Industrie- und Hochschulforschung, diese Grundlagen bereitzustellen. Man kann davon ausgehen, dass eine sinnvolle Nutzung von Glas bei Tragelementen auch mit einem bruchmechanischen Bemessungskonzept nur mit ESG oder Verbund-sicherheitsglas (VSG) möglich sein wird. Von Bedeutung ist deshalb auch die Frage, ob der Heat-Soak-Test bei ESG eine Gewähr für die Einhaltung bestimmter maximaler Riss- und Kerbtiefen bietet.

Technische Bemessungsregeln haben neben ihrem praktischen Nutzen auch einen erzieherischen, aufklärerischen Zweck: durch diese Regeln werden Planer

und Konstrukteure veranlasst, die wesentlichen Parameter eines Konstruktions- und Bemessungsproblems überhaupt zur Kenntnis zu nehmen. So gesehen sind heute noch als «Stand der Technik» geltende Regeln für die Glasdickenbemessung wie [1] wertlos. Es wäre an der Zeit, sie durch Regeln auf bruchmechanischer Grundlage zu ersetzen. Erreicht würde damit, dass das weit fortgeschrittene Gedankengebäude der Bruchmechanik mit der spannungsanalytisch gestützten Erfassung der Bauteilgeometrie in die Konstruktion Eingang fände. Ohne dieses Hilfsmittel ist Konstruieren auf hohem Sicherheitsniveau mit spröden Werkstoffen nicht möglich.

Auch mit verbesserten theoretischen Grundlagen und einer besseren Kontrolle über die Imperfektionen im Lieferzustand, wie beispielsweise mittels Heat-Soak-Test bei jeder ESG-Tafel, werden sich allerdings nicht alle Vorbehalte gegenüber tragendem Glas ausräumen lassen. Die Hypothek des spröden Verhaltens ist zu gross: in der Praxis muss im öffentlichen Raum auch mit ausserordentlichen Einwirkungen (Stein-

würfen, Schüssen, Explosionen) gerechnet werden. Deshalb muss jede Anwendung von Fensterglas oder ESG in, gegenüber normalen Verglasungen, erweiterter Tragfunktion in ein objektspezifisches Sicherheitskonzept eingebettet werden. Mögliche Massnahmen zur Beherrschung der Gefahren des spröden Glasbruchs und der abstürzenden Scherben sind beispielsweise:

- Beschränkung der erweiterten Tragfunktion auf das Sinnvolle;
- Fernhalten von Personen vom splittergefährdeten Bereich;
- Einsatz von Verbundsicherheitsglas.

Folgerungen und Beantwortung der Titelfrage

Mit diesen Vorbereitungen ist eine Antwort auf die Titelfrage aus praktischer Sicht und auf dem Boden heutiger Kenntnisse möglich. Die Frage nach der Eignung von Glas für Tragelemente muss differenziert beurteilt werden. Ein Vorschlag dazu findet sich in der Tabelle 3.

Literatur

- [1]
Schweizerisches Institut für Glas am Bau: «Glasdicke, Dimensionierung für Isolierglas», Glasnorm 03 (1983).
- [2]
Rice P. und Dutton H.: «Le verre structurel», Editions du Moniteur, Paris (1990).
- [3]
Eekhout M.: «Architecture in Space Structures», Uigeverij 010 Publishers, Rotterdam (1989).
- [4]
Mencik J.: «Strength and Fracture of Glass and Ceramics», Elsevier (1992).

Adresse des Verfassers:

Walter Bosshard, Dr. sc. techn. ETH / SIA / ASIC, Bauingenieur, Oberdorfstr. 74, 8600 Dübendorf.

Reto Wyss, Rothenburg

Bodenplatte aus Stahlfaserbeton

Erfahrungen aus der Praxis in der Anwendung von Stahlfaserbeton

Bei der Projektierung der neuen Werkanlage für eine Schrotthandelsfirma wurden für die Bodenplatte mit einer Fläche von 12 000m² verschiedene Monobetonverfahren geprüft. Der Betrieb stellt durch Abrollmulden, Ablad von Stahlschrott mit Kippfahrzeugen, Aufladen und Verschieben von Schrott mittels Pneuladern und Stahlschrott-Lagerkegel grosse Anforderungen an die Bodenplatte. Sie wird somit durch grosse ruhende, rollende und schleifende Lasten beansprucht. Nachfolgend soll erläutert werden, aus welchen Gründen ein Stahlfaserbeton ausgewählt wurde und welche Erfahrungen bei der Ausführung gemacht werden konnten.

Aufbau

Der feinkörnige und sehr wasserempfindliche Untergrund erforderte eine im Mittel zirka 30 cm starke Tragschicht. Zum Einsatz kamen ein Recyclingmaterial und gebrochenes Felsmaterial, die auf ein Vlies eingebracht wurden. Vom Untergrund wurde ein ME-Wert von 20MN/m², von der Tragschicht ein solcher von 30 MN/m² gefordert. Die Oberflächengenauigkeit der Tragschicht betrug ± 3 cm von der Sollage.

Steinnester und Unebenheiten in der Tragschichtoberfläche wurden mit einer minimal 1 cm starken verdichteten Sandschicht ausgeglichen. Diese wurde bis zur vollen Sättigung gewässert. Mit dieser Massnahme wird die Wärmeleitfähigkeit sowohl der Sand- als auch jene der Trag-

schicht wesentlich erhöht. Das Sandplanum wurde mit zwei 0,2 mm dicken Polyäthylenfolien abgedeckt. Beide Schichten bewirken eine Trennung von Tragschicht und Bodenplatte. Durch die Polyäthylenfolie wird einerseits das Eindringen des Unterbaumaterials in den Beton verhindert und andererseits das Versickern von Feinanteilen und Wasser aus dem Beton in den Untergrund vermieden. Dadurch soll eine Verzahnung verhindert und die Reibung zwischen Beton und Untergrund reduziert werden. Mit dem Sandplanum und der doppellagigen Folie lässt sich zwar keine reibungsfreie Gleitschicht erzeugen, doch die Zwängungen können wesentlich beeinflusst werden, was sich auf die Fugenabstände und Rissbildung günstig auswirkt.

Die Bodenplatte selbst wurde in einer Stärke von 25 cm ausgeführt. Für die Bemessung einer Stahlfaserbetonplatte auf elastischer Bettung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die ausgeführte Platte wurde nach dem Verfahren von Stiglat-Wippel dimensioniert. Die gewählte Abmessung ist nicht in erster Linie durch die statischen Beanspruchungen begründet, sondern wurde massgeblich durch die