Bautechnik

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : internationale Zeitschrift**

Band (Jahr): **26 (1972)**

Heft 10: **Bauen in Japan = Constructions au Japon = Constructions in Japan**

PDF erstellt am: **29.03.2024**

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

R. Schaal und W. Pieckert

Spontanbrüche in vorgespannten Glasscheiben durch Nickelsulfideinschlüsse

Vorbemerkungen

Das Phänomen der Spontanbrüche vorgespannter Glasscheiben, seine Ursachen und Auswirkungen, ist den mit der Herstellung, Veredlung und Anwendung dieser Gläser sich befassenden Fachleuten seit mehr als 10 Jahren bekannt, ebenso die Maßnahmen, die zu einer Unterbindung der Spontanbrüche, zumindest bei einer Anwendung vorgespannter Glasscheiben im Bauwesen, getroffen werden müssen.

Diese Erkenntnisse sind jedoch nicht Allgemeingut, so daß verschiedentlich Vorbehalte gegen die Anwendung vorgespannter Glasscheiben in Außenwänden, aber auch im Innenausbau von Bauherren und Architekten geäußert wurden. In einigen Fällen haben die Spontanbrüche zu einem Schwund des Vertrauens zu der Metall-Glas-Fassade geführt, der angesichts des hohen Standes der Technik der Metallfassade und des doch geringen prozentualen Anteils der durch Spontanbrüche zerstörten Scheiben, bezogen auf die Gesamtheit aller vorgespannt eingebauten Scheiben, nicht gerechtfertigt ist[1]. Die nachstehenden Ausführungen sind eine Zusammenfassung der Erkenntnisse und Erfahrungen, die bei der Anwendung von vorgespannten Glasscheiben in Außenwänden gesammelt wurden.

Vorgespannte Glasscheiben in Außenwänden

Technisches Glas, eine unterkühlte Schmelze von Kieselsäure, Metalloxyden und anderen Mineralien, besitzt zwar eine hohe Druckfestigkeit (Tafelglas zwischen 8000 und 9000 kp/cm²), jedoch bei normaler Erschmelzung und Oberflächengüte (Kristallspiegelglas) nur eine geringe Biegzugfestigkeit (etwa 900 kp/cm²). Es ist deshalb üblich, Glasscheiben nur für eine Biegespannung von maximal 300 kp/cm² zu bemessen. Erhitzt man eine Scheibe gleichmäßig auf Temperaturen nahe am Erweichungspunkt (zwischen 500 und 700°C in Abhängigkeit von der Glaszusammensetzung) und kühlt unmittelbar darauf die beiden Außenflächen der Scheibe, beispielsweise durch kalte Luft aus zahlreichen Düsen, schnell ab, so bleibt das Innere der Scheibe noch länger heiß als die Außenschichten und schrumpft erst später als diese. Das gegenüber den beiden Außenschichten verspätete Schrumpfen des Scheibeninneren erzeugt in den beiden Außenschichten der Scheiben einen zweiachsigen Spannungszustand parallel zur Oberfläche, dessen Größe vom Temperaturgradienten beim Abschrecken abhängt.

Wird eine so vorgespannte Glasscheibe auf Biegung beansprucht, muß zunächst die auf der Zugseite vorhandene Druckspannung abgebaut werden, ehe dort die kritischen Zugspannungen auftreten. Beim Bruch läuft die Bruchfront mit einer Geschwindigkeit von etwa 1500 m/sec im inneren (Zug-) Bereich der Scheibe durch, anschließend treten aus der zerrissenen Innenzone mit relativ kleiner Geschwindigkeit Sekundärbrüche an die Außenflächen durch, womit die Scheibe in kleine Teile zerfällt, deren Größe unabhängig von der Scheibendicke und umgekehrt proportional dem Vorspannungsgrad ist. Diese Bruchteile haben zwar zum Teil auch scharfe Kanten, sind jedoch wegen ihrer kleinen Maße weniger gefährlich als die großen, schweren Bruchstücke normaler Glasscheiben. Durch das Abschrecken können Druckvorspannungen in den Außenschichten bis zu 1800 kp/cm² erreicht werden, so daß die Biegebruchspannungen vorgespannter Glasscheiben oder «Einscheiben-Sicherheitsgläser» mit 2000 kp/cm² weit über denen nicht vorgespannter Gläser liegen.

Die Einscheiben-Sicherheitsgläser können also wesentlich höhere Belastungen als nicht vorgespannte Gläser gleicher Abmessungen aufnehmen. Sie sind jedoch gegen alle Arten von Beanspruchungen empfindlich, die scharfe, tiefe Kerben zur Folge haben, vor allem wenn der Spannungszustand in deren Umgebung in die vorgespannte Zugzone hineinreicht. Auch die vorgespannte Druckzone ist wegen der hohen Spannungsgradienten gegen scharfe Anrisse, vor allem aber gegen Kantenbeschädigung empfindlich. Diese führen zumindest zu muschelförmigen Ausbrüchen oder zum völligen Bruch. Weiterhin sind die unter zweiachsigem Druck stehenden Außenschichten empfindlich gegen Klebeverbindungen, die auf Zug beansprucht sind. Wegen des hohen Eigenspannungszustandes ist eine Bearbeitung der Scheiben nach dem Vorspannen nicht möglich.

Einscheiben-Sicherheitsglas hat weite Verbreitung im Fahrzeugbau und in der Architektur gefunden, beispielsweise bei Eingangsanlagen, in Sporthallen, überall dort, wo hohe Belastungen der Glasscheiben zu erwarten sind und wo größere Glassplitter Menschen gefährden können. Es ist ferner ratsam, Gläser größerer Abmessungen, die durch Wärmespannungen besonders stark beansprucht werden, vorzuspannen. Dies betrifft insbesondere Gläser, die auf Grund ihrer Zusammensetzung relativ stark Wärmestrahlung absorbieren können, wie auch farbig beschichtete Gläser. Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet wurde dem Einscheiben-Sicherheitsglas durch den Fassadenbau erschlossen, und zwar durch den Einbau farbig beschichteter Einscheiben-Sicherheitsgläser vor dem Brüstungs- und Deckenbereich. Maßgebend für diese Entwicklung waren in erster Linie die Unempfindlichkeit des Glases gegen Verschmutzung und aggressive Luftbestandteile sowie technische Vorteile gegenüber nicht vorgespannten Gläsern und Sicherheitsverbundglas. Einscheiben-Sicherheitsglas wurde ferner bereits, und zwar mit gutem Erfolg, zur Verbesserung der Luftschalldämmung gegen Verkehrslärm frei vor Fassaden gehängt.

Die hohe thermische Belastung nicht vorgespannter Gläser, bedingt durch die starke Aufheizung des Raumes hinter dem Glas, erfordert konstruktive Maßnahmen zur Abführung der Wärme, die auf eine Ausbildung von Luftschlitzen unter und über der Glasscheibe hinauslaufen. Die Ableitung des Regenwassers macht Verwahrungen und sorgfältige Abdichtung des hinterlüfteten, wasserführenden Bereiches gegen die anschließenden Bauteile notwendig. Bei Sicherheitsverbundglas hingegen muß die an den Glaskanten umlaufende Klebefuge gegen die Witterung geschützt werden.

Bei Einscheiben-Sicherheitsglas kann in der Regel auf eine Hinterlüftung kalt vorgehängter Scheiben verzichtet werden, wenn ausreichende Drainageöffnungen eingebaut werden. Dies ist konstruktiv wesentlich einfacher als die Anordnung größerer Öffnungen, zur Hinterlüftung der Scheiben. Einscheiben-Sicherheitsglas kann auf der dem Wetter abgewandten Fläche mit einer Farbbeschichtung versehen werden, die bei hohen Temperaturen in die Oberfläche eingebrannt wird. Auf der Basis des farbbeschichteten Einscheiben-Sicherheitsglases wurden wärmedämmende Bauelemente entwickelt, bei denen eine Dämmschicht auf der Rückseite der Scheibe, also auf der Farbschicht, aufgeklebt wird. In Abhängigkeit von den Erfordernissen am Bau kann die Dämmschicht durch eine innere Deckschicht ergänzt werden. Durch geeignete Dämm- und Innenschichten kann eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten (F 90) erzielt werden.

Somit sind folgende Anwendungsmöglichkeiten von Einscheiben-Sicherheitsgläsern in Außenwänden gegeben:

a) Einscheiben-Sicherheitsglas als «kalt» in die Außenwand eingebauter Witterungsschutz;

b) Einscheiben-Sicherheitsglas mit Dämmschicht, Dampfsperre und, wo erforderlich, Innenschicht als «warm» eingebautes Bauelement;

c) Einscheiben-Sicherheitsglas (Klarglas) als vorgehängte Schallschutzfassade.

Ausführungsbeispiele

Die Beispiele wurden aus der großen Zahl der Objekte, an denen die Verfasser beratend mitgewirkt haben, herausgegriffen. Sie zeigen – stellvertretend für zahlreiche vergleichbare Ausführungen – typische Einbaumöglichkeiten farbbeschichteter Einscheiben-Sicherheitsgläser in Metallfassaden in Verbindung mit Dichtungsmethoden auf der Grundlage elastischer Dichtungsbänder aus Chloroprenekautschuken.

Beispiel 1: Fassade des Bettenhauses des Allgemeinen Krankenhauses Altona, Hamburg. Architekten: Kallmorgen und Partner. Beratung Fassade: R. Schaal. Ausführung: Arbeitsgemeinschaft E. Nipp & Co. und C.H. Jucho.

An den Gebäudelangseiten kalt eingebautes Einscheiben-Sicherheitsglas vor Betonbrüstungen, an den Gebäudeschmalseiten vor Betonwänden. Die Wärmedämmschicht liegt auf der Außenseite des Betons. Die vorgespannten, farbbeschichteten Scheiben sind allseitig in Aluminium angeschlagen, in Neoprene-Umfassungsbänder gelagert und gedichtet und durch äußere Vor-

[1] Dieser Anteil dürfte nach den Beobachtungen der Verfasser unter 1% der eingebauten Scheiben liegen, wenn auch im Einzelfall höhere Anteile (bis zu 8%) festgestellt wurden.

Literatur

[1] G. Kullerud und R.A. Yund, Journal of Petrology 3, 1962, S. 126–175.

[2] F. Kerkhoff, Bericht zur Klärung der Sekurit-Glasbrüche am Vita-Haus, Stuttgart 1969 (nicht veröffentlicht).

Verfasser

Walter Pieckert, Dipl.-Ing., Ber. Ing., D–7000 Stuttgart 30, Fichtelbergstraße 36. Rolf Schaal, Dr.-Ing., Architekt, Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, CH–8122 Pfaffhausen, Mooswiesstraße 11.

schraub- (Anpreß-) Profile gehalten. Die waagrechte Sprosse an der Unterkante des Sturzes ist geteilt und mit einem durchgehenden Drainageschlitz versehen. An der waagrechten Sprosse in Brüstungshöhe ermöglichen Bohrungen eine Entlüftung über die Vorschraub- und Deckprofile. Lieferung und Einbau: 1965/66.

Beispiel 2: Bau 125 der Ciba-Aktiengesellschaft, Basel. Architekten: Suter & Suter, Basel. Isal-Fassade: H. Schmidlin AG, Aesch-Basel.

Kalt vorgehängtes, farbbeschichtetes Einscheiben-Sicherheitsglas vor Betonbrüstungen mit außenseitiger Wärmedämmung. Die Glasscheiben sind seitlich in die senkrechten Fassadenstiele eingeschoben und mit elastischen Neopreneprofilen gehalten. Unten liegen sie auf Riegelprofilen zwischen den Stielen auf, der obere, waagrechte Rand wird im Abdeckprofil der Brüstung gehalten. Ursprünglich war unten eine durchgehende Lagerung der Scheibe in Neopreneprofilen vorhanden, die aber im Zuge eines Umbaues, dessen Gründe später behandelt werden, durch zwei Klötze aus Neoprene ersetzt wurden. Die Scheiben sind in vollem Umfang von der Außenluft umspielt, zusätzliche Lüftungsschlitze sind im oberen, waagrechten Anschlag vorhanden. Die untern Riegelprofile haben Bohrungen zur Wasserableitung. Montage 1966.

Beispiel 3: Postscheckamt Berlin. Architekten: Landespostdirektion Berlin, Referat 46C. Konstruktive Beratung: R. Schaal. Ausführung: Gebr. Wahlefeld, Krefeld.

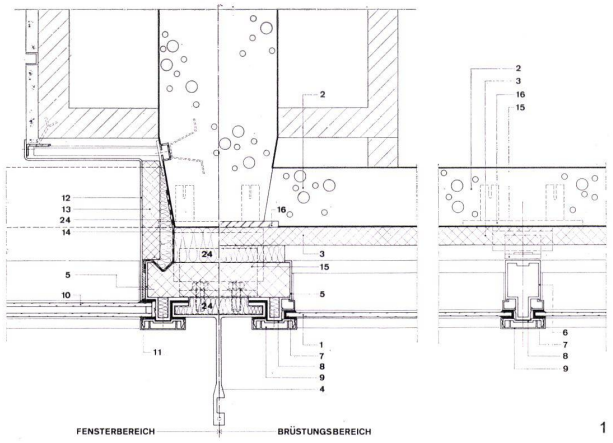
Warm eingebaute Bauelemente, außen 8 mm dickes, farbbeschichtetes vorgespanntes Kristallspiegelglas, 40 mm Dämmschicht (Foamglas), Dampfsperre. Anschlag von außen an isolierter Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Aluminium, Lagerung und Dichtung senkrecht in Neoprenebändern mit äußern Vorschraub- und Anpreßprofilen. Die waagrechten Ränder sind, bedingt durch den verdeckten Einbau der Riegelprofile, elastisch hinterlegt und versiegelt, da äußere Anpreßprofile nicht verwendet werden konnten.

Die Betonbrüstung stellt den erforderlichen Feuerüberschlagweg her, Drainage im Bereich der Dichtungsriegel in Sturzhöhe. Montage 1968/69.

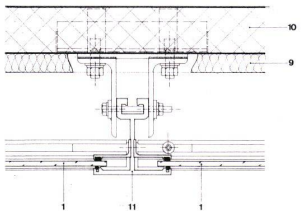
Das Problem der Spontanbrüche durch Nickelsulfideinschlüsse

Zerstörungen vorgespannter Glasscheiben ohne direkte äußere Ursache werden als Spontanbrüche bezeichnet. Dabei ist typisch, daß der Spontanbruch nicht etwa bei der Montage der Scheiben auftritt, sondern erst Wochen, oft auch Monate danach. So kam es, daß der Charakter des Spontanbruchs längere Zeit nicht erkannt wurde und die Ursachen dafür in der Regel an anderer Stelle gesucht wurden. Der Zeitpunkt des ersten Auftretens der Spontanbrüche etwa um die Jahre 1961/62 fiel in eine Zeit, in der die Metall-Glas-Fassade einen hohen Stand der technischen Entwicklung erreicht hatte, der vor allem durch die Anwendung «trockener» Dichtungen mit elastischen Dichtungsbändern, die Einführung der «isolierten» Metallprofile und insgesamt vereinfachter Bauweisen der Fassaden gekennzeichnet war. Insbesondere der Dichtungstechnik, bei der elastische Dichtungsprofile über Vorschraubprofile unter Druck gesetzt werden, wurde häufig die Schuld an den Spontanbrüchen gegeben. Es stellte sich jedoch heraus, daß Nickelsulfideinschlüsse in den meisten Fällen die Brüche verursacht hatten, doch wurden auch Brüche festgestellt, die auf Beschädigungen der Glaskanten zurückzuführen waren.

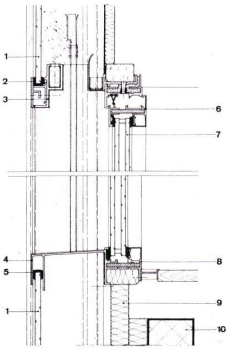
Die Beispiele 1 bis 3 aus den Jahren 1965 bis 1968 zeigen die Kombination von Einscheiben-Sicherheitsglas in Verbindung mit den oben erwähnten Konstruktions- und Dichtungsmethoden. Lediglich am Beispiel 1 wurden keine Spontanbrüche beobachtet, während zur selben Zeit an anderen Fassaden Spontanbrüche auftraten. Die vorgespannten Scheiben des Beispiels 2 erlitten zahlreiche Brüche, deren Natur zunächst nicht erkannt wurde. Die Ursache der Brüche wurde in der kontinuierlichen Auflage des untern Glasrandes in den elastischen Neopreneprofilen gesucht. Nach einem Umbau, bei dem der untere Glasrand auf Klötze gestellt wurde, zeigten sich weitere Spontanbrüche. Nachteilig wirkte sich hier aus, daß die Scheiben zu Krümeln zerfielen, so daß, wie auch bei allen anderen kalt eingebauten Einscheiben-Sicherheitsgläsern, bei denen Spontanbrüche vorkamen, das Bruchzentrum zunächst nicht sichergestellt werden konnte. Die herabfallenden Glaskrümel haben Passanten gefährdet; dies erforderte kostspielige Sicherheitsmaßnahmen. Die Verfasser haben die Fassade im Sommer 1967 eingehend untersucht, also zu einem Zeitpunkt, als sich nach dem Umbau der Glasfelder die Spontanbrüche fortsetzten. Die Glasscheiben waren zwängungsfrei in den Metallprofilen gelagert. Einwirkungen auf die Glasscheiben aus der Aluminiumkonstruktion, sei es durch behinderte Temperaturverformungen oder unzureichend bemessene Profile, konnten ausgeschlossen werden. Durch besondere Maßnahmen konn-



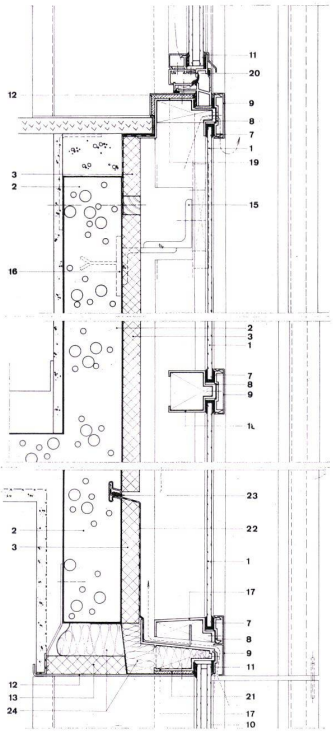
1



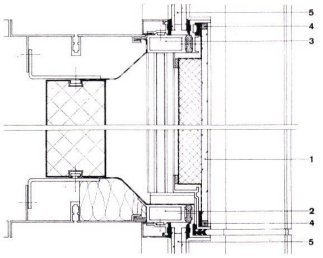
3



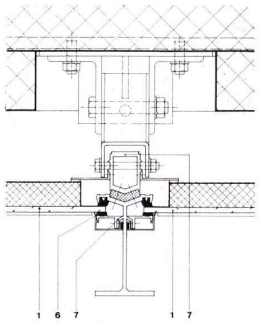
4



2



6



5

1
Waagrechter Schnitt.
2
Senkrechter Schnitt.

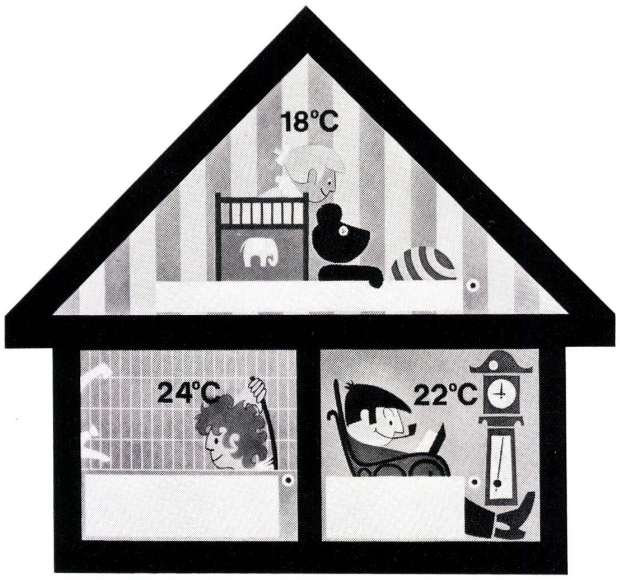
Die Legende ist für beide Schnitte gültig.
1 Vorgespanntes, farbbeschichtetes Glas
2 Betonbrüstung und Betonsturz
3 Wärmedämmung, 30 mm Glaswolle
4 Führungsprofil für Außenbefahranlage
5 Senkrechtes Stielprofil
6 Zwischenstiel
7 Elastisches Dichtungsprofil als Umfassungsprofil
8 Vorschraubprofil
9 Deckprofil, aufgeklemmt
10 Zweischeiben-Isolierglas
11 Elastische Dichtung, versiegelt
12 Inneres Abschlußblech
13 Dämmung
14 Abschottung (elastisches Band)
15 Anker (Stahl)
16 Ankergrundplatte
17 Dehnungsriegel am Sturz
18 Zwischenriegel
19 Brüstungsriegel
20 Lüftungsflügel
21 Isolierschicht
22 Abschottung, elastisches PIB-Band
23 GT-Schiene, durchlaufend
24 Dämmung

3
Waagrechter Schnitt.
4
Senkrechter Schnitt.

Die Legende ist für beide Schnitte gültig.
1 Vorgespanntes, farbbeschichtetes Glas
2 Elastisches Dichtungsprofil als Umfassungsprofil
3 Riegel am Sturz
4 Brüstungsriegel
5 Elastisches Dichtungsprofil als Umfassungsprofil
6 Fenster aus Isolierprofilen
7 Zweischeiben-Isolierglas
8 Waagrechtes Profil bei Festverglasung
9 Dämmung
10 Betonbrüstung
11 Stiel mit Anker und Anschlag der vorgespannten Glasscheiben

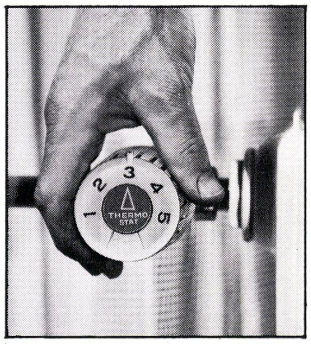
5
Waagrechter Schnitt.
6
Senkrechter Schnitt.

Die Legende ist für beide Schnitte gültig.
1 Glasbauelement mit äußerer vorgespannter Spiegelglasscheibe, 8 bis 10 mm
2 Dehnungsriegel am Sturz
3 Brüstungsriegel
4 Verriegelung
5 Zweischeiben-Isolierglas
6 Elastisches Dichtungsband, versiegelt
7 Stiel, geteilt mit Isolierschicht, Vorschraub- und Deckprofilen



Individuelle Raumtemperaturen - optimaler Wärmekomfort

Eine individuelle, konstante Temperatur in jedem Raum Ihres Projektes muss heute eine Selbstverständlichkeit sein.
Bestehen Sie auf Danfoss-Heizkörperthermostaten und Sie geben Ihren Kunden optimalen Wärmekomfort bei niedrigsten Betriebskosten.
Für Sie bedeutet es ein Mindestmass an Berechnungsarbeit und zufriedene Bauherren.
Mit dem Danfoss-Heizkörperthermostaten-Programm können alle bekannten Installationsprobleme gelöst werden.
Hervorragende Qualität, moderne Formgebung und ein gutes Service kennzeichnen die Danfoss-Produkte.
Darum sollten Sie unbedingt mit Danfoss-Heizkörperthermostaten projektieren.



FABRIK AUTOMATISCHER SCHALT- UND REGELAPPARATE

Werner Kuster AG
4132 Muttenz 2: Hofackerstrasse 71
Telephon 061/421255
1000 Lausanne: Rue de Genève 98
Téléphone 021/251052
8304 Wallisellen/ZH: Hertistrasse 23
Telephon 01/934054

Danfoss

Bitte senden Sie uns ausführliche Informationen RAV / RAVL **7201**

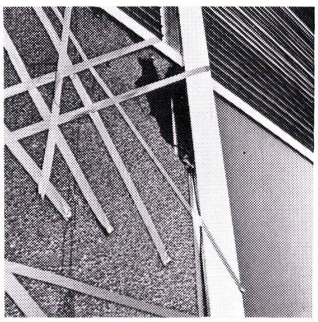
Name: _____

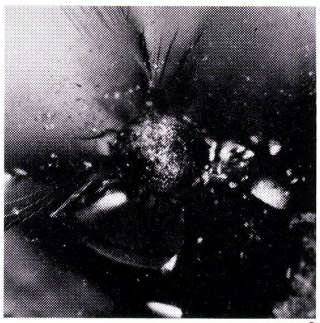
Firma: _____

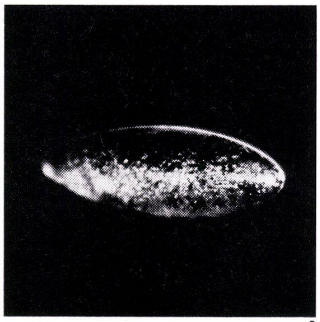
Adresse: _____

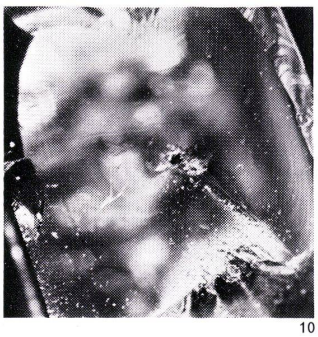
ten Bruchzentren sichergestellt werden, mit denen die Brüche eindeutig als Spontanbrüche infolge Nickelsulfideinschlüssen identifiziert werden konnten (Bild 7).
Brüche traten auch bei der Fassade des Beispiels 3 auf. Hier konnten Bruchzentren mit Nickelsulfideinschlüssen sichergestellt werden. – Die Krümel der zersprungenen Glasscheiben blieben auf der Klebeschicht zwischen Glas und Dämmung haften. Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Konstruktion der Fassade wurde mit Spontanbrüchen in den Brüstungsfeldern gerechnet. Es hätte zu diesem Zeitpunkt noch die Möglichkeit bestanden, den zu erwartenden Schwierigkeiten durch einen Übergang auf andere Materialien auszuweichen, die positiven, bereits eingangs erwähnten Eigenschaften der Glasflächen wurden jedoch höher bewertet. Statt dessen wurde bei der Konstruktion der Fassade Wert auf einfache, leicht auszuwechselnde Anschläge und Dichtungen der Glaselemente gelegt, außerdem war die Lieferfirma bereit, die Kosten für einen eventuell erforderlichen Austausch zu übernehmen. Diese Bereitschaft ließ erkennen, daß man sich auch seitens der Produktion des Problems der Spontanbrüche intensiv angenommen hatte und nach Möglichkeiten suchte, deren Ursachen oder zumindest deren Auswirkungen zu beseitigen.

Ursachen der Spontanbrüche
Bevor die Verfasser mit dem Problem der Spontanbrüche unmittelbar konfrontiert wurden, erhielten sie Hinweise von in- und ausländischen Fachleuten, daß Einscheiben-Sicherheitsglas unter «bestimmten Bedingungen» eine Neigung zu Brüchen aufweist und daß gewisse metallische Glaseinschlüsse die Ursachen sein könnten. Als an einer größeren Zahl von Bauten, unter anderem auch an den vorgenannten Beispielen 2 und 3, Spontanbrüche in vorgespannten Glasscheiben auftraten, wurden von den Verfassern an mehreren Materialprüfanstalten die erforderlichen Untersuchungen veranlaßt und die Ursachen röntgenspektroskopisch festgestellt. Hierbei wurden Nickelsulfideinschlüsse einer bestimmten Größenordnung, nämlich zwischen 0,1 bis 0,3 mm Durchmesser, in den Zentren der Brüche bei einem strahlenförmigen Bruchbild festgestellt. Es handelt sich um gelbbraune, metallisch glänzende, runde bis ellipsoidförmige Einschlüsse in der vorgespannten Zugzone, die von der Glasmatrix unter Bildung feinster Anrisse abgelöst waren. Ihre Oberfläche erscheint durch viele Poren narbig (Bilder 8 und 9). Dieses Bild der Einschlüsse weist darauf hin, daß sich die Teilchen wegen der in beträchtlichem Maße unterschiedlichen Wärmedehnzahlen von Nickelsulfid und Glas abgelöst und daß sich die Teile nach dem Erstarren relativ zum Glas nachträglich ausgedehnt haben, und zwar wesentlich stärker, als es sich aus den unterschiedlichen Wärmedehnzahlen ergeben konnte.
Die Bildung der Nickelsulfideinschlüsse unmittelbar aus Nickelpyrit oder Bravoitverunreinigungen im Glassand kann ausgeschlossen werden. Wahrscheinlicher ist die Bildung von Nickelsulfid in der Glasschmelze durch eine Überreduktion des zur Läuterung zugesetzten Natriumsulfats zu Natriumsulfid, das mit den in den Verbrennungsgasen (des Heizöls) enthaltenen Nickeloxyden Nickelsulfid bildet. Nickelsulfidkristalle haben je nach ihrer Temperatur verschiedene Modifikationen, oberhalb 396 °C ein hexagonales B8-Gitter mit 81,05 Å³ Volumen/l NiS, unter 396 °C ein trigonales B13-Gitter (β-NiS, Millerit) mit 84,33 Å³. Bei der Umwandlung von einem zum andern Gitter treten stark anisotrope Längenänderungen zwischen –6,9 %


7


8


9


10

7
Sicherstellung des Bruchzentrums durch Klebestreifen.
8
Kugelförmiger NiS-Einschluß in gebrochenem, vorgespanntem Glas.
9
Ellipsenförmiger NiS-Einschluß in unzerstörtem vorgespanntem Glas.
10
Bruchzentrum einer vorgespannten, zerstörten Glasscheibe ohne Einschluß.

Mit Ecophon- oder GT80-Akkustikplatten zieht Ruhe und Ästhetik in den Raum



Hohe Schallabsorption
Abwaschbare Sichtseite
Einfache Montage
Robuste Oberfläche

Everlite AG
4657 Dulliken
Telefon 062 - 22 26 66

und +11,9% ein. Dies bedeutet im Mittel etwa 4% Volumenvergrößerung [1]. Wegen der verschiedenen Orientierung der Kristallite im Einschluß bilden sich bei dieser Phasenumwandlung außerdem zahlreiche Poren. Beim Abschrecken des Glases wurde diese Modifikationsänderung unterdrückt. Sie wird bei normaler Raumtemperatur im Verlaufe der nächsten Monate und Jahre sehr langsam nachgeholt.

Der Umwandlungsprozeß wird, wie bei solchen Reaktionen üblich, bei Annäherung an die Umwandlungstemperatur beschleunigt. Durch eine Erwärmung der Gläser, zum Beispiel durch Sonneneinstrahlung, beschleunigt sich die Umwandlung und, damit verbunden, auch die Volumenzunahme. Mit fortschreitender Phasenumwandlung füllt der Nickelsulfideinschluß allmählich den Hohlraum aus und übt danach zunehmend Druck auf seine Umgebung aus.

Die nach der Ablösung des Einschlusses beim Abkühlen aufgetretenen Anrisse im Glas werden hierdurch aufgeweitet, das heißt, der Rißradius an der Rißfläche wird vergrößert. Der Kerbradius r liegt in der Größenordnung 10^{-7} cm. Die spezifische Bruchenergie zur Erweiterung des kreisscheibenförmigen Risses ist $G \sim p^2 \cdot a/E$, wobei p die Zugvorspannung im Innern der Glasscheibe ist und E der Elastizitätsmodul des Glases [2]. Über $G \sim 10^{-4}$ erg/cm² steigt bei gleichzeitiger Erhöhung von G die Bruchgeschwindigkeit im Glasinnern rasch bis auf 1000 bis 1500 m/sec an, in Abhängigkeit vom Vorspannungsgrad.

Maßnahmen gegen Spontanbrüche

Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß man die Bildung von Nickelsulfid in der Schmelze oder das Eindringen von Nickelsulfid in die Schmelze verhindern sollte. Dies scheint aber aus fertigungstechnischen Gründen nicht möglich zu sein. Offenbar bildet sich Nickelsulfid nur unter den bereits erwähnten Voraussetzungen, nämlich bei Anwesenheit von Nickeloxyden aus der Verbrennung von Heizöl. Bei anderer Beheizung der Schmelzwannen, beispielsweise mit Gas, scheint kein Nickelsulfid zu entstehen. Dies wäre auch eine Erklärung dafür, daß Spontanbrüche nicht an allen Bauten mit vorgespannten Scheiben beobachtet werden konnten.

Wenn also Nickelsulfid in der Glasschmelze bei bestimmten Produktionsbedingungen nicht vermieden werden kann, müssen Scheiben mit NiS-Einschlüssen nach der Fertigung, aber noch vor der Montage aussortiert werden. Nickelsulfid weist keine Luminiszenz auf und ist auch mit optischen Mitteln nur schwer zu erkennen. Andererseits tritt ein Verspannungszustand des Glases, der spannungsoptisch festgestellt werden könnte, erst zu einem späten Zeitpunkt auf. Somit verbleibt nur ein Selektionsverfahren, bei dem durch eine Erwärmung die unterdrückte Phasenumwandlung von einigen Monaten auf Stunden verkürzt wird (Heat-Soake-Test). Die fehlerhaften Gläser zerspringen. Die Höhe und die Dauer der erforderlichen Temperatureinwirkungen wurden anfangs von der Firma Pilkington mit 160°C und 2 Stunden angegeben. Später hat es sich jedoch herausgestellt, daß diese Werte zu knapp waren, als daß sie sämtliche Scheiben mit Nickelsulfideinschlüssen zu eliminieren vermocht hätten. Hierfür sind 240°C über 3 Stunden erforderlich.

In allen derart behandelten Einscheiben-Sicherheitsgläsern haben die Verfasser keine Spontanbrüche mehr beobachtet. Sämtliche Scheiben des Beispiels 2 wurden 1969 gegen solche ausgewechselt, die dem Heat-Soake-Test unterzogen wurden. Spontanbrüche wurden seitdem nicht mehr festgestellt. Am Beispiel 3 wurden lediglich die zerstörten Scheiben gegen getestete Scheiben ausgetauscht. Auch hier traten keine Spontanbrüche mehr auf. Weitere größere Fassaden mit getestetem Einscheiben-Sicherheitsglas wurden ab 1970 montiert. Es wurde sogar bekannt, daß bei einem Gebäude, das nach Glasbrüchen auf ein anderes Verkleidungsmaterial umgebaut wurde, der Wunsch besteht, wieder Einscheiben-Sicherheitsglas, allerdings getestet, einzubauen, dessen Oberfläche unempfindlich gegen die dort herrschende Industrieatmosphäre ist.

Ohne Zweifel ist der Heat-Soak-Test vorgespannter Glasscheiben eine Notmaßnahme; dadurch wird seine Berechtigung und Wirksamkeit nicht angezweifelt. Seine Nachteile – zusätzliche Kosten und Ungewißheiten in der Disposition (man weiß nie, ob, und wenn ja, wie viele Scheiben im Test zerstört werden) – sind bekannt. Nach dem heutigen Stand der Technik kann dieser Test nur unterbleiben, wenn entweder die Ölbefeuerung der Wannen durch eine Erdgasbefeuerung abgelöst wird oder wenn es gelingt, Methoden zu finden, Nickelsulfideinschlüsse unmittelbar nach dem Ziehen des Glases aufzuspüren und die davon befallenen Teile vor der Veredlung zu eliminieren. Soweit uns bekannt ist, laufen bereits Versuche in dieser Richtung. Darüber zu berichten muß jedoch den hierfür zuständigen Stellen zu gegebener Zeit vorbehalten bleiben.

Zusammenfassung

Spontanbrüche vorgespannter Gläser wurden größtenteils durch Nikkelsulfideinschlüsse verursacht, die fabrikationsbedingt sind. In keinem uns bekannten Fall waren konstruktive Mängel in der Metallkonstruktion der betreffenden Fassaden die Ursache der Brüche. Allerdings kann auch eine unsachgemäße Behandlung der Glasscheiben, insbesondere eine Oberflächen- oder Kantenbeschädigung, zu späteren Spontanbrüchen führen.

Sämtliche vorgespannten Glasscheiben, die in Fassaden eingebaut werden und bei denen von der Fabrikationsseite her die Möglichkeit besteht, daß sich Nickelsulfid bildet, müssen vom Glasveredler dem Heat-Soake-Test unterzogen werden. Es wäre sicherlich von nicht zu unterschätzender psychologischer Bedeutung, wenn der Glasveredler dem Bauherrn beziehungsweise dem Architekten von sich aus die Durchführung dieses Testes in Verbindung mit einer Gewährleistung über die gesetzlichen Bestimmungen hinaus bestätigen würde.

Vorgespannte Gläser können nach dem Vorliegen der oben genannten Voraussetzungen ohne Bedenken, unter Einhalten der allgemein bekannten Regeln der Bautechnik, in Fassaden eingebaut werden.