

Das vereinfachte periodische System der Glasbrüche®

Theoretische Grundlagen und praktische Auswirkungen

Was ist Glas?

Bei der Beurteilung von Glasbrüchen ist die Kenntnis des Glasaufbaus hilfreich. Stellen wir uns die einfache Frage „Was ist Glas?“ so sehen wir, daß diese Frage nicht leicht zu beantworten ist. Der Versuch einer einfachen Definition zeigt drei Varianten auf:

Def. 1: Beurteilt man die Substanz Glas nach ihrer Zusammensetzung, so ergibt sich ein relativ einfaches Bild: Glas besteht in seiner Grundsubstanz aus Sand (Netzwerkbildner), aus Soda (Netzwerkandler/Flußmittel) und aus Ka^{II} (Stabilisator). Um das Zusammenspiel dieser drei Substanzen zu erläutern, zeigen wir eine einfache Modellbeschreibung: Bei der Erschmelzung von reinem Sand, der überwiegend aus Siliziumdiox-

xid besteht, entsteht bei sehr hohen Temperaturen von über $1800^{\circ}C$ ein Schmelzgefüge von vernetzten Siliziumdioxidmolekülen. Das Endprodukt wird als Quarzglas bezeichnet (Abb. 1).

Um den Herstellungsprozeß nun ökonomischer zu gestalten, wird Soda als sogenannter Netzwerkandler beigemischt und verschmolzen. Die Folge ist ein wesentlich niedrigerer Schmelzpunkt, da Soda (Natriumkarbonat Na_2CO_3) die Netzwerkbindungen zwischen den einzelnen Siliziummolekülen spaltet. Das End-

produkt ist eine Flüssigkeit namens Wasserglas. Früher wurde dieses Produkt im Brandschutzbereich z.B. bei Holzdächern als Anstrich verwendet (Abb. 2).

Zur Steuerung des Spaltungsprozesses und um wieder eine feste Substanz zu erhalten, wird jetzt als Stabilisator zusätzlich zu Sand und Soda die Substanz Kalk (Calciumkarbonat $CaCO_3$) hinzugefügt. Bei der Erschmelzung dieser drei Substanzen ergibt sich damit je nach Mengenzu-

gabe des Kalkes wieder ein fester Stoff, da die gespaltenen Netzwerkverbindungen zwischen den Siliziummolekülen durch den Kalk wieder teilweise rückgängig gemacht werden. Das dadurch entstehende Kalknatronglas kann somit bei wesentlich niedrigeren Temperaturen ökonomischer hergestellt werden (Abb. 3).

Beim Schmelzprozeß von Glas wandelt sich Natriumkarbonat und Calciumkarbonat in Natriumoxid und Calciumoxid. Dadurch entsteht Kohlendioxid (CO_2), das als Gas frei wird und aus der Schmelze entweicht.

Quarzglas:

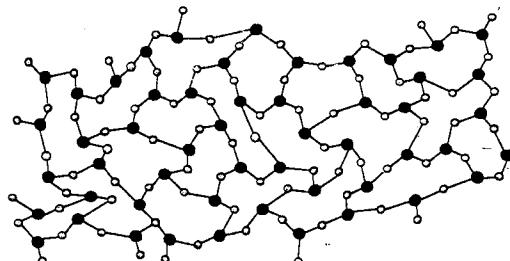
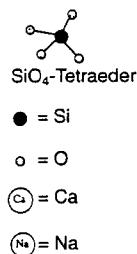
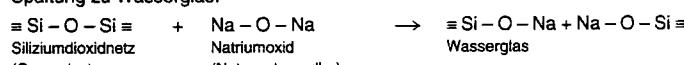


Abb. 1: Quarzglas: Die vierten Valenzen des Si ragen nach oben oder unten aus der Zeichnungsebene heraus.

Spaltung zu Wasserglas:



Wasserglas:

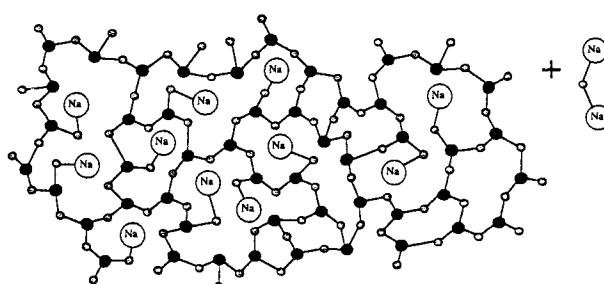
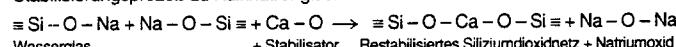


Abb. 2: Wasserglas: Die vierten Valenzen des Si ragen nach oben oder unten aus der Zeichnungsebene heraus.

Stabilisierungsprozeß zu Kalknatronglas:



Kalknatronglas:

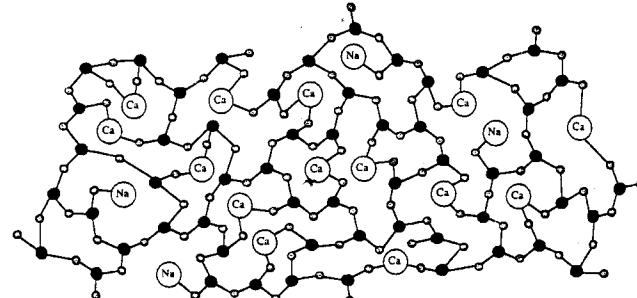


Abb. 3: Kalknatronglas: Die vierten Valenzen des Si ragen nach oben oder unten aus der Zeichnungsebene heraus.

Die Autoren

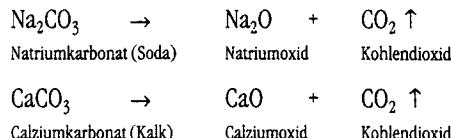
Wer bei der Herstellung von Isolierglas das Handling von Floatscheiben beobachtet, ist als Laie äußerst überrascht, wie hier mit den 3 m × 6 m großen Floatbandmaßen umgegangen wird. Er kann nur schwer begreifen, daß dies das gleiche Material ist, das als äußerst bruchempfindlich gilt.

Die beiden Autoren dieses Beitrages haben in ihrer Jahrzehntelangen Tätigkeit in der Glasbranche als Qualitätsfachingenieur, Berater, Verkäufer, Geschäftsführer und vereidigter Sachverständiger und Gutachter eine Vielzahl an unterschiedlichsten Glasproblemen und Brüchen kennengelernt. In vielen Fällen war zunächst eine einfache, eindeutige Ursachenzuordnung nur sehr schwer möglich. Aufgrund dieser äußerst vielfältigen Erfahrungen und untermauert durch eine Reihe von Bruchversuchen an Glas lassen sich für nahezu alle Arten des Glasbruches in der Praxis eindeutige Ursachen und Bruchauslöser finden und zuordnen. Dazu wurde das periodische System der Glasbrüche entwickelt, das hier in vereinfachter Form abgehandelt wird. Um die vorhandene Erfahrung auch anderen Glasfachleuten weiterzugeben, wurde der Entschluß zu dieser umfassenden Abhandlung über Glasbrüche und deren Ursachen gefaßt und hiermit umgesetzt. Untermauert ist diese theoretische Abhandlung von einer Vielzahl von Bildern, die Theorie und Praxis anschaulich vereinen.

Peter Fensch und Ekkehard Wagner betreiben seit kurzem die PCM Personalmanagement und Unternehmensberatung, die unter Hans-Jörg Petersen bereits seit Jahrzehnten erfolgreich in der Branche tätig ist. Die Leistungsbreite dieses Dienstleistungsunternehmens wurde neben der Personalvermittlung erheblich erweitert und umfaßt heute:

- Personalberatung und -vermittlung
- Personaleinsatzplanung
- Personalschulung und Coaching
- Markt- und Standortanalysen
- Beratung und Planung für Maschinen und Material
- Prozeßstrukturierung und Organisation
- Controllingsysteme, Kennzahlen und Statistik
- Produktionsablaufstrukturierung
- Aufbau Objektabteilung, Entwicklungsabteilung und Knowledge-System
- Anwendungstechnische Beratungen pauschal und punktuell
- Bauabnahmen und vereidigte Sachverständigengutachten

Das vollständige „Periodische System der Glasbrüche“ wird in einer kompakten Informationsschrift im Frühjahr 2000 veröffentlicht. Diese praktische Hilfe für jeden Glaser und Sachverständigen wird dann – zusätzlich mit farbigen Abbildungen der einzelnen Brüche – im Verlag Karl Hofmann, Schorndorf, erhältlich sein.



Wird anstelle des Sandes als Netzwerkbildner teilweise Natriumborat ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4$) verwendet, so entsteht Borosilikatglas. Anstelle von Soda wird z. B. beim Kalkkaliglas als Netzwerkwandler Kaliumkarbonat (K_2CO_3) oder auch das Doppelsalz Dolomit verwendet. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Glas somit hauptsächlich aus einem Netzwerk von Siliziummolekülen, Natriumoxid und Calciumoxid besteht. Weitere Substanzen des Glasgemenges wie Sulfate, Nitrate oder organische Substrate dienen als Läuterungsmittel oder als Pigmente und haben keinen entscheidenden Einfluß auf die Struktur des Glases.

Def. 2: Glas ist ein anorganisches Schmelzprodukt, das ohne wesentliche Kristallisation abkühlt und unterhalb des Transformationspunktes einen erstarrten Zustand einnimmt.

Def. 3: Glas ist bei normalen Temperaturen eine feste Flüssigkeit mit extrem hoher Viskosität und somit ein Körper mit amorpher (nicht kristalliner) Struktur. Glas ist eine feste Flüssigkeit.

Aus der 2. und 3. Definition erkennen wir, daß die Substanzen des flüssigen Glases beim Abkühlprozeß bereits ab 600 °C einen erstarrten, d. h. unbeweglicheren Zustand einnehmen. So mit besitzen diese unterhalb des Transformationspunktes keine Möglichkeit mehr, einen geordneten kristallinen Zustand (wie zum Beispiel beim Bergkristall) einzunehmen. Glas verharrt also unter 600 °C im Aggregatzustand einer Flüssigkeit, die in diesem Ausnahmefall fest ist.

Wie entsteht ein Glasbruch?

Wenn die von außen einwirkenden Spannungen größer sind, als die Materialkennwerte des Glases (Zug- und Druckfestigkeit), so kommt es unweigerlich zum Glasbruch. Allerdings ist Glas im allgemeinen gegenüber Druckkräften nicht so empfindlich, wie gegenüber Zugkräften. So ist die Druckfestigkeit von Glas ca. 10-fach größer als die Zugfestigkeit (ca. 900 N/mm² zu ca. 90 N/mm²). Ein Glasbruch tritt somit immer dann auf, wenn die Biegezugfestigkeit des Glases aufgrund der auftretenden Kräfte überschritten wird. Die Biegezugfestigkeit ist die eigentliche Kenngröße für die Festigkeit von Glas (Abb. 4).

Grundsätzlich verläuft ein Glasbruch immer nach dem Prinzip des geringsten Widerstandes. Je tiefer die Kerbe zuläuft, um so höher ist die Bruchanfälligkeit bei Glas.

Was ist die Kerbspannungstheorie?

Viele Glasbrüche stehen in einem engen Zusammenhang zu der Dimension mikroskopisch kleiner Anrisse an der Glaskante, sogenannter Mikroeinläufe. Liegt ein Anriß vor, so treten je nach Anrißtiefe unterschiedlich hohe Spannungsspitzen an der Kerbe auf (Abb. 5).

Bei homogener, unbeschädigter Oberfläche und Einwirkung von Zugkräften verteilt sich die Spannung gleichmäßig über die gesamte Querschnittsfläche (Abb. 6).

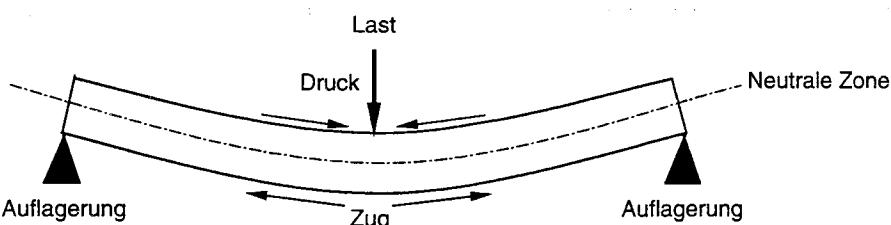


Abb. 4

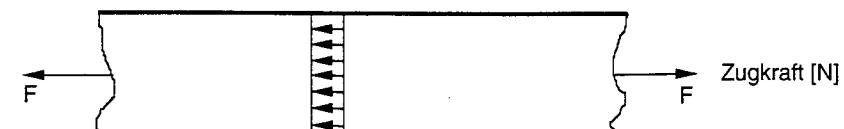


Abb. 5



Abb. 6

Bei inhomogener Oberfläche (mit Kerbe) und Einwirkung von Zugkräften treten die höchsten Spannungen direkt an der Kerbe auf. Durch entsprechend hohe Spannungsspitzen im Bereich dieser Kerbe kommt es zur gefährlichen Rissverweiterung, gegebenenfalls zum Glasbruch.

Abhängigkeit zwischen Anrißtiefe, Biegezugfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit von Floatglas

Je tiefer ein Anriß, desto geringer ist die zur Bruchauslösung benötigte Kraft (Spannung). Auf der Anrißtiefe eines Glasschnittes oder Einlaufs kann somit die Biegezugfestigkeit errechnet werden, die zum Bruch der Scheibe führt. Die folgende Formel gilt zur Abschätzung einer Spannung, die zum Glasbruch in feuchter Luft bzw. im Wasser bei Raumtemperatur führt:

$$a = \frac{25}{\delta^2}$$

$$a = \text{Anrißtiefe} \quad [\text{mm}]$$

$$\delta = \text{Biegezugfestigkeit} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Die bei Teilerwärmung innerhalb einer Glasfläche auftretenden Temperaturunterschiede erzeugen im Glas ebenfalls eine Spannung, die zum Glasbruch führen kann. Dabei kann die Temperaturdifferenz und die Biegezugfestigkeit in der Scheibe äquivalent betrachtet werden, weil der Elastizitätsmodul ($E = 7,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$) und der Ausdehnungskoeffizient ($\alpha = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) von Glas Konstanten darstellen. Das heißt, je tiefer der Anriß, desto geringer die Biegezugfestigkeit, beziehungsweise die Temperaturdifferenz, die zum Bruch führt. Nachfolgende Formel zeigt die Zusammenhänge.

$$\delta = E \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$$

$$E = \text{Elastizitätsmodul} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\Delta\vartheta = \text{Temperaturdifferenz} \quad [\text{K}]$$

$$\alpha = \text{linearer Ausdehnungskoeffizient} \quad [\text{K}^{-1}]$$

Eine Abschätzung nach der oben genannten Formel ergibt folgende Abhängigkeiten zwischen Anrißtiefe [a], Biegezugfestigkeit [δ] und Temperaturwechselbeständigkeit [D_f] (s. Tab. 1):

Temperaturdifferenzen innerhalb der Scheibenfläche von ca. $30-60^\circ\text{C}$, die im Hochbau durchaus vorkommen können, lösen demzufolge bereits bei Anrißtiefen von $0,02-0,08 \text{ mm}$ Glasbruch aus.

Tabelle 1

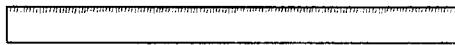
$\Delta\vartheta$ [$^\circ\text{C}$]	δ [N/mm^2]	a [mm]
10	6,1	0,68
20	12,2	0,17
30	18,3	0,08
40	24,4	0,04
50	30,5	0,03
60	36,6	0,02

Bearbeitung von Glas

Wie oben bereits detailliert betrachtet, entstehen durch das Schneiden und Brechen von Glas in der Glaskante nicht vermeidbare mikroskopisch kleine Anrisse und Verletzungen. Diese stellen bei Belastung der Scheiben immer eine entscheidende Schwachstelle dar. An diesen Schnittkanten können bei Belastung zum Teil beträchtliche Spannungsspitzen (Kerbspannungen) entstehen, was den Widerstand des Glases gegen Bruch erheblich reduziert.

Die Qualität eines Schnittes kann nach dem Bruch an der Bruchkante einfach erkannt werden:

1. Saubere Schnittkante mit gutem Bruchbild und kleinsten Einkerbungen durch den Glasschneider:



2. Schlechte Schnittkante mit starken Einkerbungen und Ausbrüchen:



3. Sehr schlechte Schnittkante mit starken Einkerbungen, Ausbrüchen und Ausmuschelungen:



Welche Lasten gibt es am Baukörper?

Die am Baukörper auftretenden Lasten, die auf senkrecht oder geneigt eingebaute Verglasungen einwirken können, zeigt das nachfolgende Bild am Beispiel einer Senkrechtverglasung (Abb. 7):

Je nach Einbau, Art der Verglasungen, usw. treten diese Lasten in den unterschiedlichsten Kombinationsmöglichkeiten auf.

Zusätzlich können durch fehlerhaften Transport und Lagerung ebenfalls erhebliche Lasten auf Glas einwirken, die zu Glasbruch führen können (Tab. 2).

Typisches Erscheinungsbild eines „Thermischen Sprunges“

Werden beim Glas die typischen Materialkennwerte in Abhängigkeit von der Glaskantenbeschaffenheit und der Temperaturwechselbeständigkeit überschritten, so entsteht ein thermischer Sprung. Dabei verläuft der Einlauf von der Glaskante immer im kürzesten Weg zur Kalt/Warmzone (Druck- oder Zugzone). Erst hier kommt es dann zu einer deutlichen Richtungsveränderung und einem mäanderförmigen weiteren Verlauf. Auch im Durchlauf ist der Sprung rechtwinklig, weil er auch hier den kürzesten Weg beschreitet. Der Sprung folgt also immer dem Weg des geringsten Widerstandes.

Grundsätzlich gilt, ein Leitsprung (Ausgangssprung) wird durch andere Sprünge (Sekundärsprünge) niemals übersprungen.

Deshalb sind thermische Sprünge immer eindeutig aufgrund ihres rechtwinkligen Einlaufs und Durchlaufs zu klassifizieren. Einzige Ausnahme bildet dabei der „Wurmsprung“, da dieser weder an der Glaskante beginnt, noch endet.

Bei der Beurteilung von Sprungbildern sollte grundsätzlich mit der Frage nach thermischer Sprungbildung begonnen werden, um hier im ersten Schritt eine eindeutige Zuordnung zu erzielen.

Oft bildet der Sprung am Sprungende zusätzlich ein sogenanntes „Häkchen“ aus.

Ursachen für Temperaturdifferenzen auf Glasscheiben

Für die Entstehung von thermischen Brüchen gibt es eine Vielzahl an Auslösungsmechanismen

- Teilbeschattung/Schlagschatten z. B. Dachüberstände, Bäume
- Direkte Sonnenbestrahlung ohne Abdeckung z. B. bei größeren Glaspaketen oder Wärme- und Sonnenschutzfunktionsgläsern ohne Abdeckung
- Innenliegender Sonnenschutz z. B. bei zu geringem Abstand von der Scheibe oder nur teilweise hochgezogen
- Bemalen, Bekleben v. a. mit dunkler Farbe, Reklameaufkleber
- Heizkörper bei zu geringem Abstand der Scheibe
- Lokale Erwärmung z. B. Grill, Aufaugeräte, Heißluftgebläse, Lötlampe, Schweißgerät
- Anordnung dunkler Gegenstände direkt hinter Verglasungen z. B. Aktentasche, Sessel, Klavier, Innendekoration
- Dunkle, breite Sprossen im SZR von Isolierglas

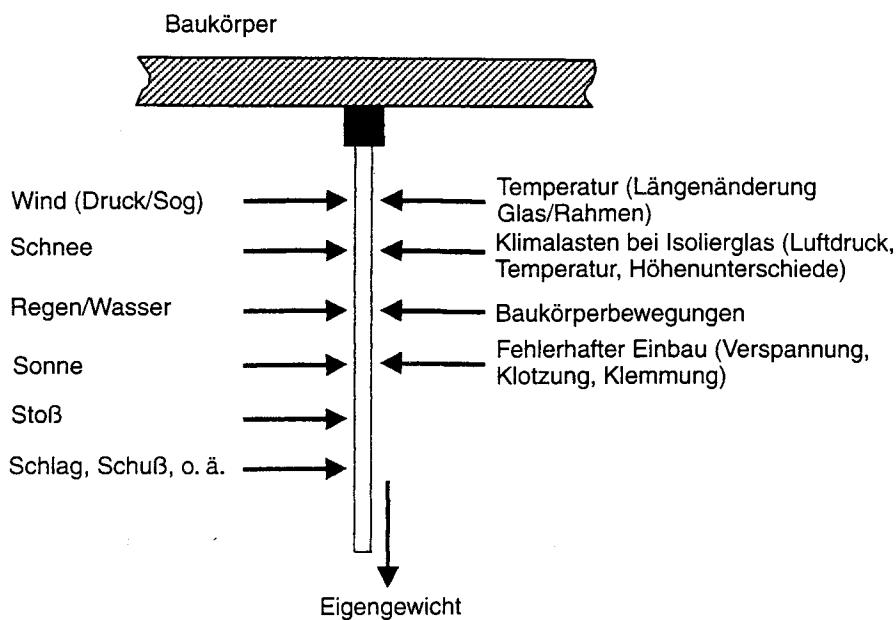


Abb. 7

- Zu tiefer Falzeinstand ab > ca. 20 mm
- Gewitterregen v. a. morgens an Herbsttagen
- Verlegung von Gußasphalt v. a. bei bodenständigen Glaskonstruktionen

Mechanische Sprünge

Wird bei Glas, in Abhängigkeit der Kantenbeschaffenheit, der typische Materialkennwert der Biegezugfestigkeit überschritten, so entstehen mechanische Sprünge.

Die Beurteilung dieser mechanischen Sprünge ist wesentlich schwieriger als bei thermischen, da eine viel größere Anzahl an Beurteilungskriterien zugrunde gelegt werden muß. Die wichtigsten Merkmale sind:

- Winkel im Einlauf
- Winkel in Durchlauf
- Ausmuschelungsarten
- Sprungzentrum
- Sprungverlauf ohne Zentrum
- Sprungbild
- Sprungort
- Art- und erzeugnisspezifische Sprungbilder.

Ein detailliertes Eingehen auf die Reklamationsabwicklung kann hier nicht vorgenommen werden, da dies aufgrund des großen Umfangs einer gesonderten Darstellung bedarf. Eine Veröffentlichung zum Thema „Reklamationsabwicklung in der Glasbranche“ ist in Vorbereitung.

Bei den mechanischen Sprüngen gilt, daß der Sprung nicht immer dem Weg des geringsten Widerstandes, sondern in vielen Fällen der kraftauslösenden Komponente (z. B. Kantenstoß) folgt. Grundsätzlich gilt aber auch hier, daß Sekundärsprünge immer nur bis zum Leitsprung (Ausgangssprung) laufen und diesen niemals überschreiden.

Beurteilung von Bruchbildern

Bei der Beurteilung von Bruchbildern sollte grundsätzlich mit der Frage nach thermischer Sprungbildung begonnen werden, um hier im ersten Schritt eine eindeutige Zuordnung zur Gruppe der thermischen oder mechanischen Sprünge sicherzustellen.

Die nachfolgend dargestellten Bruchbilder sind weitestgehend strukturiert und auf das wesentliche beschränkt. Die eindeutige Erkennung von Bruchursachen bedarf trotz allem einer großen Erfahrung. Deshalb sollte diese Beurteilung nicht von Laien durchgeführt werden.

In wenigen, seltenen Fällen ist eine eindeutige Ursachenzuordnung allein aufgrund des Bruchbildes der Scheibe vor Ort nicht eindeutig möglich. Hilfreich ist dann die Überprüfung des

Tabelle 2: Das vereinfachte periodische System der Glasbrüche®

	A	B		C	D	E
	Thermische Lasten			Mechanische Lasten		
	Punktlast	Streckenlast		Punktlast	Streckenlast	Flächenlast
1	Schwache Intensität		001 Thermischer Normalsprung 005 Thermischer Streckensprung	Kurz-zeitig	007 ESG-Bruch 009 Einschüßloch 010 Steinschleuderbruch 012 Steinwurfbrech Float 013 Kantenstoßbruch 014 Eckenstoßbruch 016 Randsprung 017 Klemmsprung 019 Sprossensprung I	023 Flächendrucksprung III
2	Starke Intensität	002 Palmsprung 006 Wurmsprung 008 Nickelsulfidbruch	003 Starker thermischer Sprung 004 Sehr starker therm. Sprung 005 Thermischer Streckensprung	Lang an-haltend	019 Sprossensprung I 020 Sprossensprung II	021 Flächendrucksprung I 022 Flächendrucksprung II
3				Kurz-zeitig	015 Kantendrucksprung	023 Flächendrucksprung III
4				Lang an-haltend	015 Kantendrucksprung 017 Klemmsprung	021 Flächendrucksprung I 022 Flächendrucksprung II
5	Hybridsprünge		050 Hybridsprung I (Thermisch/mechanischer Kombinationssprung)		017 Klemmsprung 024 Kelchsprung I 025 Kelchsprung II	

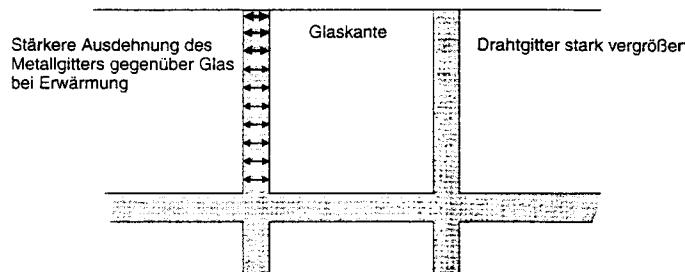


Abb. 8

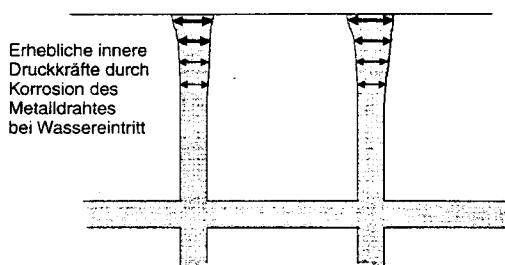


Abb. 9

Scheibenquerschnitte unter dem Mikroskop, um bei komplizierten Sprungverläufen unter Umständen den Initialsprung ermitteln zu können. Diese sehr aufwendige Methode kann allerdings nur in Ausnahmefällen angewandt werden und bedarf sehr viel Erfahrung bei der Ursachenerforschung. In der Regel kann aber bereits bei genauerer Prüfung vor Ort die mögliche(n) Bruchursache(n) hinreichend genau ermittelt werden.

Glasbruch bei Glas mit Drahteinlage

Bei Draht-, Drahtornament- oder Drahtspiegelglas kommt es aufgrund der Drahteinlage besonders leicht zu Glasbruch. Hierbei wirkt die Drahteinlage nicht als Armierung, sondern schwächt die Belastbarkeit. Ursache ist die starke Kerbwirkung, die durch die Drahteinlage auf die Glaskante ausgeübt wird. Diese Kerbwirkung kommt einmal zustande, weil Glas und Metallgitter unterschiedlich starke Ausdehnungskoeffizienten besitzen und somit ein verstärkter innerer Druck vom Drahtgitter ausgehend auf die Glas-

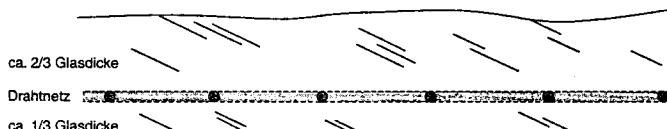


Abb. 10

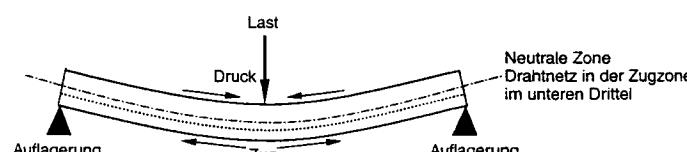


Abb. 11

fläche und besonders die eingekerbte Glaskante (Mikroeinläufe) wirkt (Abb. 8).

Zum zweiten entsteht bei Drahtglas eine starke Kerbwirkung durch Korrosion der Enden des Drahtgitters. Bei der Korrosion von Metallen kommt es zu einer erheblichen Volumensvergrößerung, wodurch ebenfalls ein starker innerer Druck auf die Glaskante ausgeübt wird (Abb. 9).

Eine dritte Schwachstelle bei allen Gläsern mit Drahteinlage stellt die nicht symmetrisch eingebrachte Drahteinlage dar. In der Regel befindet sich die Drahteinlage in Bezug auf die Glasdicke im Verhältnis von 2 zu 1 im Glas (Abb. 10).

Wird jetzt im Überkopfbereich das Glas mit der Drahteinlage nach unten verlegt, so wird die sowieso schon schwächer belastbare Zugzone des Glases durch die Drahteinlage noch weiter geschwächt (Abb. 11).

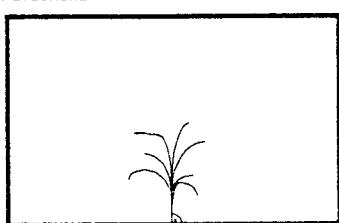
Bei Abwägung aller dieser Vor- und Nachteile sollte der Einsatz von Gläsern mit Drahteinlage wohl überlegt werden. Eine Berechtigung besitzt Drahtglas unseres Erachtens sicherlich noch im Brandschutzbereich als G 30 Variante.

Je nach Glasart und -erzeugnis verlaufen die Sprünge unterschiedlich zum Erscheinungsbild der sogenannten „reinen Floatsprungbilder“. In der Sprungbild Dokumentation des periodischen Systems für Glasbrüche werden Sprungbilder für verschiedene Glasarten und -erzeugnisse aufgezeigt. Aufgrund der selteneren Anwendung von Gläsern mit Drahteinlagen und von Teilvorgespanntem Glas (fehlende Norm für TVG) wird auf die Besonderheiten für diese Glasarten zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen.

Einige Beispiele für Glasbrüche nach dem periodischen System

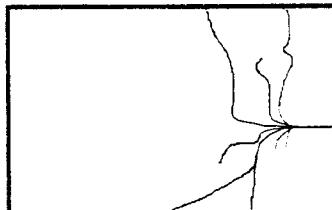
Thermischer Normalsprung	Nummer Periodensystem	1 B
Beispiel Bruchbild		Fortlaufende Nummer
		001
Beurteilungsmerkmale	1 B	Thermische Streckenlast mit schwacher Intensität
Ursprung		Winkel des Einlaufs rechtswinklig, Winkel des Durchlaufs rechtswinklig Keine Kantenausmuschelungen
Verlaufsform		An der Kalt-/Warmzone abknickend, danach mäanderförmig verlaufend
Auslauf		Geradlinig, oft mit Häckchen
Flächenbild		Oft Ausmuschelungen in der Fläche
Sonstiges		Wallner'sche Linien, vor allem im Bereich der ersten Richtungsänderung vorhanden.
Praxisbeispiele		Zu tiefer Falzeinstand Abgeflämmte Wärmefunktionsschichten Gestapelt Wärme- und Sonnenschutzfunktionsgläser ohne Abdeckung bei direkter Sonneneinstrahlung

Palmsprung	Nummer Periodensystem	2 A
	Fortlaufende Nummer	002
	Beispiel Bruchbild	

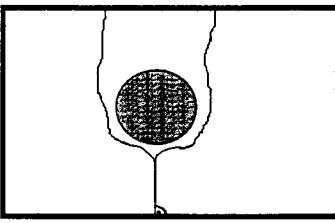


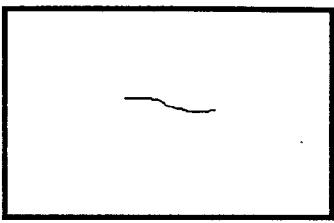
Beurteilungs- merkmale	2 A	Punktuelle thermische Last im Randbereich mit starker Intensität
Ursprung		Winkel des Einlaufs rechtwinklig, Winkel des Durchlaufs rechtwinklig Keine Kantenabschmelzungen, kein Zentrum
Verlaufsform		Geradlinig bis zur Kalt-/Warmzone, danach palmartige Auffächerung
Auslauf		Geradlinig, selten Häkchen
Flächenbild		Selten Ausmuschelungen in der Fläche
Sonstiges		Wallner'sche Linien, vor allem im Bereich der ersten Richtungsänderung vorhanden
Praxis- beispiele		Starke Erhitzung im Randbereich, z.B. durch Lötlampe oder Heizungsrohr

Sehr starker thermischer Sprung	Nummer Periodensystem	2 B
	Fortlaufende Nummer	004
	Beispiel Bruchbild	

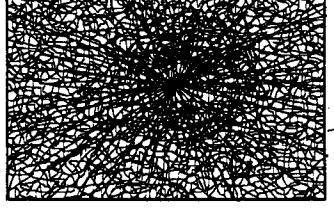


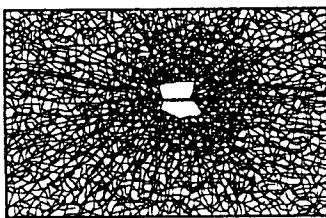
Beurteilungs- merkmale	2 B	Thermische Streckenlast mit sehr starker Intensität
Ursprung		Winkel des Einlaufs rechtwinklig, Winkel des Durchlaufs rechtwinklig Keine Kantenabschmelzungen
Verlaufsform		Richtungsänderung und sehr starke Auffächerung an der Kalt-/Warmzone, danach mäanderförmig verlaufend
Auslauf		Geradlinig, gelegentlich mit Häkchen
Flächenbild		Oft Ausmuschelungen in der Fläche
Sonstiges		Wallner'sche Linien, vor allem im Bereich der ersten Richtungsänderung vorhanden.
Praxis- beispiele		Schweißbrenner oder Heißluftgebläse direkt an Glasscheibe Gußasphaltverlegung

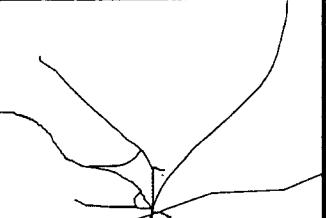
Thermischer Streckensprung (Variante)		Nummer Periodensystem:	1 B 2 B
		Fortlaufende Nummer	005
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungsmerkmale 1 B Thermischer Streckenlast mit schwacher bis starker Intensität 2 B			
Ursprung	Winkel des Einlaufs rechtwinklig, Winkel des Durchlaufs rechtwinklig Keine Kanten ausmuschelungen		
Verlaufsform	Geradlinig mit Richtungsänderung und Aufspaltung an der Kalt-/Warmzone		
Auslauf	Geradlinig		
Flächenbild	Oft Ausmuschelungen in der Fläche		
Sonstiges	Wallner'sche Linien, vor allem im Bereich der ersten Richtungsänderung vorhanden.		
Praxisbeispiele	Größerer dunkler Reklameaufkleber auf der Scheibenfläche Partielle Innendekoration direkt an der Glasscheibe		

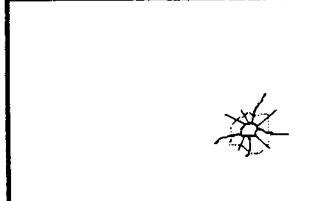
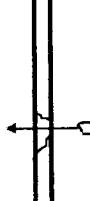
Wurmsprung		Nummer Periodensystem	2 A
		Fortlaufende Nummer	006
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungsmerkmale 2 A Punktuelle thermische Last mit sehr starker Intensität bei sehr großen und dicken Scheiben			
Ursprung	Nicht vorhanden, Bruch beginnt und endet innerhalb der Scheibenfläche		
Verlaufsform	Geradlinig „wurmartig“ in Scheibenmitte oder nahe des Zentrums		
Auslauf	Keine Unterschiede zwischen Sprungbeginn und Sprungende möglich, da der Sprung in Richtung der Glasdicke läuft !!		
Flächenbild	Oft Ausmuschelungen, oft starker Kantenversatz in der Fläche		
Sonstiges	Wallner'sche Linien vorhanden		
Praxisbeispiele	Starke punktuelle Erhitzung im Zentrum einer sehr großen und dicken Scheibe durch Schweißbrenner o. ä.		

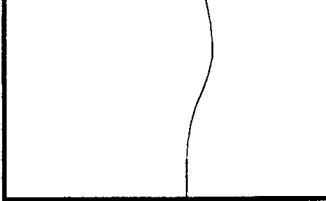
Thermischer Streckensprung (Variante)		Nummer Periodensystem	1 B 2 B
		Fortlaufende Nummer	005
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungsmerkmale 1 B Thermischer Streckenlast mit schwacher bis starker Intensität 2 B			
Ursprung	Winkel des Einlaufs rechtwinklig, Winkel des Durchlaufs rechtwinklig Keine Kanten ausmuschelungen		
Verlaufsform	Flach mäanderförmig entlang der Kalt-/Warmzone		
Auslauf	Geradlinig		
Flächenbild	Oft Ausmuschelungen und Flächenversatz der Sprungkanten		
Sonstiges	Wallner'sche Linien, vor allem im Bereich der ersten Richtungsänderung vorhanden		
Praxisbeispiele	Dunkle Reklameflächen auf der Glasscheibe Partielle Innendekoration direkt an der Glasscheibe Teilverdunkelung mit innenliegender Jalousie nahe der Glasscheibe Abschattung durch Dachüberstand		

ESG-Bruch		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	007
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungsmerkmale 1 C Punktuelle kurzzeitige dynamische Last auf die Glasfläche			
Ursprung	Punktartiges Zentrum		
Verlaufsform	Radial vom Zentrum ausstrahlende Einläufe mit typischem ESG-Krümelbild		
Auslauf	Ganzflächig bis zum Rand		
Flächenbild	Ausmuschelung im Bereich des Zentrums		
Sonstiges	In der Regel nur bei VSG aus ESG zu sehen, da normalerweise die einzelne ESG-Scheibe beim Bruch zerfällt.		
Praxisbeispiele	Geschoß, spitzer Hammerschlag oder Steinschlag nur bei ESG Punkthalter im Senkrech- oder Überkopfbereich bei VSG aus 2xESG		

Nickelsulfidbruch		Nummer Periodensystem	2 A
		Fortlaufende Nummer	008
Beispiel Bruchbild			
			
Schmetterlingsbild vergrößert dargestellt			
Beurteilungs- merkmale	2 A	Punktuelle thermische Last mit sehr starker Intensität nur bei ESG (Einscheibensicherheitsglas)	
Ursprung		Relativ großflächige Schmetterlingsstruktur mit zentraler Verlängerung	
Verlaufsform		Kleine, netzförmige, ESG-typische Bruchstücke, ausgehend von der Zentrallinie über die gesamte Scheibenfläche	
Auslauf			
Flächenbild		ESG-typische Krümelung ohne Besonderheiten	
Sonstiges		Extrem kleiner Nickelsulfideinschluß an der Schmetterlingstrennlinie vorhanden (winziger schwarzer Punkt)	
Praxis- beispiele		Extrem selten, bei allen ESG-Scheiben als sogenannter „Spontanbruch“ möglich Kann mit 95% Sicherheit durch Heißlagerung ausgeschlossen werden.	

Randsprung		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	016
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungs- merkmale	1 C	Kurzzeitige dynamische Punktbelaestung im Randbereich	
Ursprung		Winkel Einlauf $\neq 90^\circ$, Winkel Durchlauf $\neq 90^\circ$ Ausmuschelungen häufig im Kantenbereich, punktuell Zentrum im Randbereich	
Verlaufsform		Strahlenförmig vom Zentrum in alle Richtungen (eckig)	
Auslauf		Geradlinig bis eckig	
Flächenbild		Keine Besonderheiten	
Sonstiges			
Praxis- beispiele		Schlagewirkung wie z.B. Hammerschlag auf Glasleiste bei Montage	

Steinschleuderbruch		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	010
Beispiel Bruchbild			
 			
Beurteilungs- merkmale	1 C	Punktuelle kurzzeitige Last in der Glasfläche mit hoher Dynamik	
Ursprung		Sägezahnartiges Zentrum	
Verlaufsform		Radial vom Zentrum ausstrahlende kurze Einläufe	
Auslauf		Geradlinig	
Flächenbild		Sägezahnartige Ränder	
Sonstiges		Unregelmäßiger kegelförmiger Ausbruch zur angriffsabgewandten Seite	
Praxis- beispiele		Steinschleudergeschoß	

Torsionssprung		Nummer Periodensystem	1 D
		Fortlaufende Nummer	018
Beispiel Bruchbild			
			
Beurteilungs- merkmale	1 D	Kurzzeitige dynamische Streckenlast	
Ursprung		Winkel Einlauf $\neq 90^\circ$, Winkel Durchlauf $\neq 90^\circ$ Keine Ausmuschelungen im Randbereich Kein Zentrum	
Verlaufsform		Gerader bis leicht welliger Verlauf	
Auslauf		Geradlinig bis zur Glaskante	
Flächenbild		Meist durchlaufend	
Sonstiges			
Praxis- beispiele		Klemmende Flügelrahmen Nicht plane Lagerung oder Transport Baubewegungen	

Steinwurfbruch VSG		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	012
Beispiel Bruchbild			

Beurteilungsmerkmale	1 C	Punktuelle kurzzeitige Last auf eine VSG-Glasfläche mit geringer bis mittlerer Dynamik bei VSG
Ursprung	Punktuelles Zentrum	
Verlaufsform	Geradlinig strahlenförmige Sprünge radial vom Zentrum ausgehend (starkes Spinnennetz)	
Auslauf	Geradlinig, häufig bis zur Glaskante	
Flächenbild	Glatte, spinnennetzartige Charakteristik mit Einbauchung	
Sonstiges	In der Regel kein Durchbruch	
Praxisbeispiele	Kopfaufprall auf Autofrontscheibe aus VSG Steinwurf mit Ziegel- oder Pflasterstein (geringere Dynamik mit größerer Masse)	

Kantenstoßbruch		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	013
Beispiel Bruchbild			

Beurteilungsmerkmale	1 C	Punktuelle kurzzeitige dynamische Last
Ursprung		Winkel Einlauf $\neq 90^\circ$, Winkel Durchlauf $\neq 90^\circ$ Mehr oder weniger starke Ausmuschelungen an der Kante je nach Kräfteinwirkung
Verlaufsform		Punktuelles Zentrum an der Kante
Auslauf		Geradliniger bis eckiger Verlauf strahlenförmig vom Zentrum ausgehend
Flächenbild		
Sonstiges		
Praxisbeispiele		Ausmuschelungen im an der Kante gelegenen Zentrum
		Abstellen der Scheibe auf steinigen Untergrund Falsche Handhabung der Spannleisten bei Glastransportgestellen Baustellenbeschädigung

Eckenstoßbruch		Nummer Periodensystem	1 C
		Fortlaufende Nummer	014
Beispiel Bruchbild			

Beurteilungsmerkmale	1 C	Punktuelle kurzzeitige dynamische Last
Ursprung		Winkel Einlauf $\neq 90^\circ$, Winkel Durchlauf $\neq 90^\circ$ Mehr oder weniger starke Ausmuschelungen an der Kante je nach Kräfteinwirkung
Verlaufsform		Punktuelles Zentrum an der Kante
Auslauf		Geradliniger bis eckiger Verlauf strahlenförmig vom Zentrum ausgehend
Flächenbild		
Sonstiges		
Praxisbeispiele		Ausmuschelungen im an der Kante gelegenen Zentrum
		Abstellen der Scheibe auf steinigen Untergrund Baustellenbeschädigung

Kantendrucksprung		Nummer Periodensystem	4 C
		Fortlaufende Nummer	015
Beispiel Bruchbild			

Beurteilungsmerkmale	3 C	Punktuelle kurzzeitige oder lang anhaltende statische
Ursprung	4 C	Last im Kantenbereich
		Winkel Einlauf $\neq 90^\circ$, Winkel Durchlauf $\neq 90^\circ$ Normalerweise keine Ausmuschelungen an der Kante
Verlaufsform		Punktuelles Zentrum an der Kante
Auslauf		Geradlinige bis eckige Sprünge strahlenförmig vom Zentrum ausgehend
Flächenbild		
Sonstiges		
Praxisbeispiele		Geradlinig, teilweise bis zur Glaskante
		Normalerweise keine Ausmuschelungen in der Fläche
		Zu stramme Verschraubung Zu starke Vernagelung der Glasleisten ohne Vorlegebard
		Aufsteigender Rost, gequollener Holzrahmen Zu kleine Klötze bei sehr großen, schweren Scheiben