

I. Grundlagen der Glaschemie und Netzworkebildner

Alle betrachteten Gläser basieren primär auf Siliciumdioxid (SiO_2) als Netzworkebildner. Die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Glasarten werden jedoch durch die Zugabe von Netzworke-Wandlern (wie Alkali- oder Erdalkalioxiden) und Zwischenoxiden (wie Aluminiumoxid) gesteuert. Diese Zusätze unterbrechen die starre Struktur der Silikatketten, senken den Schmelzpunkt oder erhöhen die chemische Widerstandsfähigkeit.

II. Spezifische Materialsysteme und ihre Charakteristika

- **Kalk-Natron-Glas (Fensterglas & Trinkglas):** Dies ist die ökonomisch bedeutendste Gruppe. Es besteht zu ca. 70–75 % aus SiO_2 , etwa 12–15 % Natriumoxid (Na_2O) als Flussmittel und 8–12 % Calciumoxid (CaO) zur Stabilisierung. Während Fensterglas auf optimale Lichttransmission und Planität optimiert ist, weisen Trinkgläser oft leicht modifizierte Anteile auf, um die Spülmaschinenfestigkeit (Hydrolysebeständigkeit) zu erhöhen.
- **Glasuren von Keramikfliesen:** Fliesenglasuren sind hochkomplexe Glas-Systeme, die auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten des keramischen Scherbens abgestimmt sein müssen. Sie enthalten oft signifikante Anteile an Aluminiumoxid (Al_2O_3), um die Viskosität der Schmelze zu erhöhen, sowie Trübungsmittel wie Zirkonoxid (ZrO_2). Im Gegensatz zu freistehendem Glas müssen Glasuren extrem dünn (0,1 bis 0,5 mm) stabil bleiben und eine extrem hohe mechanische Ritzhärte aufweisen.
- **Borosilikatglas (Laborglas):** Durch den Ersatz von Alkalioxiden durch Bortrioxid (B_2O_3) entsteht ein Glas mit extrem niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Dies macht es resistent gegen Thermoshock. Zudem ist die chemische Resistenz gegenüber Säuren und Laugen um ein Vielfaches höher als bei Kalk-Natron-Gläsern, da das Bor-Silikat-Netzwerk deutlich schwerer durch Ionenaustausch aufzubrechen ist.
- **Bleikristallglas (Kristallglas):** Hier werden Calciumoxide durch Bleioxid (PbO) ersetzt (oft über 24 %). Die hohe Dichte des Bleis steigert den Brechungsindex massiv, was zu dem charakteristischen "Feuer" und der Brillanz führt. Wissenschaftlich betrachtet ist Bleikristall weicher als Fensterglas, was eine mechanische Bearbeitung durch Schleifen und Gravieren erleichtert, es jedoch anfälliger für Oberflächenkorrosion macht.

III. Vergleichende physikalische Parameter

Glastyp	Hauptkomponente	Besondere Eigenschaft	Anwendung
Kalk-Natron	SiO_2 , Na_2O , CaO	Kostengünstig, formbar	Fenster, Behälter
Borosilikat	SiO_2 , B_2O_3	Thermische/Chemische Stabilität	Labor, Kochgeschirr
Fliesenglasur	SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2	Härte, Substratbindung	Keramikoberflächen
Bleikristall	SiO_2 , PbO	Hoher Lichtbrechungsindex	Hochwertige Kelchgläser

IV. Fazit der Materialbeständigkeit mit Glaskorrosion:

Die Beständigkeit gegen Korrosion korreliert direkt mit dem Anteil an Netzworke-Wandlern. Während Laborglas durch sein dichtes Netzwerk fast inert bleibt, sind Bleikristall und herkömmliche Kalk-Natron-Gläser (Trinkgläser) im feuchtheißen Milieu einer Spülmaschine deutlich anfälliger für die Trübung durch Ionenaustausch. Die Fliesenglasur nimmt hier eine Sonderstellung ein, da sie durch Aluminiumoxid-Zusätze mechanisch sehr stabil, aber durch ihre große Oberfläche im Nassbereich dennoch chemisch verwundbar ist.

Wissenschaftliche Expertise: Resistenzklassen von Borosilikatglas 3.3

I. Definition und Werkstoffcharakteristik

Borosilikatglas 3.3 zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an Siliciumdioxid ($\text{SiO}_2 \approx 81\%$) und Bortrioxid ($\text{B}_2\text{O}_3 \approx 13\%$) aus. Diese Zusammensetzung führt zu einem extrem belastbaren, dreidimensionalen Netzwerk. Im Gegensatz zu herkömmlichem Kalk-Natron-Glas ist der Anteil an Alkalioxiden stark reduziert, was die chemische Angreifbarkeit minimiert. Die Beständigkeit wird international in standardisierten Resistenzklassen nach ISO-Normen definiert, um eine präzise Materialauswahl für industrielle und wissenschaftliche Prozesse zu ermöglichen.

II. Analyse der spezifischen Resistenzklassen

- **Hydrolytische Beständigkeit (ISO 719 / ISO 720):** Borosilikatglas 3.3 entspricht der **Klasse HGB 1** (Hydrolytische Klasse 1). Dies bedeutet, dass bei einer thermischen Belastung von 98°C über eine Stunde praktisch keine Alkali-Ionen in das Wasser abgegeben werden. Während bei einfachem Fensterglas signifikante Mengen Natrium gelöst werden (was den pH-Wert der Lösung ansteigen lässt), bleibt Borosilikatglas nahezu inert. Dies verhindert die Verfälschung chemischer Analysen durch Ionen-Migration aus dem Gefäßmaterial.
- **Säurebeständigkeit (DIN 12116):** Das Material wird in die **Säureklasse 1 (S1)** eingestuft. Der Gewichtsverlust bei mehrstündigem Kochen in 6-molarer Salzsäure (HCl) liegt unter $0,7 \text{ mg pro } 100 \text{ cm}^2$ Oberfläche. Es ist resistent gegen fast alle anorganischen und organischen Säuren. Eine kritische Ausnahme bildet lediglich Flusssäure (HF) sowie heiße, konzentrierte Phosphorsäure (H_3PO_4), welche das Silikatgerüst durch Komplexbildung direkt angreifen und auflösen.
- **Laugenbeständigkeit (ISO 695):** Hier erreicht das Glas die **Klasse A2** (bestenfalls A1 bei niedrigen Temperaturen). Da Basen (wie Natronlauge NaOH) das Si-O-Si Netzwerk direkt angreifen, ist die Korrosionsrate hier materialbedingt höher als bei Säuren. Dennoch bietet Borosilikatglas auch hier eine deutlich höhere Standzeit als herkömmliches Glas, da die Kieselgelschicht, die sich bei moderatem pH-Wert bildet, eine gewisse Schutzfunktion gegen weiteren Abtrag übernimmt.

III. Vergleich der Abtragsraten (Kalk-Natron vs. Borosilikat)

In der praktischen Anwendung bedeutet dies: Während eine Standard-Fliesenglasur oder ein Trinkglas in einer aggressiven, heißen Lauge innerhalb weniger Zyklen eine sichtbare Trübung (Korrosion) aufweist, bleibt die Oberfläche von Borosilikatglas über hunderte Zyklen hinweg optisch klar und strukturell intakt. Der Massenabtrag ist bei Borosilikatglas um den Faktor 10 bis 100 geringer als bei Silikatgläsern mit hohem Alkaligehalt.

Medium	Belastung	Borosilikat 3.3	Kalk-Natron-Glas
Dest. Wasser	100°C , 1h	$< 0,1 \%$ Abtrag	ca. 2-5 % Abtrag
HCl (konz.)	Siedepunkt	Minimaler Oberflächenangriff	Deutliche Auslaugung
NaOH (alkalisch)	pH 13, 50°C	Stabil (Klasse A2)	Starker Oberflächenabtrag

Mechanische Kennwerte: Ein Werkstoffvergleich der Glassysteme

I. Elastizitätsmodul und Steifigkeit

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) beschreibt den Widerstand eines Glases gegen elastische Verformung. Borosilikatglas 3.3 weist mit ca. 64 kN/mm² eine geringere Steifigkeit auf als klassisches Kalk-Natron-Glas (ca. 72 kN/mm²). Dies mag zunächst paradox erscheinen, ist jedoch für die Thermoschockresistenz entscheidend: Ein niedrigerer E-Modul in Kombination mit einem geringen Ausdehnungskoeffizienten erlaubt es dem Borosilikatglas, thermische Spannungen flexibler aufzunehmen, ohne zu brechen. Im Gegensatz dazu sind hochverdichtete Fliesenglasuren oft sehr steif, um eine harte Verbundwirkung mit dem keramischen Träger einzugehen, was sie jedoch anfälliger für Spannungsrisse (Crazing) macht.

II. Härteprüfung nach Vickers (HV)

Die Ritzhärte und der Widerstand gegen Oberflächenpenetration werden meist über die Vickers-Härte definiert. Kalk-Natron-Gläser liegen typischerweise bei etwa 450 bis 550 HV. Hochwertige Fliesenglasuren werden oft gezielt auf maximale Härte optimiert (bis zu 650 HV durch Zusätze von Aluminiumoxid), um den abrasiven Belastungen durch Schuhwerk oder Reinigungskörper standzuhalten. Bleikristall hingegen ist mit Werten um 380 bis 420 HV vergleichsweise weich, was die mechanische Bearbeitbarkeit (Glasschliff) begünstigt, aber die Anfälligkeit für Mikrokratzer drastisch erhöht.

III. Bruchzähigkeit und Biegezugfestigkeit

Glas ist ein spröder Werkstoff ohne plastische Verformungsreserve. Die Biegezugfestigkeit ist stark von der Oberflächenqualität abhängig. Jede Mikroverletzung der Oberfläche (etwa durch die zuvor besprochene Glaskorrosion) wirkt als Kerbe und senkt die effektive Festigkeit massiv. Borosilikatglas hat hier den Vorteil, dass seine Oberfläche aufgrund der hohen chemischen Resistenz länger glatt bleibt, wodurch die nominelle Festigkeit von ca. 25 bis 50 N/mm² im praktischen Einsatz konstanter gehalten wird als bei korrosionsanfälligeren Gläsern.

IV. Vergleichende Datentabelle

Parameter	Einheit	Borosilikat 3.3	Kalk-Natron (Fenster)	Bleikristall
Dichte (ρ)	g/cm ³	2,23	2,50	2,90–3,10
E-Modul (E)	kN/mm ²	64	72	55–60
Vickers-Härte	0,1/20	560	520	400
Ausdehnung (α)	10–6K–1	3,3	9,0	8,0–10,0

Fazit der mechanischen Analyse:

Es zeigt sich eine klare Korrelation: Gläser, die für thermische Extreme optimiert sind (Borosilikat), opfern ein gewisses Maß an Steifigkeit für Flexibilität. Gläser für optische Brillanz (Bleikristall) opfern Härte für den Brechungsindex. Die Fliesenglasur stellt einen Spezialfall dar, bei dem eine extrem hohe Härte angestrebt wird, die jedoch durch chemische Korrosion im Nassbereich (wie eingangs erörtert) untergraben werden kann.

Wissenschaftliche Analyse: Verfahren zur Festigkeitssteigerung (Vorspannung)

I. Thermisches Vorspannen (Einscheiben-Sicherheitsglas - ESG)

Das thermische Vorspannen ist das gängigste Verfahren zur Erhöhung der Biegezugfestigkeit. Hierbei wird die Glasscheibe auf eine Temperatur oberhalb der Transformationstemperatur ($T_g \approx 600-700^\circ\text{C}$) erhitzt und anschließend schlagartig mit kalter Luft abgeblasen. Die äußeren Schichten erstarren sofort, während der heiße Kern versucht, sich beim langsameren Abkühlen zusammenzuziehen. Da die äußere Schicht bereits starr ist, wird sie vom Kern unter eine permanente Druckspannung gesetzt, während im Inneren eine Zugspannung verbleibt. Ein Riss kann sich physikalisch erst dann ausbreiten, wenn die einwirkende Zuglast die induzierte Druckspannung an der Oberfläche übersteigt. Im Falle eines Bruchs entlädt sich die gespeicherte Energie schlagartig, was zur typischen Krümelbildung (Sicherheitsglas) führt. Die Biegefestigkeit steigt hierbei von ca. 45 N/mm² auf über 120 N/mm² an.

II. Chemisches Vorspannen (Ionenaustausch-Verfahren)

Dieses Verfahren wird vor allem bei dünnen Gläsern oder komplexen Geometrien (wie Smartphone-Displays oder Spezial-Laborglas) angewendet. Das Glas wird in ein heißes Salzbad (meist Kaliumnitrat, KNO_3) getaucht. In der Glasoberfläche findet ein Ionenaustausch statt: Kleinere Natrium-Ionen (Na^+) verlassen das Glas und werden durch größere Kalium-Ionen (K^+) aus dem Bad ersetzt. Da die Kalium-Ionen ein größeres Volumen beanspruchen, "keilen" sie sich in das bestehende Silikat-Netzwerk ein. Dies erzeugt eine extrem hohe Oberflächen-Druckspannung. Chemisch vorgespanntes Glas ist mechanisch deutlich belastbarer als thermisch vorgespanntes Glas, weist jedoch im Bruchfall kein Krümelbild auf, sondern bricht in großen Schollen, da die Spannungszone nur wenige Mikrometer tief in das Glas reicht.

III. Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit

Wissenschaftlich interessant ist die Wechselwirkung zwischen Vorspannung und der eingangs diskutierten Glaskorrosion:

- **Thermisches Glas:** Die Druckspannung verdichtet die Oberfläche leicht, was die Diffusion von Wasser geringfügig erschweren kann.
- **Chemisches Glas:** Durch die Anreicherung mit Kalium verändert sich die chemische Reaktivität der Oberfläche. Dies kann je nach Medium die Korrosionsbeständigkeit entweder erhöhen (höhere Packungsdichte) oder bei bestimmten Säuren sogar verringern, da die induzierte Spannung das Material unter "chemischen Stress" setzt.

Merkmal	Thermisches Vorspannen (ESG)	Chemisches Vorspannen
Druckzonentiefe	Millimeter-Bereich	Mikrometer-Bereich
Max. Spannung	Mittel bis Hoch	Sehr Hoch
Bruchbild	Kleine Krümel (Sicherheitsglas)	Große Bruchstücke
Anwendung	Fassaden, Duschwände, ESG-Türen	Uhren gläser, Displays, Labortechnik

Abschließendes Resümee der Fachberatung:

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Wahl des Glases und dessen Veredelung (Vorspannung) immer ein Kompromiss zwischen chemischer Resistenz, thermischer Belastbarkeit und mechanischer Härte ist. Während im Labor das **Borosilikatglas** dominiert, ist im Nassbereich die **optimierte Fliesenglasur** in Kombination mit einer korrekten Pflege (Vermeidung von Netzwerk-wandler-Angriffen) das Mittel der Wahl.

Ich hoffe Ihnen ein Bild zu Gläsern und Gasuren aufgezeigt zu haben. Wir bei schuhböcks.de haben auf alle Fälle die richtigen Reiniger und Anwendung für Sie. Fragen Sie gerne nach unter 089/489 50 976. Ihr Andreas Schuhböck der Zweite gehabt Euch wohl.