

OPBOUW EN EIGENSCHAPPEN VAN GLAS

Dr. Ir. H. de Waal
Technisch Fysische Dienst TNO-TH
Delft

De Opbouw

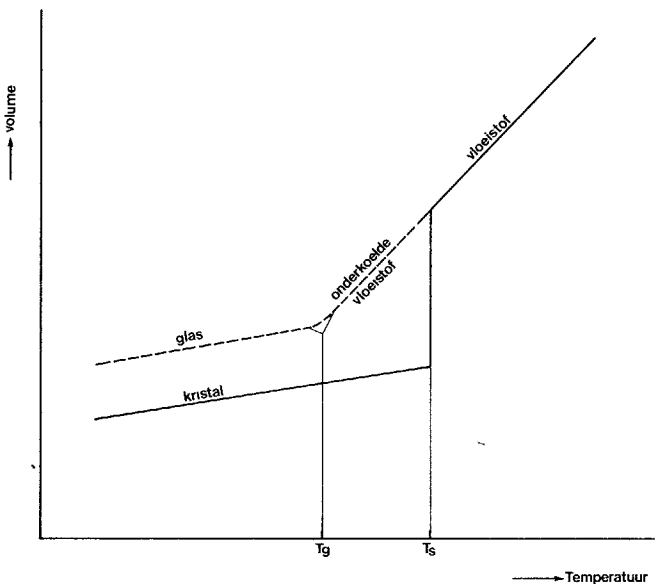
Een algemeen artikel als dit behoort te beginnen met de vraag: 'Wat is glas?' Ruimte en tijd ontbreken om hier echt op in te gaan, maar van de vele definities die in de literatuur te vinden zijn, zullen we er toch enkele noemen. Een (te) veelomvattende uitspraak is, dat glas een vaste, niet-gekristalliseerde stof is.

Om de kunststoffen uit te sluiten, stelde de ASTM de volgende definitie op: 'Glas is een anorganisch smeltproduct, in de vaste toestand gebracht zonder te kristalliseren'. Nu het echter mogelijk is gebleken glas langs chemische weg te maken, zonder smelten dus, voldoet ook deze definitie niet geheel meer.

Een veel gehoorde opvatting is, dat glas een onderkoelde vloeistof zou zijn. Thermodynamisch gezien is ook dit niet juist, omdat glas, in tegenstelling tot vloeistoffen, in een metastabiele toestand verkeert.

In fig. 1 is dit nader toegelicht. Hier is uitgezet het volume tegen de temperatuur en we zien duidelijk dat de lijn voor glas afbuigt ten opzichte van die van de (onderkoelde) vloeistof. Tijdens het afkoelen kan het materiaal het als het ware niet langer meer bijhouden.

In fig. 1 is ook te zien dat een kristal een scherpe overgang heeft bij het smeltpunt T_s . Bij glas is dat niet zo, er is zelfs geen smeltpunt, maar een z.g. transformatietraject bij T_g (gedefinieerd als een bepaalde viscositeitswaarde).



Figuur 1. Volumeverandering als functie van de temperatuur voor kristal en glas bij de overgang naar de vloeistoffase.

Men kan zich afvragen, waarom de ene stof kristalliseert, terwijl de andere een glas vormt. Het antwoord luidt, dat bij de glasvormers zich in de vloeistof tijdens afkoelen al zoveel verbindingen vormen tussen de moleculen dat er allerlei ketens en complete brokstukken ontstaan die de plotselinge overgang ongeordend-geordend bij kristallisatie verhinderen. Anders gezegd: de vloeistof is te stroperig, te visceus geworden.



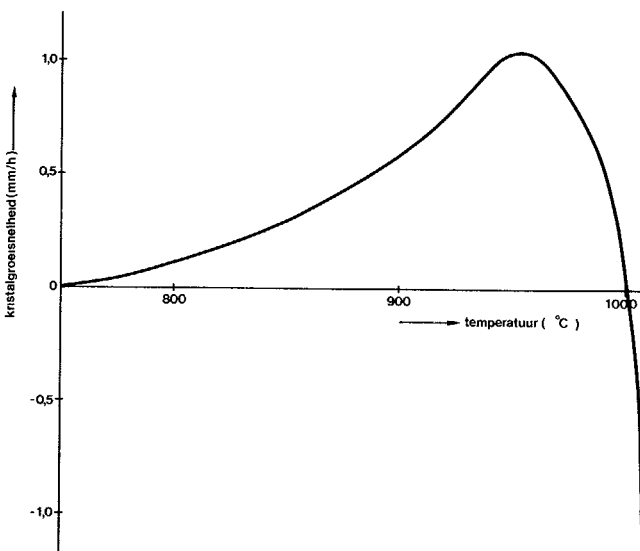
Dr. Ir. H. de Waal tijdens zijn toespraak

De volgende vraag is natuurlijk: 'Waarom gebeurt dat dan bij de ene stof wel en bij de andere niet'. Eigenlijk is die vraag niet juist, want vrijwel elke stof kan in principe een glas worden, het is alleen een kwestie van tijd, van snelheid. Als we maar snel genoeg koelen (in de buurt van T_g), kunnen we vrijwel alle stoffen glasachtig krijgen. Er is voor elke stof een zogenaamde kritische koelsnelheid, die nodig is om kristalgroei te voorkomen.

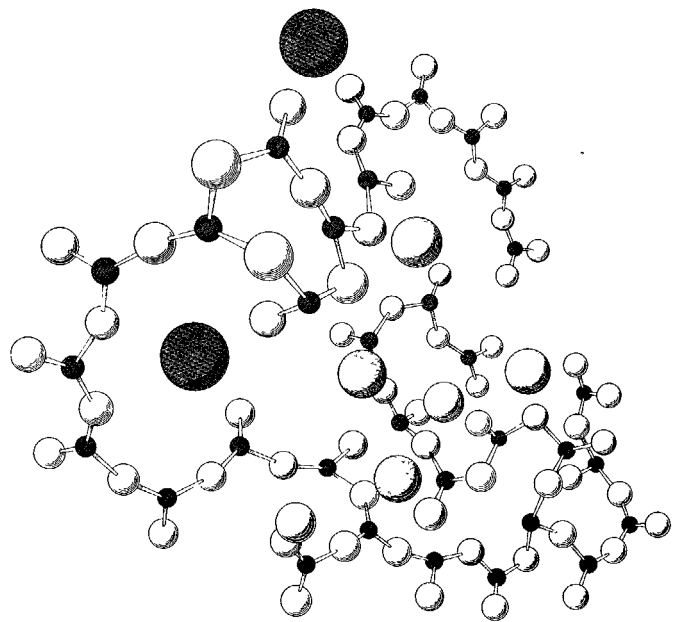
Hoe liever nu de bouwstenen in de smelt 'aan elkaar plakken' als ketens of andere open structuren, hoe lager de kritische afkoelsnelheid zal zijn, dus hoe gemakkelijker glasvorming zal optreden. Bij de z.g. technische glazen is de kritische koelsnelheid natuurlijk zeer laag. In fig. 2 is als voorbeeld de groeisnelheid van de kristallen in een 'normaal' natronkalksilicaatglas uitgezet tegen de temperatuur.

Met een maximale groeisnelheid van 1 mm per uur behoeven we zeker niet extreem snel te koelen om kristallisatie te voorkomen. Toch zullen we ook hier zoveel mogelijk het temperatuurgebied tussen 800° en 1000 °C vermijden.

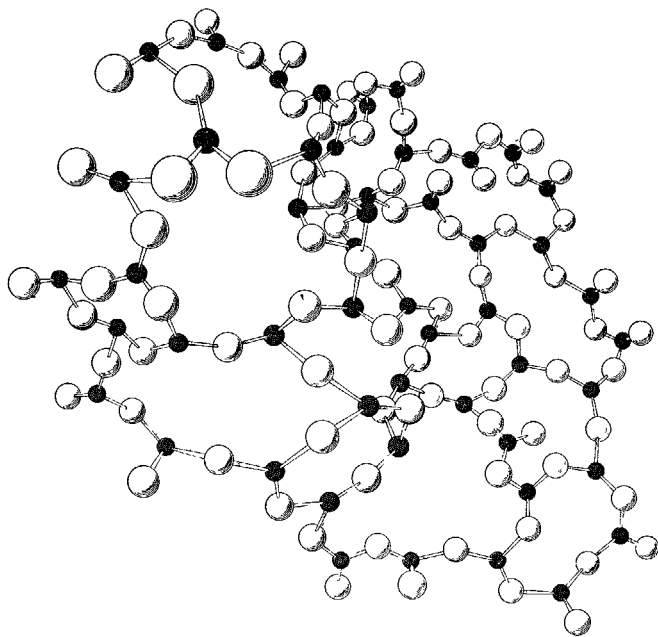
Hoewel er, zoals uit het voorgaande blijkt, een zeer grote verscheidenheid aan glassamenstellingen bestaat, zullen we ons hier moeten beperken tot de silicaatglazen en dan hoofdzakelijk tot het natronkalksilicaatglas, dat toegepast wordt als vensterglas, verpakkingsglas, e.d. De samenstelling van dit glas is weer gegeven in tabel I, de structuur schematisch in fig. 3b.



Figuur 2 Kristalgroeisnelheid in een natronkalksilicaatglas als functie van de temperatuur.



Figuur 3b Een natronkalksilicaatglas bestaat ook uit een driedimensionaal SiO₂-netwerk, waarin de natrium- en calciumionen (grote grijze bollen) in de holten van het netwerk liggen en een aantal zuurstofatomen niet langer aan 2 siliciumatomen is gebonden, maar slechts aan 1 met daarbij een zwakkere binding (niet getekend) met het alkaliion.



Figuur 3a Zuiver oxydeglass, bestaande uit een ongeordend driedimensionaal netwerk, waarin elk zuurstofatoom (witte bollen) gebonden is aan twee siliciumatomen (zwarte bollen), hier als driewaardig voorgesteld. In werkelijkheid is elk siliciumatoom verbonden met 4 i.p.v. 3 zuurstofatomen, waardoor een meer complex netwerk ontstaat.

Tabel I Gebruikelijke samenstelling van natronkalksilicaatglas

SiO ₂	71-73	gew. %
Na ₂ O	13-15	gew. %
CaO	8-11	gew. %
Al ₂ O ₃	0,5-1,5	gew. %
MgO	1-4	gew. %

Uit de ketens en andere complexen, die zich in de smelt al gevormd hebben is een open driedimensionaal netwerk van SiO₄²⁻-tetraëders ontstaan, die bij de hoekpunten met elkaar verbonden zijn via de zuurstofionen, behalve wanneer ze door de alkali-oxiden zijn opgebroken. De alkali en aardalkaliumionen zitten in de open ruimten van het netwerk.

Deze wijze van structuurbeschrijving (want het blijft niet meer dan een benadering) wordt de 'random network' theorie genoemd, opgesteld door Zachariasen in 1931. Voordien, in 1921, had Lebedev al de basis gelegd voor een andere beschrijvingsmethode, de kristalliettheorie, die uitgaat van de aanwezigheid van kleine geordende gebiedjes. Heel lang is die tegenstelling blijven bestaan, maar tegenwoordig zijn beide theorieën zodanig gemodificeerd, dat de tegenstellingen zijn opgeheven. Vanuit de random network theorie, die in het Westen het meest opgang heeft gemaakt, wordt gesproken over structuurfluctuaties, inhomogeniteiten, ontmenging, e.d., terwijl in de kristalliettheorie de geordende gebiedjes steeds kleiner zijn geworden.

In de jaren '60 was er een hausse in het bedenken van structuurelementen in glas, die fraaie namen kregen, als vitroïden, structonen, steclonen en vitronen. Het waren pogingen om een soort elementair te definiëren, zonder veel succes overigens.

Voor de technische glazen voldoet de netwerk-hypothese uitstekend, hoogstens met structuurfluctuaties om bepaalde effecten te verklaren. Bij deze theorie maken we onderscheid tussen drie soorten oxyden in glas, de netwerkvormers, zoals SiO₂ en B₂O₃, de netwerkwijzigers, zoals Na₂O en CaO en de tussenvormen, zoals Al₂O₃, MgO en PbO.

De netwerkwijzigers doen dienst als een soort vloeimiddel, ze maken het glas zachter en lager smeltend.

Eigenschappen

Hoewel verre van compleet, kunnen we toch aan de hand van deze summier beschrijving van de opbouw van glas trachten de eigenschappen van glas te begrijpen. We kunnen natuurlijk niet alle eigenschappen hier behandelen, dus we zullen trachten een verantwoorde keuze te doen, die voor de praktijk interessant is.

Thermische eigenschappen

Warmtegeleiding

Glas is een slechte warmtegeleider. Om te begrijpen waarom, moeten we ons realiseren wat warmte is en hoe warmte zich verplaatst.

In wezen is warmte een trilling van de atomen. Hoe harder het atoom trilt, hoe warmer het is. De eenheid van deze trillingsenergie noemen we de phonon, die zich als een golfbeweging door het materiaal verplaatst, doordat de trillingsbeweging van het ene atoom wordt overgedragen aan de naburige atomen. Hoe sterker de beweging van het ene atoom gekoppeld is aan die van zijn burens, hoe hoger dus de warmtegeleiding zal zijn, want warmtegeleiding is de snelheid waarmee warmte van een warme plaats naar een koude plaats stroomt.

Die koppeling van de atoomtrillingen is natuurlijk het sterkst in een regelmatige structuur (kristal) en bij sterke bindingskrachten. Door de onregelmatige opbouw is glas dus een slechte warmtegeleider. Men kan het ook zo uitdrukken: de vrije weg-lengte van de phononen is in glas klein, ze worden sterk verstrooid. Voor kwartsglas bedraagt de warmtegeleiding ongeveer 1,4 W/mK, voor natronkalkglas 0,9 W/mK.

We zien hier duidelijk het effect van het netwerkwijszige alkali- en aardalkali-oxyden, die zowel de bindingskrachten als de symmetrie van het netwerk verlagen en dus de warmtegeleiding verder doen afnemen. Elk Na₂O molecuul extra in het glas zorgt voor 1 verbroken binding meer. Zo kunnen we voor elke toevoeging van alle bestanddelen precies voorspellen wat de invloed daarvan zal zijn op de warmtegeleiding. Elk component heeft een 'gewichtsfactor', waarvan tabellen zijn samengesteld en die erop zijn gebaseerd dat deze eigenschap – en vele andere – additief is, d.w.z. dat de invloed van alle bestanddelen eenvoudig kan worden opgeteld, rekening houdend met de hoeveelheid die van elk bestanddeel in het glas voorkomt.

In formule, als λ de warmtegeleiding is:

$$\frac{1}{\lambda} = \sum \frac{b_i}{\lambda_i}, \text{ waarbij}$$

b_i het gewichtspercentage van de component i is.

Componenten die het netwerk versterken hebben dus een hoge gewichtsfactor λ_i ; Na₂O daarentegen een zeer lage, zelfs negatieve.

Thermische uitzetting

De thermische uitzetting is de toename van het volume met de temperatuur. Om deze eigenschap vanuit de structuur te verklaren, is minder eenvoudig dan het misschien lijkt. Men is geneigd te zeggen, dat het volume toeneemt als het materiaal warmer wordt, omdat de atomen harder gaan trillen en daarom meer ruimte nodig hebben. Dit is evenwel niet juist, want als alle atomen harmonisch bewegen, bijv. allemaal gelijk dezelfde kant op, dan hebben ze absoluut niet meer ruimte nodig.

Het gaat dus kennelijk bij deze eigenschap om het niet-harmonische gedeelte van de trillingsbeweging (afwijking van de sinusbeweging). Hoe groter de trillingen zijn en hoe minder symmetrie de structuur heeft, hoe groter het niet-harmonische gedeelte van de trillingsbeweging is.

Als we nu eerst naar zuiver kwartsglas kijken, dan blijkt, dat de bindingskrachten in een SiO₄²⁻-tetraëder zo sterk zijn, dat de trillingsmogelijkheden beperkt zijn. Zo beperkt, dat de trillingen vrijwel harmonisch zijn. Bovendien is de krachtenverdeling op korte afstand te symmetrisch om de trillingen niet-harmonisch te maken. De thermische uitzetting van kwartsglas is dus zeer gering ($\alpha = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ tussen 0 ° en 300 °C).

Toevoeging van netwerkwijszige oxyden zoals Na₂O verstoort de symmetrie drastisch, dus zal leiden tot een sterke toename van de thermische uitzettingscoëfficiënt α . De samenstelling, genoemd in tabel I, heeft al een uitzettingscoëfficiënt van $90 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$.

Ook deze eigenschap is additief:

$$\alpha = \sum A_i \alpha_i,$$

waarbij A_i het gewichtspercentage van component i is, en α_i de bijbehorende factor. SiO₂ heeft dus een hele kleine factor, Na₂O een zeer grote.

Als vuistregel geldt dat toevoeging van 1% Na₂O een verhoging van α veroorzaakt van $4 \cdot 10^{-7}$. Men kan via deze eigenschap dus zeer goed de samenstelling controleren bij de glasfabricage.

Optische eigenschappen

Lichtdoorlating

Een vaak gestelde vraag is, waarom glas lichtdoorlatend is. Heel algemeen kan men zeggen dat een materiaal licht zal doorlaten, als er geen wisselwerking is tussen het materiaal en het invallende licht. Nu bestaat licht uit een heel spectrum van golflengten, ruwweg als volgt onderverdeeld:

golflengte van 260- 380 μm	ultraviolet
380- 760 μm	zichtbaar (van blauw naar rood)
760-3000 μm	nabij infrarood
boven 3000 μm	ver infrarood

Hoe kleiner de golflengte, hoe hoger de frequentie en dus hoe meer energie het licht van die golflengte bezit. Het is zeer afhankelijk van golflengte en energie of en hoe er wisselwerking met het materiaal kan optreden.

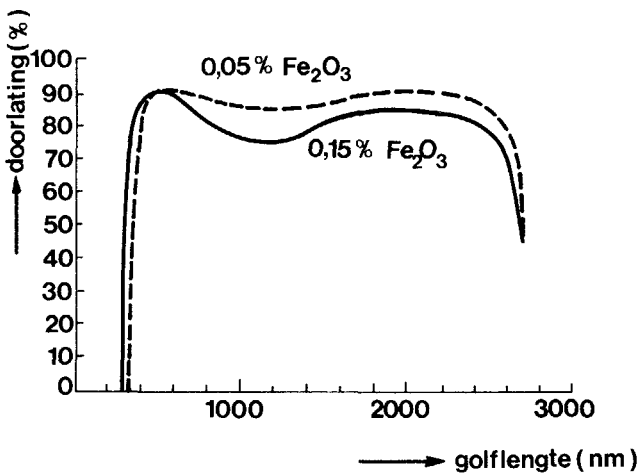
In principe zijn er verscheidene mogelijkheden. Allereerst kan er een wisselwerking zijn tussen het licht en de elektronen in het materiaal. Het gemakkelijkst gaat dat als er vrije elektronen aanwezig zijn, zoals in metalen. Die kunnen nl. elke energie volledig absorberen.

In glas zijn geen vrije elektronen en dat is een belangrijke reden voor de transparantie van glas. Gebonden elektronen (die dus in een atoomschil ronddraaien) kunnen in het algemeen in een hogere baan worden geschoten of zelfs geheel worden vrijgemaakt, mits het licht de daarvoor benodigde frequentie bevat.

Die benodigde frequentie is voor elke atoomsoort anders, maar er is meestal veel energie voor nodig en het proces speelt zich dus vooral af in het ultraviolet. Daarom is glas in het ultraviolet ondoorlatend en het zijn dan vooral de elektronen van de zuurstofionen die dit veroorzaken. Hoe zwakker de zuurstofionen gebonden zijn, hoe eerder (d.w.z. bij lagere energie, dus dichterbij het zichtbare gebied) de wisselwerking optreedt.

Kwartsglas, met sterk gebonden zuurstof, absorbeert daarom pas bij 200 μm , maar natronkalkglas al bij 300 μm . In het zichtbare gebied van 380-760 μm wordt door de elektronen van de atoomsoorten, die normaal in glas aanwezig zijn, zoals Si, Al, Mg, Na, Ca, geen energie geabsorbeerd, zodat het licht ongehinderd wordt doorgelaten, tenzij we opzettelijk stoffen gaan toevoegen, waarvan wel een elektron kan worden aangeslagen door zichtbaar licht.

In het algemeen is dat het geval met de overgangsmetalen, zoals Fe, Cr, Co en Mn, waarbij het vaak nog van belang is of er oxyderend dan wel reducerend gesmolten is. Bij reducerend smelten ontstaat bijv. Fe^{2+} , wat tot een lichtgele glaskleur leidt, en bij oxyderend smelten Fe^{3+} , wat tot de groenige kleur leidt, die we van natronkalkglas gewend zijn (zie fig. 4). Fe wordt niet opzettelijk aan het glas toegevoegd, maar is als onzuiverheid in de grondstoffen aanwezig. Chroom wordt gebruikt om groene flessen te maken, omdat het Cr^{3+} -ion sterke absorptiebanden heeft in het blauw en rood (zodat groen overblijft).



Figuur 4 Lichtdoorlating als functie van de golflengte voor twee natronkalkglazen met verschillend ijzeroxydegehalte.

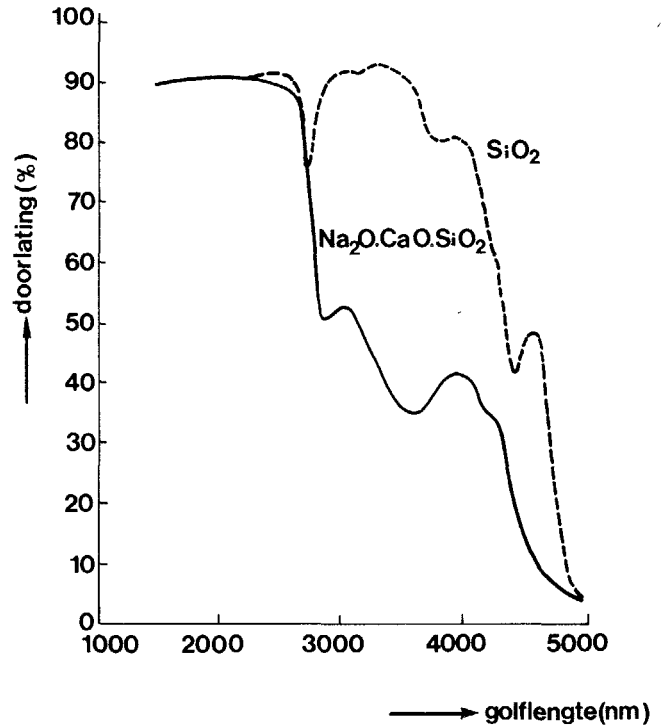
Behalve door bepaalde ionen kan lichtabsorptie in het zichtbare gebied ook optreden door colloïdale metaaldeeltjes in het glas op te nemen. Het bekende rode robijn glas ontstaat bijv. door de lichtabsorptie door de elektronen in fijn verdeelde gouddeeltjes. In het infrarode golflengtegebied is de energie van het licht zo gering geworden, dat op een enkele uitzondering na, de elektronen er niet meer door kunnen worden aangeslagen. Daarentegen is de frequentie van het licht nu zo laag, dat de ionen kunnen gaan meetrillen met het opvallende licht, en dus energie absorberen.

Het eerst gebeurt dat natuurlijk met de lichtste atoomsoorten en dat zijn doorgaans de OH-groepen. Dit veroorzaakt absorptiebanden bij ongeveer 2800, 3500 en 4250 μm . Zwevende zuurstofionen (d.w.z. slechts aan 1 Si-ion gebonden) gaan meetrillen bij 4500 μm en vanaf 5000 μm is glas volkomen ondoorzichtig ten gevolge van de Si-O trillingen (zie fig. 5).

Het zal duidelijk zijn, dat glazen met alleen zware atomen pas bij veel hogere golflengten gaan absorberen. As_2S_3 -glas bijvoorbeeld, absorbeert pas vanaf 10.000 μm en vormt dus een goed infraroodvenster. Behalve door elektronen en ionen kan de lichtdoorlating ook worden beïnvloed door verstrooiing ten gevolge van fluctuaties in dichtheid, temperatuur en samenstelling in het glas (Rayleigh verstrooiing) en door interactie met thermische fononen (Brillouin verstrooiing). Op deze effecten gaan we hier niet verder in.

Lichtreflectie

Uit fig. 4 bleek reeds dat de lichtdoorlating nooit 100% is, zelfs als er geen absorptie optreedt. De oorzaak hiervan is, dat een gedeelte van het licht teruggekaatst wordt tegen het oppervlak.



Figuur 5 Infrarooddoorlating van kwartsglas en natronkalkglas. Absorptiebanden bij circa 2800, 3500 en 4250 μm zijn het gevolg van OH-trillingen. Daarboven gaan zwevende zuurstofionen en Si-O-bindingen absorberen.

De hoeveelheid licht, die gereflecteerd wordt, hangt af van de brekingsindex n van het glas. Hoe hoger n , hoe groter de reflectie R , volgens de formule (bij loodrechte inval):

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

De kernvraag hier is eigenlijk 'wat is de brekingsindex en hoe hangt deze af van de opbouw van het glas'. De brekingsindex is gedefinieerd als de

$$\frac{V_0}{V}$$

waarbij V_0 de lichtsnelheid in vacuüm is en V de lichtsnelheid in glas. Nu hangt de lichtsnelheid af van de polariseerbaarheid van de elektronen, dat wil zeggen, het gemak waarmee de elektronenschillen kunnen meebuigen met de opvallende trilling.

Kwartsglas kan men in dit opzicht zien als bestaande uit harde bolletjes, nauwelijks polariseerbaar. De lichtsnelheid is dus groot, de brekingsindex klein (1,46) en de reflectie bedraagt slechts 3,5%. Natronkalkglas bevat veel meer polariseerbare elementen (Natrium vooral), zodat de lichtsnelheid kleiner is, de brekingsindex groter (1,50) en de reflectie 4% bedraagt. Loodglas ('kristal') is zeer polariseerbaar en heeft dan ook een brekingsindex 1,62 en een reflectie van 5,6%, wat het genot van een glas wijn duidelijk positief schijnt te beïnvloeden. We hebben bij de brekingsindex weer te maken met een z.g. additieve eigenschap, volgens de formule

$$n = \sum n_i p_i$$

Vervanging van 1% SiO_2 door Na_2O geeft een verhoging van de brekingsindex van 1 eenheid in de derde decimaal.

Dubbelbreking

We kunnen licht opvatten als bestaande uit twee loodrecht op elkaar staande trillingen. Indien de snelheid waarmee deze trillingen zich door het materiaal voortbewegen verschillend is, komt de ene trilling wat later aan op een bepaald punt dan de andere, en dat kunnen we met een polarisatiemicroscop zichtbaar maken.

Zoals we in de vorige paragraaf zagen, is het verschil in voortplantingssnelheid gekoppeld aan een verschil in brekingsindex voor de twee trillingsrichtingen. Vandaar de naam dubbelbrekend.

Glas wordt dubbelbrekend als er spanningen aanwezig zijn. Spanning beïnvloedt namelijk de afstand tussen de ionen onderling in het materiaal, en daardoor de elektronenschillen van de ionen, vooral van de sterk polariseerbare ionen. De polarisatie zal in de richting van de spanning anders worden dan loodrecht daarop. Dit veroorzaakt een verschil in lichtsnelheid, zoals we in de vorige paragraaf zagen, waarmee het verschijnsel fysisch in grote lijnen verklaard is. Alleen in grote lijnen, want in werkelijkheid is alles nog wel wat gecompliceerder.

Zo kan de invloed van de polarisatie van het ene iontype worden tegengewerkt door die van een ander iontype. In een extreem geval kan zelfs helemaal geen dubbelbreking meer optreden. Dit is het geval met het z.g. Pockelglas PbO. 1,67 SiO₂, waarin de polarisatie van de zuurstofionen precies wordt gecompenseerd door die van de loodionen.

Mechanische eigenschappen

Sterkte

Zoals uit het overzicht in tabel II blijkt, is het niet mogelijk te spreken van 'de sterkte van glas'. Zelfs als we alleen de treksterkte in aanmerking nemen is er een grote afhankelijkheid van de afmetingen van het voorwerp, van de wijze van fabricage, en de beschadigingsgraad.

Hieruit blijkt al, dat de sterkte niet een echte structuurgebonden eigenschap kan zijn bij glas, dus niet in de eerste plaats afhangt van de bindingskrachten tussen de atomen of van bepaalde fouten in de opbouw van de structuur.

Omdat glas een bros materiaal is, dus geen plasticiteit heeft, hangt de sterkte in de eerste plaats af van de oppervlaktegesteldheid. Barstjes of andere onvolkomenheden (die natuurlijk vooral aan het oppervlak voorkomen) veroorzaken vooral door de scherpe uiteinden een aanzienlijke spanningsconcentratie. Dat wil zeggen, als op het voorwerp een trekspanning σ_0 wordt gezet dan zal bij de top van een barst de spanning plaatselijk een veelvoud van σ_0 bedragen.

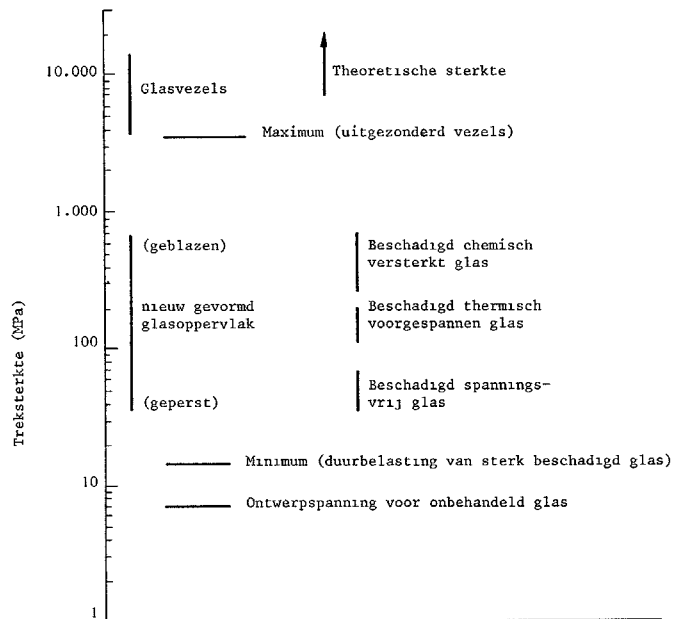
$$\sigma_r = 2\sigma_0 \sqrt{\frac{a}{r}}$$

De spanningsconcentratie (en daarmee de breeksterkte) hangt dus af van de lengte van de barst a. Figuur 6.

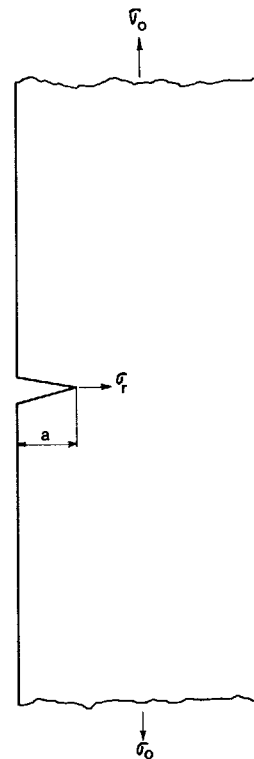
Volgens Griffith luidt het verband tussen treksterkte q_B en barstlengte a als volgt:

$$q_B = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\Pi a}}$$

waarin E de elasticiteitsmodulus is en γ de oppervlakte-energie. De materiaalopbouw heeft via E en γ dus wel enige invloed, maar omdat de variaties daarin beperkt zijn, is het vooral de lengte van de grootste barst in het oppervlak die de sterkte bepaalt. Hieruit volgt ook de verklaring van het z.g. 'size-effect', nl. dat een groot voorwerp gemiddeld zwakker is dan een klein voorwerp: er is immers een grotere kans dat er diepe barst aanwezig is naarmate de oppervlakte toeneemt.



Tabel II

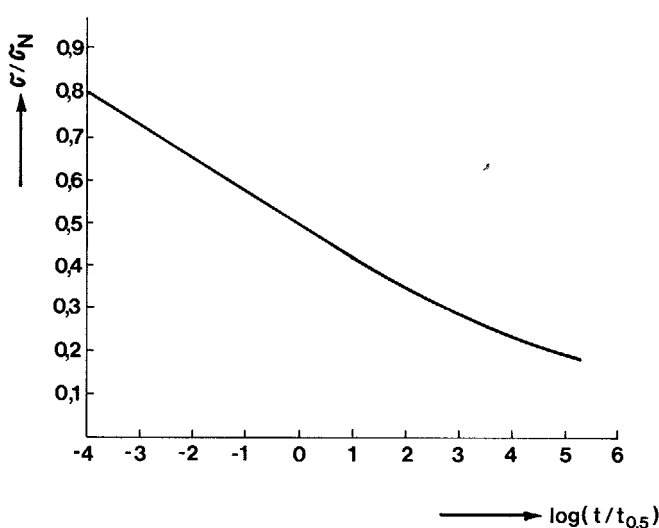


Figuur 6 Spanningsconcentratie op afstand r van de top van een barst met lengte a:

$$\sigma_r = 2\sigma_0 \sqrt{\frac{a}{r}}$$

Vermoeidheid

Een interessant verschijnsel is dat van de tijdsafhankelijkheid van de sterkte, wat we aanduiden met het begrip 'vermoeidheid'. Zoals uit fig. 7 blijkt is de sterkte bij kortdurende belasting zeker een factor 2 hoger dan bij langdurende belasting, althans onder 'normale' omstandigheden. Bij zeer lage temperatuur of in hoogvacuüm treedt dit verschijnsel niet op, wat direct begrijpelijk wordt als we de oorzaak kennen van de tijdsafhankelijkheid van de sterkte. We hebben reeds gezien, dat als een glazen voorwerp onder trekspanning staat, er bij de barstjes in het oppervlak een enorme spanningsconcentratie optreedt. Dit geeft aanleiding tot een versterkte aantasting door waterdamp juist bij de top van de barst, waardoor deze langzaam groeit, en daardoor wordt het materiaal langzaam maar zeker verzwakt.



Figuur 7 Universele vermoeidheidscurve voor natronkalkglas. Sterkte σ gedeeld door de sterkte bij vloeiende stikstoftemperatuur σ_N uitgezet tegen de logaritme van de belastingduur t , gedeeld door de belastingduur $t_{0,5}$ waarvoor

$$\frac{\sigma}{\sigma_N} = 0,5$$

We noemen dit verschijnsel 'spanningscorrosie', en het zal duidelijk zijn, dat hier een invloed van de glassamenstelling merkbaar zal zijn. Hoe beter het glas bestand is tegen water, hoe geringer de vermoeidheidsverschijnselen. Natronkalkglas heeft dan ook een grotere tijdsafhankelijkheid in de sterkte dan kwartsglas, en daarmee zijn we aan het laatste onderwerp van dit overzicht.

Chemische bestendigheid

Dit is een zeer belangrijke eigenschap, want als glas niet zo resistent was, had het nooit zo'n ruime toepassing gevonden. Toch is het niet moeilijk een stuk glas te maken dat binnen enkele minuten in water oplost en daaruit blijkt al de sterke invloed van de samenstelling.

Er is een zeer essentieel verschil tussen de aantasting van glas in een zure omgeving en die in een alkalische omgeving.

In een alkalisch milieu wordt direct het SiO_2 -netwerk aangetast en afgebroken en dat kan bij hoge pH ernstige vormen aannemen. De afhankelijkheid van de samenstelling ontstaat doordat bijv. kwartsglas een hechter SiO_2 -netwerk heeft dan een alkalihoudend glas, waar een aantal zuurstofbindingen verbroken zijn.

De invloed van de samenstelling is veel sterker aanwezig wanneer we de bestendigheid in een zuur milieu bekijken. Hier vindt de aantasting plaats, doordat de alkali-ionen uit het glas worden geloofd. Het SiO_2 -netwerk, dat zelf zuur is, wordt niet aangetast. Op den duur vormt zich dus zelfs een beschermende SiO_2 -huid. Silicaat-glas is dus van nature zeer resistent in een zuur milieu en kwartsglas, omdat het geen alkali bevat, nog meer dan natronkalkglas.

Borosilicaatglas (pyrex), dat ook weinig alkali bevat, is eveneens zeer resistent. Een uitzondering vormen de fluorhoudende verbindingen, die hoewel ze zuur zijn, via de fluor de zuurstof van het netwerk afbreken.

Water neemt een wat moeilijke tussenpositie in. Als er genoeg water is, kunnen we het gedrag vergelijken met een zuur milieu, maar bij opdrogen van waterdruppels is er in het laatste water zoveel Na opgelost, dat we met een alkalisch milieu te maken krijgen, met de daarbij behorende aantastingsverschijnselen. Dit effect staat bekend als verwerking en vormt een probleem bij opslag van glas, bij dubbelglasafdichting, het veroorzaakt het wit worden van de binnenkant van vochtig afgesloten glazen karaffen, de grijze randjes in glazen bloemenvazen, enz.

Met deze wat sombere opsomming van problemen die we in het dagelijks gebruik met glas kunnen tegenkomen (maar die wanneer we ze onderkennen wel oplosbaar zijn) zijn we aan het eind gekomen van dit overzicht. Het is niet compleet, er zijn allerlei moeilijkheden verzwegen of omzeild, niet met de bedoeling u te misleiden, maar omdat het doel van dit overzicht niet meer was, dan u een indruk te geven van de fysische achtergronden van een aantal eigenschappen van glas, waar u zo aan gewend bent geraakt, dat ze u nauwelijks meer opvallen. Ik hoop hierin enigszins te zijn geslaagd.