

Chemische Feitelijkheden

editie 62 | nr 265 | augustus 2010

DE CONTEXT Heldere materie

DE BASIS Een mengsel van silicaten

DE DIEPTE Glasvezels: voor bits en boten

AUTEUR: EDDY BRINKMAN

GLAS

Materiaal met vele kanten

Al duizenden jaren maken mensen glas uit zand, potas en kalk. Het doorzichtige materiaal ontstaat door deze grondstoffen bij hoge temperatuur te versmelten en het mengsel te laten afkoelen. Later leerde men hoe je glas kunt blazen in allerlei vormen en afmetingen om er ramen, glazen, vazen en flessen van te maken. Glas is meer dan dat doorzichtige, breekbare materiaal dat een onweerstaanbare aantrekkingskracht uitoefent op voetballende jeugd. Door een glazen venster kun je naar buiten kijken. En als je daarbij een bril draagt, dan kijk je twee keer door glas. Maar een glas gebruik je ook om uit te drinken. En glas vind je ook terug als glasvezel in het frame van je tennisracket, of in de glasvezelkabel waardoor je verbinding met het internet maakt.

Glas is een veel veelzijdiger materiaal dan je op het eerste gezicht zou denken. In zekere zin kun je siliciumdioxide (SiO_2), de basis van de meeste glassoorten, zien als de anorganische tegenhanger van de koolstofketen $-(\text{CH}_2)_n-$. En hoewel glas als materiaal 'doorzichtig' is, zijn er nog heel wat punten rondom glas die lang onduidelijk zijn gebleven.

In deze Chemische Feitelijkheid

- De Context: Wat is glas? Hoe maak je het en waarom kun je glas recycleren?
- De Basis: Over chemische en fysische achtergronden van de bijzondere eigenschappen.
- De Diepte: Hoe gaan de eentjes en nulletjes door glasvezelkabels? En hoe zorgen glasvezels voor versterkte kunststoffen? |

Waarschijnlijk is glas in het verre verleden bij toeval ontdekt. Hoewel al vele eeuwen met dit **doorzichtige** materiaal wordt gewerkt, weten we pas zo'n honderd jaar hoe we mooie glasproducten kunnen krijgen.

Heldere materie

De bekendste verschijningsvorm van glas is het kleurloze, doorzichtige materiaal dat wordt gebruikt voor ramen en drinkglazen. De belangrijkste grondstof is zand, dat voornamelijk bestaat uit siliciumdioxide ofwel silica (SiO_2). In zuivere vorm smelt dit mineraal pas bij temperaturen boven de 1.700°C . Glas heeft echter niet een vast smeltpunt, maar eerder een smelttraject: als je vast glas verhit gaat het materiaal zich steeds stroperiger (viskeuzer) gedragen, totdat het een stroperigheid bezit waarbij je het in een vorm kunt gieten. Om de fabricage van glas en glasproducten te vereenvoudigen is het wenselijk – lees: goedkoper – om de smeltemperatuur veel lager dan 1.700°C te krijgen. Vandaar dat er ook andere stoffen aan het silica worden toegevoegd.

Eén hiervan is natriumcarbonaat of soda (Na_2CO_3), dat het smeltpunt verlaagt tot ongeveer 1.500°C . Vervelende bijkomstigheid is echter dat soda het glas oplosbaar maakt in water, wat uiteraard niet wenselijk is. Maar ook daar is iets op gevonden: toevoeging van calciumoxide (CaO , uit kalksteen), magnesiumoxide (MgO)



glasblazen

Vervaardigen van glazen vormen door via een blaaspipij lucht te blazen in roodgloeiend dikvloeibaar glas.

en aluminiumoxide (Al_2O_3) maakt glas bestand tegen water en andere stoffen. Deze glassoort, met nog ruim 70 gewichtprocent SiO_2 , staat bekend als natronkalkglas en wordt het meest toegepast.

TRIAL AND ERROR

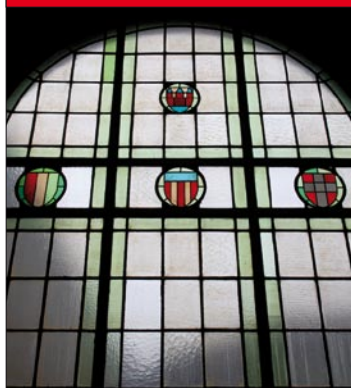
Waarschijnlijk heeft het toeval een grote rol gespeeld bij de ontdekking van glas. Zo'n 5.500 jaar geleden lieten mensen in klein-Azië een mengsel van sodablokken en zand smelten in vuur. Ze zagen een enigszins transparante materie

verschijnen toen ze de gesmolten massa vrij snel lieten afkoelen. Andere overleveringen spreken van de eerste 'glasachtige' glazuurlaag op keramische potten – door een versmelting van de as van zeeplanten met gebakken klei.

Tot begin vorige eeuw was het maken van glas nog lastig in de vingers te krijgen. Traditie en ervaring speelden een hoofdrol bij ambachtslieden, maar toch lukte het lang niet altijd om glas optisch homogeen en overall even dik te krijgen. Het bleef vooral een kwestie van trial-and-error. Dit veranderde pas toen men meer inzicht kreeg in de fysische en chemische processen bij het smelten en homogeniseren.

Vroeger was het maken van glas bovendien een zeer energieverwendend proces. Hierin kwam verbetering dankzij de oliecrisis van 1973. Zo was omstreeks 1950 voor de productie van een vijftal halveliter flessen ongeveer een kubieke meter aardgas nodig, terwijl met diezelfde hoeveelheid gas 50 jaar later het tienvoudige kon worden geproduceerd. Ook de ovenmaterialen werden beter. Rond 1900 ging een grote glasoven minder dan 1 jaar mee.

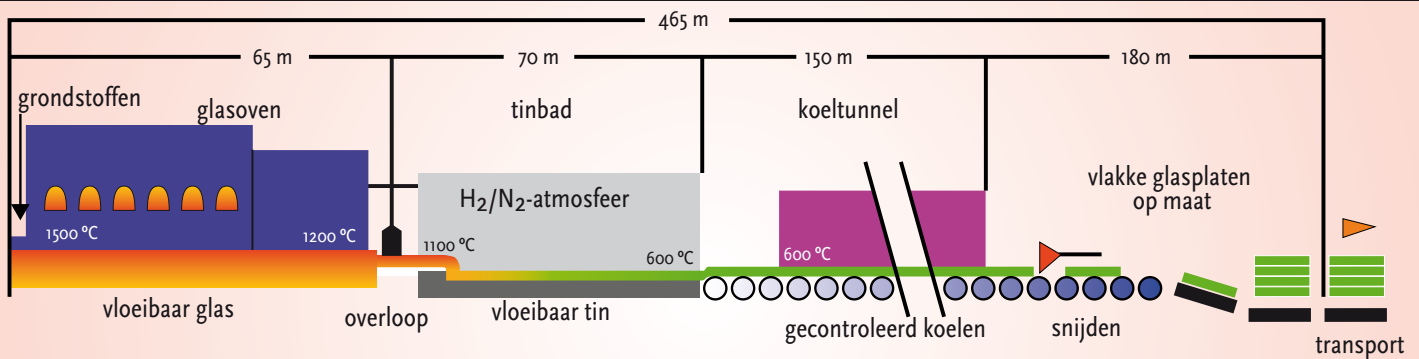
MIDDELEEUWSE KERKRAMEN: STROOMT HET GLAS WEL OF NIET?



Gebruik van gebrandschilderde ramen in kerken en kathedraal is al oud. In de vroege middeleeuwen bereikte de glazenierskunst een hoogtepunt. De ramen van deze middeleeuwse kerkgebouwen zijn vaak aan de onderkant een beetje dikker. Af en toe steekt weer het verhaal de kop op dat dit komt doordat het glas heel langzaam naar beneden zou zijn gestroomd onder invloed van de zwaartekracht. Maar dat is een mythe. Als het waar zou zijn, dan zou het glas veel sneller moeten stromen om het dikteverschil op deze tijdschaal te kunnen zien. Bovendien stroomt glaswerk uit de Romeinse of Egyptische tijd niet, terwijl dat toch veel ouder is.

De werkelijke verklaring voor het dikteverschil is het gebruik van 'schijfenglas' in die tijd. Hierbij sneed de glasblazer de ronde glasbel af van de blaaspipij en draaide met een ijzeren staaf het gesmolten glas snel rond. Hierdoor ontstond een ronde, vlakke en gelijkmatige glasplaat die dan op maat kon worden gesneden. Althans, dat was de bedoeling. In werkelijkheid was dit fabricageproces verre van optimaal en werd de glasrand aan de buitenkant dikker dan in het midden. Vanwege de stabiliteit was het handiger om het raam met de dikke zijde onder aan in het kerkvenster te plaatsen.

VAN ZAND TOT RUIT



Groundstoffen (zand, soda, dolomiet, kalksteen, natriumsulfaat en gerecycled glas) gaan aan de voorkant de oven in. Ze worden gesmolten (1.500 °C) en de smelt wordt gestabiliseerd (1.200 °C). Aan de achterzijde vloeit de glasmasa bij 1.100 °C over in een bad van vloeibaar tin, waarbij de glaslaag blijft drijven op het tin. Een lichte overdruk van waterstof- en stikstofgas voorkomt oxidatie van tin met zuurstof uit de lucht en daarmee

de vorming van tinoxide-deeltjes op het glas. Bij een temperatuur van 600 °C wordt de vlakke glasplaat in vaste toestand uit het tinbad getrokken. Daarna vindt gecontroleerde koeling plaats tot de omgevingstemperatuur, waarbij de spanningen uit het glas verdwijnen. Na kwaliteitscontrole en afsnijden op het juiste formaat zijn de glasplaten gereed voor gebruik. In totaal doorloopt de fabricage van vlakglas een productielijn van ruim 450 m lang. |

Halverwege de vorige eeuw bedroeg de levensduur al 2 tot 3 jaar, en na 1990 zelfs meer dan 10 jaar.

PRODUCTIETECHNIKEN

Voor de productie van vlakglas is een speciale techniek ontwikkeld om vlakke platen te maken met een uniforme dikte. In een continu proces worden de grondstoffen in een grote oven verhit tot ongeveer 1.500 °C, waarna de vloeibare glasmasa over een laag van vloeibaar tin wordt geleid. Tin en glas mengen niet, waardoor de glaslaag op het tinbad blijft drijven. Het glas – ook wel floatglas genoemd – krijgt hierdoor een zeer vlak oppervlak. Na afkoeling wordt de glaslaag in vaste toestand van het tinbad gerold, waarbij de rolsnelheid uiteindelijk de dikte van de glasplaat bepaalt. Een moderne fabriek voor vlakglas fabriceert

ongeveer 600 ton glas per etmaal. Dat is 60.000 m² aan ruiten van 4 mm dikte.

De productie van verpakkingsglas verloopt op een heel andere manier. De moderne fabricage van glazen flessen en potten is afgeleid van het aloude glasblazen. Het proces start met het smelten van de grondstoffen bij een temperatuur van zo'n 1.500 °C. Daarna gaat de smelt naar een vormmachine. Hierbij wordt een afgemeten hoeveelheid vloeibare glasmasa overgebracht in een matrijs om vervolgens in de gewenste vorm (bijvoorbeeld een fles, pot of schaal) te worden geblazen. Om spanningscheurtjes te herstellen die bij het afkoelen ontstaan, wordt het glas voorzien van een zogeheten *hot-end coating*. Daarna brengt men het glaswerk gecontroleerd op hoge temperatuur – maar wel veel lager dan de 1.500 °C die in de smeltoven heerst – en vervolgens laat men het langzaam afkoelen tot kamertemperatuur. Tot slot volgt nog een *cold-end coating* om de flessen en potten glad genoeg te maken voor het vullen op de verpakkingslijnen. Voor de fabricage van serviesglas wordt tegenwoordig meestal de techniek van het persen gebruikt. Hierbij wordt een holle metalen vorm onder druk volgeperst met vloeibaar glas. |

HERGEBRUIK



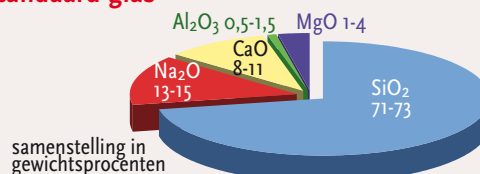
Nederlanders deponeren ruim 80 procent van hun gebruikte potten en flessen zonder stiegeld in de glasbak. Jaarlijks zo'n 22 kg glas per persoon. Hergebruik van dit glas bespaart grondstoffen plus energie, en voorkomt ruim 400.000 ton afval per jaar. Uit 1,2 kg gebruikt glas kun je weer 1 kg 'nieuw' glas maken. Afhankelijk van de beschikbaarheid en de kwaliteit van de scherven bestaat 50 tot 80 procent van de grondstof uit gebruikt glas. Niet al het glas kan overigens in de glasbak. Zo zijn keramiek en vuurvast glas niet geschikt voor hergebruik doordat deze glassoorten pas smelten bij veel hogere temperatuur dan de gebruikelijke glasoventemperatuur van 1.500 °C. Dit hittebestendige glas is alleen een tweede leven beschoren na afvoer via de milieustraat. |

GLASFABRIEK



Tegenwoordig wordt glas machinaal gemaakt. In een glasmachine is het principe van handmatig glasblazen gemechaniseerd en geautomatiseerd. |

standaard glas



Natronkalkglas is de meest geproduceerde glassoort (ruim 90 procent) en wordt gebruikt voor alledaagse glasproducten zoals ramen, drinkglazen, flessen en potten.

Glas is een **amorfe** stof die grotendeels bestaat uit silicaten. We kennen het als een lichtdoorlatende en brosse vaste stof. Soms kom je ook de term ‘onderkoelde vloeistof’ tegen. Hoe valt dit allemaal met elkaar te rijmen?

Mengsel van silicaten

Glas kun je omschrijven als een anorganisch smeltproduct dat zonder te kristalliseren afkoelt tot een vaste stof. Hierdoor heeft glas een amorfe (niet-kristallijne) structuur. Maar waarom kristalliseren veel stoffen juist wel bij afkoelen, en glas niet? Is het zo'n bijzondere stof? Eigenlijk niet, want nagenoeg elke stof kun je in principe in een glasachtige amorfe toestand brengen. Mits je snel genoeg koelt in de buurt van de zogeheten glasovergangstemperatuur, die enigszins vergelijkbaar is met het smeltpunt. Bij de glasovergangstemperatuur (T_g) bezit glas een zodanige viscositeit (stroperigheid) dat het erboven als vloeibaar wordt gezien, en eronder als vast. Voor iedere stof bestaat in de buurt van de T_g een kritische koelsnelheid die nodig is om kristalvorming en kristalgroei te voorkomen.

In een ‘glasvloeistof’ ontstaan tijdens het afkoelen al veel verbindingen tussen de moleculen. Daarbij vormen zich allerlei ketens en brokstukken die een abrupte overgang verhinderen van ongeordende vloeistofachtige fase naar kristal. Hoe liever de componenten in de smelt aan elkaar hechten, des te lager de kri-

tische afkoelsnelheid zal zijn, en des te gemakkelijker glasvorming zal optreden. De vloeistof is dan eenvoudigweg te stroperig geworden om over te gaan in een kristalvorm. Op die manier wordt de ongeordende rangschikking van de smelt ingevroren in de vaste stof. In amorfe vaste stoffen is er wel enige ordening op de korte afstand. Zo zijn in glas siliciumatomen tetraëdrisch omringd door zuurstofatomen, maar regelmaat op grotere afstand is ver te zoeken – net als bij vloeistoffen.

VAST EN VLOEIBAAR

Leidse onderzoekers hebben in 2008 een tipje van de sluier opgelicht van de processen die optreden rondom de stolling van glas. Het blijkt namelijk dat een glasvormende stof al bij een hogere temperatuur dan de T_g geleidelijk verandert in een vaste stof die vermengd is met vloeistofgebiedjes, vergelijkbaar met een spons die met water is gevuld. Al bij 30 graden boven de T_g ontstaat een vaste stof met eilandjes van vloeistof, die een paar honderd nanometer groot zijn.



Glas heeft dan ook de naam een ‘onderkoelde vloeistof’ te zijn, die zich draagt

als een vloeistof maar zich onder het vriespunt van het materiaal bevindt. Zo'n onderkoelde vloeistof kristalliseert vrijwel direct uit na toevoeging van een kiemkristal en is dus instabiel. Van glas kun je dat niet zeggen; thermodynamisch gezien zou het materiaal wel de kristallijne vorm willen aannemen, maar de structuur zelf verhindert dit omdat de atomen niet van plaats kunnen veranderen. ‘Metastabiele stof’ is dus een betere omschrijving voor glas dan onderkoelde vloeistof.

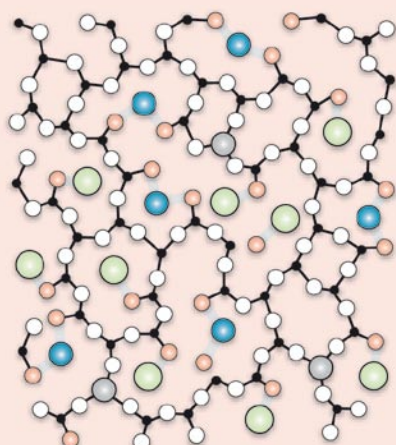
BREEKBAARHEID

Glas vertoont de onhebbelijke eigenschap dat het bij een mechanische belasting plotseling, zonder waarschuwing, kan breken. Zodra een glas of schaal uit je handen glipt en op de vloer belandt, is het meestal scherven rapen geblazen. Dit breukgedrag komt doordat glas – net als keramische bakstenen en tegels – een bros materiaal is. Andere materialen zoals metaal en sommige kunststoffen zijn taaier. Ze vervormen eerst een klein beetje voordat ze bij een grote belasting definitief breken. Dat is bij glas niet het geval. De sterkte van glas hangt dan ook grotendeels af van

KLEINE VERSCHILLEN GROTE GEVOLGEN

Standaard	Boheems glas	Kroonglas	Flintglas	Pyrexglas	Gekleurd glas
natriumcalciumsilicaat $\text{Na}_2\text{O}, \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$	kaliumpcalciumsilicaat (K_2O i.p.v. Na_2O)	natriumkaliumpcalciumsilicaat (deels K_2O i.p.v. Na_2O)	kaliumpcalciumloodsilicaat (deels PbO i.p.v. CaO)	natriumpcalciumborosilicaat (deels B_2O_3 i.p.v. SiO_2)	toevoeging metaalionen
	beter bestand tegen hogere temperatuur en tegen chemicaliën	geschikt om te slijpen	uitstekend geschikt om te slijpen	bestand tegen sterke temperatuurwisselingen	 ijzer (II) → geel/groen; ijzer (III) → bruin; koper (II) → blauw; fijn verdeeld goud → rood

CHEMIE VAN GLAS



● Si ○ Al ○ O ○ O⁻ ● Na⁺ ● Ca²⁺

SiO₂ en B₂O₃ (in boraatglas) zijn netwerkformers. Al₂O₃ ondersteunt het netwerk een beetje, maar de regelmatige roosterstructuur wordt verstoord door Na⁺ en Ca²⁺.

Standaard glas bestaat uit een mengsel van natrium- en calciumsilicaten. Het wordt gemaakt door samensmelten van zand, kalksteen (CaCO₃) en soda (Na₂CO₃). Bij hoge temperatuur ontlede deze zouten. Uit de carbonaten ontwijkt CO₂ volgens de reactievergelijkingen:

$$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$$

Kwarts bestaat uit zuiver SiO₂ met een kristalrooster waarin silicium tetraëdrisch is omringd door zuurstof, waardoor het smeltpunt hoger is dan dat van glas. Kwarts is sterk, temperatuurbestendig, chemisch inert en laat uv-straling door. Het wordt gebruikt voor speciale toepassingen waar glas niet voldoet zoals uv-cuvetten en kwaliteitsampullen. Het is naar verhouding duur. |

de toestand aan het oppervlak: scheurtjes en andere oneffenheden, die zich vooral aan het oppervlak ophouden, geven plaatselijk een grote spanningsconcentratie. Aangezien de spanningsconcentratie – en daarmee de breeksterkte – afhangt van de lengte van zo'n scheurtje, bepaalt vooral de lengte van de grootste scheur de sterkte van het hele materiaal.

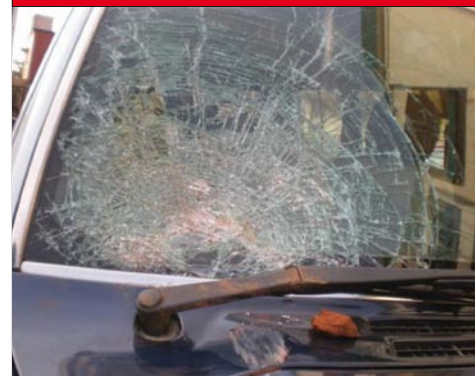
Een andere oorzaak voor breuk is verhitting. Glas is een slechte warmtegeleider, en dat houdt direct verband met de amorfe structuur. Warmte – niet veel meer dan

het trillen van atomen – gaat als een golfbeweging door een materiaal, waarbij het ene atoom zijn trilling overdraagt op een naastgelegen atoom. Deze koppeling van atoomtrillingen is het sterkst in een regelmatige structuur en bij sterke bindingen tussen de atomen. Diamant is dus een heel goede warmtegeleider, en vensterglas (natronkalkglas) een heel slechte. Natrium- en kaliumionen verstoren het siliciumoxide-netwerk en verlagen de symmetrie en de bindingskrachten in het oorspronkelijke rooster. In de praktijk hoor je dan ook 'ping' en breekt het glas wanneer je het plaatselijk verhit. Op die plek wil het glas uitzetten en eromheen niet. Dit geeft spanning in het brosse materiaal, wat uiteindelijk tot een breuk leidt. Dit geldt met name voor natronkalkglas met een relatief grote thermische uitzettingscoëfficiënt ($9,0 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$) en niet – of veel minder – bij zuiver kwarts met een veel kleinere uitzettingscoëfficiënt ($5,5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, tussen 0 en 300 °C).

DOORZICHTIG

Waarom is glas doorzichtig? In het algemeen kun je zeggen dat een materiaal lichtdoorlatend is als er geen wisselwerking is met invallend licht: geen lichtabsorptie, geen reflectie. Om kleuren te zien is wisselwerking nodig tussen zichtbaar licht en vrije elektronen, maar vrije elektronen ontbreken in kleurloos glas. Toch zie je soms een enigszins groene kleur, vooral als je tegen de rand aankijkt. Dat komt door de

BREKEN ZONDER SCHERVEN



Als gewoon glas breekt versplintert het sterk. Om dit te voorkomen maakt men tegenwoordig ook veiligheidsglas dat bijvoorbeeld wordt gebruikt voor autoruiten en voor ramen en deuren van scholen. Veiligheidsglas is gelaagd glas, dat daarom ook vaak sandwichglas wordt genoemd. Tussen de glasbladen wordt een kunststof aangebracht. Vroeger was dat cellulose, maar tegenwoordig vooral polyvinylbutyral (PVB). Hierdoor wordt glas sterker en elastischer: het kan wel barsten of buigen, maar de scherven 'klevan' aan de plastic tussenlaag. Een andere vorm van veiligheidsglas is draadglas, waarbij een netwerk van metaaldraad in het glas wordt aangebracht. |

aanwezigheid van minimale hoeveelheden van het overgangsmetaalion Fe³⁺ in het glas, afkomstig van verontreiniging in de grondstoffen.

Ook is er in glas geen wisselwerking tussen zichtbaar licht en gebonden elektronen. Dat komt doordat de energie van licht uit het zichtbare golflengtegebied (golflengte 400-800 nm) onvoldoende is om een gebonden elektron in een hogere baan te schieten. Dat is anders voor de energierijke uv-straling met een golflengte van 350 nm en lager. In natronkalkglas wordt deze straling geabsorbeerd door de elektronen van de zuurstofatomen (n-π overgang absorbeert uv-straling). Daardoor houdt vensterglas uv-straling van de zon voor het grootste deel tegen.

Behalve absorptie speelt reflectie (het terugkaatsen van licht) ook een kleine rol bij de lichtdoorlating van glas. Bij vensterglas – en zeker ook bij het glas van de oude beeldbuizen – is deze lichtreflectie storend, maar bij wijnglazen die gemaakt zijn van kristalglas kan deze schittering een extra reden zijn om nog meer van de inhoud te genieten. |

KRISTALGLAS IS GEEN KRISTAL



Glas en kristal hebben veel gemeen: beide zijn breekbaar en doorzichtig. Het grote verschil is dat kristalglas ongeveer 10 procent PbO (en dus Pb²⁺-ionen) bevat, waardoor het sterker licht reflecteert dan glas (fonkelend kristal). Toch is de naam kristal misleidend, want kristal heeft geen kristallijne structuur. Het is een amorf silicaat, dat eigenlijk kristalglas genoemd zou moeten worden in plaats van kristal. |

Het gebruik van glas voor ramen, glazen en flessen is al heel oud. Relatief nieuw zijn glasvezels voor technische toepassingen. Ze hebben een **revolutie** teweeggebracht binnen de telecommunicatie en de kunststofindustrie.

Glasvezels

voor bits en boten

Tot enkele jaren geleden was koper nog gemeengoed voor het transport van gesprekken en gegevens. Tegenwoordig gebeurt dit echter steeds meer met glasvezelkabels, waarin licht over grote afstanden wordt vervoerd. Licht als communicatiemiddel is al heel lang bekend. Zo waarschuwden vuurtorens schepen al eeuwenlang om op te letten, en kun je met Morse-lichtsignalen communiceren. Voor grote afstanden schieten dergelijke lichtsignalen tekort doordat stofdeeltjes in de lucht het licht verstrooien.

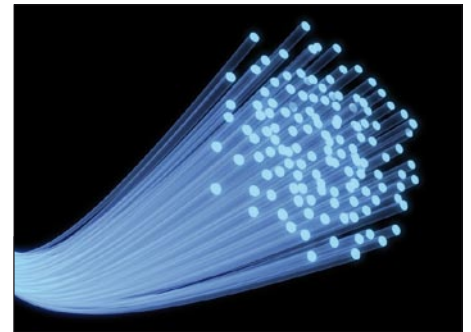
Glastechnici wisten al lang dat een glazen staaf of draad licht kan geleiden. Toch duurde het tot 1854 voordat de Britse fysicus John Tyndall hier een verklaring voor vond. Hij toonde aan dat licht van richting verandert als het van het ene medium in het andere terechtkomt. Men ontdekte bovendien dat er onder bepaalde omstandigheden totale reflectie optreedt. Op dit verschijnsel berust de lichtgeleiding door een glazen draad: het grensvlak van lucht en glas werkt als een spiegel,

waardoor het licht door interne reflectie voortbeweegt.

De ontdekking van dit principe vormde de basis voor het gebruik van glasvezels om informatie door te geven. Praktische toepassing van dit communicatiemiddel begon echter pas nadat in 1966 Charles Kuen Kao een manier had bedacht om lichtsignalen over grotere afstanden via heel zuivere glasvezels door te geven. Hij kreeg hiervoor in 2009 de Nobelprijs voor de natuurkunde.

VERBETERINGEN

Moderne glasvezels bestaan uit twee soorten glas: een kern met hogere brekingsindex en daaromheen een mantel met een lagere brekingsindex. Bij een geschikte invalshoek wordt de lichtbundel volledig gereflecteerd op het grensvlak van kern en mantel. Het grensvlak tussen beide glassoorten vormt de 'spiegel' die de lichtbundel in het binnenste glas gevangen houdt. Onzuiverheden in het materiaal leiden echter tot het weglekken van licht door absorptie en



Optische vezels kunnen per seconde een miljoen keer meer lichtsignalen versturen dan koperdraden elektrische signalen.

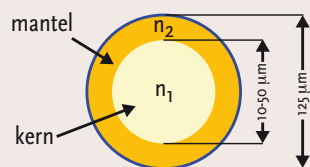
verstrooiing. Veel voorkomende verontreinigingen in glas zijn ijzerionen. Kao ontdekte dat voor optische communicatie zeer zuiver siliciumoxide nodig is. Men ontwikkelde hiervoor een speciaal productieproces waarbij siliciumchloride (SiCl_4) en zuurstof (O_2) bij hoge temperatuur met elkaar reageren en SiO_2 vanuit de dampfase neerslaat. Uit dit zeer zuivere siliciumoxide moeten, eveneens bij hoge temperatuur, de glas-

SUPERSTERK MATERIAAL



Glasvezelversterkt polyester is sterk, licht, weerbestendig en onderhoudsvrij. Het wordt dan ook veel gebruikt voor surfplanken of boten en als bouw materiaal, bijvoorbeeld voor daken, gevelpanelen en rioleringsbuizen. Maar ook grotere constructies zijn mogelijk. Zo is het gelukt om een brug van glasvezelversterkte kunststoffen te bouwen die zowel milieutechnisch als qua kosten en onderhoud moeiteloos de vergelijking kan doorstaan met een metalen brug. |

PERFECT SPIEGELEND



De glasvezel bestaat uit twee lagen glas: kern en mantel. De brekingsindex van de kern (n_1) is groter dan de brekingsindex van de mantel (n_2). Bij de juiste invalshoek treedt aan het grensvlak van kern en mantel totale reflectie op, waardoor het licht door de vezel wordt getransporteerd.

vezels worden getrokken. Kao ontdekte dat bij een golflengte van $1,55 \mu\text{m}$ – dus in het infrarood gebied – de minste lichtverliezen optreden. Vandaag de dag zijn de vezels zo goed dat na 1 km vezellengte nog meer dan 95 procent van het licht is overgebleven.

TERABITS

Licht gaat met een snelheid van zo'n 200.000 km/s door glas, ongeveer twee derde van de lichtsnelheid in vacuüm. Gegevens kun je digitaal de vezel insturen door bliksemsnel een laser aan en uit te schakelen, om zo bitjes (enen en nullen) te genereren. Momenteel zijn op die manier al datasnelheden ofwel bitrates mogelijk van 1 terabit per seconde (10^{12} bit/s). Als je voor één enkel telefoongesprek 4 kb/s aan gegevens overdraagt, dan kun je maar liefst 250 miljoen telefoongesprekken tegelijkertijd door één glasvezel sturen.

De snelheid van licht door de glasvezel is tegenwoordig niet meer de capaciteitsbepalende stap. De knooppunten waar de optische informatie moet worden omgezet in elektronische en omgekeerd hebben grote moeite om de sterk toegevoerde stroom te verwerken. En voor transport over grote afstanden spelen de lekverliezen uiteraard mee. Als versterker

van het optische signaal kun je geen elektronische versterker gebruiken, want dan gaat het voordeel van het transport met (bijna) lichtsnelheid verloren. Optische versterkers vormen hier de oplossing, waarbij doting met erbium in de glasvezels zorgt voor een versterking van het aantal langskomende lichtdeeltjes.

SENSOREN

Met optische vezels kun je nog een stapje verder gaan door ze onderdeel te laten uitmaken van zogeheten intrinsieke sensoren. De optische vezel is dan zelf een meetinstrument, en niet alleen de doorgever van informatie. Dergelijke vezels meten bijvoorbeeld trekkrachten, temperatuur of druk. De gemeten waarde veroorzaakt een wijziging in een karakteristieke eigenschap van het licht, zoals intensiteit, fase of golflengte. Door via dezelfde vezel deze verandering in het licht te meten, weet je wat de gemeten waarde is. Zo kun je bijvoorbeeld op afstand de gesteldheid van een materiaal controleren, of nagaan of een onderdeel van een turbine niet te heet wordt. Allemaal met optische vezels.

STERK EN LICHT

Behalve vanwege hun functionele eigenschappen – zoals het geleiden van licht – worden glasvezels ook gebruikt vanwege hun structurele eigenschappen. Ze zijn namelijk erg sterk en geschikt om kunststoffen te versterken; in deze zogeheten composieten zijn glasvezels ingebed in een matrix van kunststof. Je kunt op die manier optimaal gebruikmaken van de voordelen van beide componenten. Zo hebben glasvezels vooral een hoge treksterkte, terwijl de kunststof matrix goed drukbelasting kan opvangen. Wanneer je glasvezels mengt met kunststoffen (die doorgaans een lagere dichtheid hebben dan glas) ontstaat een

SUPERSNELLE COMMUNICATIE



Glasvezels voor optische communicatie bieden bijna alleen maar voordelen. Hoewel glasvezelkabels lichter in gewicht en dunner zijn dan hun koperen tegenhangers, kunnen ze toch meer informatie doorgeven. Geen overbodige luxe in een wereld waar mensen steeds meer behoefte hebben aan informatie die snel te verkrijgen is.

De voordelen van glasvezelkabels ten opzichte van koperdraden voor datacommunicatie zijn legio: dunner, lichter, hogere capaciteit, transport over grote lengte (tot ca. 70 km) en geen elektrische storing.

sterk maar licht materiaal – zeker in vergelijking met metalen.

De hiervoor gebruikte glasvezels bestaan voornamelijk uit aluminaboorsilicaatglas, ook wel E-glas genoemd. Via gaatjes in de wand van een glasoven worden ze direct getrokken uit de smelt en op spoelen gewonden. Door tijdens het stollen van het glas voldoende hard te trekken ontstaat fijn garens met een diameter van ongeveer $20 \mu\text{m}$. Dankzij het speciale productieproces ontstaan er nauwelijks defecten in het glas, waardoor de vezels niet scheuren. Net als met natuurlijke vezels kun je ook met dit soort glasvezels weefsels maken. Om de vezels te beschermen tijdens het weven, maar ook om later een betere hechting met de matrix te krijgen, worden ze gecoat met een beschermingslaag. Bij het weven kun je zelf bepalen in welke richting de lange vezels liggen en dus in welke richtingen een composiet de grootste krachten aankan.

Bij de fabricage van een composietproduct worden de glasvezelweefsels in een gietvorm gelegd – eventueel meerdere platte weefsels boven elkaar. Daarna worden de chemicaliën toegevoegd, die na katalytisch uitharden een thermohardende kunststof vormen zoals epoxyhars en polyesterhars.

GEWEVEN GLAS



Glasvezels worden in de vorm van weefsels en matten gebruikt ter versterking van kunststoffen.

Meer weten

AANBEVOLEN LITERATUUR

- H. de Waal, Opbouw en eigenschappen van glas, *Mikroniek* 1980, 2, 48-53.
- E. Brinkman, Diamant, *Chemische Feitelikheden* 261, november 2009.
- M. Ashby et al., *Materials: engineering, science, processing and design*, ISBN 978-0-7506-8391-3, en dan vooral hst. 16 over materialen voor optische apparatuur en hst. 19 over maakprocessen en eigenschappen.
- KGK (*Klei-glas-keramiek magazine*), een vakblad voor glas, keramiek en minerale materialen, met regelmatig artikelen over glas.

AANBEVOLEN WEBSITES

- Algemene informatie over glas op de Nederlandse (nl.wikipedia.org/wiki/Glas) en Engelse (en.wikipedia.org/wiki/Glass) Wikipedia-sites.
- www.glas.nl/alles-over-glas/geschiedenis/8-moderne-productie-van-vlakglas/ voor meer informatie over het vlakglasproces.
- http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/sci.html, wetenschappelijke achtergrond bij de Nobelprijs voor de natuurkunde 2009, onder meer over glasvezels.
- www.kennislink.nl/publicaties/helderheid-over-glasvorming, achtergrondinfo over het recente onderzoek dat in 2007/2008 in Leiden is verricht naar het stollen van glas.

VOOR OP SCHOOL

1. Glas bestaat uit een mengsel van silicaten. Welke zijn de zuurvormende en welke de basevormende oxides?
2. Wat is de functie van de H₂/N₂ atmosfeer boven het vloeibaar tin in de glasfabriek.
3. Leg uit – op moleculair niveau – waardoor glas een smelttraject heeft en geen smeltpunt.
4. Bij kristallisatie komen moleculen netjes in een geordend



Mensen gebruikten het doorzichtige mineraal beryl in een geslepen vorm vroeger als kijkglas. Onze woord bril stamt dan ook af van het woord 'beryl'.

rooster terecht. Geef aan waardoor kristallisatie lastiger is bij glas dan bij suiker.

5. Leg uit waardoor de glasovergangstemperatuur (T_g) van veel plastics – met een viscositeitsgedrag dat vergelijkbaar is met dat van glas – veel lager is dan die van (silicaat)glas.
6. Leg de betekenis uit van: 'thermodynamisch gezien wil glas wel de kristallijne vorm aannemen, maar kinetisch gezien lukt dit niet'.
7. Welke factoren zorgen voor lokale spanningsconcentraties in glas?
8. Glas absorbeert ultraviolet licht, maar geen gekleurd licht. Leg op moleculair niveau uit hoe licht van diverse golflengtes door moleculen wordt geabsorbeerd.
9. Als je onder water met een zaklamp schijnt, kun je boven water de lichtbundel niet altijd zien (grenshoek). Leg de overeenkomst uit met lichtbundels die niet zijdelings uit optische vezels ontsnappen.
10. Wat wordt bedoeld met functionele en structurele eigenschappen van glasvezels?

COLOFON

Chemische Feitelikheden: actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

Redactie:
Arno van 't Hoog (C2W)
Marian van Opstal (Bèta Communicaties)
Arthur van Zuylen (Bèta Communicaties)
Gerard Stout (NHL Hogeschool)

Basisontwerp: Menno Landstra

Redactie en realisatie:
Bèta Communicaties
tel. 070-306 07 26
betacom@planet.nl

Fotoverantwoording:
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van www.istockphoto.com

Uitgever:
Roeland Dobbelaer, Bèta Publishers
Postbus 249, 2260 AE Leidschendam
tel. 070-444 06 00, info@betapublishers.nl

Abonnementen:
Abonnementenland, Antwoordnummer 1822
1910 VB Uitgeest
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)
klantenservice@aboland.nl

Abonnementen kunnen elk moment ingaan en worden jaarlijks stilzwijgend verlengd tenzij vóór 1 december van het lopende jaar een schriftelijke opzegging is ontvangen.

Een abonnement op Chemische Feitelikheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Voor particulieren:
Online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap): € 78,-.
Leden van KNCV, KVVC en NVON krijgen € 10,- korting.

Voor bedrijven en (onderwijs-)instellingen:
Onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen): € 234,-.

Kijk voor meer informatie op
www.chemischefeitelikheden.nl

GLAS

editie 62
nummer 265
augustus 2010

Met dank aan:

- Dr. ir. Oscar Verheijen
TNO Industrie & Techniek
oscar.verheijen@tno.nl
- Dr. Ronald Dekker
Xio Photonics
r.dekker@xiophotonics.com