

De sterkte van glas (



Waarom zijn die verschillen zo groot en wat is er nu zo moeilijk aan de sterkte van glas? Glas is toch gewoon een plaat materiaal zoals staal of kunststof? In dit artikel legt de auteur op een begrijpelijke manier uit waarom dit zo'n lastig onderwerp is. Alle factoren die van invloed zijn op de sterkte van glas, worden in twee afleveringen behandeld.

Veel onderzoek gedaan

Op het gebied van de sterkte van glas is indrukwekkend veel onderzocht en gepubliceerd. De eerste publicatie dateert uit 1899 en gaat over de sterkte van glas bij lange duurbelasting. Het was toentertijd een onderwerp waarin voornamelijk wetenschappers geïnteresseerd waren. Pas de laatste twintig jaar is er ook praktische interesse op dit gebied, ontstaan door de veranderde toepassingen van glas.

Eind jaren tachtig van de twintigste eeuw hadden de verschillende fabrikanten hun eigen interpretatie op het gebied van de sterkte van glas. De meeste informatie was toen nog te vinden in het handboekje van Flachglas. De enige manier om onafhankelijke gegevens te vinden, was het lezen van wetenschap-

Als er over één onderwerp alleen al in de landen van Europa geen overeenstemming is, is het wel over de sterkte van glas. De verschillen in nationale normen zijn groot. Dat maakt het bijna onmogelijk een Europese norm te maken die geen gevolgen heeft voor nationale normen. De voorschriften in Amerika en Europa lijken in eerste instantie zelfs geen enkele overeenkomst met elkaar te hebben.

pelijke publicaties, volop aanwezig in de bibliotheek van de TU in Delft. Ook het rapport van CUR en Kenniscentrum Glas over constructief glas is een belangwekkend document. Uit onderzoek bleek dat de meeste fabrikanten erg conservatief waren in hun sterkteberekeningen en dat de informatie waar ze zich op baseerden weinig wetenschappelijk van aard was. Hetzelfde gold, en geldt, voor de glasnormen. Ook de Europese norm prEN 13474 klopt wetenschappelijk niet helemaal, al zijn de verschillen met de werkelijkheid niet groot. Bovendien is het onmogelijk een werkbare norm voor de sterkte van glas te maken die wetenschappelijk volledig klopt. Dit heeft alles te maken met de grote hoeveelheid factoren die van invloed zijn op de sterkte van het glas:

- belastingduur (tijd onder belasting),
- belastingsoort (thermisch, wind en dergelijke),
- belastingssnelheid,
- luchtvochtigheid,
- oppervlakteconditie (microscopische beschadigingen),
- glasrandbewerking,
- leeftijd,
- oppervlakte onder trekspanningen,
- toelaatbare kans op een breuk,

- thermische versterking (versterkt of voorgespannen).

In dit artikel gaan we dieper in op de diverse factoren die van invloed zijn op de sterkte van glas. In deel 2 behandelen we de normen.

Belastingduur (tijd onder belasting)

Glas heeft de eigenschap nogal slecht te presteren onder een langdurige belasting. Het verschil tussen het draagvermogen gedurende 5 seconden en een uur is bijvoorbeeld 34 procent. Na een uur belasten is de ruit dus een derde zwakker geworden. Bij een permanente belasting van vijftig jaar is een ruit slechts nog 29 procent belastbaar ten opzichte van de belastbaarheid bij 5 seconden. Wordt de belasting opgeheven, dan hervindt de ruit zijn belastbaarheid weer bijna helemaal. Deze vermindering van belastbaarheid onder invloed van tijd is door middel van een formule (formule 1.1) vastgelegd in verschillende glasnormen:

Formule 1.1

$$F_{mt}(t_2) = F_{mt}(t_1) \times (t_1/t_2)^{1/16}$$



W E L K E F A C T O R E N Z I J N V A N I N V L O E D ?

S (1)

Belastingsoort

Doordat de tijdsduur van een belasting op een ruit van grote invloed is op de sterkte-eigenschappen, is de belastingsoort van belang. Windbelasting is sterk wisselend van intensiteit in tijd. Sneeuwbelasting is statisch en aanwezig voor langere tijd. Beloopbare beglazing moet worden berekend met een belastingduur van vijftig jaar.

Deze factoren kunnen worden opgevangen door formule 1.1. Voor windbelasting wordt in de NEN 2608-2 $t = 5$ seconden aangehouden.

Sterk in tijd wisselende belastingen zijn ook van (grote) invloed, maar ze worden in de normen niet omschreven. Een typisch voorbeeld hiervan is thermische spanning (bijvoorbeeld door zonnewarmte). Een ruit die regelmatig te maken heeft met hoge thermische spanningen kan daardoor verzwakt raken. Na verloop van tijd kan de ruit breken; dit kan zelfs wanneer het temperatuurverschil lager is dan het eerder opgetreden verschil. Rekening houden met de toelaatbare spanningen door thermische belasting kan dit soort problemen voorkomen.

Wie op een exacte manier de draagcapaciteit van een ruit voor een levensduur van vijftig jaar (Bouwbesluit) wil weten, moet de complete belastingstoekomst kennen. Dat is natuurlijk een onmogelijke opgave. Toch is het wel zaak hier in normen rekening mee te houden bij het vaststellen van de toelaatbare buig- en trekspanningen in het glas.

Belastingnelheid

Hoe sneller de toename van de belasting in tijd is, des te beter presteert het glas. Wanneer glas wordt belast door een slingerproef, zal de ruit dus aanmerkelijk beter presteren dan wanneer deze wordt belopen.

Luchtvochtigheid

De sterkte van glas onder een belasting is ook afhankelijk van de luchtvochtigheid. Hoe vochtiger de lucht, hoe sneller de sterkte vermindert (formule 1.2).

Formule 1.2

$$F_{mt}(t_2) = F_{mt}(t_1) \times (t_1/t_2)^{1/n}$$

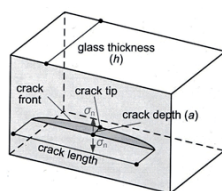
- n = corrosieconstante
- $n = 16$ in het water
- $n = 18,1$ bij 50% relatieve luchtvochtigheid
- $n = 27$ bij 10% relatieve luchtvochtigheid
- $n = 70$ in vacuüm

Het verschil in sterkte bij $t = 300$ seconden tussen een ruit in het water en in lucht met 10 procent relatieve luchtvochtigheid is 10 procent. De normen gaan uit van $n = 16$, de slechtste situatie.

Oppervlakteconditie

De sterkte van glas is voor 100 procent een oppervlakte-eigenschap. De draagkracht van een ruit is afhankelijk van de combinatie oppervlaktebeschadiging en de op die plaats optredende trekspanningen. Glas is vanuit microscopisch oogpunt ruw: sterk vergroot lijkt de oppervlakte van een ruit op een maanlandschap. Wanneer een ruit belast wordt, bijvoorbeeld door wind, ontstaan aan de oppervlakte van de ruit trekspanningen. Op veel plaatsen is die oppervlakte echter beschadigd door bijvoorbeeld een kras.

Oppervlaktebeschadiging van een ruit



Op de bodem van deze kras ontstaan spanningen. Door een combinatie van

vocht en trekspanningen ontstaat een chemisch proces dat zorgt voor het dieper worden van de kras. Dit mechanisme is verantwoordelijk voor het zwakker worden van een ruit onder invloed van belasting in tijd. De sterkte van de ruit is bij deze parameter afhankelijk van de diepte van de beschadiging, de luchtvochtigheid, de vorm van de beschadiging en de maximaal toelaatbare spanningsconcentratie op de bodem van deze beschadiging. Zonder rekening te houden met luchtvochtigheid levert dit formule 1.3.

Formule 1.3

$$F_{mt} = K_{ic}/(F \times \sqrt{a})$$

F_{mt} = trekspanningen aan de oppervlakte van de ruit

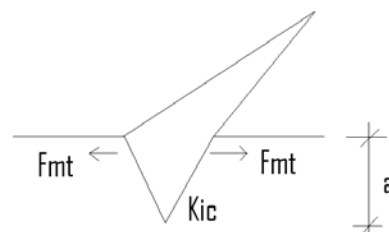
K_{ic} = kritieke waarde voor spanningsconcentratie op de krasbodem (0,75 Mpa mo,5); wordt deze waarde bereikt, dan ontstaat breuk

F = waarde voor vorm van beschadiging (wordt meestal 1,99 voor aangenomen)

a = diepte beschadiging

$F_{mt} = 25$ Mpa heeft $a = 0,22$ mm bij breuk

$F_{mt} = 12$ Mpa heeft $a = 0,99$ mm bij breuk



Glasrandbewerking

Gesneden en afgescherpt geslepen randen bezitten een lagere sterkte-eigenschap dan het glasoppervlak. In geval van thermische spanningen of bij een rand waar geen oplegging is, bevinden zich daar de hoogste trekspanningen. >





› De sterkte van glas (1)



Serre van Dijkman in Leiden. Constructeur: Ron Kruijs. Producent: Van de Heuvel Glas Schiedam.

Leeftijd

De invloed van leeftijd op de sterkte van glas heeft alleen te maken met beschadigingen van de ruit in de tijd. Het zemen van een ruit kan door de aanwezigheid van een zandkorrel in de zeem de ruit al verzwakken en relatief diepe krassen veroorzaken. Tijdens tests op de buigtreksterkte van niet-thermisch behandeld nieuw glas zijn waarden tot 200 Mpa gevonden – acht keer hoger dan NEN 2608-2 voorschrijft. Dit is ook de reden waarom tests van ruiten op draagkracht, bijvoorbeeld op de bouwplaats, alleen iets vertellen over die ruit op dat moment. Zo'n test is dus niet representatief voor de overige ruiten of dezelfde ruit een week later.

Oppervlakte onder trekspanningen

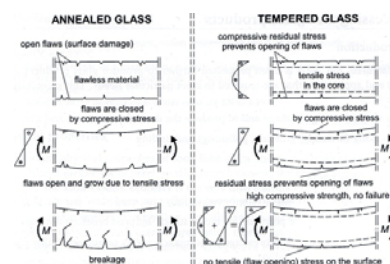
In het voorgaande hebben we uitgelegd dat de sterkte van een ruit afhankelijk is van de diepte en vorm van een oppervlaktebeschadiging. Nu is de kans op het vinden van een diepe beschadiging

natuurlijk groter wanneer de ruit groter is. De kans dat een ruit breekt, is alleen aanwezig wanneer er trekspanningen op de ruitoppervlakte werken. De combinatie van een oppervlaktebeschadiging en een hogere trekspanning op de oppervlakte van deze beschadiging dan de ruit kan dragen, leidt tot breuk. Om deze reden zal een ruit vaak niet breken op het punt waar de maximale spanningen zich bevinden. Hoe groter de oppervlakte onder trekspanningen is, hoe groter de kans op een breuk. Een ruit zal nooit een homogeen (overal hetzelfde) spanningsveld (trek- en drukspanningen op de oppervlakte van de ruit) hebben.

Bij een gelijkmatig verdeelde belasting is de gemiddelde spanning veel hoger dan bij een plaatselijke belasting. Dit fenomeen heet het oppervlakte-effect en is een onderdeel van de zogenaamde Weibull-verdeling, een statistiekvorm waarmee de door tests verkregen glasterkte-eigenschappen worden bewerkt om tot de karakteristieke waarden (sterkte-eigenschappen) te komen.

Toelaatbare kans op een breuk

De toelaatbare trekspanningen in een ruit hebben een relatie met de toelaatbare kans op een breuk. Deze toelaatbare kans op een breuk staat omschreven in NEN 6700. Deze kans wordt afhankelijk gesteld van de toepassing en er wordt verschil gemaakt tussen het soort gebouw en het type belasting. Bij windbelasting is een hogere kans op breuk acceptabel dan wanneer er sprake is van doorvalbeveiliging. De gevolgen van het instorten van een woning zijn geringer dan die van het instorten van een tribune. In de normen wordt dit geregeld met behulp van belasting- en materiaalfactoren. Door de representatieve waarden van een belasting te verhogen en de



belastingfactor en karakteristieke waarde (buigtrekspanning F_{mt}) van een materiaal te verlagen met een materiaalfactor, ontstaat de vereiste veiligheid.

Thermische versterking

Zoals hiervoor omschreven is de sterkte van glas een oppervlakte-eigenschap. Er zijn trekspanningen nodig op de oppervlakte van een ruit om tot spanningsconcentraties te komen in de bodem van een kras. Ook het tijdafhankelijke karakter van de belastbaarheid van glas ontstaat alleen onder invloed van trekspanningen. Door een drukspanning aan te brengen op de oppervlakte van het glas worden de beschadigingen onder een drukspanning gebracht. Trekspanningen kunnen dan pas ontstaan wanneer ze hoger zijn dan de drukspanningen. Door een ruit thermisch te versterken of voor te spannen wordt het draagvermogen van de ruit verhoogd met het aandeel voorspanning (eigenlijk zelfs nog iets meer). Het draagvermogen van de ruit is dan bijna niet meer afhankelijk van de belastingstijd.

In het tweede deel van dit artikel over de sterkte van glas gaan we in op de normen die van toepassing zijn. <

Ron Kruijs

De auteur

Ron Kruijs is werkzaam bij Glasimpex Vlaardingen en maakt deel uit van de werkgroep Constructief Glas van de Normcommissie Vlakglas. Zijn artikelen hebben als doel de lezer meer inzicht te geven in de complexiteit van het begrip sterkte van glas. 'Het is een onderwerp dat mijn interesse al meer dan tien jaar heeft', aldus Kruijs. 'Er worden op dit moment nog veel onderzoeken op dit gebied gedaan. De resultaten van deze onderzoeken blijven interessant en geven de mogelijkheid om glas op een constructief verantwoorde manier toe te passen.'

