

# De sterkte van glas (

**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.**

**W**aarom 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? Alle factoren die van invloed zijn op de sterkte van glas, worden in twee afleveringen behandeld. In het eerste artikel, verschenen in Glas in Beeld nummer 1 2009, heeft auteur Ron Kruijs op een begrijpelijke manier uitgelegd waarom dit zo'n lastig onderwerp is. In dit tweede

artikel gaat hij op de normen met betrekking tot de sterkte van vlakglas.

#### **Materiaalfactor**

Op het gebied van constructieve sterkte en veiligheid hebben wij in Nederland op dit moment de normen NEN 2608-1 en NEN 2608-2 'Vlakglas voor gebouwen – weerstand tegen windbelasting' voor verticaal en hellend glas. Op korte termijn zal er een nieuwe versie van NEN

2608 ter commentaar verschijnen. Wanneer deze versie definitief gepubliceerd wordt, zullen NEN 2608-1 en 2 komen te vervallen. In NEN 2608-1 wordt geen van de factoren genoemd die van invloed zijn op de sterkte van glas, zoals beschreven in het eerste deel van deze serie. Wel wordt de  $Y_m$  (materiaalfactor) genoemd. De waarde van de  $Y_m$  is voor enkelglas anders dan voor dubbelglas. Dit komt door het oppervlakte-effect. Bij dubbelglas verdubbelt de oppervlakte; door de materiaalfactor te vergroten, blijft de kans op breuk gelijk. NEN 2608-1 is alleen van toepassing op verticaal glas door wind belast. Vele van de in dit artikel genoemde factoren hebben dan ook geen wisselende waarden en zijn daardoor niet van belang. NEN 2608-2 is veel completer en houdt wel rekening met de factoren die van invloed zijn op de sterkte van glas. De norm moet hiermee wel rekening houden, omdat er sprake is van tijdfhanke-lijke belastingen. Wat opvalt is dat er in NEN 2608-2 geen verschil in materiaal-



## Glazen toren Holland C

**Op het dak van het Holland Casino in Breda staat een glazen toren. Deze glazen toren is in mei 2003 op het dak aangebracht. Het ontwerp van de toren is van beeldend kunstenaar en stedenbouwkundig vormgever Eloi Koreman.**

De hoogte van de toren van voet tot top is meer dan 13 meter. De basis van de toren is een stalen tafel. Deze stalen tafel heeft een hoogte van 2,36 meter, hetgeen betekent dat de glazen opbouw bijna 11 meter hoog is. Oorspronkelijk was het de bedoeling om ook de tafel van glas te maken. Dit was helaas financieel niet haalbaar. De krachten op een dergelijke aanbouw zijn groot. Er moet rekening gehouden worden met windbelasting vanuit alle richtingen inclusief wring. Het glasdeel is opgebouwd uit 12 milli-



# s (2)

factor tussen enkel en dubbelglas gegeven wordt. Sterker nog: bij gelaagd glas worden 15 procent hogere spanningen toegelaten (factor  $k_b$ ). Dit is eigenlijk het tegenovergestelde van NEN 2608-1. Eigenlijk kunnen de twee delen van de norm niet naast elkaar bestaan. Wanneer de toelaatbare uiterst opneembare buigtrekspanningen voor windbelasting bij enkel glas met elkaar vergeleken worden, blijkt dat NEN 2608-1 meer spanningen toelaat dan NEN 2608-2. De opzet van NEN 2608 wijkt ook af van NEN 6700, de modernnorm van de TGB's. NEN 6700 meldt dat al de parameters die van invloed zijn op de sterkte van een materiaal, in de norm moeten worden omschreven. Deel 1 voldoet hier niet, deel 2 voldoet hier wel aan.

## Buigtrekspanning

In NEN 2608-2 staat onder hoofdstuk 9.4 de volgende formule. Met deze formule 1.4 kan de uiterst opneembare buigtrekspanning worden bepaald voor glas onder verschillende condities.

$F_{m;t,u}$	= $(F_{g;k} \times K_b \times k_e \times K_{mod}) / Y_m + (F_{b;k-Fg;k}) / Y_v$
$F_{g;k}$	= karakteristieke waarde voor de uiterst opneembare buigtrekspanning floatglas
$K_b$	= factor voor breukgedrag van glas, heeft geen wetenschappelijke basis
$K_e$	= factor voor randkwaliteit
$K_{mod}$	= factor voor reductie van sterkte onder invloed van belastingstijd
$Y_m$	= materiaal factor floatglas
$F_{b;k-Fg;k}$	= niveau van thermische voorspanning
$Y_v$	= materiaal factor thermisch voorgespannen of versterkt glas.

Door  $K_{mod}$  worden de invloeden van belastingstijd, belastingsoort en luchtvochtigheid in rekening gebracht. Door  $F_{g;k}$  worden de invloeden van oppervlakteconditie en leeftijd in rekening gebracht. Door  $Y_m$  en  $Y_v$  wordt de toelaatbare

kans op een breuk bepaald.

Door  $F_{b;k-Fg;k}$  wordt de meerwaarde door thermisch voorspannen of versterken in rekening gebracht.

Wat nu nog overblijft zijn de invloeden van de oppervlakte onder trekspanningen en de belastingsnelheid. De invloed van de oppervlakte onder trekspanningen is niet zichtbaar aanwezig in formule 1.4. Deze is op de volgende manier verwerkt. De karakteristieke waarde voor de uiterst opneembare buigtrekspanning is bepaald voor een homogene spanning op een oppervlakte van 1 vierkante meter. Om die reden wordt deze niet apart genoemd. Het toetsen van glas gebeurt door het toetsen op een maximale spanning, dit is een conservatief uitgangspunt. Wanneer het oppervlakte-effect zou worden meegenomen, wordt de belastbaarheid hoger. Het meenemen van het oppervlakte-effect leidt echter tot een veel meer ingewikkelde benadering van de sterkte van glas. De invloed van de belastingsnelheid heeft

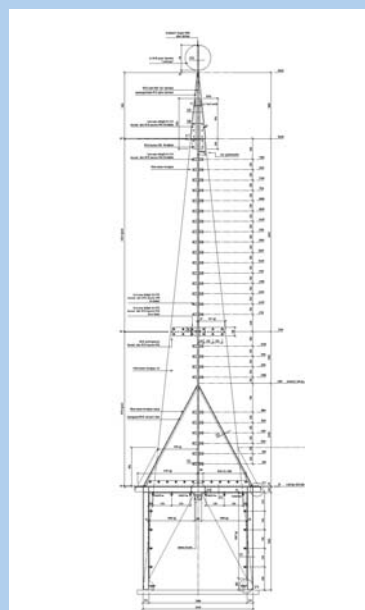
## and Casino Breda

meter thermisch voorgespannen glas, heatsoke getest. De glazen punt is in twee delen op het maaiveld in elkaar gezet. De delen zijn daarna met een kraan op positie gebracht en gemonteerd aan de ondergelegen ruit of stalen tafel.

## Het constructief ontwerp

Uit de verticale doorsnede blijkt de volgende opbouw. De stalen tafel is samengesteld uit HEB 140 stalen profielen. Onder de tafel zijn driehoekige ruiten aangebracht. Deze ruiten zijn met zeven

rozetten bevestigd aan de HEB's. Deze ruiten hebben geen constructieve functie. De eerste ruit, vanaf de stalen tafel, heeft een maat van 1429 x 3725 millimeter. Deze ruit is met zes bouten M20 door middel van twee hoekstalen aan de HEB140 bevestigd. Tussen het glas en de hoekstalen zit een papierpakking met een bekende wrijvingscoëfficiënt. De waarde van de wrijvingscoëfficiënt is van belang om de krachtoverdracht in dit detail tussen het glas en staal te kunnen berekenen. Door deze bouten met >

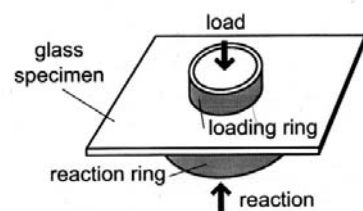




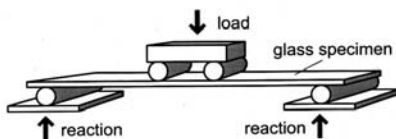
## › De sterkte van glas (2)

een functie in de manier waarop de sterkte-eigenschappen experimenteel worden bepaald.

Experimentele bepaling van glassterkte-eigenschappen. Er zijn drie gestandaardiseerde testmethoden namelijk:



Dubbelring proef



Vierpunt buigproef

### Vierpunt buigproef

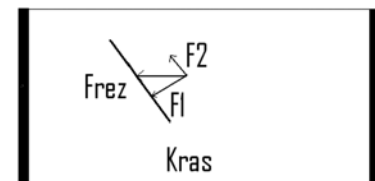
Dubbelring klein oppervlakte  
( $A = 254 \text{ mm}^2$ )

Dubbelring groot oppervlakte  
( $A = 28.2743 \text{ mm}^2$ )

Opgemerkt moet worden dat de vierpunt buigproef voor vlakglas bijna niet toegepast wordt in Europa. De resultaten welke voortkomen uit deze verschillende testmethoden zijn afwijkend. De redenen daarvan zijn de volgende. Zoals eerder gemeld, is de sterkte van een ruit afhankelijk van de aanwezigheid van een oppervlaktebeschadiging (bijvoorbeeld een kras). In een vierpunt buigproef zullen de trekspanningen voornamelijk in de lengterichting van de ruit aanwezig zijn. Wanneer de kras nu niet haaks op de lange kant van de ruit staat, vermindert de trekspanning aan de bovenzijde van de kras.

$$F_{rez} = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2)}$$

De kracht  $F_{rez}$  is aanwezig als trekspanningen in de richting parallel aan de



### Opleggingen

niet opgelegde zijde van de ruit. Kracht  $F_1$  is de oppervlaktespanning loodrecht op de kras, deze oppervlaktespanning is dus kleiner dan de oppervlaktespanning  $F_{rez}$ . Bij een dubbelring proef zijn de trekspanningen in alle richtingen gelijk, de richting van de kras heeft dan dus geen functie. Zoals gemeld heeft de grootte van de oppervlakte onder trekspanningen ook een functie. Deze parameter zal dus bij de drie testmethoden de resultaten verschillend beïnvloeden.

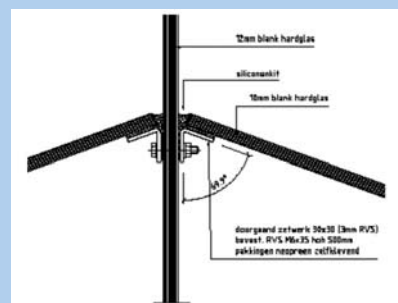
Na het verkrijgen van een reeks van testresultaten, moeten deze op een bepaalde manier worden bewerkt om tot een waarde te komen die represen-

## › Glazen toren Holland Casino Breda

een moment van 470 Nm aan te draaien ontstaat een voorspankracht van 117Kn (1170 kg) per bout. Bij de toepassing van dit soort verbindingen moeten hoge eisen gesteld worden aan de vlakheid van het staal. De papier pakking van slechts 2 millimeter kan weinig verschil in vlakheid verwerken.

### Detail 2

Er is vanaf de bovenkant van de tafel naar de staande ruiten toe een dakje gemaakt. Dit dakje is gemaakt van driehoekige ruiten. Deze driehoekige ruiten zitten aan de onderkant vast in een u-profiel en aan de zijde van de glazen

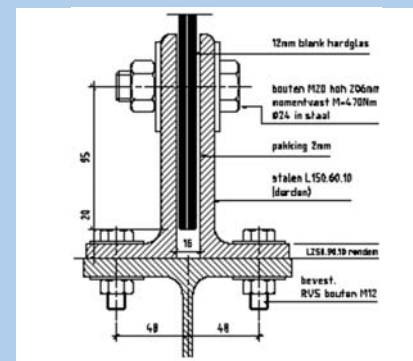


Detail 2

staander liggen zij op een zetswerkprofiel. Aan dit profiel zitten zij vast met kit. Door dit dakje is het klokje beschermd tegen regen.

### Detail 3

De daaropvolgende ruit heeft een afmeting van 641 x 4640 millimeter en is door middel van klemplaten met drie bouten M20 bevestigd aan de daaronder gemonteerde glazen plaat. En als laatste



Detail 3



tatief is voor het glas, de karakteristieke waarde. Dit wordt gedaan door middel van een bepaalde statistiek, voor glas is de Weibull-statistiek genormeerd. Een belangrijk punt in iedere statistiek is de spreiding (in deze het verschil tussen de sterkste en zwakste ruit). Dit verschil is groot bij glas en bij 'vers' glas zelf extreem, de spreiding zou kunnen liggen tussen de 200 Mpa en 40 Mpa. Tijdens een test wordt de belasting op de te testen ruit regelmatig verhoogd zodat de toename van spanning 2M pa/s is. Het verschil in tijd tot breuk tussen de zwakste en de sterkste, bij genoemde spreiding, is dan dus 80 seconden. Dit betekent dat het verschil in sterkte tussen de twee eigenlijk nog groter is, daar de sterke ruit door de langere belastingtijd eigenlijk minder presteert.

Wanneer getest wordt met de dubbelring proef zijn er tussen de twee verschillende testoppervlakken de volgende verschillen te verwachten.

	klein oppervlakte	groot oppervlakte
spreiding	groot	minder groot
gemiddelde sterkte	hoog	minder hoog

Wanneer deze resultaten in dezelfde statistiek worden gezet komen er verschillende karakteristieke buigtrekspanningswaarden uit. Waardoor zijn de verschillen in inzicht tussen de verschillende landen met betrekking tot de sterkte van glas zo groot? De redenen hiervoor zijn onder andere:

- verschil in toelaatbare kans op breuk
- verschil in belastingfactoren
- verschil in statistieke benadering
- wel of niet rekening houden met het oppervlakte-effect

- conditie getest glas voor karakteristieke buigtrekspanningswaarden.

Als voorbeeld: in Nederland liggen de toelaatbare kansen op een breuk bij windbelasting duidelijk hoger (positief) dan bijvoorbeeld in Duitsland. In Amerika hebben ze voor hun norm ASTM E1300 oud glas uit een te slopen gebouw gedemonteerd en deze tot

breuk getest. Deze testresultaten hebben zij toen op een bepaalde manier statistisch bewerkt. Dit geeft natuurlijk verschillende resultaten met betrekking tot de toelaatbare belastingen.

#### Eurocodes

Wanneer in maart 2010 de Eurocodes in werking zullen treden, zullen verschillen tussen de genoemde punten in Europa bijna niet meer aanwezig zijn. Alleen in punt a bij windbelasting is dan nog een voor Nederland positief verschil aanwezig. Dit betekent overigens wel dat de NPR 3599 'Vakglas voor gebouwen – Bepaling van de minimum glasdikte voor windbelasting' opnieuw zal moeten worden geschreven. De nieuwe versie zal kleinere toelaatbare oppervlakten geven onder gelijk blijvende gebouwhoogtes.

#### Ron Kruijs, Glasimpex Schiedam

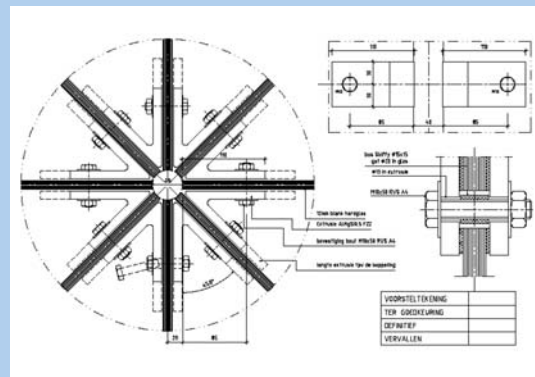
de roestvast stalen spits; deze is met twee bouten M10 bevestigd aan de daaronder gelegen ruit.

De horizontale doorsnede is als volgt opgebouwd. De horizontale doorsnede bestaat uit acht ruiten. De ruiten zijn aan elkaar bevestigd door middel van aluminium beugels. Deze beugels zijn op een afstand van hart op hart 250 millimeter geïmponeerd. Alleen ter plaatse van de positie waar de dakruiten samenkomen met de staanders is de hart op hart afstand van deze beugels eenmaal 850 millimeter. Deze beugels verzorgen de koppeling van de platen in de dwarsrichting van de constructie. De keuze voor het metaal aluminium voor deze beugel is een weloverwogen keuze geweest. De

acht ruiten maken samen met elkaar een exacte hoek van 360 graden. De beugels moeten een bijna perfecte hoek hebben, dit is met een geëxtrudeerd aluminium-profiel goed te bereiken. Bij toepassing van zetwerk zijn de hoekafwijkingen te groot. Door deze manier van opbouw in de twee doorsneden is de glasconstructie in alle richtingen stabiel.

#### Statische berekeningen

De statische berekeningen van de glasopbouw zijn handmatig uitgevoerd. De rekenmodellen voor de staande ruiten zijn afkomstig uit de volgende boeken van Timoshenko, 'The theory of plates and shells', 'The theory of elastic stability' en 'Theory of elasticity'. Het toepassen van analytische modellen (formules)



in plaats van een eindig elementenpakket heeft als voordeel dat de berekening veel inzichtelijker is. Het nadeel is echter wel dat het meestal leidt tot conservatieve oplossingen.

#### Ron Kruijs

