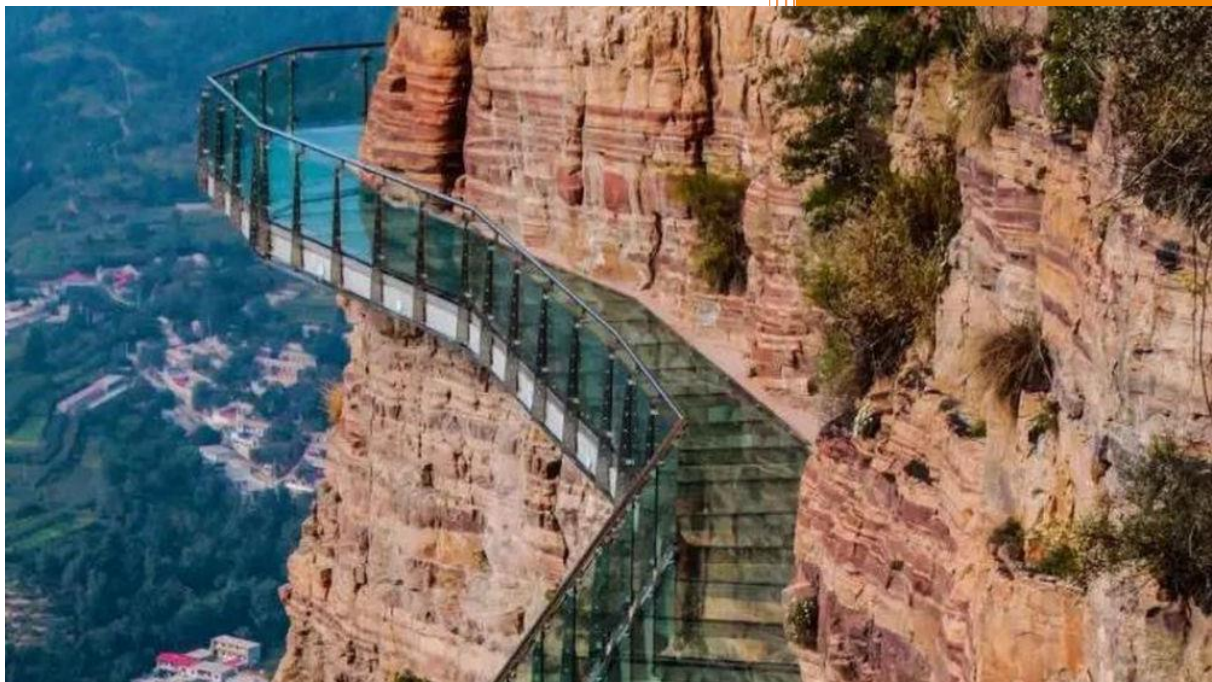


## Bijlage F Literatuurstudie



### **Helpt glas als constructie- materiaal om de wereld te verduurzamen?**

Student:	Genderen, D. van
Studentnummer:	4671743
Afstudeerbedrijf:	Genitec
Plaats, datum:	Bleskensgraaf, 02-12-2021
Onderwijsmanager:	Kemenade, E. van
Opleiding:	HBO Bouwkunde NCOI
Afstudeeronderzoek:	Helpt glas als constructie- materiaal om de wereld te verduurzamen?

## Versiebeheer

Versie	Datum	Wijzigingen	Auteur
1.0	10-7-2020	Opstellen eindschiptie	Dirk van Genderen
2.0	02-12-2021	Aanpassen eindschiptie	Dirk van Genderen



Dirk van Genderen

Bleskensgraaf, donderdag 2 december 2021

## Titelpagina

### Gegevens

Titel van het onderzoek:	Helpt glas als constructiemateriaal om de wereld te verduurzamen?
Opleiding:	HBO Bouwkunde NCOI
Studieonderdeel:	Afstuderen
Studiejaar:	2021
Leerjaar	4

### Contactgegevens bedrijf

Bedrijfsnaam:	Genitec
Afdeling:	Engineering
Contactadres:	Meulenbroek 14b 2971 XD Bleskensgraaf
Telefoonnummer:	0184 - 23 44 44
Emailadres:	<a href="mailto:info@genitec.nl">info@genitec.nl</a>
Website:	<a href="http://www.genitec.nl">www.genitec.nl</a>

### Contactgegevens BV/BmS

Onderwijsmanager:	dhr. E. van Kemenade
Contactadres:	Marathon 7 1213 PD Hilversum
Telefoonnummer:	035 - 6400411
Emailadres:	<a href="http://www.ncoi.nl">www.ncoi.nl</a>
Emailadres onderwijsmanager:	<a href="mailto:e.kemenade@romicohub.com">e.kemenade@romicohub.com</a>

### Contactgegevens student

Student:	dhr. D. van Genderen
Studentnummer:	4371746
Contactadres:	Zellingkade 27 2831 BA Gouderak
Telefoonnummer:	0182 - 507087
Telefoonnummer (mobiel):	06 - 40021465
Emailadres:	<a href="mailto:dirk.van.genderen@genitec.nl">dirk.van.genderen@genitec.nl</a>

## Inhoudsopgave

1.	GESCHIEDENIS VAN GLAS	4
2.	GLAS ALS CONSTRUCTIEMATERIAAL	8
3.	DUURZAAMBOUWEN	12
4.	ALTERNATIEVE KLIMAATBEHEERSING	18
5.	MATERIAALGEDRAG GLAS	22
6.	WELKE NORMEN EN NPR'S ZIJN ER VOOR DE GLASZETTER/LEVERANCIER?	29
7.	RISICOANALYSE VOLGENS FINE AND KINNEY	32

## 1. Geschiedenis van glas

Glas is waarschijnlijk al net zo oud als de aarde zelf. Het kan ontstaan bij hoge temperaturen zoals vulkaanuitbarstingen, blikseminslag en mogelijk ook door inslagen van meteorieten. Dit maakt glas een natuurlijk materiaal en hierdoor al eeuwen oud (Vision2Form, 2014). Zelfs op de maan is er glas aangetroffen in het eerste monster die werd terug gebracht door Apollo-14. Het materiaal obsidiaan (ook wel IJslands agaat genoemd) wat ontstaat op deze natuurlijke wijze werd volgens de verhalen in de steentijd door mensen ook als snijwerktuig gebruikt (Vision2Form, 2014).

Zoals beschreven door de Romeinse historicus Plinius (A.D. 23-79), die bekend is om zijn boeken over het ontstaan van de natuur (Plinius Secundus, 2004), is glas bij toeval ontstaan. Het idyllische verhaal gaat dat in de buurt van Syrië kooplied rond 5000 v. Chr. per toeval het materiaal ontdekte. De kooplieden waren handelaren in verschillende materialen waaronder ook nitraat blokken. Nadat zij op de plaats van bestemming aankwamen werd er een vuur gestookt om de ketelpot op te warmen voor een warme maaltijd. Deze ketelpot was geplaatst op nitraat blokken. Om 's nachts de dieren op afstand te houden werd dit vuur nog eens extra opgestookt. De volgende morgen, tijdens het opruimen en klaarmaken voor vertrek naar de volgende bestemming, vonden zij in het zand een glinsterend materiaal. Door de extreme hitte zouden deze nitraat blokken samengesmolten zijn met het zand tot een glasachtig materiaal. Rond 3500 v. Chr. ontstonden de eerste door mens bewust gecreëerde glasobjecten, namelijk sieraden, gevonden in Egypte. Een grote verandering in de techniek en toepassingen van glas ontstond door een uitvinding in Syrië. Hier werd rond 27 v. Chr. de techniek ontwikkeld van glasblazen die vervolgens overgenomen werd door de Romeinen. Krijgsgevangenen werden meegenomen naar het Romeinse Rijk om daar de techniek van het glasblazen uit te voeren.

Wat volgt is een langdurende geschiedenis waarin glas zich ontwikkeld tot een steeds belangrijker materiaal met verschillende toepassingen.

### 1.1. Glas als gevelmateriaal

De ontwikkelingen op het gebied van glas gaan verder in het Romeinse rijk. Het waren dan ook de Romeinen die het glas in de architectuur introduceerde. Veelal villa's en belangrijke gebouwen werden voorzien van glas in de gevelopeningen. Door de ontdekking van helder glas (met behulp van mangaan oxide) in Alexandrië rond het jaar 100 n. Chr. konden ronde glazen plaatjes van slechte optische kwaliteit gemaakt worden (LeerWiki, 2014). Hieruit zijn verschillende technieken voor het maken van vensterglas ontstaan, waaronder ook het 'schijfenglas'. Door een stang in een hete stroperige glasmassa te houden en hem vervolgens om zijn lengte as te draaien ontstaat er, met behulp van de middelpuntvliedende kracht, een schijf van glas zoals te zien is in Figuur 1.1 (uchicago.edu,2014). Het glas kreeg hierbij een ronde vorm met ongelijke diktes. Door het versnijden van de glasplaten werden ramen gecreëerd die vervolgens met loodstrippen aan elkaar gemaakt werden. Het glas werd erg gewaardeerd en de technieken bleven zich ontwikkelen met als doel steeds grotere glasplaten te creëren.

In 1330 vond Philippe de Cacquerrai een nieuw productieproces uit voor het maken van grotere ronde glasschijven, het zogeheten 'maan- of kroonglas'. De blaaspijp werd in een hete glasmassa gestoken en de klomp vloeibaar glas, wat aan de pijp bleef zitten, werd al draaiend tot een bol geblazen. Vervolgens werd de bol afgeplat en door middel van een werkstang, het pontil-ijzer, ingesneden. Door draaien en met behulp van een houten spatel als werktuig werd een grote ronde schijf gecreëerd (zie Figuur 1.2 (Kunst en Cultuur, 2014)). Met behulp van deze techniek kon in deze tijd een glasdiameter van ongeveer 125 cm bereikt worden (Glas.nl, 2014). Een andere techniek die bekend is voor het industrieel verkrijgen van glas werd beschreven rond de tiende á elfde eeuw door een Duitse monnik. Deze techniek gaat onder de naam 'cilinderglas'. Door het blazen van een glazen cilinder en deze steeds aan te vullen met glas door middel van het indopen in vloeibaar glas, werd een cilinder gecreëerd van circa 25 kg. Deze werd vervolgens vlak neergelegd waarna aan beide

kanten de bolle kanten werden verwijderd. Door vervolgens de glazen cilinder bij afkoeling met een roodgloeiende stalen staaf te splijten en daarna naar een strekoven te brengen, werd een gladde glasplaat gecreëerd. Dit proces is weergegeven in Figuur 1.3 (Kunst en Cultuur, 2014). Dit blaasprocedé werd in ons land nog tot kort na de Eerste Wereldoorlog toegepast in de 'Eerste Hollandse Vensterglasfabriek' te Maassluis (Schilderbedrijf, 2014).

## 1.2. Glazen woning

Al eeuwenlang dromen architecten van glas. Zo probeerden veel ontwerpers van gotische kathedralen de geveldelen voor de glas-in-lood-ramen zo groot mogelijk te maken. Maar pas met de komst van gietijzer als bouw materiaal konden architecten echt doorzichtige gebouwen maken, zoals het beroemde Crystal Palace van Joseph Paxton in 1851.

In de twintigste eeuw waren vooral modernisten als de Duitser Ludwig Mies van der Rohe verzot op glas. Voor Mies van der Rohe was glas, in combinatie met staal, het middel om zijn streven naar een architectuur die 'beinah nichts' was te realiseren. Veel verder dan zijn beroemde Farnsworth House in de Verenigde Staten uit de jaren vijftig kon een architect niet gaan. Het vrijwel volledig transparant huis bestaat uit één opgetilde verdieping met vier glazen gevels, waarin alleen een gesloten blok in het centrum voor de wc en dergelijke de bewoners enige privacy biedt.

Het nu vrijwel voltooide glazen huis in Leerdam, gelegen langs de weg naar Geldermalsen, is een opzienbarende breuk met de glazen droomarchitectuur tot nu toe. Hier hebben de architecten, Gerard Kruunenberg en Paul van der Erve, niet gestreefd naar een maximaal maar naar een massaal gebruik van glas. In 1995 won het Amsterdamse duo het door de jubilerende Leerdamse CWL Koopwoningen uitgeschreven prijsvraag voor een huis dat zoveel mogelijk uit glas bestond. Kruunenberg en Van der Erve vatte deze vraag heel letterlijk op door het glas massief toe te passen in het huis. Het idee voor hun huis, dat de naam Laminata kreeg, is simpel. Uitgangspunt was om een grote, twintig meter lange massa van grote aan elkaar gelijkde glasplaten twee delen te snijden en deze vervolgens te verschuiven, zodat er een open ruimte tussen de glasmassa's zou ontstaan. De massieve delen zouden worden uitgehold; de open ruimte tussen de twee delen moest door vier enkele glasplaten in drie delen worden verdeeld.

Tijdens de bouw bleek dit eenvoudige idee mede door de hoge kosten niet helemaal uitvoerbaar te zijn. Uiteindelijk is het glazen huis vervaardigd door elke van de in totaal 13.000 glasdelen in de fabriek op maat te laten snijden en deze op de bouwplek aan elkaar te lijmen. Ook het glazen dak, waarin het oorspronkelijk ontwerp voorzag, is vervangen door een iets hellend, houten dak. Het was voor het eerst dat een dergelijk aantal glasplaten werden gelijmd. Het grootste probleem van Laminata was het vinden van een glaslijm die niet onder invloed van het daglicht bruin zou kleuren en het huis tot een modderig geheel zou maken. Uiteindelijk vonden Kruunenberg en Van der Erve deze in de Verenigde Staten.

Ondanks de aanpassingen en de moeizame bouw is het glazen huis een ronduit wonderlijk gebouw geworden. Laminata is de exacte tegenpool van Mies van der Rohe's Farnsworth House. Terwijl het glazen huis van Mies van der Rohe bestaat uit een open ruimte rondom een dichte kern, heeft Laminata een open ruimte (patio) in het midden met afgesloten ruimtes daaromheen. De glaswanden hebben slechts hier en daar enkele smalle ramen gekregen, zodat de bewoners die het huis onlangs kochten, van buiten vooral als schimmen zichtbaar zijn.

Hoogtepunt van het huis is de twintig meter lange gang die zich in een van de twee glasmassa's bevindt. Met het plafond van glas benadert deze ruimte het dichtst de oorspronkelijke glasdroom van Kruunenberg en Van der Erve. Doordat de glazen wanden van de gang in dikte variëren van 10 centimeter tot maar liefst 1,5 meter, laat de hoekige gang elke denkbare groentint zien, van wit-groen tot diep zwart-groen. In deze sprookjesachtige gang, die zich met niets in de al bestaande architectuur laat vergelijken, waant de bezoeker zich in een geheimzinnige onderwaterwereld. De

slaapkamer is een vergelijkbare ruimte: hier maakt vooral het contrast tussen de immens dikke glaswand en het raam dat uit één enkele glasplaat bestaat grote indruk. Het radicaal afwijkende gebruik van glas in Laminata heeft niet alleen gezorgd voor spectaculaire ruimtes, maar heeft ook praktische voordelen. Terwijl de gebruikelijke glazen huizen bij zonneschijn veranderen in ovens en op koude dagen niet warm te stoken zijn, is de isolatie van Laminata uitstekend. 's Zomers neemt de glasmassa de hitte op en 's winters houdt deze de kou buiten. Wat ook aan de leefbaarheid van het glazen huis in Leerdam bijdraagt is dat het huis ook 'gewone' ruimtes kent. De massa glazen platen zijn op een onderheide betonnen bak geplaatst waarin onder meer een doodnormale garage en atelier zijn ondergebracht. Ook de woonkamer en de entree die samen met de patio aan de ruimte tussen de twee glasmassa's innemen zijn mooie, maar vrij neutrale ruimtes. Zo hoeven de bewoners niet hun hele leven door te brengen in de spectaculaire ruimtes van hun experimentele huis dat wegens de hoge bouwkosten vermoedelijk niet gauw zal worden nagevolgd.

Laminata, glazen huis in Leerdam. Architecten: Kruunenberg en Van der Erve. Opdrachtgever: CWL Koopwoningen. Ontwerp: 1995. Voltooiing bouw: 2001. Bouwsom: 1,95 miljoen gulden.

Op de plek van het glazen huis van Leerdam ligt nu een berg glas van een kwart miljoen kilo. Het bejubelde huis uit 2001 is gesloopt, nadat het geschenk aan de 'glasstad' Leerdam onbewoonbaar bleek....

Woningbouwvereniging CWL bood het glazen huis 'Laminata' aan de gemeente Leerdam aan. Het echtpaar Kor en Yvonne Poelstra kocht het bouwwerk, maar werd geconfronteerd met onder meer algengroei tussen de glazen platen, lekkages en een grote glasplaat die uit zijn kozijn viel.

### **Problemen**

De betonnen kelder was lek, in de glazen platen trokken groene algen omhoog die niet te verwijderen waren, verlijmd hang- en sluitwerk viel van het glas af en zo waren er nog veel meer gebreken. Het paste allemaal niet bij een villa met een waarde van ongeveer een miljoen euro. Maar aannemers, opdrachtgever en glasfabrikant Saint Gobain trokken allemaal hun handen ervan af.

## **2 onder 1 Kaswoning**

10 jaar hebben architect Thomas Dill en constructeur & ontwerper Gerald Lindner de plannen om een kaswoning te realiseren. Een zelfbedacht, zelfgebouwd 2-onder-1-kashuis. In de basis low-tech, energiezuinig en -opwekkend, licht en lucht ademend en uiteindelijk, met seizoensopslag.

'Zo'n kas is bovendien één grote low-tech klimaatmachine' vult Thomas aan. 'Het glas vormt een warmteschild rond je woning. Je verwarming hoeft veel minder vaak aan. Dat scheelt zo'n zo'n 36% aan energiekosten'.

In het voor en najaar, nu, is het in de kas warmer dan buiten. Dat is heerlijk, dat wil je. In de zomer moet je de hele kas proberen om te draaien, zodat ie koelt. Of dat ie luchttocht heeft. Elke ruimte kunnen we aan twee kanten openzetten, waarmee we wars kunnen ventileren, tochten. En dat werkt, dat is gelukt. Tijdens die hele warme dagen in augustus was heb binnen niet warmer dan buiten en door de schaduw en tocht heel aangenaam. Het was er echt fantastisch. Ook door de schaduwrijke, diffuse lichtinval.



De kas is voorzien van zonnecellen en vacuümbuizen en wekt zo ook elektriciteit op en warmte voor tapwater en verwarming. Een kortetermijn-buffervat van 500 liter slaat deze warmte op. Voor de drie maanden in het jaar dat dat voor verwarming onvoldoende is, komt er in de kelder nog een langetermijn-buffervat en een warmtepomp. In het buffervat komen PCM-ballen (zoutopslag) of water dat tegen het vriespunt wordt gebracht.

We leven met het weer en de seizoenen. We leven gevoelsmatig buiten, maar met de voordelen van binnen. Je kan het met ramen en deuren en zonwering maken zoals het je het hebben wilt. De woning ademt licht en lucht. Opwekking en opslag elektriciteit: in het kasdek geïntegreerde PowerGlaz BIPV zonnecelen met een totaal vermogen van 3385 Wp.

Warmte: ca. 30 m<sup>2</sup> vacuüm buizen, i.e. zonnecollectoren die in de zuidwestgevel verticaal geplaatst worden met als doel met name in het voor en najaar warmte te oogsten. De collector verwarmt in eerste instantie een 500 liter warm tapwater-vat. Wanneer dat vol is wordt de warmte naar een seizoensopvangtank van 6.000 liter geleid. Dat is de bron voor de warmtepomp.

Balansventilatie: natuurlijke trek met mechanische ondersteuning met WTW.

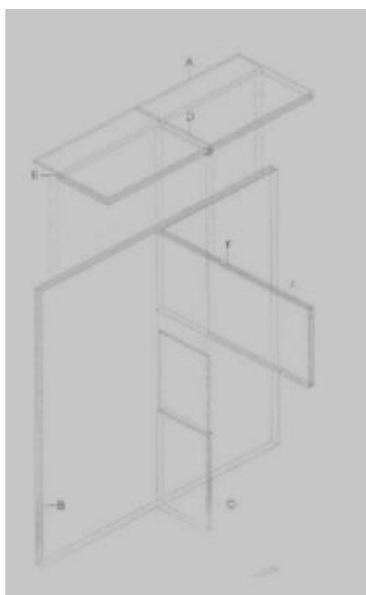


## 2. Glas als constructiemateriaal

Vanaf eind 1900 wordt er veel geëxperimenteerd met glas. Omdat glas een bros materiaal is zijn veel architecten en constructeurs huiverig om glas te verwerken als draagconstructie. Door de invoering van veiligheidsconcepten zoals gelamineerd- en thermisch gehard glas zijn er grote mogelijkheden om glas toe te passen als constructiemateriaal. Hiermee wordt de stabiliteit geborgd mocht er een ruit breken. Door dit lamineerproces wordt voorkomen dat er bij breuk stukken vallen en dat de ruit in zijn geheel vervangen kan worden. Glazen liggers en kolommen behoren dan ook zeker tot de mogelijkheden. Veelal worden glazen delen in een gebouw toegepast tussen of naast een staalconstructie. Een project waarbij een glazen draagconstructie werd gebruikt is het Broadfield House.



Het nieuwe gedeelte is hierbij tegen het museum aangebouwd. Het museum kreeg hierdoor volledige transparantie. Het geheel bestaat uit een glazenschil met glazen kolumnen en liggers. De constructieve aansluiting tussen de liggers en kolumnen is “stijf” aan elkaar verbonden middels een pen- en gatverbinding. De holtes werden hierbij opgevuld met giethars. Zie figuur 1



*Figuur 1: Pen- en gatverbinding*

Veel architecten en ingenieurs volgden dit voorbeeld in tal van andere projecten. De voordelen van glas werden steeds vaker toegepast en de grenzen werden steeds verder verlegt. Glas kreeg steeds meer een structurele toepassing en werd veelvuldig toegepast als constructie onderdeel. Een grote bron van inspiratie voor Mies van der Rohe is de 'Temple de l'amour' Hier wordt het dak ondersteund door pilaren en is een ononderbroken 360° zicht gerealiseerd.



Door de volledige transparantie is de grens tussen binnen en buiten geheel verdwenen. Alles komt volkomen tot zijn recht wat resulteert in een prachtige visuele ervaring binnen het gebouw.

Hoewel glas door zijn eigenschap van transparantie geëvolueerd is naar een universeel gebruikt bouw materiaal in architectuur wordt net deze eigenschap soms als ongewenst ervaren. Hoe kunnen glasconstructies immers architectuur vormen als ze volledig transparant zijn? Hoe verhoudt de glasarchitectuur zich hierbij tot de traditionele constructiemethoden? Hoe kan een ruimtebeleving gestuurd worden zonder aanwezige visuele grenzen? Deze vragen zijn onlosmakelijk verbonden aan het ontwerpen met glas, een materiaal dat net door zijn beperkingen en contradicties een interessante bijdrage kan leveren aan de architectuur. Een bewuste omgang hiermee vinden we reeds in enkele gerealiseerde projecten waar net getracht wordt om glas te materialiseren.

In de courante bouwpraktijk wordt natronkalkglas gebruikt. Deze amorfe glasstructuur gedraagt zich lineair elastisch (richtwaarden cfr. infra, Tabel 2.1) bij temperaturen lager dan de glasovergangstemperatuur. Voor natronkalkglas bedraagt die 520° C, wat dus ver boven de kamertemperatuur ligt. Het breukgedrag wordt gekenmerkt door een brosse breuk als gevolg van het overschrijden van de treksterkte. Drukproeven op cilindrische proefstukken uit glas hebben namelijk aangetoond dat breuk optreedt door het ontstaan van dwarse trekspanningen (Kott, 2006). Dit werk<sup>1</sup> vermeldt een druksterkte van glas  $f_{cu,g}$  tussen 390 en 900 N/mm<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>A. Kott (2006). *Zum Trag und Resttragverhalten von Verbund sicherheitsglas*. Doctoraatsthesis, ETH Zurich. " Eth Nr. 16579, p.19.

<i>Eigenschap</i>	<i>Waarde</i>	<i>Eenheid</i>
Massadichtheid	2500	kg/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus	70000	N/mm <sup>2</sup>
Dwarscontractiecoëfficiënt $\nu$	0,22	-

Tabel 2.1: Relevante eigenschappen van natronkalkglas (Belis, 2005).

Een eenduidige waarde voor de sterkte van glas kan moeilijk gedefinieerd worden. Het buitenste oppervlak van een glasplaat is bezaaid met micro- en macroscheurtjes. Bij een drukbelasting worden deze samengedrukt, terwijl bij trek de scheuropeningen verder kunnen toenemen. De spanningsconcentraties aan de scheurtip zijn meestal bepalend voor het brose gedrag. Het gedrag van de scheurtjes kan beschreven worden met behulp van de lineair elastische breukmechanica. Daarnaast zijn er ook probabilistische principes uitgewerkt om de sterkte van glas te bepalen. Hierin worden onder andere de invloed van de spanningsverdeling, de grootte van het belaste oppervlak, de belastingsduur en de omgevingsinvloeden verwerkt. Verder informatie hieromtrent is onder meer te vinden in hoofdstuk 3 van (Belis, 2005).

Om glasplaten schijnbaar sterker te maken werd voorgespannen glas ontwikkeld. Door temperatuursgecontroleerde technieken is het mogelijk om eigenspanningen te ontwikkelen. Het glaselement wordt met zijn definitieve afmetingen opgewarmd tot 650° C en vervolgens aan beide oppervlakken bruusk afgekoeld. Zo ontstaan aan de oppervlakte drukspanningen die in evenwicht worden gehouden door trekspanningen in het midden van de glasdoorsnede. Op die manier worden de aanwezige scheurtjes aan het oppervlak samengedrukt. Hierdoor stijgt de toegelaten buigtrekspanning van glas aanzienlijk (cfr. Tabel 2.2). Naargelang de afkoelingsnelheid spreekt men van thermisch gehard glas<sup>3</sup> en thermisch versterkt glas<sup>4</sup>. Het tweede type wordt trager afgekoeld waardoor de aanwezige eigenspanningen, en dus ook de sterkte, lager liggen. Het breukgedrag is sterk verschillend. Bij gehard glas ontstaan zeer kleine onscherpe scherven, terwijl bij versterkt glas grotere scherpere scherven ontstaan. Dit onderscheid heeft gevolgen voor het restdraagvermogen (cfr. paragraaf 2.3.3).

### Tussenlaag

In de courante bouwpraktijk wordt vooral polyvinylbutyral (PVB) als tussenlaag gebruikt. PVB is een polymeer die behoort tot de groep van de amorfe thermoplasten. In het begin van de jaren '90 werd door de firma DuPonts een nieuwe ionoplast tussenlaag ontwikkeld onder de naam SentryGlas® (SG). De mechanische eigenschappen werden verbeterd en het product kreeg de naam SentryGlas® Plus ionoplast (SGP). De semi-kristallijne thermoplast is veel sterker en stijver dan PVB (cfr. Tabel 2.3). Hierdoor zal het mechanische gedrag van de laminaten verbeteren, met andere woorden de sterkte en stijfheid van het laminaat zal verhogen.

<i>Eigenschap</i>	<i>PVB</i>	<i>SGP</i>	<i>Eenheid</i>
Massadichtheid	1070	950	kg/m <sup>3</sup>
Elasticiteitsmodulus	15	300	N/mm <sup>2</sup>
Treksterkte	20	34,5	N/mm <sup>2</sup>

Tabel 2.3: Richtwaarden voor materiaaleigenschappen van PVB en SGP (Belis, 2005)

### Gelamineerd glas

Door de combinatie van lineair elastische glasplaten en een visco-elastische tussenlaag, vertoont gelamineerd glas eveneens een visco-elastisch gedrag. De krachtoverdracht tussen de verschillende lagen van het laminaat gebeurt hoofdzakelijk door schuifkrachten die optreden ter hoogte

van het contactvlak tussen het glas en de tussenlaag. Derhalve is de glijdingsmodulus de meest kenmerkende eigenschap van de tussenlaag.

Mechanische faling van gelamineerd glas kan optreden als gevolg van de volgende mechanismen:

^ De glasplaat scheurt van de folie af door het verbreken van de hechting (waterstofbruggen tussen het glas en de folie). Hiervoor wordt de term delaminatie gebruikt.

^ Breken van één of meerdere glasplaten door het overschrijden van de sterkte van het glas.

De meeste modellen veronderstellen dat het tweede mechanisme optreedt en gaan dus uit van een goede hechting. Dit sluit echter het optreden van gedeeltelijke delaminatie in de praktijk niet uit.

De draaglast van het laminaat wordt bepaald door de heersende spanningen in de glasplaten.

De verdeling van deze spanningen is afhankelijk van de samenwerking van de platen, en dus van de schuifstijfheid van de tussenlaag. Bij breuk van alle glasplaten moeten de heersende trekspanningen opgenomen worden door de tussenlaag. In deze fase is de treksterkte van de folie een belangrijke factor.

De folie heeft dus een onrechtstreekse invloed op het draagvermogen en een rechtstreekse invloed op het restdraagvermogen. Het draagvermogen van een structuur is in (Kott, 2006) gedefinieerd als de mogelijkheid van die structuur om te weerstaan aan de inwerkingen tijdens uitvoering en gebruik. Het restdraagvermogen is de capaciteit van die structuur om na breuk nog lasten te dragen gedurende een bepaalde reststandtijd. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de vervormingen

### 3. Duurzaam bouwen

Duurzaam bouwen is een breed begrip. Bij duurzaam bouwen en verbouwen wordt er rekening gehouden met de effecten op het milieu. Dat moet dan zowel bij het ontwerp van een gebouw of bouwwerk gebeuren als tijdens bouw, verbouw, renovatie of sloop. Bij duurzaam bouwen gaat het ook over het gebruik van het gebouw. Bijvoorbeeld over de uitstoot van CO<sub>2</sub> door energieverbruik voor verwarming en koeling van een gebouw. Men bekijkt de milieueffecten dus over de hele levensduur van het gebouw of bouwwerk.

Minstens even belangrijk als de voorgaande voordelen: je bewijst het milieu een enorme dienst. Het verwarmen van onze gebouwen en het zorgen voor [sanitair warm water](#), zijn goed voor een derde van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Fossiele brandstoffen zijn er bovendien nog eventjes, maar niet meer voor heel lang. Het is daarom slim om te investeren in hernieuwbare energie, zodat je woning op termijn energieneutraal kan functioneren.

Nog een optie om het milieu te sparen is het gebruiken van duurzame bouwmaterialen. Denk aan grondstoffen die bijna onuitputtelijk zijn, met geen of weinig chemische toevoegstoffen, en die een lage milieu-impact hebben bij het verwerken. Of aan [recuperatiematerialen](#): hergebruiken in plaats van afval te produceren.

De groene alternatieven zijn de toekomst, en duurzaam (ver)bouwen is daarom een eerste grote stap naar een milieuvriendelijk gebouwenpark. En naar een leefbare toekomst voor de komende generaties.

Het gaat om duurzaam ontwerp, het gebruik van duurzame materialen en grondstoffen, wettelijke voorschriften en groene bouwcertificaten en het vinden van een duurzame bouwlocatie en duurzaam management.

#### 3.1. Duurzaamheid bevorderen met glas

Glas is een waardevol product dat al een lange geschiedenis heeft en een belangrijke rol speelt in het begrip duurzaamheid. Glas is een natuurproduct met uitstekende esthetische eigenschappen. Hiervan maakt de mens al honderden jaren gebruik. Al vanaf de 18-eeuw is er wetenschappelijke studie gedaan naar het broeikas-effect, het principe van passieve zonne-energie. In de jaren 20 van de vorige eeuw is er een opmars van glas gekomen doordat architecten de leefomstandigheden voor de mensen wilden verbeteren. Door het gebruik van glas is de lichtinval vele malen groter ten opzichte van een traditionele woning. Zeker als een woning geheel uit glas bestaat kan hiermee flink in de kosten van kunstlicht bespaard worden. Daarnaast wordt door de grote mate van lichtinval het sneller warm in huis. Dit is zeker in het vroege voorjaar en in het late najaar een groot voordeel. In de wintermaanden kan met een klein beetje zon de woning al redelijk verwarmt worden. Hierdoor vindt in deze periode een grote reductie plaats van de stookkosten. In de zomermaanden is het effect nadelig van glas omdat de warmte juist geweerd moet worden.

Glas is onbeperkt te hergebruiken, er is geen product wat beter te hergebruiken is als glas. De grondstoffen van glas bestaan uit één van de goedkoopste grondstoffen. De mogelijkheden zijn eindeloos en zijn volledig in overeenstemming met de C2C systemethiek. Zelfs glas uit de glasbak is nog steeds te hergebruiken om weer iets nieuws van te maken. Het glas kan bijna geheel CO<sub>2</sub> neutraal omgesmolten worden tot een nieuw product.

Bron: <https://fd.nl/fd-persoonlijk/1157272/is-glas-het-materiaal-van-de-toekomst>

## Domeinen duurzame ontwikkeling

In het jaar 1987 publiceerde de wereldcommissie voor milieu en ontwikkeling (WCED), opgericht in 1983, een rapport op over “onze gemeenschappelijke toekomst”. Dit rapport is bekend geworden onder de naam “Brundtland-rapport, naar de voorzitter van de commissie: Gro Harlem Brundtland. Het ontwikkelde leidende principes voor duurzame principes en stelde vast dat de kritieke mondiale milieuproblemen in de eerste plaats het gevolg waren van de enorme armoede in het zuiden en de niet-duurzame consumptie- en productiepatronen in het noorden. De conclusie uit het onderzoek was dat er een grote verandering moest komen die tegemoet komt aan de hedendaagse noden, zonder de toekomstige mogelijkheden in het gedrang te brengen. Bron: [https://www.are.admin.ch/dam/are/en/dokumente/nachhaltige\\_entwicklung/dokumente/bericht/our\\_common\\_futurebrundtlandreport1987.pdf.download.pdf/our\\_common\\_futurebrundtlandreport1987.pdf](https://www.are.admin.ch/dam/are/en/dokumente/nachhaltige_entwicklung/dokumente/bericht/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.download.pdf/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf)

Duurzame ontwikkeling wordt in de bouwsector over het algemeen onderverdeeld in 3 elementen: People (mensen), Planet (planeet/milieu) en Profit (opbrengst,markt). Door deze op harmonieuze wijze te combineren ontstaat een samenhangend geheel met een gunstig en duurzaam resultaat.

- **People**

People omsluit sociaaleconomische issues die zowel binnen als buiten een organisatie aangrijpen. In een maatschappelijk verantwoorde organisatie waarin People is ingebed, erkent de organisatie dat zij een rol speelt in het dagelijks leven van haar medewerkers en maatschappij rondom het bedrijf. De ontwikkeling van een prettige (werk-)omgeving en verhoudingen liggen daarbij centraal.



- **Planet**

Planet gaat over het op proactieve wijze betrekken van milieu gerelateerde consequenties van bedrijfsvoering. Dit houdt in dat tijdens beslissingen rekening wordt gehouden met negatieve of positieve effecten voor de natuurlijke leefomgeving. Het omvat milieumanagement, ketenbeheer, levenscyclus-analyse en beperking Carbon Footprint van bedrijven.

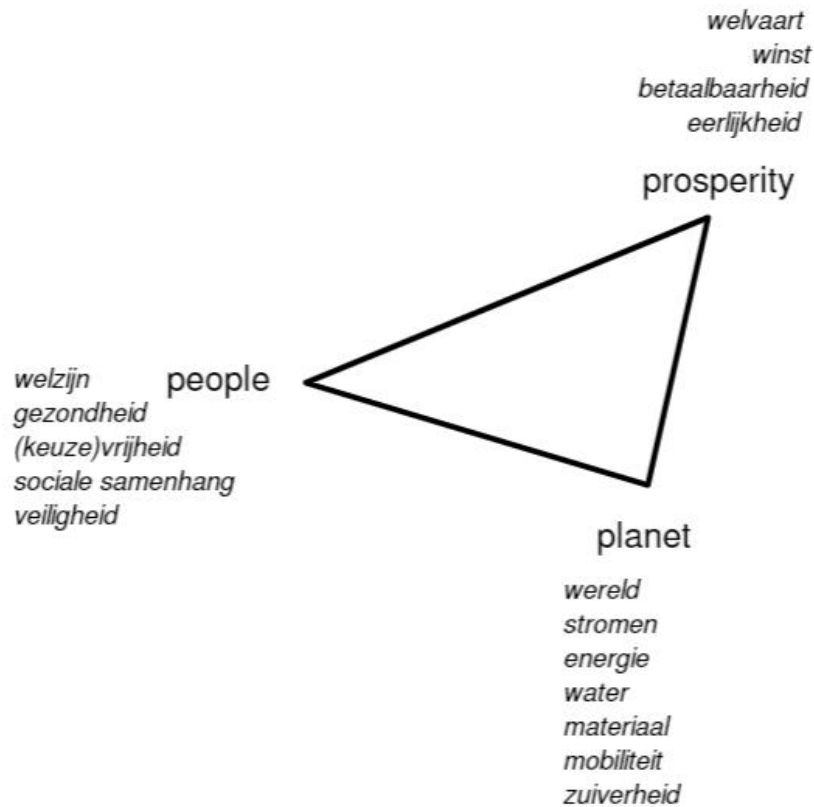


- **Profit**

Profit gaat over het creëren van economische waarde door bedrijven. Dit zijn de financiële baten die bedrijven verkrijgen als gevolg van het produceren en/of leveren van producten en/of diensten. Veel bedrijven streven een winst of kostendekking na. Dit vormt de financiële basis voor de gehele organisatie en is noodzakelijk voor de beslissing rondom de andere dimensies. Bron: [MVO Check](#)



Begin 2000 veranderde de top van de Verenigde Naties over duurzame ontwikkeling de term Profit in Prosperity. De gedachte was dat het maatschappelijk belang even zwaar meeweegt als het financiële belang. Profit staat voor winst en voordeel. Daarentegen staat Prosperity voor de welvaart en wordt het begrip “winst” breder getrokken.

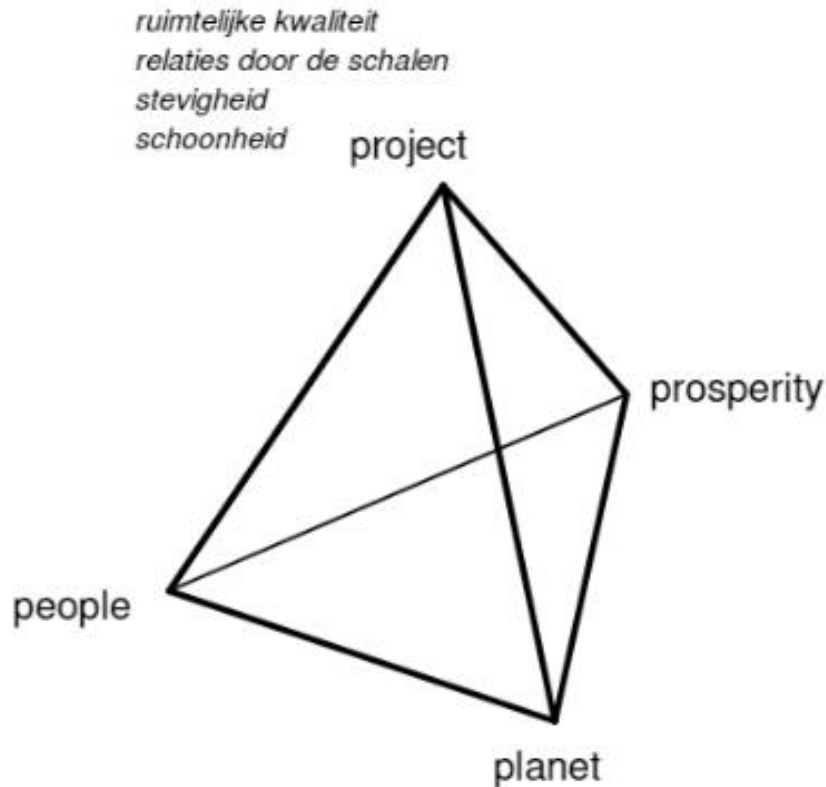


*Figuur 2: De duurzaamheidsdriehoek sinds Johannesburg 2002.*

Hiermee kan de PPP van People, Planet en Prosperity in het Nederlands vertaald worden in WWW, Welzijn, Wereld en Welvaart. Voor alle drie zijn de beschrijving en ontwikkeling van thema's en instrumenten nodig, waardoor Duurzaam Bouwen letterlijk en figuurlijk breed gedragen kan worden.

### **Sustainable Building 2002 Oslo**

In september 2002 is in Oslo een 2<sup>e</sup> internationale conferentie gehouden met deelnemers uit alle continenten. Hier is besloten en noodzakelijk bevonden om de basis van duurzaam bouwen te verbreden. Naast de milieukwaliteit zal ook de sociale en economische kwaliteit herkenbaar moeten worden. Hierop wordt de ruimtelijke kwaliteit gebaseerd en Wordt een 4<sup>e</sup> P (Project), toegevoegd.

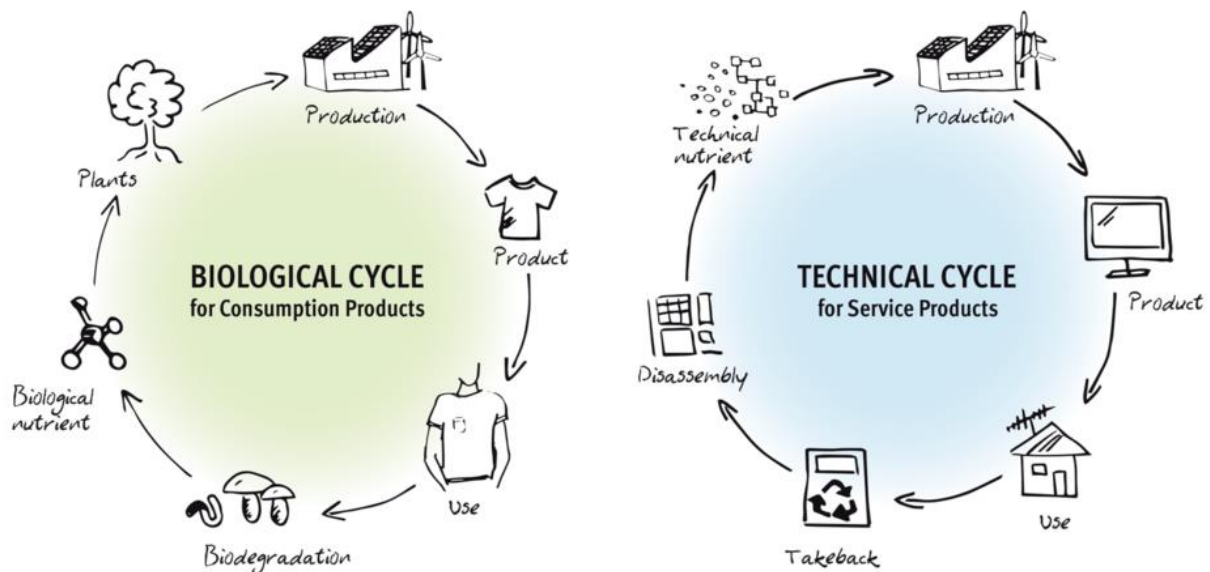


Figuur 3: Duurzaam Bouwen sinds Oslo 2002

Bron: [De tetraeder van Duurzaam Bouwen - PDF Free Download \(docplayer.nl\)](https://www.docplayer.nl/document/11484444)

### 1.1. Cradle to Cradle

Cradle tot Cradle is een principe wat ontwikkeld is in de jaren 90 en staat voor innovatie, kwaliteit en een goed ontwerp. Het principe betekent letterlijk “van wieg tot graf” en beschrijft de oneindige circulatie van materialen en voedingsstoffen in kringlopen. Het ontwerpprincipes is gebaseerd op de natuur. Het doel is niet alleen om negatieve invloeden te minimaliseren, maar ook om een positieve impact te genereren.



Figuur 4: C2C cyclus



Sommige goederen circuleren in de biologische cyclus, zie figuur....., natuurlijke vezels, schoonmaakmiddelen of andere biologisch afbreekbare materialen/middelen. Stoffen uit deze producten kunnen na gebruik weer veilig terugkeren en hergebruikt worden in deze cyclus.

Andere goederen, elektronische artikelen of vloeren bijvoorbeeld, circuleren in de technische cyclus. Deze producten zijn zo ontworpen dat ze na de gebruiksfase als grondstof gebruikt kunnen worden voor in een volgende technische cyclus. Op deze manier wordt 'downcycling' vermeden.

Bron: [Cradle to Cradle - EPEA - Netherlands](#)

### Hoe ontstaat tocht/koudeval?

"De tocht wordt waargenomen bij de glazen gevelpuien en dan niet alleen bij de schuivende maar ook de vaste delen. Middels een rookproef met rookpen wordt al snel duidelijk dat er geen sprake is van tocht via de gevelpuien. De rook wordt niet de ruimte in geblazen maar naar beneden gedrukt. Hier is dus sprake van koudeval. Wanneer de opstijgende warme lucht langs de koude gevelpuien strijkt, koelt de lucht snel af en valt weer naar beneden. Dit geeft een erg onrustige 'koude' lucht beweging die als tocht wordt ervaren." Bron: Bouwtotaal, 2014

Het veel voor komende misverstand:

"Het probleem is ontstaan in het ontwerp; daar is nu niet veel meer aan te doen. Daarnaast is de plaats van de eethoek midden in een glazen erker, voor het uitzicht wel de mooiste, maar voor het comfort de meest ongunstige locatie." Bron: Bouwtotaal, 2014

Dit kan wel degelijk en eenvoudig met verwarmend IQ-Glas® worden opgelost.

Optimaal comfort is zeker wel mogelijk. Het probleem kan immers niet meer ontstaan omdat de oorzaak wordt weggenomen: een koude glaswand komt namelijk niet meer voor zodra de ruit 'aan' staat.

Gebruik toch gewoon de pui als verwarming/radiator!

Met verwarmend IQ-Glas® is er een eenvoudige, 100% zekere oplossing voor koudeval. De oorzaak, een grote koude glaswand, verandert nu in een warme knuffelmuur van aangename infrarood stralingswarmte.

Het probleem wordt dus voorkómen. Simpel en comfortabel!

### Onbekendheid en onwetendheid alom.

### Wat is CO<sub>2</sub>-uitstoot en hoe schadelijk is dat?

CO<sub>2</sub> is een gas dat van nature in de lucht aanwezig is, maar waarvan de hoeveelheid de afgelopen 150 jaar flink is toegenomen. Dat komt door menselijke activiteiten. Vooral als we fossiele brandstoffen zoals kolen, olie en gas verbranden ontstaat er veel CO<sub>2</sub>.

De uitstoot van CO<sub>2</sub> is schadelijk voor het milieu. CO<sub>2</sub> geldt als het bekendste en meest aanwezige broeikasgas. Broeikasgassen houden de warmte van de aarde vast waardoor de aarde opwarmt. De opwarming van de aarde leidt nu al tot smelten van ijs op de noord- en zuidpool. Het waterniveau zal oplopen, klimaten veranderen en het weer wordt extremer. Allemaal gevolgen van uitstoot van CO<sub>2</sub>, waardoor reductie steeds belangrijker wordt.



## De situatie in Nederland en in de wereld

In Nederland lopen we achter met de reductie van CO<sub>2</sub>, in vergelijking tot de rest van de wereld. De uitstoot van andere gassen zoals methaan, lachgas en fluor loopt sterk terug, maar de uitstoot van CO<sub>2</sub> terugdringen gaat te langzaam. Die koolstofdioxide is goed voor 85% van alle broeikasgassen, waardoor het belangrijk is om hier meer aandacht aan te besteden.

De Verenigde Staten is al verder met het terugdringen van CO<sub>2</sub>-uitstoot en ook ten opzichte van de rest van de EU lopen we in Nederland achter. In Europa is sinds 1990 sprake van een daling van 21 procent, terwijl de uitstoot in Nederland met 2 procent is toegenomen. Het is daarom belangrijk dat zoveel mogelijk mensen ontdekken wat de grootste vervuilers zijn. Dat maakt het makkelijker om die vervuilers aan te pakken en een bijdrage te leveren aan minder CO<sub>2</sub>-uitstoot. Alleen op die manier kunnen we in Nederland de doelstellingen uit de Klimaatwet, het Klimaatakkoord en het Parijs-akkoord halen. Dat akkoord verplicht Nederland tot een halvering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030, ten opzichte van 1990. In 2050 moet de uitstoot zelfs 85 tot 95 procent lager zijn. Op die manier willen Nederland en andere landen de stijging van de gemiddelde temperatuur beperken tot 1,5 tot 2 graden Celsius.

## Wat zijn de grootste vervuilers?

Een gemiddeld huishouden in Nederland stoot jaarlijks 8.100 kilo CO<sub>2</sub> uit. Om dat te kunnen compenseren zijn er een jaar lang 400 bomen nodig. Compenseren voor ons gemiddelde gebruik is daarmee praktisch onmogelijk, waardoor een reductie de enige oplossing lijkt. Reduceren lukt het best met aandacht voor de grootste vervuilers:

- Vliegen

Boekt u een zovakantie op Curaçao om daar 12 nachten van de zon, de zee en het strand te genieten? Die reis veroorzaakt zo'n 4.750 kilogram aan CO<sub>2</sub> uitstoot. Daar komt nog kilogram uitstoot bij als u verblijft in een appartement, waardoor het totaal ongeveer de helft van de jaarlijkse uitstoot van een huishouden bedraagt.

- Autorijden

Regelmatig met de auto op weg? Dat stoot gemiddeld 116 gram CO<sub>2</sub> per kilometer uit. Dat betekent dat een dagelijks ritje naar het werk van 25 kilometer heen en weer terug jaarlijks zomaar leidt tot 1.750 kilogram aan CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een elektrische auto beperkt dat met bijna 70% en op een elektrische fiets stoot u zelfs bijna 98% minder CO<sub>2</sub> uit.

- Vlees eten

Een gemiddeld gezin dat bijna elke avond vlees eet zorgt daarmee voor zo'n 3.000 - 3.500 kilogram CO<sub>2</sub> uitstoot per jaar. Vlees heeft de grootste impact.

## 4. Alternatieve klimaatbeheersing

### 2.1 De geschiedenis van glazen gevelsystemen

Eeuwen geleden werden gevels van gebouwen gekenmerkt door dikke, zware wanden. De openingen werden zo klein mogelijk gehouden omdat grote overspanningen zouden lijden tot het instorten van de gevel. De kleine openingen zorgden in de zomer voor geringe zoninstraling en in de winter voor beperkt warmteverlies. Alle warmte werd door de gevel opgenomen, deze was over het algemeen slecht isolerend, waardoor de wanden koud waren. De meeste activiteiten vonden dan ook zo ver mogelijk van de buitenwanden plaats. Door de ontwikkeling van de architectuur en de bouwtechniek en de afname van oorlogsdreiging veranderde de gevel. De vensters werden groter waardoor er meer licht in de woning binnen kon dringen. Er werden tegelkachels in de 15e tot 18e eeuw toegepast die het mogelijk maakten om meerdere ruimten met schachten tegelijk te verwarmen. Door deze vernieuwingen werd het comfort aanzienlijk verhoogd. De opkomende industrialisatie zorgde voor een flinke bevolkingsgroei en een toename van de leeftijd van de mensen. Ruimten in de stad werden optimaal benut. Er leefden veel mensen op een kleine oppervlakte. De regels voor comfort werden al snel vergeten. Door de woningnood werd er gezocht naar snel te bouwen, goedkope woningen. Hierdoor kwam de standaardisatie op gang. Begin 20e eeuw werden er nieuwe bouwmaterialen toegepast en er waren grotere glasafmetingen beschikbaar. Mede door het toegenomen gezondheidsbesef veranderde de bouwvorm en bouwwijze. Artsen legden een verband tussen het hoge aantal zieken en de kwaliteit van de woningen en werkgelegenheden. In de stad zorgden de technische ontwikkelingen voor andere eisen. De gevel kreeg een andere functie, die van scheiding van binnenlucht en buitenlucht. Tevens werd er gekeken naar de esthetische waarde. Een verdere ontwikkeling kwam na de energiecrisis van 1973. Men begon te beseffen dat energiebronnen eindig waren, waardoor er volledig geklimatiseerde gebouwen ontstonden. Met de intrede van deze gebouwen kwam ook het begrip 'Sick-Building Syndrome' (gebouw gerelateerde klachten) aan de orde. (zie paragraaf 2.3.8) Kenmerken van de nieuwe gevels zijn de hoge isolatiewaarden, te openen vensterdelen voor natuurlijke ventilatie, toepassing van klimaatbuffers, betere warmte en zonwering en er wordt vaak warmteterugwinning toegepast. De gevel ontwikkelde zich snel van enkele, via spouw, naar de dubbele en additieve gevels (gevels met toevoegingen zoals zonwering). De activiteiten die in een ruimte plaatsvinden, stellen eisen aan het functioneren van de gevel. De functie van de gevel verschuift van klimaatscheiding naar klimaatmanipulator.

Een belangrijke eigenschap van floatglas (basis van vensterglas), is dat glas transparant is en daardoor zonlicht ongehinderd binnen kan komen. Hierdoor kan warmte en licht naar binnen stralen wat tot overlast kan zorgen bij gebruikers in de ruimte. De beperking van lichttoetreding kan opgelost worden door glas in massa te kleuren. Deze toepassing verandert echter de kleur van het glas en verlaagt de transparantie van de ruit wat niet gewenst is. De reflectie van zowel warmte als licht is bij een standaard glas minimaal, 8%. Dit is zeer positief voor de lichtkwaliteit en de doorzichtbaarheid van het glas maar voor de warmtewering is dit echter niet positief. Met standaard glas kan hier echter vrijwel niets aan aangepast worden (GUARDIAN, 2013)

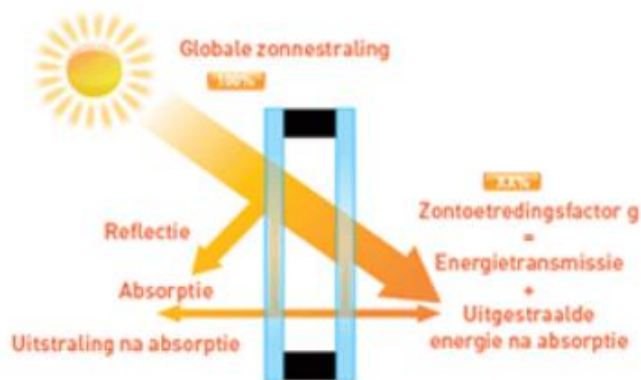


Figuur 5: Zoninstraling

De zon dringt niet op dezelfde manier door de ramen naargelang het seizoen en hun oriëntatie. De ramen gelegen op het zuiden krijgen veel zonlicht in de winter en weinig in de zomer omdat de zonnestrallen dan verticaler zijn. De ramen op het oosten en het westen krijgen veel zonlicht het ganse jaar. Deze gericht op het westen hebben bovendien het nadeel van zonnewinst te genieten aan het einde van de dag terwijl het gebouw reeds opgewarmd werd. Het betreft de meest kritieke oriëntatie wanneer men tracht zich tegen de oververhittingsrisico's van de zon te beschermen. Door het gebruik van zonwerende beglazingen kunnen de vereiste oververhittingscriteria door de energieprestatie-regelgeving van gebouwen (EPB) zelfs in het geval van grote glasoppervlakken en die in de zomer of het tussenseizoen sterk blootgesteld zijn aan de zon, nageleefd worden.

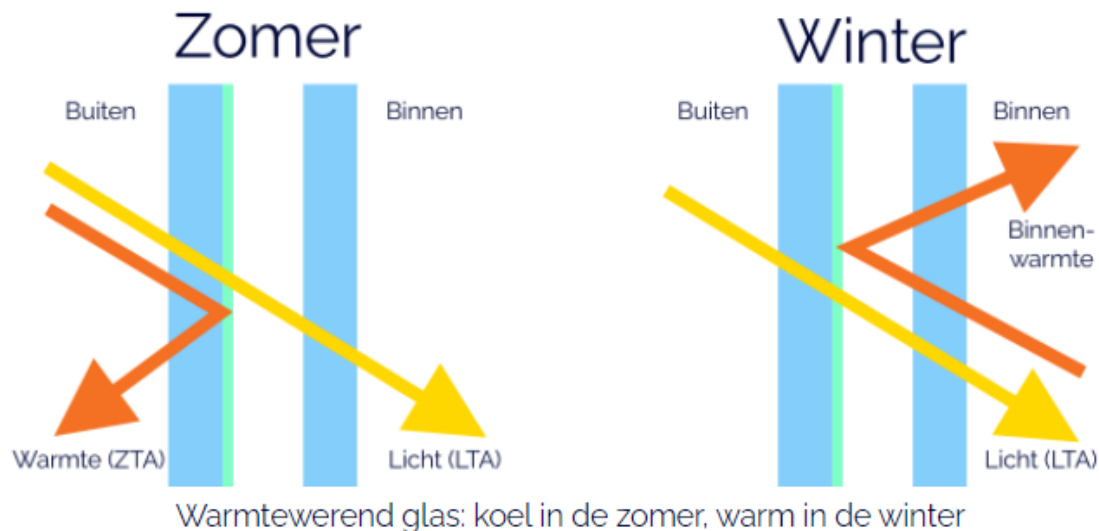
Behalve de besparingen op verwarming dankzij een performante gebouwschil, is het van primordiaal belang het comfort in de zomer te verzekeren. Want afkoelen verbruikt meer energie dan verwarmen... De warmte van de zon dringt namelijk binnen in het gebouw via de ramen. De zonwerende beglazingen beperken de risico's op oververhitting zonder dat het nodig is klassieke zonweringen te gebruiken die het zicht gedeeltelijk of geheel belemmeren.

De regulatie van de toetreding van zonnewarme en licht wordt volledig gerealiseerd door de coating in de beglazing. De mogelijkheden die geboden worden op het gebied van warmtewering door middel van coatings is zeer groot. Met name de regulering van de zonnewarmte, de g-factor, is belangrijk in dit onderzoek omdat deze factor de opwarming van het gebouw ten gevolge van zoninstraling beïnvloedt. Zie figuur 6.



*Figuur 6: Zontoetredingsfactor G*

Het is mogelijk om een coating toe te passen die vrijwel geen warmtestraling doorlaat. Het probleem wat zich echter dan voordoet, is het ontstaan van een zeer lage lichttoetreding, de TL-waarde. De verhouding tussen deze factoren is cruciaal voor een goed functioneren van het glas. Deze verhouding wordt de selectiviteit genoemd. Onderzocht moet worden welke g-factor voldoende is voor het bieden van een optimaal comfort volgens de eisen van de opdrachtgever. Hierbij moet de selectiviteit dan zo hoog mogelijk zijn waardoor de lichttoetreding zo hoog mogelijk blijft en daardoor kan voldoen aan de eisen van de opdrachtgever zodat toch een goede g-factor gerealiseerd kan worden. Coatings voor warmtewering zijn te verdelen in twee categorieën: isolerende en zonregulerende coatings. De isolerende coatings zijn erop gericht om de U-waarde van het glas te verlagen. Deze coatings verbeteren de isolerende werking van het glaspakket en functioneren zodanig dat de buitentemperatuur zo min mogelijk effect heeft op de binnentemperatuur. Zonlicht is echter ook een warmtebron in de vorm van zonlicht wat wordt omgezet naar warmte. Dit is een verschil met een dichte wand wat een glazen gebouwschil erg complex en lastig maakt op het gebied van warmtewering. De zonregulerende coatings spelen in op deze manier van opwarming door glas. Deze coatings kenmerken zich door een hoge selectiviteit waardoor ze veel licht doorlaten en toch lichtwarmte weren. De isolerende werking van deze zonwerende coatings ligt lager dan de isolerende coatings. Pas wanneer een combinatie van deze coatings toegepast wordt, wordt voorzien in goede en complete warmtewering.



De zontoetredingsfactor  $g$ , uitgedrukt in %, staat voor de totale zonne-energietransmissie door een beglazing. Het betreft de som van de rechtstreeks doorgelaten- en de opgenomen straling die naar binnen wordt uitgestraald. Hoe lager deze factor, hoe lager groter de oververhittingsrisico's. Een gewone dubbele HR-beglazing heeft een zontoetredingsfactor  $g$  van ongeveer 60 %. De gewone zonwerende HR-beglazingen hebben een zontoetredingsfactor  $g$  van ongeveer 40 % tot 28 %. Er bestaan ook sterker zonwerende HR-beglazingen met een zontoetredingsfactor  $g$  van bijvoorbeeld 20 % of lager.

De gratis zonneprijzen staan jaarlijks voor tientallen liters stookolie per  $m^2$  glas naargelang de oriëntatie. Maar de jaarlijkse warmteverliezen bedragen een dertigtal liter stookolie per  $m^2$  enkele beglazing en een dozijn liter per  $m^2$  dubbele beglazing zonder coating terwijl deze slechts enkele liter per  $m^2$  dubbele hoogrendementsbeglazing bedragen.

Indien alle nieuwbouw tegen 2020 zou uitgerust zijn met drievoudige hoogrendementsbeglazing en de bestaande gebouwen met dubbele hoogrendementsbeglazing, zou de jaarlijkse besparing aan verwarming meer dan 17 000 TJ bedragen, hetzij bijna 4 800 GWh, wat overeenkomt met een verlaging van de CO<sub>2</sub>- uitstoot van bijna 1,8 miljoen ton.

## Klimaatgevel

Naast een nieuwe mogelijkheid van architectonische vormgeving en een volledig transparante gevel is één van de belangrijkste aspecten van de tweede-huidfaçade het verbeteren van de werkomgeving. Dit is tenslotte niet alleen in het belang van de werknemers, maar indirect ook in het belang van het goed functioneren van het bedrijf en de productie ervan. Deze verbetering geldt vooral voor de daglichttoetreding, het thermische comfort, het creëren van een natuurlijke werksituatie en het in contact brengen van de werknemer met zijn omgeving. Een ander belangrijk aspect is reductie van het energieverbruik van het gebouw, om kosten te besparen voor het bedrijf en om de traditionele energiebronnen te ontzien. Vanwege de wisselende weersomstandigheden variëren de daglichttoetreding, de temperatuurintensiteit en de windinvloeden sterk. Hierdoor kunnen de grenzen van behaaglijkheid in het gebouw overschreden worden. Tot nu toe werd dit in zijn geheel opgevangen door installaties, wat een enorm energieverbruik vergt. De tweede-huidfaçade is ontworpen met een aantal mogelijkheden om dit hoge energieverbruik te beperken. Zo wordt bijvoorbeeld het daglicht extra benut voor een minimale noodzaak aan kunstverlichting, de directe zoninstraling wordt effectief gebruikt door de warmte ervan te verdelen en op te slaan zodat

er minder gestookt hoeft te worden en het teveel aan warmte door directe zoninstraling wordt afgevoerd door ventilatie met natuurlijke toe- en afvoer.

Hiervan bestaan twee soorten: de klimaatgevel en de tweede huid façade. In deze gevels wordt een extra glaslaag toegepast op afstand van de hoofdlaag. Hierdoor wordt een spouw gecreëerd die multifunctioneel gebruikt kan worden en de warmteweerstand van de gevel zou kunnen verhogen. Dit zijn de tegenhangers van de enkelvoudige triple beglazing. Deze passieve gevel kan wellicht de oplossing zijn wanneer blijkt dat de dubbele gevelprincipes geen kwaliteitsverhoging geven aan het binnencomfort of te grote problemen opleveren voor de transparantie. Het uitgangspunt van de opbouw van de dubbele gevels (klimaatgevel en tweede huid façade) is een triple beglazing in combinatie met een dubbel glas. De triple beglazing van de passieve gevel wordt opgebouwd uit glas met coatings en zwaar isolerende gassen zodat de TL overeen komt met het totale pakket van de dubbele gevelprincipes. Hierdoor worden deze direct vergelijkbaar met elkaar in een gebouwsimulatie.

## 5. Materiaalgedrag glas

### 1 Basisglas

Onder basisglas verstaat men het basisproduct voor iedere verdere verwerking tot hoogwaardiger functioneel, constructief- en interieurglas. Uit-

gangsproducten zijn daarbij float- en figuurglas. Basisglas is ook als enkel glas inzetbaar.

#### 1.1 Floatglas

##### 1.1.1 Productie

Floatglas van natriumkalksilicaat wordt volgens EN 572-2 helder doorzichtig of gekleurd met planparallel, gepolijst oppervlak vervaardigd. De grondstoffen van circa 60 % kwartzand, 20 % soda en sulfaat alsmede 20 % kalk en dolomiet worden gemengd en bij een temperatuur van ca. 1.600 °C gesmolten. Na het ontgassen van het vloeibare mengsel, het zogenaamde louteren, koelt de glasmasa in een bak tot ca. 1.200 °C af alvorens het bij ca. 1.100 °C over de aftapgoot op een bad van gesmolten tin stroomt. Omdat glas lichter is dan tin breidt de nog vloeibare massa zich drijvend uit over het tin. De naam floatglas komt van het Engelse begrip voor dit proces (to float = drijven). Bij het 'floaten' krijgt de naar het tin gerichte zijde planparalleliteit tegenover de andere, continu verwarmde zijde.

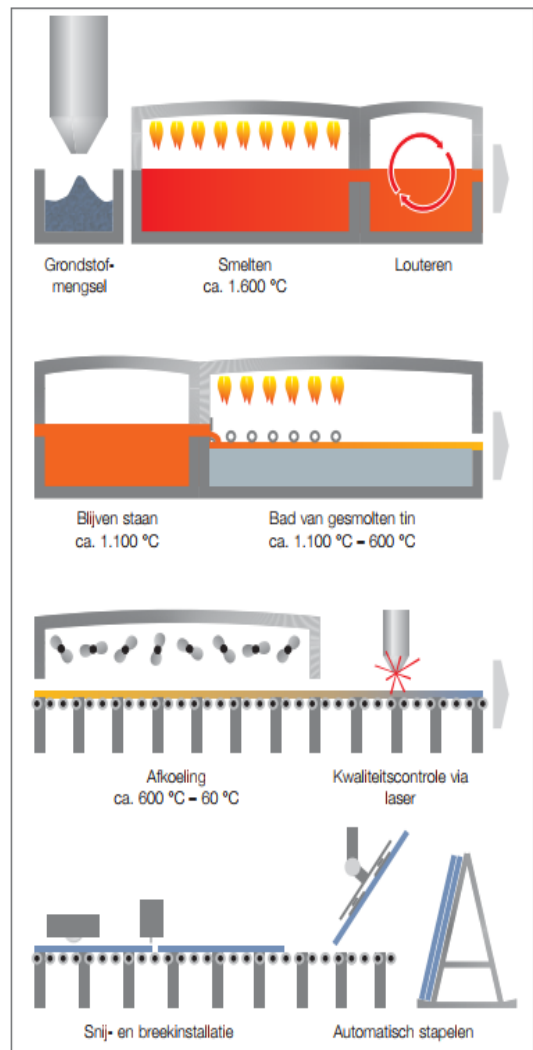
Het floating proces vindt plaats in een atmosfeer van inert gas van  $N_2H_2$  opdat het tin niet oxideert. Tin heeft als enige metaal soort de fysieke eigenschap bij 1.100 °C nog geen storende dampdruk te ontwik-

kelen maar al vanaf ca. 600 °C vloeibaar en zwaarder dan glas te zijn. Precies bij deze temperatuur wordt de glasmasa vast zodat deze van het tinbad getrokken kan worden.

Vervolgens vindt een gecontroleerd en exact vastgelegd afkoelen plaats in de zogenaamde koelgalerij die het glas afkoelt van 600 °C tot ongeveer 60 °C. Dit vaste afkoelproces is enorm belangrijk voor de spanningsvrijheid en daarmee voor de latere bewerkbaarheid van het materiaal. Nu pas wordt het zo gefabriceerde ca. 3,4 m brede, oneindige glaslint zichtbaar. Afsluitende kwaliteitscontroles, snijden tot in de regel eerst 6 m lengte, verwijderen van de zijprofielen en stapelen van de dan 3,21 x 6,00 m platen vormen de afronding. Van de mengseldosering tot het stapelen zijn deze float-installaties zo'n 500 m lang.

Het bijzondere aan glas is dat de moleculen bij het afkoelen niet meer kristalliseren en ondanks de vaste toestand een vloeistof zijn. Men noemt glas daarom ook een onderkoelde vloeistof.

#### Floatglasproductie (schematische weergave)



Het meest gebruikelijke floatglas is blank glas. Er bestaan echter ook speciaal ontkleurd glas 'Extra helder glas' en gekleurd floatglas, in de massa groen, grijs, blauw, roze of brons gekleurd is. Bij het extra helder glas wordt het kwartzand vrijwel geheel ontdaan

van het daarin natuurlijk voorkomende ijzer – verantwoordelijk voor de licht groenachtige kleur van normaal floatglas. Daarmee verdwijnt vanzelf de aan de glasranden groenachtig glinsterende kleurindruk en het floatglas wordt bijzonder helder en kleurneutraal.

Bij gekleurd floatglas daarentegen moeten aan het mengsel chemische stoffen worden toegevoegd die dan bij het smelten van de complete glassmelt

de gewenste kleur doen ontstaan en een 'in de massa' door en door gekleurd glas opleveren (zie → pagina 24).

### 1.1.2 Diktes

- Normaal floatglas: 2 tot 25 mm
- Extra helder glas: 4 tot 15 mm
- In de massa gekleurd floatglas: 4 tot 12 mm

Standaard afmetingen: Lintmaat 3210 x 6000 mm, op aanvraag kunnen ook afwijkende lengtes worden geleverd.

### 1.1.3 Eigenschappen

- **Dichtheid**  
2.500 kg/m<sup>3</sup>. Een glasplaat van 1 mm dikte en 1 m<sup>2</sup> heeft een massa van 2,5 kg.
- **Buigtreksterkte**  
 $\sigma = 45$  MPa. Gemeten volgens de dubbele ringproef (EN 1288-2).

De buigtreksterkte van glas is geen materiaalkarakteristiek; de gemeten waarde ervan wordt net als bij alle broze materialen eerder beïnvloed door de aard van het met trek belaste oppervlak. Microscopische of macroscopische oppervlaktestorenningen verminderen de meetwaarde van de buigtreksterkte. Daaruit volgt dat het begrip 'buigtreksterkte' alleen statistisch via een betrouwbare waarde van de

breekwaarschijnlijkheid gedefinieerd kan worden. Bij een bepaalde spanning hangt de breekwaarschijnlijkheid af van het formaat van het met trek belaste oppervlak en de duur van de belasting. De definitie van de buigtreksterkte is dat de breekwaarschijnlijkheid bij de in de Duitse lijst met bouwregels vastgelegde buigtrekspanning van 45 MPa voor floatglas, bij een, volgens statistische methoden berekende waarschijnlijkheid van 95 %, gemiddeld hooguit 5 % mag bedragen.

- **Elasticiteitsmodulus**  
 $7 \times 10^{10}$  Pa  
volgens EN 572-1
- **Druksterkte**  
700 - 900 MPa

- **Zuurbestendigheid**  
Klasse 1 volgens DIN 12116

Zuurklasse	Omschrijving	Halve oppervlakteverlies na 6 uur [mg/dm <sup>2</sup> ]
1	zuurbestendig	0 tot 0,7
2	zwak zuuroplosbaar	> 0,7 tot 1,5
3	matig zuuroplosbaar	> 1,5 tot 15
4	sterk zuuroplosbaar	> 15

Voorspannen en vormverandering vereisen een ca. 100 °C hogere temperatuur.

- **Weektemperatuur**  
ca. 600 °C
- **Lengte-uitrekcoëfficiënt**  
 $9 \times 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> volgens DIN ISO 7991 bij 20 - 300 °C

De lengte-uitrekcoëfficiënt geeft aan hoeveel een 1 m lange glasrand bij een temperatuurverhoging van 1 K uitrekt.

- **Spec. warmtecapaciteit**  
800 J/kg K

De specifieke warmte in Joule (J) geeft aan welke hoeveelheid warmte nodig is om 1 kg glas 1 K te verwarmen. Deze is afhankelijk van de eigen temperatuur van het glas.

- **Warmtegeleidingscoëfficiënt**  
 $\lambda = 1$  W/mK (EN 572-1)
- **Warmtedoorlaatcoëfficiënt**  
 $U_g = 5,8$  W/m<sup>2</sup>K (EN 673)

### ■ Loogbestendigheid

Klasse 1-2 volgens DIN ISO 695

Loogklasse	Kenmerk	Oppervlaktegewichtsverlies na 3 uur [mg/dm <sup>2</sup> ]
1	zwak loooplosbaar	0 tot 75
2	matig loooplosbaar	> 75 tot 175
3	sterk loooplosbaar	> 175

### ■ Waterbestendigheid

Hydrolytische klasse 3-5 volgens DIN ISO 719

Hydrolytische klasse	Zuurverbruik aan 0,01 N zoutzuur per g glaskorrels [ml/g]	Base-equivalent Na <sub>2</sub> O per g glaskorrels [µg/g]
HGB 1	tot 0,10	tot 31
HGB 2	> 0,10 tot 0,20	> 31 tot 62
HGB 3	> 0,20 tot 0,85	> 62 tot 264
HGB 4	> 0,85 tot 2,0	> 264 tot 620
HGB 5	> 2,0 tot 3,5	> 620 tot 1085

Waterbestendigheid van glas en keramische platen volgens DIN 52296 klasse 3-4. Met deze methode wordt de daad-

werkelijke oppervlaktebestendigheid tegenover de zg. korrelmethode in DIN ISO 719 berekend.

- **Verse alkalische stoffen**, die bijv. uit cement worden gespoeld en over het glasoppervlak lopen, tasten de kiezel-zuuropbouw van de glasstructuur aan en veroorzaken daardoor een ruw oppervlak. Dit proces treedt op bij het drogen van de nog vloeibare uitloging. Dit proces van uitspoelen uit de cement is pas na volledig afbinden grotendeels afgesloten. Principieel dient men erop te letten dat er geen alkalische uitlogingen op het glasoppervlak kunnen lopen.

de niet tot gevaarlijke spanningen. Radiatoren moeten echter minstens 30 cm van een beglazing verwijderd zijn. Volgens de EnEV is principieel een stralingsscherm tussen radiator en beglazing vereist. Als er geen stralingsscherm voorhanden is, wordt bij een geringe afstand (15 cm) aangeraden de beglazing uit te voeren in enkellaags veiligheidsglas. Anders moet een radiator met geïntegreerde stralingsbescherming worden gebruikt.

- **Bestendigheid tegen temperatuurschommelingen**  
Bestendigheid tegen temperatuurverschillen over het glasvlak: 40 K.

Achter of onder de beglazing geplaatste panelen of zonwerende voorzieningen of constructieve elementen kunnen bij zonnestraling eveneens hogere temperatuurverschillen in de ruitdoorsnede veroorzaken.

Korte temperatuurveranderingen tot 40 K tegenover de normale omgevingstemperatuur leiden binnen de glasdoorsne-

- **Transformatiebereik**  
520 - 550 °C

### 1.1.4 Toepassingen

Floatglas dient als basisproduct voor alle verder getransformeerde beglazing van het UNIGLAS® productassortiment.



## 2.6 Gelaagd veiligheidsglas

### 2.6.1 Productie

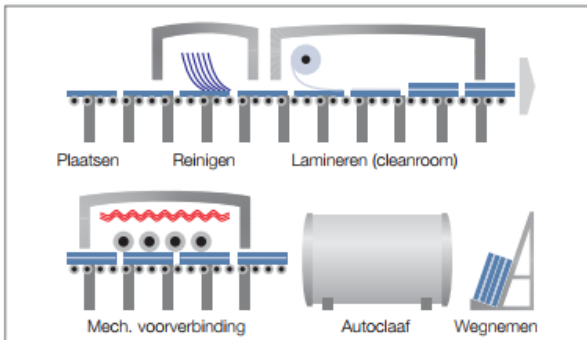
Gelaagd veiligheidsglas is een product volgens EN 14449 en bestaat uit twee of meer float-, in beperkte mate ook figuurglasruiten, die door taai elastische, uiterst scheurvaste polyvinyl-butylal-folie (PVB) vast tot een eenheid zijn verbonden. De veiligheid van gelaagd glas berust op de grote scheurvastheid van de PVB-tussenlaag en

de goede hechting daarvan aan glas. Bij mechanische overbelasting door stoot of slag breekt het glas weliswaar maar de gebroken stukken blijven plakken aan de PVB-laag. Dit vermindert de kans op letsel, en het beglaasde oppervlak blijft gesloten.

de soorten en diktes glas te verbinden zodat men bij het gelaagd veiligheidsglas de

voordelen van verschillende glassoorten kan combineren.

#### Productie gelaagd veiligheidsglas



Al naargelang de gewenste functie worden tussen de afzonderlijke glasplaten een of meer PVB-tussenlagen gelegd en in een walsprocedé met het glas verbonden. Daarna komt de geperste, nog translucente combinatie in een autoclaaf,

waar glas en tussenlagen onder hitte en druk tot een eenheid van hoge weerstand en heldere doorzichtigheid stevig met elkaar worden verbonden. Deze productiemethode maakt het mogelijk verschillende platen van dezelfde of verschillen-

### 2.6.2 Bouwfysische eigenschappen

Warmtegeleidingsvermogen, thermische uitzetting, druksterkte, elasticiteitsmodulus, oppervlaktegewicht en chemische eigenschappen komen overeen met die van de afzonderlijke basis glassoorten. De lichtdoorlaat hangt af van de waarden van de verwerkte basis glassoorten en PVB-tus-

senlagen en ligt al naargelang de dikte van het geheel tussen 90 % en 70 %.

De kleurimpressie wordt iets beïnvloed door de plaatdikte en het aantal gebruikte PVB-lagen, wat bij dikke gelaagd glas-eenheden door gebruik van extra helder glas vermindert kan worden.

### 2.6.3 Slagvastheid

Afhankelijk van plaatgrootte en glas/pvb opbouw wordt voldaan aan de eisen van de slingerproef op glas voor gebouwen (volgens EN 12600).

De slingerproef dient voor het bepalen van het gedrag van glas bij stootachtige belasting.

### 2.6.4 Toepassingen

- Bescherming tegen letsel
- Dakbeglazing
- Borstweringen en balustrades
- Gevels
- Sporthallen
- Scheidingswanden
- Beloopbaar glas

Bij beglazingen met valpreventieve functie dient men de voorschriften van de TRAV in acht te nemen (zie → hfdst. 9.7).

## 3.22 Isolatieglas met een overstek

Isolatieglas met een overstek aan één zijde (overstekende bovenruit) voor gebruik bij daken, sheddaken, serres e.d. maakt ingewikkelde dakconstructies overbodig en maakt geringe dakhellingen mogelijk, waarbij beglazingsprofielen niet voor een waterophoping kunnen zorgen. De daarbij vrij gele-

gen isolatieglas-randverbinding kan op verschillende manieren worden beschermd tegen UV-straling Rvs- of zeefdrukafdekkingen, metalliseringsstroken of UV-bestendige afdichtmaterialen (silicone, etc.) voor de secundaire afdichting van het isolatieglas.

## 3.24 Glasdikte-berekening

Gemonteerde beglazingen staan bloot aan verschillende lasten. Behalve de eigen last van het glas spelen wind- en sneeuwlast en bij isolatieglas ook door de hermetische afsluiting van de spouwruimte klimaatlasten een stelselmatige rol. Aangezien er momenteel nog geen geldende glasbemeetingsnormen bestaan, dient men de Technische Regels TRLV, TRAV en TRPV van het Duitse Instituut voor Bouwtechniek (DIBt) bij de bemeting van het glas in acht te nemen.

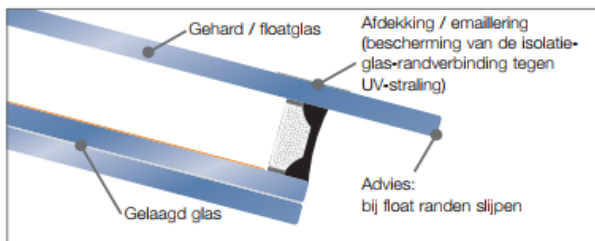
zeggen ze niets over de statische eisen. Deze mogen volgens de bepaling van de Musterbauordnung (geharmoniseerde bouwverordening) enkel door ingenieursbureaus voor de planning van dragende constructies of door personen die over de betreffende kwalificatie en de nodige beroepservaring beschikken, worden berekend.

Daarom zijn de in deze publicatie aangegeven maximale afmetingen puur gericht op de productiemogelijkheden en

Principieel is de besteller van glasproducten verantwoordelijk voor de juiste dimensionering van de ruiten.

Bij glasdiktes die door UNIGLAS®-bedrijven worden aangegeven, gaat het steeds om vrijblijvende adviezen.

#### Isolatieglas met een overstek



## 4 Hoog Rendement Beglazing

### 4.1 Beginselen

Energie-efficiënt bouwen staat vandaag de dag centraal - zowel bij de nieuwbouw als bij de renovatie. Het wordt ingezet voor de vermindering van het energieverbruik om enerzijds primaire energiebronnen te sparen en anderzijds de CO<sub>2</sub>-emissie terug te brengen en op deze wijze het broeikas effect tegen te werken.

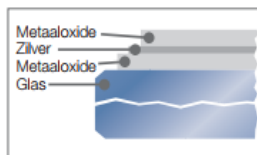
Parallel aan deze ontwikkeling van het energiebewustzijn steeg in de laatste twee decennia echter ook de behoefte om het levens- en werkgebied sterker met de buitenwereld te verbinden en meer lichtdoorstroomde ruimten te creëren. Dit was en is alleen mogelijk met hoogwaardige beglazingen die in de loop van de tijd steeds verder werden ontwikkeld op het gebied van warmte-isolatie.

40 jaar geleden waren in tal van regio's bij gebouwen vaak enkelvoudige beglazingen met U<sub>g</sub>-waarden van 5,8 W/m<sup>2</sup>K gebruikelijk. Na de 'oliecrisis' van 1973 werden de eerste warmte-isolatieverordeningen overeengekomen, waardoor isolatieglas met een U<sub>g</sub>-waarde van 3,0 W/m<sup>2</sup>K standaard werd. De ontwikkeling van isolatieglas werd steeds geavanceerder, waardoor wij vandaag de dag beschikken over een standaard warmte-isolatieglas van 1,1 W/m<sup>2</sup>K. Het betreft hierbij isolatieglas met een warmteverende coatinglaag en argon edelgasvulling in de tus-

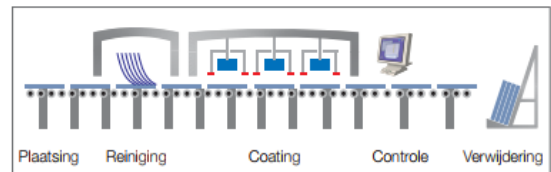
senruimte. Actueel groeit de vraag naar drievoudig isolatieglas met U<sub>g</sub>-waarden tot 0,6 W/m<sup>2</sup>K zeer sterk. Met de reeds aangekondigde aanpassing van de EnEV 2012 (zie → hoofdstuk 9.9) zal deze vraag nog verder stijgen.

Moderne isolatieglasruiten behouden hun uitstekende warmte-isolerende eigenschappen door de combinatie van edelgasvullingen - in de regel argon, in uitzonderingsgevallen krypton in de tussenruimte - en een flinterdunne, onzichtbare edelmetalen coating op een van de naar de tussenruimte wijzende glasoppervlakken. Deze edelmetalen coating, die aangebracht wordt door middel van de magnetron-sputtering-procedure, bewerkstelligt dat langgolvlige warmtestraling van de verwarming gereflecteerd wordt en zo in het vertrek blijft. Het zichtbare licht van de zonnestraling kan daarentegen nagenoeg ongehinderd binnendringen en draagt zo bij aan de verwarming van het vertrek en dus ook in aanzienlijke mate aan uw wooncomfort.

#### Coating van edelmetaal



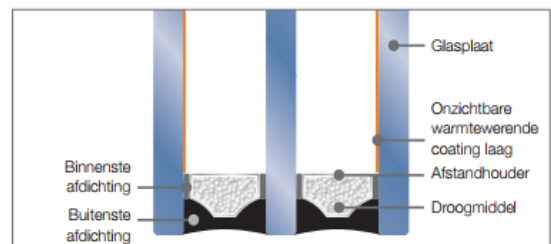
#### Magnetron-procedure (schematische weergave)



Ingesloten in de tussenruimte heeft deze laag een lange levensduur en is beschermd tegen mechanische en klimatologische invloeden. De laag is kleurneutraal en onzichtbaar. Normaal wordt de gecoate

glasplaat op de naar de binnen wijzende zijde in de richting van de tussenruimte beglaasd. Bij 3-voudige isolatieglaseenheden zijn de beide buitenste glasplaten naar de tussenruimte toe gecoat.

#### Opbouw van drievoudig isolatieglas



Dankzij de excellente warmte-isolatie van deze glasplaten wordt tegelijkertijd het behaaglijkheidsgevoel in het vertrek, vooral in de buurt van het kozijn, verhoogd. Vergeleken met de gebruikelijke, oudere beglazingen stijgt de temperatuur van de binnenste ruit aanzienlijk op grond van de gereflecteerde warmtestraling.

Modern warmte-isolerendglas elimineert het gevoel van tocht of kou in de buurt van het kozijn dat vooral in de koude jaargetijden optreedt. Hiervan profiteren ook de planten op de vensterbank.

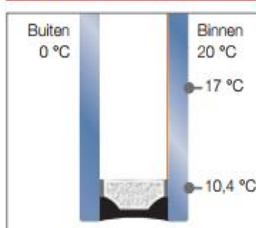
#### ■ Oppervlaktetemperatuur bij 20 °C kamertemperatuur [°C]

Buitenluchttemperatuur [°C]	0	-5	-11	-14
<b>Glassoort</b>				
Enkelvoudig glas, U <sub>g</sub> = 5,8 W/m <sup>2</sup> K	+6	+2	-2	-4
2-voudig isolatieglas, U <sub>g</sub> = 3,0 W/m <sup>2</sup> K	+12	+11	+8	+7
2-voudig isolatieglas gelaagd, U <sub>g</sub> = 1,1 W/m <sup>2</sup> K	+17	+16	+15	+15
3-voudig isolatieglas gelaagd, U <sub>g</sub> = 0,7 W/m <sup>2</sup> K	+18	+18	+17	+17

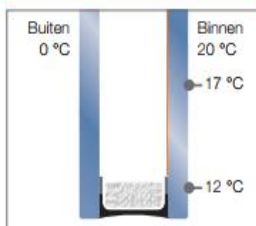
#### 4.1.1 Randverbindingssystemen

De randgedeelten van het isolatieglas vormen met de afstandhouderprofielen van aluminium een thermische brug ten opzichte van het glasoppervlak. Om deze redenen wordt ook als alternatief isolatieglas aangeboden met een warmte-technisch geoptimaliseerd randverbindingssysteem UNIGLAS® | TS THERMO SPACER ("warm edge") aangeboden. Hierdoor wordt in geval van een hoge luchtvochtigheid in het vertrek de condensvorming in het randgedeelte aanzienlijk verminderd.

Aluminium afstandhouder



'warm edge'-afstandhouder



Deze verbeterde thermische scheiding van de afzonderlijke glasplaten in de glasrandverbinding wordt bereikt door middel van verschillende ontwikkelingen in de markt:

- **roestvrij staal**  
Flinterdunne profielen van roestvrij staal vervangen het

aluminium omdat roestvrij staal beschikt over een aanzienlijk geringer warmtegeleidend vermogen.

- **Combinatie van kunststof met roestvrij staal of met aluminium**

Kunststof beschikt over uitstekende warmte-isolerende eigenschappen, maar is op zich niet bestendig genoeg tegen gasdiffusie, zodat het deze eigenschap in combinatie met roestvrij staal of aluminium moet bereiken om de duurzaamheid van het isolatieglas te waarborgen.

- **Thermoplastische systemen**

Hierbij wordt het gebruikelijke profiel vervangen door een heet geëxtrudeerde, plastische speciaalmix die tijdens de productie tussen de glasplaten wordt gebracht. Na afkoeling is de mechanische vastheid gewaarborgd. Het droogmiddel is geïntegreerd in het materiaal.

- **Super Spacer®**

Hierbij betreft het een silicoenschuim met geïntegreerd droogmiddel. Het silicoenschuim is met een roestvrij stalen folie overtrokken om de gasdiffusiedichtheid te realiseren.

De veelzijdigheid van de producten binnen de aangeboden systemen is groot en levert in de directe vergelijking een meer of minder sterke beïnvloeding van de  $\psi$ -(PSI)-waarde op (zie → pagina 56). De voor- en nadelen bij de afzonderlijke systemen moeten zorgvuldig worden afgewogen.

Uw UNIGLAS®-partner heeft al een voorselectie voor het systeem getroffen, gebaseerd op talrijke tests ten behoeve van een duurzaam product met een lange levensduur.

Bij de berekening van de U-waarde voor het kozijn mag volgens DIN 4108-4 bij toepassing van een van deze alternatieve oplossingen een algemene afslag van 0,1 W/m<sup>2</sup>K worden gehandhaafd.

Een ander alternatief vormt de exacte berekening van de U<sub>v</sub>-waarde. Hierbij wordt naast de U<sub>g</sub>- en de U<sub>f</sub>-waarden overeenkomstig de desbetreffende oppervlakteaandelen ook rekening gehouden met het kozijnsysteem van het raam-

werk, de geometrie van het profiel, de sponning en de gemeten PSI-waarde afhankelijk van het toegepaste randverbindingssysteem van het isolatieglas in verhouding tot de omtrek van het glas en het kozijnoppervlak.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi}{A_f + A_g}$$

U<sub>w</sub>: warmtedoorgang van het raam  
U<sub>f</sub>: warmtedoorgang van het kozijn (referentiewaarde!)  
U<sub>g</sub>: warmtedoorgang van de beglazing (nominale waarde!)  
A<sub>f</sub>: kozijnoppervlak  
A<sub>g</sub>: glasoppervlak  
l<sub>g</sub>: omtrek van de beglazing  
Ψ: PSI-waarde = lineaire warmtedoorgang van de glasrand

Toepassingsvoorbeeld



## 6 Zonwerende Beglazing

### 6.1 Beginselen

De voortdurende trend van de transparante architectuur vraagt om de toepassing van steeds groter wordende glasoppervlakken. Grote glasgevels in kantoorbouwen zijn pas mogelijk geworden door zonwerend glas. Zonwerend glas wordt echter ook steeds meer toegepast bij grote terrasoverkappingen of serres. Dergelijk glas voorkomt dat binnenruimten onaangenaam worden verwarmd door de reflectie en absorptie van zonenergie en ontlast op deze wijze de airco's in gebouwen. Daardoor leveren zij een bijdrage aan de energiebesparing en aan de vermindering van de milieubelasting.

De energiebesparingsverordening houdt rekening met de door glas bereikte zonne-energiegewinning op basis van de g-waarden. Hoe hoger de g-waarde, hoe hoger de energiegewinning - hoe sterker echter ook de verwarming. De energiebesparingsverordening verlangt echter ook het rekenkundige bewijs van de 'zomerse warmte-isolatie' waarmee de hoogte van de totale energietoevoer beperkt wordt. Het doel is, de gemiddelde maximumtemperatuur in gebouwen zonder airco

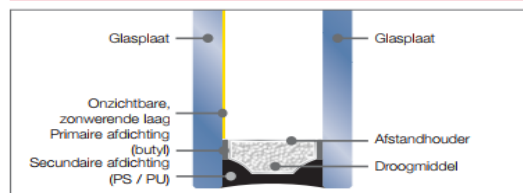
te beperken tot een draaglijke niveau of het voor de airconditioning vereiste energieverbruik te verminderen. De achtergrond is dat ook moderne airco's nog steeds veel meer energie nodig hebben om de temperatuur met een vergelijkbaar temperatuurverschil naar beneden te brengen dan verwarmingsinstallaties nodig hebben om de vertrekken te verwarmen. Dat betekent concreet dat de verwarming door de zon bij gebouwen een maximale waarde, de 'maximale karakteristieke waarde voor de zonnetoevoer  $S_{max}$ ', niet overschrijdt (zie → pagina 61). De maximale waarde is conform DIN 4108-2 afhankelijk van het gebouw, de geveloriëntatie en de uitlijning van de kozijnen evenals van de klimaatzone.

Voor grote raamoppervlakken is dus een lage g-waarde (zie → pagina 58) zinvol zoals deze karakteristiek is voor zonwerend glas. Met zonwerend glas kan het raamoppervlak in vergelijking met gebruikelijk warmte-isolatieglas worden vergroot zonder dat de energiehuishouding van het gebouw wordt beïnvloed.

element effectvol worden ingezet. In de architectuur wordt graag 'gespeeld' met de reflectiekleuren van dit glas. Daarom worden naast neutraal ogend glas ook talrijke producten aangeboden met verschillende reflectiekleuren. Zoals de naam al zegt, ziet men een 'kleurtje' bij de reflectie en niet bij het doorkijken. De doorzichtigheid blijft ook bij sterk in kleur reflecterende beglazingen groten-

deels neutraal. Een uitzondering vormen echter de in de massa gekleurde glassoorten die eveneens ten behoeve van de zonwering kunnen worden ingezet. Bij sommige types worden ze ingezet als basisglas voor de reflecterende, zonwerende laag. Bij de toepassing van dergelijke glassoorten adviseren wij een bemonstering voor levering.

Opbouw zonwerend glas



UNIGLAS® | SUN highend-zonwerend glas beschikt over een uitgebalanceerde selectiviteitsverhouding (zie → pagina 60), dat wil zeggen een zo laag mogelijke g-waarde bij een zo optimaal mogelijke lichtdoorlaat. In principe zijn er twee zonwerende coatingsystemen te onderscheiden te weten - 'hardcoatings' en 'sofcoatings'. Sommige van de eerstgenoemde kunnen ook aan de buitenzijde worden aangebracht omdat ze duurzaam bestand zijn tegen weersinvloeden. Bij de 'hardcoatings' moet de binnenste glasplaat van het isola-

tielglas echter over een warmte-isolerende laag beschikken om aan de eisen van EnEV te voldoen. De 'softcoatings' worden op de externe glasplaat aan de naar de tussenruimte gerichte zijde verwerkt om op deze wijze een duurzame bescherming te waarborgen, vergelijkbaar met de warmte-isolatie. Deze lagen reflecteren ook de warmtestralen. Hierdoor is in de regel de warmte-isolatie al in de zonwerende laag geïntegreerd en kan worden afgezien van een extra warmte-isolatielaag voor de binnenste glasplaat.

### 7.2.3 Beloop- en begaanbare beglazingen

Met begaanbare beglazingen worden glasconstructies bedoeld die voor reinigings- en onderhoudsdoeleinden kortstondig moeten worden betreden. Voor deze beglazingen gelden de testcriteria GS-BAU-18 (februari 2001) van de Duitse hoofdbond van wettelijke bedrijfsverenigingen (HVBG).

Bij beglazingen voor duurzaam, planmatig gebruik door personen ziet dit er anders uit. Een uitzonderingsgeval is ondertussen geregeld door de TRLV 2006 van het Duitse bouwtoezicht. Dientengevolge mag alleen gelaagd glas van minimaal drie lagen worden toegepast. De bovenste laag moet uit minimaal 10 mm dik en met een antislip mattering behandeld gehard of Heat Strengthened glasplaat bestaan en mag bij de stabiliteitsberekening niet als dragend worden gedeclareerd. De beide onderste glasplaten moeten minimaal 12 mm dik en van floatglas of Heat Strengthened glas zijn; de maximale lengte bedraagt 1.500 mm, de maximale breedte 400 mm. De optredende

spanningen mogen de in tabel 2 van de TRLV gedefinieerde waarden niet overschrijden (zie → hoofdstuk 9.6).

Dergelijke beglazingen voor trappen en/of podiums mogen niet bereiden en niet aan hoge continubelastingen resp. op grond van de gebruikswaarden aan een verhoogd risico voor stoten worden blootgesteld.

De draagconstructie dient zodanig sterk te worden uitgevoerd dat vervormingen langs de randen van het glas voorkomen worden bij belasting van de vloer. De oplegging dient 4-zijdig te zijn waarbij de sponning minimaal 1,5 keer de glasdikte is en bij glasplaten dikker dan 30mm minimaal gelijk aan de glasdikte. De foliedikte is minimaal 1,52 mm. Boringen of uitsparingen aan de rand zijn niet toegestaan. De randen moeten bovendien beschermd zijn. De maximale doorbuiging mag in intacte toestand 1/200 van de steunwijdte niet overschrijden.

Materiaal	Elasticiteitsmodulus (E) in GPa
Rubber (kleine rekken)	0,0001 - 0,001
Hout (dwars op de vezel)	0,6 - 1,0
Nylon	2 - 4
Polystyreen	3 - 3,5
IJs	9,1
Hout (evenwijdig aan de vezel)	9 - 16
GRP (glassfibre reinforced plastic/polyester)	7 - 45
Hogesterktebeton (druksterkte)	30
Magnesium	45
Aluminiumlegeringen	69
Gewoon glas	69
Glas	72
Gietijzer	100
Titanium (Ti)	105 - 120
Brons	103 - 124
CRP (carbonfibre reinforced plastic)	70 - 250
Staal	210
Wolfraam	400 - 410
Siliciumcarbide (SiC)	450
Koolstof nanobuis <sup>[1]</sup>	1000+
Diamant <sup>[2]</sup>	1220

## 6. Welke normen en NPR's zijn er voor de glaszetter/leverancier?

Voor de volledigheid geven wij u een overzicht van normbladen en NPR's (Nederlandse Praktijk Richtlijnen) op het gebied van glas en beglazen:

Productnormen

NEN EN 572-1 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 1: Definities en algemene fysische en mechanische eigenschappen

NEN EN 572-2 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 2: Floatglas

NEN EN 572-3 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 3: Gepolijst draadglas

NEN EN 572-4 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 4: Getrokken vensterglas

NEN EN 572-5 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 5: Gegoten glas

NEN EN 572-6 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 6: Figuurdraadglas

NEN EN 572-7 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 7: Glazen kanaalprofielen met en zonder draadinleg

NEN EN 572-8 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 8: Handelsmaten en eind- toepassingsmaten

NEN EN 572-9 Glas voor gebouwen Basisproducten van natronkalkglas Deel 9: Conformiteitsbeoordeling/ Productnorm

Beproevingen en classificatie normen

NEN EN 356 Glas in gebouwen - Beveiligingsbeglazing - Beproeving en classificatie van de weerstand tegen manuele aanval

NEN EN 357 Glas voor gebouwen - Brandwerende glazen elementen met doorzichtige of doorschijnende producten van glas - Classificatie van brandwerendheid

19

NEN EN 1063 Glas voor gebouwen - Beveiligings- beglazing - Beproeven en classificatie van de kogelwerendheid

NEN EN 12600 Glas voor gebouwen - Slingerproef - Stootbelastingproef en classificatie voor vlakglas  
Beglazingsnormen

NEN 3576 Beglazing van kozijnen, ramen en deuren - Functionele eisen

NPR 3577 Beglazen van gebouwen

Constructieve sterkte of veiligheidsnormen

NEN 2608 Vlakglas voor gebouwen - Weerstand tegen windbelasting - Eisen en bepalingmethode

NPR 3599 Vlakglas voor gebouwen - Bepaling van de minimum glasdikte voor windbelasting - Afgestemd op NEN 2608

NEN 3569 Vlakglas voor gebouwen- Risicobeperking van lichamelijk letsel door brekend en vallend glas - Eisen

NEN-EN 1990/A1+A1/C2 Grondslagen van het constructief ontwerp

NEN-EN 1990+A1+A1/ C2:2011/ NB:2011 nl Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2: Eurocode: Grond- slagen van het constructief ontwerp

Overige relevante normen

NEN 5087 (NEN 5087:1998 nl) Inbraakveiligheid van woningen - Bereikbaarheid van gevelelementen: deuren, ramen en kozijnen

NEN 5096 Inbraakwerendheid - Gevelelementen met deuren, ramen, luiken en vaste vullingen - Eisen, classificatie en beproevingsmethoden

NEN 6068 Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten

NEN 6069 Experimentele bepaling van de brandwerendheid van bouwdeelen en bouwproducten en het classificeren daarvan.

NEN-EN 1990+A1+A1/ C2:2011/NB:2011 nl Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2: Eurocode: Grondslagen van het constructief Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp  
NEN-EN 1991-1-1+C1:2011/NB:2011 nl Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1+C1: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen  
NEN-EN 1991-1-3+C1:2011/NB:2011 nl National bijlage bij NEN-EN 1991-1-2+C1: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting  
NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2011 nl Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting  
NEN 8700:2011 nl Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen  
NEN 2608:2014 nl Vlakglas voor gebouwen - Eisen en bepalingmethode  
NEN 3569:2011 nl Vlakglas voor gebouwen - Risicobeperking van lichamen letsel door brekend en vallend glas – Eisen  
NEN-EN 12600:2003 en Glas voor gebouwen - Slingerproef - Stootbelastingproef en classificatie voor vlakglas  
NEN-EN 572-1:2012 en Glas voor gebouwen - Basisproducten van natronkalkglas - Deel 1: Definities en algemene fysische en mechanische eigenschappen  
NEN-EN 572-2:2012 en Glas voor gebouwen - Basisproducten van natronkalkglas - Deel 2: Floatglas  
NEN-EN 1096-1:2012 en Glas voor gebouwen - Gecoat glas - Deel 1: Definities en classificatie  
NEN-EN 12150-1:2000 en Glas voor gebouwen - Thermisch gehard natronkalkveiligheidsglas - Deel 1: Definitie en beschrijving  
NEN-EN 14179-1:2005 en Glas voor gebouwen - Heat soaked thermisch gehard natronkalkveiligheidsglas - Deel 1: Definitie en beschrijving  
NEN-EN-ISO 12543-1:2011 en Glas voor gebouwen - Gelaagd glas en gelaagd veiligheidsglas - Deel 1: Definities en beschrijving van de onderdelen

17-05-2018 NEN heeft onlangs NEN 3569 'Vlakglas voor gebouwen - Risicobeperking van lichamen letsel door brekend glas' gepubliceerd. Deze norm geeft antwoord op de regeling van betrouwbaarheid.



NEN 3569 geeft eisen voor verticaal geplaatst, rondom lijnvormig opgelegd vlakglas, toegepast als bouwproduct voor gebouwen en bouwwerken. Doel van de norm is het beperken van het risico van lichamen letsel door het breken van glas ten gevolge van een stootbelasting door personen. Gedoeld wordt op letsel door scherven en letsel door vallend glas. Letsel door het bezwijken zelf wordt geregeld in NEN 2608 (over het draagvermogen en de vervormingen van vlakglas; methode Fine & Kinney).

Deze norm vervangt NEN 3569:2011

**Toelichting op NEN 3569:2018**  
"Vlakglas voor gebouwen – Risicobeperking van lichamelijk letsel door brekend glas – Eisen"

De NEN 3569 geeft eisen voor verticaal geplaatst, aan alle zijden (rondom lijnvormig) opgelegd, vlakglas toegepast als bouwproduct voor gebouwen en bouwwerken en met alle dagmaten groter dan 150mm. De norm geldt indien het glas bereikbaar is voor personen: een ruit is bereikbaar voor personen indien deze binnen een horizontale afstand kleiner of gelijk aan 0,85m bij de ruit kunnen komen.

De NEN 3569 kan gebruikt worden om aantoonbaar te voldoen aan de betrouwbaarheidseisen van de NEN 2608 en daarmee ook de Eurocode 1990 en het Bouwbesluit. Voor situaties waar de NEN 3569 niet gebruikt wordt of niet van toepassing is, moet altijd de risico-analyse van de NEN 2608 worden gebruikt om aan te tonen dat het glas toch voldoet aan de betrouwbaarheidseisen van het Bouwbesluit.

Veiligheidsglas is glas met een zodanig veilig breukpatroon dat lichamelijk letsel wordt beperkt. Op basis van de NEN-EN 12600 zijn dit gelaagd veiligheidsglas minimaal klasse 2(B)2 en thermisch gehard glas minimaal klasse 1(C)3. 2(B)2 = bijv. gelaagd glas 33.1/ 1(C)3 = bijv. 4 mm gehard glas. Zie het CE-label!

<p>"Hoogte" is de verticale afstand tussen de bovenkant van de aangrenzende vloer en het laagste punt van de dagkant van het kozijn.</p>		<p><b>Scheidingsconstructies en beweegbare constructie-onderdelen bij ontsluitingswegen</b></p> <p><math>\leq 1.4m</math> <math>\geq 0.85m</math></p>	<p><b>Scheidingsconstructies en beweegbare constructie-onderdelen</b></p> <p><math>\leq 0.85m</math></p>	<p><b>Deurconstructies (= deur, inclusief kozijn, zij- en bovenlicht en raampanelen).</b></p> <p><math>\leq 1.4m</math></p>	<p><b>Draaiende delen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Openend naar aanvalszijde</li> <li>• Slechts aan 1 zijde bereikbaar</li> </ul> <p>H</p>	<p>Zijlicht 80° Deur <math>\leq 300mm</math></p> <p>Aangrenzend glas dat zich binnen 300mm van de deuropening bevindt moet als "zijlicht" beschouwd worden.</p>								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gebruiksfuncties</th> <th>Voorbeelden</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Niet-gemeenschappelijk deel woonfunctie en logiesfunctie</td> <td>Woning, hotelkamer, woonkamer in verzorgingsstehuis</td> </tr> <tr> <td>Industriefunctie</td> <td>Werkplaats, praktijkruimte magazijn, opslagruimte in een atelier/ kliniek/ pakhuis/ fabriek</td> </tr> <tr> <td>Alle overige functies</td> <td>Bijeenkomstfunctie, celfunctie, gezondheidszorgfunctie, kantoorfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie, winkelfunctie, overige gebruiksfuncties</td> </tr> </tbody> </table>		Gebruiksfuncties	Voorbeelden	Niet-gemeenschappelijk deel woonfunctie en logiesfunctie	Woning, hotelkamer, woonkamer in verzorgingsstehuis	Industriefunctie	Werkplaats, praktijkruimte magazijn, opslagruimte in een atelier/ kliniek/ pakhuis/ fabriek	Alle overige functies	Bijeenkomstfunctie, celfunctie, gezondheidszorgfunctie, kantoorfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie, winkelfunctie, overige gebruiksfuncties	<p>Geen</p>	<p>Indien van toepassing: niet-bereikbare zijde van zijlicht geen veiligheids-glas.</p> <p>Indien <math>H &lt; 0,70m</math>: beide zijden veiligheids-glas. Indien <math>H \geq 0,70m</math> in gesloten toestand: bereik-bare zijde veiligheids-glas.</p>			<p>Veiligheidsglas moet aan de stootzijde geplaatst worden. De stootzijde is de zijde waar een persoon tegen aan kan vallen. Bij isolatieglas kan 1 zijde maar kunnen ook beide zijden stootzijde zijn. Bij deurconstructies zijn altijd beide zijden stootzijden.</p>
Gebruiksfuncties	Voorbeelden													
Niet-gemeenschappelijk deel woonfunctie en logiesfunctie	Woning, hotelkamer, woonkamer in verzorgingsstehuis													
Industriefunctie	Werkplaats, praktijkruimte magazijn, opslagruimte in een atelier/ kliniek/ pakhuis/ fabriek													
Alle overige functies	Bijeenkomstfunctie, celfunctie, gezondheidszorgfunctie, kantoorfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie, winkelfunctie, overige gebruiksfuncties													
		<p>Eisen</p>	<p>Gelaagd veiligheidsglas minimaal klasse 2(B)2, bijvoorbeeld gelaagd 33.1 of Thermisch gehard veiligheidsglas minimaal klasse 1(C)3, bijvoorbeeld 4mm gehard glas</p>			<p><math>\geq 0.7m</math> <math>\leq 0.85m</math></p> <p>Indien er aan de stootzijde een bouwkundige voorziening met een minimale hoogte van 0,7m is geplaatst die voorkomt dat personen binnen een horizontale afstand van 0,85 m tot het glas kunnen komen, dan wordt het glas beschouwd als niet-bereikbaar.</p>								

Voor het juist gebruik van NEN 3569 dient de volledige norm geraadpleegd te worden. Aan deze toelichting kunnen geen rechten worden ontleend. Partijen aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor zowel directe als indirecte schade ontstaan door of verband houdend met het gebruik van deze toelichting.



## 7. Risicoanalyse volgens Fine and Kinney

### 3.1 Algemeen

Met de methode van Fine and Kinney kan een objectieve risicoanalyse worden uitgevoerd. Hierbij worden de risico's die de meeste aandacht vergen snel zichtbaar. De risico's die in kaart worden gebracht hebben betrekking op letsel, verwonding etc. van personen en op schade.

Deze methode kan bij heel veel onderwerpen worden uitgevoerd waar risico's aan de orde zijn en dus ook op glastoepassingen. De werkwijze van deze methode wordt hieronder toegelicht aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden van glastoepassingen (zie bijlagen 2 t/m 12). Op basis van de analyse van de risico's worden er per voorbeeld oplossingen aangeboden om de risico's tot een aanvaardbaar niveau terug te brengen.

### 3.2 Werkwijze

#### 3.2.1 Bepaling van de risico-index letsel (RL)

Onder "risico-index" wordt verstaan het op een rekenkundige manier in kaart brengen van de risico's. Om een risico-index voor letsel bij glasbreuk (RL) te kunnen berekenen zijn drie gegevens nodig:

- de waarschijnlijkheid van glasbreuk;
- de duur van de blootstelling aan het risico;
- de ernst of omvang van letsel bij glasbreuk.

Aan deze variabelen of factoren kunnen waarden toegekend worden. De risico-index is het uiteindelijke product van deze waarden. De risico-index kan dus worden bepaald aan de hand van vergelijking:

$$RL = WS \times BS \times ES$$

Waarin:

RL de risico-index is, dus het risico op letsel;

W S	de waarschijnlijkheidsfactor is van glasbreuk (met- of zonder opzet); ook wel de kans dat schade zich voordoet. De factor geeft de verwachting weer en heeft een referentiewaarde van 0,1 tot 10;
--------	--

B S	de blootstelling is aan het risico. Hier wordt feitelijk bedoeld de verwachte tijdsduur dat men in de buurt van het risico (= het glasoppervlak) kan zijn.
--------	--

De waardeschaal van de blootstellingsfactor gaat van 0,5 tot 10;

E S	de factor is van de ernst of het effect; dus de aanduiding van de mogelijke schade en gevolgen door breuk van het vlakglas. De schaal loopt van 0,1 tot 100.
--------	--

Richtlijn betrouwbaarheid glasconstructies februari 2018 Pagina 8

#### 3.2.2 Waarden van waarschijnlijkheid (WS), blootstelling (BS) en ernst/ effect (ES)

Bijna niet denkbaar	10 <sup>-6</sup> (1 op de 1.000.000)	0,1
Praktisch onmogelijk	10 <sup>-5</sup> (1 op de 100.000)	0,2
Onwaarschijnlijk	10 <sup>-4</sup> (1 op de 10.000)	0,5
Denkbaar	10 <sup>-3</sup> (1 op de 1.000)	1
Ongewoon, maar mogelijk	10 <sup>-2</sup> (1 op de 100)	3
Goed mogelijk	10 <sup>-1</sup> (10%-50%)	6
Te verwachten	10 <sup>0</sup> (> 50%)	10

Tabel 1: waarden behorende bij de Waarschijnlijkheid (WS)

Zeer zelden	Minder dan 1x per jaar	0,5
Enkele malen	Minder dan 4x per jaar	1
Maandelijks	Minder dan 2x per maand	2
Wekelijks	Maximaal 1x per week	3
Dagelijks	Minder dan 182 dagen per jaar	6
Voortdurend	Meer dan 182 dagen per jaar	10

**Tabel 2: waarden behorende bij de Blootstelling (BS)**

EHBO, blauwe plekken / schrammen	0,1
Licht letsel; behandeling door arts (spoedeisende hulp) zonder verder verzuim	1
Licht letsel; behandeling door arts (spoedeisende hulp) met verzuim	3
Zwaar letsel: behandeling door arts + lange nasleep	7
Eén dode	15
Ramp, meer dan één dode	40
Catastrofe, vele doden	100

**Tabel 3: waarden behorende bij de Ernst of Effect (ES)**

### 3.2.3 Betekenis van de uitkomsten van de risico-index letsel (RL)

De uitkomsten van de risico-index letsel (RL) bij glasbreuk kunnen worden ingedeeld in 2 klassen, namelijk:

Klasse 1	Zeer beperkt / aanvaardbaar risico;
Klasse 2	Niet aanvaardbaar risico.

In onderstaande tabel wordt weergegeven welke uitkomsten van de risico- index vallen onder welke klasse.

Klasse 1	RL $\leq$ 25
Klasse 2	RL > 25

**Tabel 4: klasse-indeling risico-index letsel (RL)**

Indien bij een berekening van de RL de uitkomst kleiner of gelijk is aan 25, dan betekent dit dat het ontwerp voldoet aan

de voorwaarden van betrouwbaarheid. Bij een hogere uitkomst wordt niet voldaan aan deze voorwaarden en moet het ontwerp wat betreft glassamenstelling zodanig worden aangepast dat bij een nieuwe berekening van de RL deze 25 of lager wordt.

Bron: [www.kenniscentrumglas.nl](http://www.kenniscentrumglas.nl) 30-04-2019

# 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-

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 belangrijk 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

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

### 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

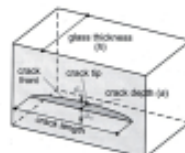
$n = 70$  in vacuüm

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

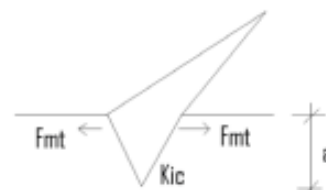
$K_{ic}$  = kritieke waarde voor spanningsconcentratie op de krasbodem (0,75 Mpa m<sup>0,5</sup>); wordt deze waarde bereikt, dan ontstaat breuk

$F$  = 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. >



Serie van Dijkman in  
Leliden. 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 2609-2 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

### De auteur

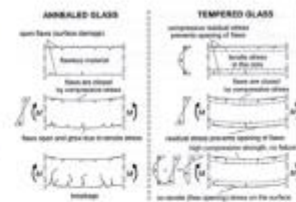
Ron Kruijs is werkzaam bij Glasimpex Vlaardingen en maakt deel uit van de werkgroep Constructief Glas van de Normcommissie Vlakglas. Zijn artikelen hebben als doel de lezer meer inzicht te geven in de complexiteit van het begrip sterkte van glas. 'Het is een onderwerp dat mijn interesse al meer dan tien 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 wijze manier toe te passen.'

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 glassterkte-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  $F_{m1}$ ) 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 tijdfafhankelijke 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 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

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-

## NORMEN MET BETREKKING TOT STERKTE VAN GLAS

# (2)

factor tussen enkel en dubbelglas gegeven wordt. Sterker nog: bij gelaagd glas worden 15 procent hogere spanningen toegelaten (factor kb). 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 moedernorm 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.

$$F_{m;t;u;t} = (F_{g;k} \times K_b \times k_e \times K_{mod}) / Y_m + (F_{b;k} \cdot F_{g;k}) / Y_v$$

- F<sub>g;k</sub>** = karakteristieke waarde voor de uiterst opneembare buigtrekspanning floatglas
- K<sub>b</sub>** = factor voor breukgedrag van glas, heeft geen wetenschappelijke basis
- K<sub>e</sub>** = factor voor randkwaliteit
- K<sub>mod</sub>** = factor voor reductie van sterkte onder invloed van belastingstijd
- Y<sub>m</sub>** = materiaal factor floatglas
- F<sub>b;k</sub>·F<sub>g;k</sub>** = niveau van thermische voorspanning
- Y<sub>v</sub>** = materiaal factor thermisch voorgespannen of versterkt glas.

Door K<sub>mod</sub> worden de invloeden van belastingstijd, belastingsoort en luchtvochtigheid in rekening gebracht.

Door F<sub>g;k</sub> worden de invloeden van oppervlakteconditie en leeftijd in rekening gebracht.

Door Y<sub>m</sub> en Y<sub>v</sub> wordt de toelaatbare

kans op een breuk bepaald.

Door F<sub>b;k</sub>·F<sub>g;k</sub> 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

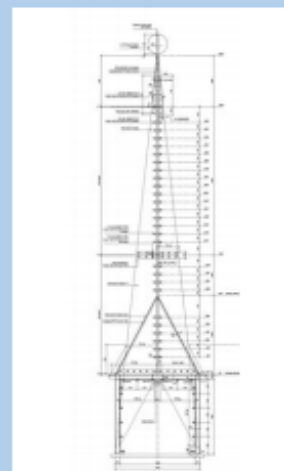
## Casino Breda

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

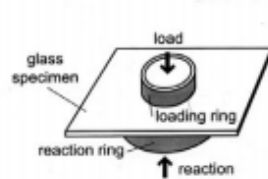
rozetten bevestigd aan de HEB's. Deze ruiten hebben geen constructieve functie. De eerste ruit, vanaf de stalen tafel, heeft een maat van 1429 x 3725 millimeter. Deze ruit is met zes bouten M20 door middel van twee hoekstalen aan de HEB140 bevestigd. Tussen het glas en de hoekstalen zit een papierpakking 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 >



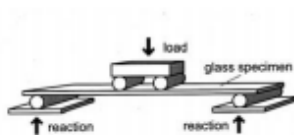
## › De sterkte van glas (2)

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 mm<sup>2</sup>)

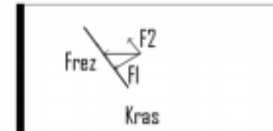
Dubbelring groot oppervlakte

(A = 28.2743 mm<sup>2</sup>)

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.

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

De kracht Frez is aanwezig als trekspanningen in de richting parallel aan de



### Opleggingen

niet opgelegde zijde van de ruit. Kracht F1 is de oppervlaktespanning loodrecht op de kras, deze oppervlaktespanning is dus kleiner dan de oppervlaktespanning Frez. 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

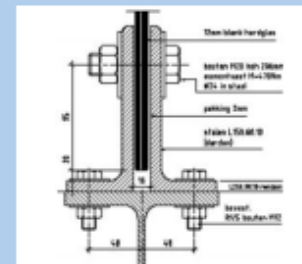


Detail 2

staander liggen zij op een zetwerkprofiel. Aan dit profiel zitten zij vast met kit. Door dit dakje is het klokke 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



