

FEDERAAL MINISTERIE VAN TEWERKSTELLING EN ARBEID
ADMINISTRATIE VAN DE ARBEIDSVEILIGHEID
TECHNISCHE INSPECTIE
DIRECTIE CHEMISCHE RISICO'S

INFORMATIENOTA



Kijkglazen en peilglazen

kenmerk: CRC/IN/011-N
versie: 1
datum: februari 2001

Inhoud

1. Risico's verbonden aan kijkglazen en peilglazen.....	3
2. Veiligheidsliteratuur.....	5
3. Eigenschappen van glas.....	5
3.1. Chemische resistentie.....	6
3.2. Mechanische eigenschappen.....	6
3.3. Voorspannen van glas.....	6
3.4. Glasbehandelingstechnieken	7
4. Kijkglazen.....	8
4.1. Definitie.....	8
4.2. Faalwijzen en mogelijke remedies	8
5. Peilglazen	12
5.1. Soorten.....	12
5.2. Faalwijzen en mogelijke remedies	13
6. Codes en normen van goede praktijk.....	14
7. Ander gebruik van glaswerk in de procesindustrie.....	15
7.2. Procesinstrumentatie	15
7.2. Procesinstallaties uit glas.....	15
8. Aanbevelingen.....	17
8.1. Kijkglazen.....	18
8.2. Peilglazen.....	19
9. Referenties.....	19

Deze informatienota is opgesteld door:

*Directie van de chemische risico's
Federaal Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid
Belliardstraat 51
1040 Brussel*

Eindredactie: ir. Koen Loossens

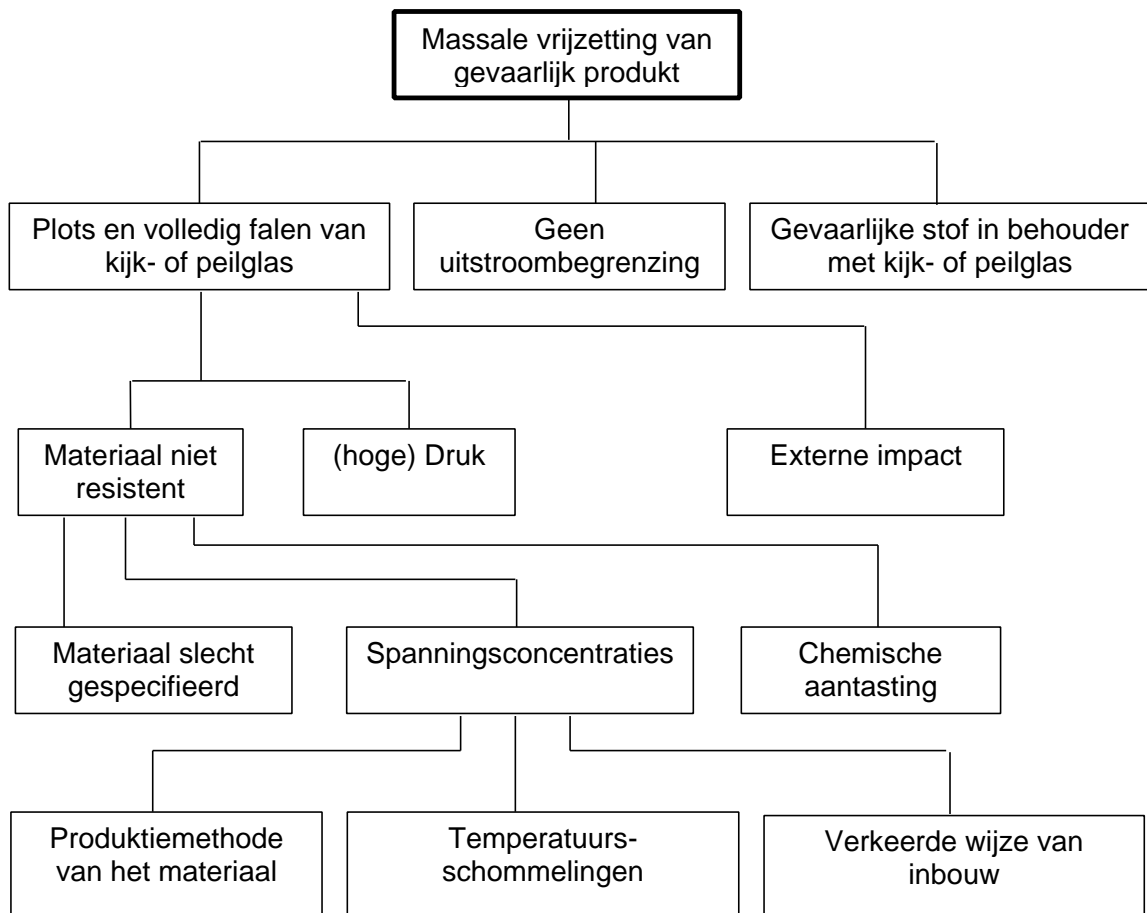
Deze nota wil een beeld geven van de veiligheidsproblematiek die gepaard gaat met het gebruik van kijk- en peilglazen in het bijzonder en glaswerk in het algemeen in de chemische procesindustrie.

Het vertrekpunt zijn de risico's specifiek verbonden aan kijk- en peilglazen. Er wordt uitgebreid over de specifieke eigenschappen van glas en de verschillende glassoorten. Vervolgens wordt per soort glazen element dat in een procesinstallatie kan voorkomen een toelichting gegeven bij de risico's en de mogelijke maatregelen.

De nota sluit af met concrete aanbevelingen omtrent het gebruik van kijk- en peilglazen.

1. Risico's verbonden aan kijkglazen en peilglazen

Om de risico's verbonden aan kijk- en peilglazen aan te tonen vertrekken we van een generische foutenboom die leidt tot een zwaar ongeval (figuur 1).



Figuur 1

De verschillende factoren die bijdragen tot de ontwikkeling van dit scenario en waarop men kan inspelen om een zwaar ongeval te voorkomen, worden nader toegelicht:

1. Aanwezigheid van een gevaarlijke stof

Deze nota spitst zich toe op de omstandigheden waarbij door breuk van een kijk- of peilglas er stoffen vrijgezet worden die potentiëel schade aan mens en milieu kunnen aanrichten.

2. Geen uitstroombegrenzing

Indien er niets voorzien is om de uitstroming van de gevaarlijke stof te verhinderen - bij een peilglas bestaat de mogelijkheid, voor een kijkglas is dit meestal niet zo - resulteert dit in de vrijzetting van de volledige inhoud van het processtool waar het glas in was gemonteerd of waarmee het in verbinding stond.

3. Plots en volledig falen van het kijk- of peilglas

Aan de basis van dit scenario voor een zwaar ongeval ligt het feit dat een kijk- of peilglas onaangekondigd en volledig faalt. Onaangekondigd wil zeggen dat men vóór de faling geen indicatie (scheurvorming, barst, verkleuring, vervorming, ...) heeft van het imminente gebeuren van het kijk- of peilglas. Volledig wil zeggen dat het glas compleet versplintert en de gevaarlijke stof vrij kan uitstromen door de opening die het glas innam: er is dus geen sprake van een initiëel klein lek dat zich ontwikkelt tot een grotere opening.

4. Externe impact

Het glas kan breken door impact van een extern voorwerp bv. door het accidenteel stoten met gereedschap of door vallende voorwerpen.

5. Druk

Wanneer voldoende hoge druk wordt aangelegd zal elk glas uiteindelijk breken. Toepassingen bij atmosferische omstandigheden zijn in die zin minder kritisch omdat de krachten die op het glas werken kleiner zijn. Men moet wel alle mogelijke omstandigheden van druk in beschouwing nemen. Deze factor moet dan ook bekeken worden in relatie tot het soort glas (en zijn weerstand tegen druk) dat men beoogt te gebruiken.

6. Materiaal niet resistent

Wanneer de druk hoger is dan degene waartegen het glas bestand is zal er een breuk optreden. Dit kan zich voordoen wanneer de druk oploopt tot buiten de grenzen die voorzien zijn. Dit is echter eveneens mogelijk wanneer de druk binnen de bepaalde grenzen blijft: in dat geval heeft het glas niet de weerstand die vereist is voor deze procesomstandigheden. Hiervoor kunnen 3 factoren aan de basis liggen.

7. Materiaal slecht gespecificeerd

Het glas kan in goede staat verkeren maar door een verkeerde specificatie is het niet geschikt voor gebruik in de bedoelde omstandigheden. Het kan zijn dat men de drukbestendigheid van het glas overschat heeft of het kan zijn dat men een bepaalde drukexcursie die zich kan voordoen in de installatie niet voorzien heeft.

8. Chemische aantasting

Wanneer een bepaald glas is gekozen dat voldoende gespecificeerd is voor de procesomstandigheden, is het mogelijk dat na verloop van tijd het glas aangetast wordt door chemische inwerking waardoor het niet meer zijn oorspronkelijke (drukbestendigheds)eigenschappen bezit. Dit is vergelijkbaar met een metaal dat door corrosie zodanig aangetast wordt dat het zijn oorspronkelijke sterkte verliest. Een belasting aan dewelke het glas normaliter kan weerstaan, zal dan aanleiding geven tot het bezwijken van het glas.

9. Spanningsconcentraties

Zoals verder wordt uitgelegd is glas een materiaal dat heel gevoelig is voor spanningsconcentraties. Spanningsconcentraties kunnen geïntroduceerd worden tijdens het productieproces van het glas. In dit geval zou de weerslag op de mechanische sterkte gekend moeten zijn. Spanningsconcentraties kunnen echter ook ingebracht worden door de manier van inbouwen en door temperatuurschommelingen. Op welke wijze ze ook veroorzaakt worden, de spanningsconcentraties beïnvloeden de mechanische sterkte van het glas negatief en kunnen leiden tot een voortijdige breuk.

2. Veiligheidsliteratuur

Een casuïstisch onderzoek toont aan dat kijk- en peilglazen veelvuldig aan de basis liggen van een zwaar chemisch ongeval. In Loss Prevention Bulletin 134 [10] worden enkel typische ongevallen met kijkglazen besproken. Een gemeenschappelijk kenmerk hierbij is de complete verbrijzeling van de kijkglazen. De belangrijkste lessen die getrokken worden zijn:

- ❖ een goede specificatie van de glazen (vooral naar drukbestendigheid) is essentieel;
- ❖ extra bescherming in geval van falen is aanbevolen
- ❖ de algemene aanbeveling om ze beter te vermijden.

Een zoekactie in The Accident Database [16] levert 17 ongevallen en incidenten met kijk- en peilglazen op.

Ook in de gespecialiseerde literatuur wordt de veiligheidsproblematiek van kijk- en peilglazen onderkend.

F. P. Lees [11] erkent dat kijkglazen, maar ook bvb. rotameters uit glas een zwak element uitmaken, aanleiding kunnen geven tot massale lekken en beter te vermijden zijn. Een tussenoplossing is om een transparant beschermend omhulsel te voorzien rond het glas.

Trevor Kletz [1, 18] stelt in 2 werken dat peil- en kijkglazen niet mogen gebruikt worden bij vaten met ontvlambare of toxische vloeistoffen boven hun kookpunt. Tevens moet er bij peilglazen zorg voor gedragen worden dat in geval van een breuk geen massief lek ontstaat door middel van een systeem dat de uitstroming begrenst. Magnetische en andere glasvrije niveaumetingen kunnen wel toegelaten worden.

Dezelfde aanbeveling wordt gedaan door het Centre for Chemical Process Safety [9].

In de Fire & Explosion Index van de Dow Chemical Company [7] (waarop het berekenen van de gevarenindexering in het Ministeriële Besluit van 7 augustus 1991 is gebaseerd) wordt er voor kijkglazen een zware penalitatie toegekend. Dit gebeurt onder de *Special Process Hazards: I. Leakage – Joints and Packing: 5. For any Process Unit that has sight glasses bellows assemblies or expansion joints, the penalty is 1.50*. Opvallend is hier dat er geen melding wordt gemaakt van peilglazen of andere glazen proceselementen die in principe eenzelfde zwakke schakel in de procesinstallatie uitmaken.

3. Eigenschappen van glas

Glas kan men het best beschouwen als een supergekoelde vloeistof: door het specifieke koelingsmechanisme vindt er geen kristalvorming plaats die nodig is voor de overgang naar vaste stof. De atomen vriezen vast in de min of meer wanordelijke configuratie die ze hadden in de vloeistof. Door de unieke aggregatietoestand van glas bezit het de opmerkelijke

eigenschap van *isotropie*: fysische eigenschappen zoals treksterkte, elektrische geleiding en thermische expansie hebben éénzelfde waarde in elke richting van het materiaal.

3.1. Chemische resistentie

De meeste glassoorten zijn qua samenstelling gebaseerd op een mix van anorganische oxides waarvan silica (SiO_2) het grootste deel uitmaakt.

Glas staat bekend als zeer resistent tegen chemische aantasting en corrosie. Specifiek hangt de resistentie af van de glassamenstelling en het aantastende medium. Het aantastingsmechanisme is verschillend voor zuren en water enerzijds en basen anderzijds.

Zuren zullen de alkaliën in het glas uitlogen en een poreus silicanetwerk achterlaten. Het poreuze oppervlak verhindert verdere indringing van het zuur wat de goede bestendigheid tegen zuren verklaart. Water tast glas op een gelijkaardige wijze aan, zij het aan een veel trager tempo: enkel bij hoge temperaturen zoals in stoomketels wordt deze aantasting significant.

Een basisch produkt zal het glasoppervlak gelijkmatig oplossen en dus een uniforme diktevermindering teweeg brengen. De aantasting van glas door basen is des te sterker bij hogere temperatuur en pH. Ter illustratie: bij een pH waarde van 10 en een temperatuur van $170\text{ }^\circ\text{C}$ bedraagt de aantasting (diktevermindering) van het glasoppervlak 2 mm/jaar; voor een pH waarde van 12 wordt dit 38 mm/jaar [6].

Wegens de goede resistentie tegen chemische aantasting wordt in de procesindustrie vaak boorsilicaatglas gebruikt. Dit is een glassoort met een minimum van 5% booroxide (B_2O_3) in de samenstelling. Dit soort glas kan toch nog op een agressieve wijze aangetast worden door waterstoffluoride, heet fosforzuur en hete alkalische oplossingen.

Om het glas te beschermen tegen chemische aantasting kan men het glas langs de kant van het agressieve fluïdum bekleden met een kunststoffilm. Een voorbeeld is het gebruik van een micafilm (mica = mineraal uit de silicatenfamilie) op glas dat gebruikt wordt in stoomketels.

3.2. Mechanische eigenschappen

De fysische structuur van glas geeft het de eigenschap van perfecte elasticiteit: wanneer een kracht op glas wordt uitgeoefend zal het glas vervormen. Na het wegnemen van de kracht zal het glas weer naar zijn oorspronkelijke vorm terugkeren. Glas bezit geen enkele ductiliteit: het blijvend vervormen bij aanleggen van een spanning. Deze ductiliteit, die metalen te danken hebben aan het bestaan van dislocaties, heeft het voordeel dat de vervorming een deel van de spanning wegneemt. Dit ontbreken van ductiliteit bij glas heeft als gevolg dat een aangelegde spanning in glas niet door een plastische vervorming kan opgevangen worden en dus steeds volledig op het materiaal blijft werken. Wanneer een aangelegde buig- of trekspanning de treksterkte van het glas (rond 700 kg/cm^2 voor boorsilicaatglas) overschrijdt, zal het glas dan ook volledig en bros breken.

3.3. Voorspannen van glas

Een manier om deze mechanische zwakte op te vangen is het aanleggen van een voorspanning t.t.z. het aanbrengen van een uniforme compressie op het glas. Een aangelegde belasting zal dan eerst de compressiespanning moeten wegwerken voordat het glas zelf in een trekspanningstoestand komt.

Een manier om dit te verwezenlijken is om gebruik te maken van de thermische expansie van glas. Glas krimpt bij temperatuursverlaging en zet uit bij een temperatuursverhoging. Wanneer niet elk gedeelte van het glas even snel opwarmt of afkoelt, kunnen hierdoor spanningen in het materiaal geïntroduceerd worden. Dit wordt toegepast bij het thermisch temperen van glas (E.: *thermal prestressing*, *thermal tempering*, *quench tempering*, F.: *verre*

trempe): de techniek bestaat erin het glas op te warmen tot vlak bij het verwekingspunt en het dan plots af te koelen door middel van luchtblazen, een zoutbad of enig ander middel. Door de lage thermische conductiviteit zal de buitenkant snel vast worden en krimpen en zo in een compressietoestand komen. De binnenkant blijft nog zacht en zal in een trekspanningstoestand terecht komen. De spanning is bijgevolg niet uniform over het glas verdeeld. Een aangelegde belasting zal eerst de buitenkant in een trekspanning willen brengen. Vermits de buitenkant een voorcompressie heeft ondergaan zal die deze belasting kunnen opvangen. Eens de belasting groot genoeg is om de voorspanning te balanceren kan de onder trekspanning staande binnenkant aan de belasting worden onderworpen met breuk tot gevolg.

Een andere manier om een compressiespanning in het glas te introduceren is het mechanisch voorspannen (E.: *mechanically prestressed, fused glass to metal*, D.: *Glas-Metal verschmolzen*, F.: *verre précontraint*). Een stalen ring met daarin het glas worden samen opgewarmd tot de juiste versmeltingstemperatuur. Omwille van de verschillende thermische uitzettingscoëfficiënten van staal en glas wordt tijdens het daaropvolgende afkoelingsproces een uniforme drukspanning op het glas aangebracht. Evenzo wordt het metaal in een staat van trekspanning gebracht. Het verschil met het thermische voorspannen is de uniforme drukspanning die op deze wijze in heel het glas is aangebracht.

3.4. Glasbehandelingstechnieken

Om glas betere, vooral mechanische eigenschappen te geven zijn nog andere technieken voor handen die echter minder goede resultaten geven dan de voorgaande behandelingstechnieken.

- ❖ **Tempering** (E.: *annealing*): omdat tijdens het afkoelingsproces van glas permanente spanningen in het materiaal kunnen geïntroduceerd worden, worden glassoorten waar dimensionele stabiliteit belangrijk is aan tempering onderworpen teneinde deze spanningen weg te werken. Het glas wordt dan weer opgewarmd en langzaam afgekoeld om een zo uniform mogelijke afkoeling te bekomen. Glas waar geen residuele spanning meer te detecteren is noemt men doodgetemperd (E.: *dead-annealed*).
- ❖ **Polijsten en etsen**: dit is vooral bedoeld om microscopische imperfecties op het oppervlak, waar de spanningsconcentraties het grootst zijn, weg te werken.
- ❖ **Overglazen** (E.: *overlay glazing*): men bedekt het glas met een dunne laag ander glas met een lagere thermische expansie.
- ❖ **Ionen uitwisseling** (E.: *Ion exchange*): het glas wordt in een alkalisch smeltbad gedompeld. Het zoutbad bevat grotere alkali-ionen dan het glas en er vindt een diffusie plaats die de kleine ionen in de oppervlakteregionen uit het glas vervangt door de grotere ionen uit het zoutbad. Dit creëert (zoals bij thermisch tempering) aan de buitenkant van het glas een compressietoestand en een trekspanning dieper in het glas.
- ❖ **Laminatie**: hierbij worden verschillende lagen glas over elkaar gelegd gescheiden door een laminaatlaag. Voor de laminaatlaag gebruikt men harde polymeren als polyvinylbutyral, polyurethaan, ethyleen terpolymeer of polytetrafluoroethaan, die door een warmtebehandeling met de glaslagen worden verbonden. De belangrijkste eigenschap van dit soort glas is dat bij impact of breuk de glasscherven ofwel aan de polymeerlaag blijven hangen ofwel dat het glas breekt in kleine botte stukjes eerder dan scherpe gekartelde stukken. Dit glas wordt gebruikt in autoruiten en kogelvrij glas en wordt daarom ook wel veiligheidsglas¹ (E.: *safety glass*, F.: *verre de sécurité*) genoemd.

¹ De term “veiligheidsglas” wordt vaak voor verschillende glassoorten gebruikt: gelamineerd glas, metaalversmolten glas, kogelvrij glas, ... In de literatuur of industrie is niet echt éénduidig vastgelegd wat men onder veiligheidsglas verstaat. Extra informatie omtrent de specificatie en uitvoering is nodig om een duidelijk idee te krijgen wat hiermee bedoeld is.

- ❖ Metaaldoorweven glas (E.: *wire mesh, wire re-inforced*): hierbij is een metalen draad in het glas ingebracht zodat glasfragmenten bij breuk niet wegvliegen.

4. Kijkglazen

4.1. Definitie

Kijkglazen (E.: *sight glasses*) zijn ingebouwde onderdelen die als doel hebben een visuele inspectie toe te laten van een fluidumstroming, chemische reacties, mengingen en andere operaties. Ze kunnen voorkomen in pijpleidingen, reactoren en andere processtoestellen.



Figuur 2: voorbeelden van kijkglazen

Kijkglazen (figuur 2) zijn in regel cirkelvormig uitgevoerd en komen in veel verschillende uitvoeringen voor: het kan gaan om een stuk glas tussen dichtingsringen en twee flenzen dat in het toestel wordt ingebouwd. Het kan ook via een schroefverbinding gemonteerd worden. Gezien het om een stuk vlak glas gaat kan hiervoor in principe elke soort glas gebruikt worden. Het glas en het metaal kunnen ook in één procédé worden gemaakt en geen afzonderlijke stukken meer uitmaken (cf. supra: metaalversmolten kijkglazen). Voor het flensmateriaal of het stuk dat de verbinding zal maken met de procesuitrusting heeft men de keuze tussen alle gebruikelijke metalen (koolstofstaal, edele staalsoorten, brons, ...). Voor de eventuele dichtingsringen beschikt men ook over het hele gamma.

4.2. Faalwijzen en mogelijke remedies

Refererend naar de generische foutenboom in figuur 1 herinneren we dat de massale vrijzetting van het gevaarlijk produkt te wijten is aan het plots en volledig falen van het kijkglas en het ontbreken van een uitstroombegrenzing. In wat volgt bekijken we de opeenvolgende factoren in het ongevalsscenario en de wijze(n) waarop we hier gunstig kunnen ingrijpen.

1. Aanwezigheid van een gevaarlijke stof

Wanneer bij een behouder van gevaarlijke stoffen een kijkglas breekt, zal dit een massale vrijzetting van het produkt tot gevolg hebben. De juiste hoeveelheid zal afhangen van de fysische parameters die heersen in de behouder (druk, temperatuur), de positie van het kijkglas en de aard van de stof (dampspanning). Wanneer de behouder echter geen gevaarlijke stof bevat, zal het kijkglas geen kritisch element zijn inzake zware ongevallen. Het blijft evenwel een zwak punt in de installatie. Wanneer wel gevaarlijke stoffen (toxische, ontvlambare) betrokken zijn, wordt dan ook aangeraden om kijkglazen te vermijden teneinde dit soort scenario helemaal uit te sluiten.

2. Geen uitstroombegrenzing

Een vorm van uitstroombegrenzing voorzien bij kijkglazen is meestal moeilijk omdat het kijkglas rechtstreeks in een vat of in een leiding is ingebouwd.

Een manier van uitstroombegrenzing is het redundant uitvoeren van kijkglazen. Men voorziet 2 identieke kijkglazen op elkaar. Elk kijkglas is gespecificeerd om de volledige voorziene druk weerstaan. In geval van breuk van het binnenste glas fungeert het buitenste glas nog als barrière. Bovendien kan men visueel vaststellen dat het binnenste glas beschadigd is en tijdig een vervanging uitvoeren.

3. Plots en volledig falen van het kijkglas

De beste manier om dit scenario van zwaar ongeval te vermijden is het weren van kijkglazen uit de installaties.

Een kijkglas zal steeds *volledig en onaangekondigd breken*. Glas vertoont geen plastische vervorming of enig andere aanduiding die kan vastgesteld worden tijdens inspecties en waardoor een aankomend falen wordt aangekondigd.

Op het plots falen van een kijkglas is er één uitzondering namelijk het metaalversmolten glas (soms naar gerefereerd als veiligheidsglas). Zoals supra is vermeld worden de metaalversmolten kijkglazen aan een uniforme voorspanning onderworpen met als gevolg dat wanneer grote externe spanning op het kijkglas wordt aangelegd er geen plotse breuk optreedt. Er zullen barstjes verschijnen die de transparantie verslechteren maar de spanning verplaatst zich langs de barst tot ze weerom in een gebied van compressievoorspanning komt waar deze weer overwonnen dient te worden. Het resultaat is dat het glas lekdicht zal blijven. Men zal dus visueel kunnen vaststellen of het kijkglas aan een te grote belasting is onderworpen (geworden).

Het gebruik van metaalversmolten kijkglazen is beschreven in de norm DIN 7079 (“*Runde, metallverschmolzene Schauglasplatten für Druckbeanspruchung*”) [5]. Volgens deze norm kunnen dergelijke kijkglazen gebruikt worden in het bereik van -10°C tot 300°C en drukken tot 25 bar. De norm vermeldt uitdrukkelijk dat dit soort glas een veiligheidsvoordeel biedt door het feit dat een breuk van dit glas aangekondigd wordt door het ondoorzichtig worden van het doorkijkoppervlak zonder verlies van de lekdichtheid.

4. Externe impact

Een kijkglas is eveneens kwetsbaar door impact van voorwerpen buiten de behouder. Gezien het feit dat een kijkglas is ingebouwd in een behouder en een klein oppervlak van de behouder uitmaakt is de kans op contact met externe voorwerpen die vallen of waarmee gestoten wordt eerder klein.

5. Druk

Een kijkglas zal steeds onder een bepaalde druk staan en dus aan een bepaalde belasting onderworpen worden. Het gebruik van glas bij hoge drukken verhoogt het risico tweemaal: de eerste keer omdat de belasting en daarmee de kans op breuk verhoogt. Een tweede maal omdat in geval van een breuk de gevolgen ernstiger zullen zijn (grotere uitstroming, rondvliegende scherven).

Daarenboven moet er zorg voor gedragen worden dat er geen drukexcursies voorkomen omdat het glas in tegenstelling tot een metaal geen plastische vervorming toelaat en dus minder in staat is om piekbelastingen op te nemen. Het is daarom belangrijk dat men niet alleen met de operationele drukwaarden rekening houdt maar eveneens met de mogelijke drukpieken bij het specificeren van een kijkglas.

6. Kijkglas niet resistent

Indien het kijkglas dat voor een bepaalde toepassing en druk gebruikt wordt, dient het tevens tegen deze druk bestand te zijn. Er zijn drie mogelijkheden waardoor dit niet het geval kan zijn.

7. Kijkglas slecht gespecificeerd

Wanneer men een kijkglas inbouwt dat niet bestand is tegen de belasting die kan optreden in de behouder, zal een breuk onafwendbaar zijn. Bij specificatie moet men rekening houden met de maximale waarden voor druk en temperatuur die in de behouder kunnen voorkomen.

8. Chemische aantasting

Een kijkglas dat goed gespecificeerd is kan na verloop van tijd zijn oorspronkelijke eigenschappen verliezen door chemische aantasting. Dit proces is te vergelijken met het corroderen van een metaal dat hierdoor ook zijn sterkte-eigenschappen gewijzigd ziet. De chemische resistentie van glas is functie van de samenstelling van het glas, het fluïdum waarmee het in contact komt en de temperatuur.

Het soort kijkglas dient men te specificeren naargelang de gebruiksomstandigheden. Men kan opteren voor een soort glas dat resistent is tegen de meeste aantasting (bv. boorsilicaatglas). Men kan een beschermende film van kunststof aanbrengen om het glas te beschermen tegen het agressieve milieu. Men kan ook opteren om het glas na een bepaalde tijd te vervangen. Hiervoor is het wel nodig dat men een accuraat idee heeft van de aantastingssnelheid van het glas in de welbepaalde omstandigheden en de grens waarop het glas zijn oorspronkelijke sterkte-eigenschappen behoudt. Op te merken is dat tevens het flensmateriaal en de dichtingen die gebruikt worden voor het inbouwen van het kijkglas bestand moeten zijn tegen de inwerking van het fluïdum.

9. Spanningsconcentraties

De niet resistentie van het kijkglas kan ook te wijten zijn aan het bestaan of ontstaan van spanningsconcentraties in het glas. Door het gebrek aan plasticiteit van glas blijven deze spanningsconcentraties bestaan en zullen externe spanningen (vanwege de druk in het vat) hierop gesuperponeerd worden. Spanningsconcentraties zullen de sterkte-eigenschappen van een glas steeds negatief beïnvloeden. Het is daarom belangrijk om er zich van bewust te zijn op welke manier ze in het glas kunnen geïntroduceerd worden.

10. Spanningsconcentraties door de produktiemethode van het glas

Het bestaan van spanningsconcentraties in het glas is inherent verbonden met de manier van produceren (verschillende afkoelsnelheden in het materiaal) en verschillende behandelingstechnieken beogen dan ook deze spanningen te verminderen (bv. tempering). Anderzijds kan men door compressiespanningen in het glas te introduceren (ionen uitwisseling, thermisch temperen, mechanisch voorspannen) het glas juist meer bestand maken tegen trekspanningen.

Uit het soort glas dat men kiest kan men reeds afleiden hoeveel spanningsconcentraties in het glas aanwezig zijn. Dit vertaalt zich dan in bepaalde grenswaarden van drukkbestendigheid van het glas.

11. Spanningsconcentraties door temperatuurschommelingen

Spanningsconcentraties kunnen in het gemonteerde kijkglas geïntroduceerd worden door thermische schokken. Het kan hier zowel gaan om spanningen ontstaan ten gevolge van differentiële uitzetting in het glas zelf als spanningen tussen het glas en het inbouw materiaal. De thermische schokbestendigheid (E.: *thermal endurance*) is omgekeerd evenredig met de

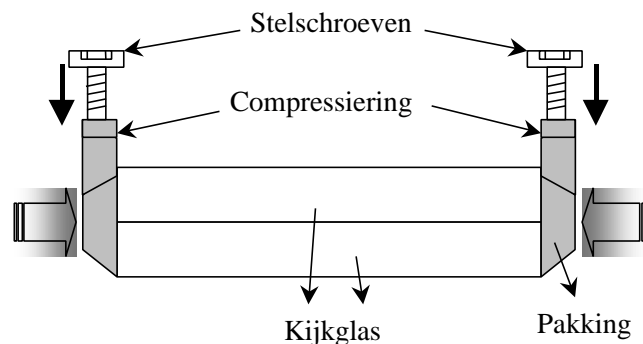
thermische expansiecoëfficiënt en de dikte van het glas. De bestendigheid tegen thermische schokken wordt getest door het afschrikken van het materiaal en te observeren of er breuk optreedt [5, 6].

Bij de specificatie van het glas dient opgegeven te zijn wat de maximale thermische schok of het maximale temperatuurverschil (tussen binnenkant en buitenkant) is zodat de oorspronkelijke sterkte behouden blijft. Vooral bij extreme klimaatsomstandigheden of opstartoperaties dient men er zorg voor te dragen dat deze grenzen in het proces niet bereikt worden.

12. Spanningsconcentraties door verkeerde inbouwwijze

Spanningsconcentraties kunnen eveneens ontstaan ten gevolge van de manier van inbouwen of monteren van het kijkglas. Door onregelmatige dikte van de flens of het dichtingsmateriaal of ongelijk(matig) aandraaien van de bevestigingsbouten kunnen spanningen in het glas geïntroduceerd worden. De kontaktoppervlakken dienen absoluut vlak te zijn uitgevoerd. Zo niet kunnen bij het aanspannen spanningsconcentraties in het glas ontstaan die zelfs bij montage glasbreuk kunnen opleveren. Gezien het verschil in thermische uitzetting tussen glas en flensmateriaal kan een bijkomende aanspanoperatie nodig zijn eens het toestel op temperatuur is. De twee voornoemde DIN normen [5, 6] stellen uitdrukkelijk dat de mechanische eigenschappen van het glas slechts bereikt worden bij correcte inbouw (bv. volgens DIN 28120). Tevens eisen deze normen dat kijkglazen slechts gemonteerd mogen worden door personeel dat terdege instructies heeft gekregen over de behandeling, reiniging en gelijkmatig aandraaien van kijkglazen. Algemener kan men stellen dat er steeds dient gezorgd te worden dat de inbouw van kijkglazen gebeurt volgens de instructies van de fabrikant.

Een bepaald type kijkglas tracht de spanningsconcentraties bij inbouw te ondervangen door een compressiering boven de pakking te monteren. Deze compressiering wordt met stelschroeven aangedraaid en zorgt voor een uniforme inwaartse compressie die te vergelijken is met het mechanisch voorspannen van glas (zie figuur 3). De voorwaarde blijft dat het kijkglas wel op een correcte manier gemonteerd dient te worden.

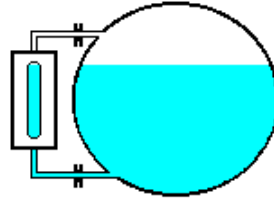


Figuur 3: principiële werking van een compressiering

5. Peilglazen

5.1. Soorten

Peilglazen (E: *level gauge glasses*) dienen om een uitwendige lokale niveaumeting te geven. Het meetprincipe berust op het fenomeen van de communicerende vaten (figuur 4): via een uitwendige verbinding zal het vloeistofniveau in het meetbeen hetzelfde zijn dan in het vat.



Figuur 4: communicerende vaten

Men kan grofweg drie verschillende soorten peilglazen onderscheiden (figuur 5):



Gewoon peilglas

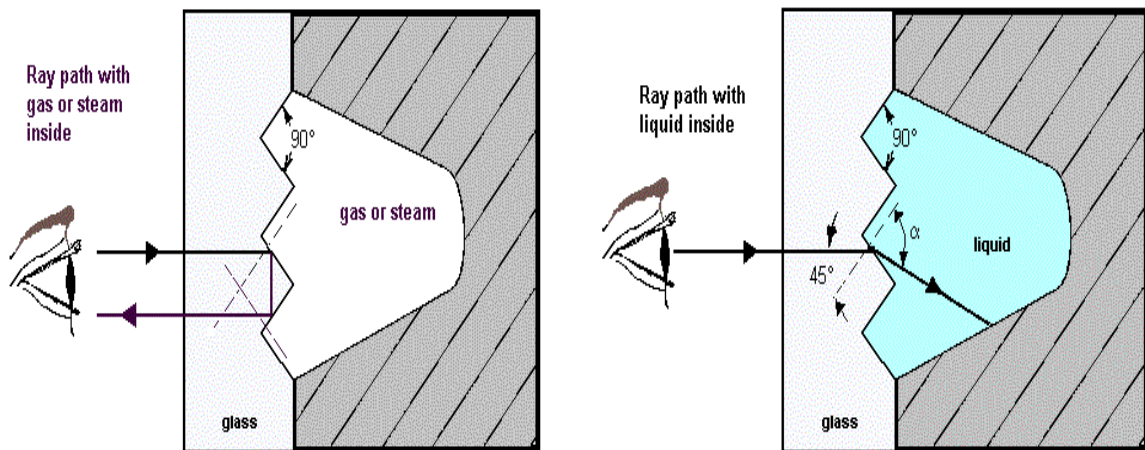
Gewapend peilglas

Magnetisch peilglas

Figuur 5: soorten peilglazen

Gewone peilglazen zijn glazen buizen waar men het vloeistofniveau of de interface tussen twee vloeistoffen kan op aflezen.

Bij **gewapende peilglazen** wordt het glas beschermd (E: *armoured*) tegen externe impacten door een metalen omhulling. Hier onderscheidt men twee types. Bij transparante peilmetingen zijn er twee glazen plaatjes waardoor men door de natuurlijke of kunstmatige lichtinval doorheen de plaatjes het niveau kan aflezen. Reflex peilmetingen hebben 1 glazen plaatje dat aan de binnenkant gegroefd is in hoeken van 45° . Door de verschillende brekingsindexen van vloeistof en gas (figuur 6) wordt het licht dat invalt op de vloeistof niet teruggekaatst (donker) terwijl het licht dat op de gasfaze invalt zilverkleurig terugkomt.

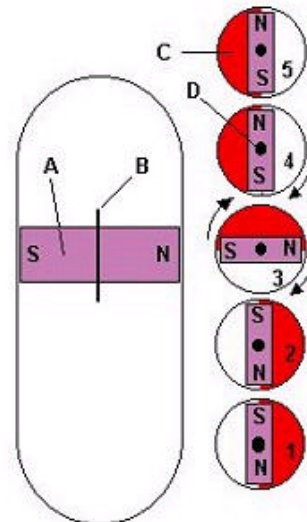


Figuur 6: principe van een reflex peilmeting

Dit type glas is niet geschikt als een vloeistofinterface moet aangeduid worden of als het glas van binnen dient bekleed te worden met een laag mica of een laag polytrifluorochloroethyleen tegen chemische aantasting.

Bij **magnetisch peilglazen** komt de procesvloeistof niet in contact met glas. Een verticale tube (die volledig uit het materiaal van het processtelsel kan gemaakt zijn) bevat een cilindervormige permanente magneet, gemonteerd op een niet-magnetische vlotter, die zich positioneert op het vloeistofniveau. Parallel daarmee is een doorzichtige buis waar een serie kleine permanente magneetjes zitten met een verschillende kleur voor hun helften. Wanneer de grote magneet in contact met de vloeistof langs de kleine magneetjes schuift laat hij deze een rotatie uitvoeren waardoor een andere kleur zichtbaar wordt (figuur 7).

- A: permanente cilindrische magneet op de vlotter
- B: draaias van magneet A
- C: kleine magnetische cylinder in de indicatorschaal
- D: draaias van kleine magneet
- S: magnetische zuidpool
- N: magnetische noordpool



Figuur 7: principe van een magnetische peilmeting

5.2. Faalwijzen en mogelijke remedies

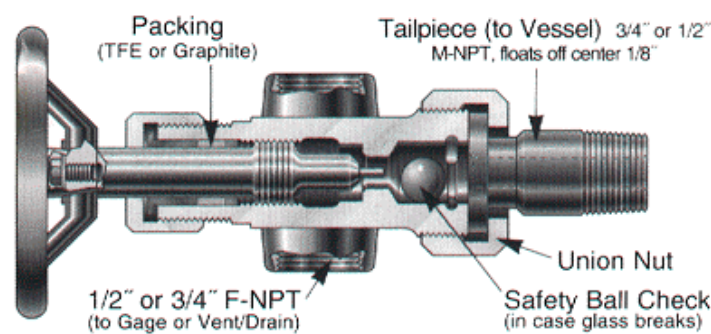
De foutenboom van figuur 1 is evenzeer van toepassing op peilglazen als op kijkglazen. De beschouwingen rond de verschillende factoren die kunnen aanleiding geven tot een zwaar ongeval bij een kijkglas gelden evenzeer voor peilglazen. We zullen hier enkel op de specifieke facetten van peilglazen ingaan.

1. Aanwezigheid van een gevaarlijke stof

Bij een ander type niveaumeting of een magnetische peilmeting wordt glas als zwak element helemaal uitgesloten. Het procesfluidum is niet meer in contact met het peilglas dus zal een breuk in het glas geen aanleiding geven tot een vrijzetting van het gevaarlijke produkt.

2. Geen uitstroombegrenzing

Bij peilglazen zal men gemakkelijker dan bij kijkglazen een technische manier vinden om bij faling een massale uitstroom van gevaarlijke stof te beperken. Een typisch voorbeeld zijn de uitstroombegrenzers (E.: *excess flow valves*, *ball check cocks*, zie figuur 8). Hierbij moet aangestipt worden dat hun functie duidelijk moet zijn zodat vermeden wordt dat de balletjes uit onwetendheid verwijderd worden. Tevens dient hun werking verzekerd te worden: de kraan die de vloeistof in het peilglas laat dient volledig open te zijn om het balletje goed vast te zetten in geval van breuk [18].



Figuur 8: uitstroombegrenzing

3. Plots en volledig falen van het peilglas

Bij peilglazen zal men geen beroep kunnen doen op de scheurvorming als waarschuwing voor een imminent falen zoals dat bij voorgespannen kijkglazen het geval is.

4. Externe impact

Omdat peilglazen uitsteken aan het procestoestel zijn ze gevoeliger voor externe impactten. Gewapende peilglazen bieden tegenover de gewone peilglazen het voordeel dat ze beter bestand zijn tegen accidentele botsingen met werknemers(gereedschap).

Voor een volledig falen van het peilglas blijft nog het **niet resistent zijn** van het peilglas tegen de aangelegde druk als oorzaak over. Hier gelden dezelfde overwegingen als bij kijkglazen. Het glas dient voor de voorziene belasting gespecificeerd te zijn en bestand tegen het fluidum. Om spanningsconcentratie te vermijden dient men temperatuurschokken tijdens gebruik in beschouwing te nemen en het peilglas te monteren volgens de instructies van de constructeur.

6. Codes en normen van goede praktijk

Hoewel in de veiligheidsliteratuur het risico van kijk- en peilglazen duidelijk onderkend wordt, blijken er op het terrein verschillende praktijken en benaderingen van het probleem te bestaan.

De “Technische Regeln Druckbehälter TRB 003” [15] laten peil- en kijkglazen toe mits ze voor de werkingsvoorwaarden gespecificeerd zijn, beschermd tegen externe beschadiging en beveiligd tegen massale uitstroming van produkt (evenwel zonder te specificeren welke beveiliging).

“API Standard 2510: Design and construction of LPG Installations” [2] verbiedt het gebruik van gewone peilglazen. Beschermd peilglazen moeten een uitstroombeveiliging hebben.

“API Recommended Practice 551: Process Measurement Instrumentation” [13] verbiedt de gewone peilglazen, laat het gebruik van beveiligde, beschermde peilglazen over aan de interne praktijk van de onderneming maar raadt magnetische peilmeting aan voor gevaarlijke stoffen.

De Noorse NORSOK standaard [12] stelt dat enkel magnetische peilglazen in koolwaterstoffendienst mogen gebruikt worden behalve voor het aangeven van vloeistofinterfaces. Peilglazen hebben steeds een uitstroombeveiliging (*safety ball check valves*).

De “NFPA 58: Standard for the Storage and handling of Liquefied Petroleum gases” [14] laat het gebruik van kijkglazen toe.

Het “Centre for Chemical Process Safety” raadt het gebruik van peilglazen af bij licht ontvlambare of toxische stoffen tenzij ze van het gewapende type of voor hoge druk ontworpen zijn [8]. Hierin wordt tevens verwezen naar aanbevelingen van de Industrial Risk Insurers’ Information Manual (1990) waar verdere aanbevelingen over het gebruik van kijk- en peilglazen bij gebruik met gevaarlijke vloeistoffen worden gegeven.

7. Ander gebruik van glaswerk in de procesindustrie

7.2. Procesinstrumentatie

Buiten kijkglazen en peilglazen bestaan er nog andere procesonderdelen en instrumenten die uit glas bestaan en een barrière vormen tussen een gevaarlijke stof en de omgeving. Het gebruik van glazen onderdelen in een installatie vloeit meestal voort uit de noodzaak om een visuele controle toe te laten van wat er zich afspeelt in de procesinstallatie. Als voorbeelden vermelden we rotameters (om de flow te meten) en stroomindicatoren (om een flow aan te geven). In de veiligheidsliteratuur (zie 2) komen niet alle mogelijke onderdelen in glas expliciet aan bod. Toch kan men redelijkerwijze stellen dat wanneer een dergelijk onderdeel is ingebouwd in een installatie waar gevaarlijke stoffen in aanwezig zijn, men rekening dient te houden met dezelfde risico’s als deze die aanwezig zijn bij kijk- en peilglazen.

Gezien de variëteit aan mogelijke onderdelen en configuraties kan hier niet nader op ingegaan worden. Wanneer men een dergelijk onderdeel in glas in een installatie wil inbouwen zal men geval per geval aan de hand van een risico-evaluatie moeten bekijken welke risico’s aanwezig zijn en welke maatregelen getroffen dienen te worden. De generische foutenboom in figuur 1 kan hiertoe een hulpmiddel zijn.

7.2. Procesinstallaties uit glas

Glas is een veelzijdig en goed beheerst bouw materiaal. Het is mogelijk om gehele procesinstallaties uit glas te ontwerpen, bouwen en te bedrijven. Tegenover de “klassieke”

materialen als metaal, steen en kunststof biedt glas een aantal voordelen. Door zijn doorzichtigheid wordt glas veel gebruikt in toepassingen waar het noodzakelijk (of mooi) is om te zien wat de toestand in de installatie is. Glas bezit een grote weerstand tegen inwerking van allerlei stoffen. Wanneer glas aangewend wordt met stoffen die geen diktevermindering van de wand teweegbrengen, zal het een praktisch onbeperkte levensduur hebben, mits het oppervlak van het glas onbeschadigd blijft. Verouderings- of vermoeiingsverschijnselen komen niet voor bij glazen onderdelen. Bovendien heeft glas geen katalytische eigenschappen en beïnvloedt het de smaak noch de geur van andere produkten.

Wanneer men een gedeelte of de totaliteit van een procesinstallatie in glas bouwt, zal men beroep doen op gespecialiseerde firma's die de technologie en de eigenschappen van glas beheersen. Aan glazen procesonderdelen werden tevens een aantal normen gewijd die genoegzaam bekend zijn bij de fabrikanten van dergelijke installaties. Als voornaamste normen zijn er:

- ❖ AD-Merkblatt N4 "Pressure vessels made of glass"
- ❖ In de DIN/ISO reeks: ISO 3585, ISO 3586, ISO 3587 en ISO 4704.

Het ligt niet in het bestek van deze informatienota om in te gaan op de wijze waarop een installatie in glas dient ontworpen of gebouwd te worden. Wel zullen een aantal aandachtspunten en mogelijke risico's toegelicht worden die voor de exploitant van een dergelijke installatie belangrijk zijn.

Bescherming tegen externe impact

Door zijn breekbaarheid dient glas beschermd te worden tegen externe impact. Niet alleen zal dit voorkomen dat het glas breekt door een contact met een voorwerp en de inhoud van de installatie vrijkomt, maar tevens zal dit het glasoppervlak vrijwaren van beschadigingen. Algemeen wordt gesteld dat glas slechts zijn eigenschappen van sterkte, drukbestendigheid en onbeperkte levensduur behoudt in zoverre dat het glasoppervlak niet beschadigd wordt. Zelfs kleine splinters of krassen van het oppervlak zullen deze eigenschappen negatief beïnvloeden. Deze oppervlaktebeschadigingen kunnen onder andere het gevolg zijn van:

- ❖ Wegvliegende steentjes van voorbijrijdend verkeer
- ❖ Werklieden die aan of in de nabijheid werkzaam zijn
- ❖ Het stoten of schaven van andere installatieonderdelen waarmee het glas in contact komt.
- ❖ Laswerkzaamheden in de buurt van glaswerk.
- ❖ Krassen door chemieresten of roerwerken die in de installatie gebruikt worden.

Belangrijk is dat men het glas beschermt tegen externe impacten gedurende de hele levensduur van de installatie t.t.z. bij opslag, installatie, transport, operatie en herstellingswerkzaamheden.

Een eenvoudige maatregel om het glas te beschermen tegen externe impacten en oppervlaktebeschadiging is het plaatsen van doorzichtige schermen. Waar deze schermen dienen aangebracht te worden in de installatie moet een risico-analyse uitwijzen. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van beschermende coatings (zie verder).

Bescherming tegen wegvliegend glas

In het onwaarschijnlijke geval dat een installatieonderdeel in glas het begeeft, zullen de werknemers blootgesteld worden aan wegvliegende glasdeeltjes. De voornoemde veiligheidsschermen bieden tevens bescherming tegen dit risico.

Beschermende coatings

Om de glazen installatieonderdelen meer bescherming te geven tegen oppervlaktebeschadiging en tevens het gevaar van rondvliegend glas te ondervangen, kan men het glasoppervlak bedekken (E: *coaten*) met een transparante kunststoflaag. De twee meest voorkomende voorbeelden van dergelijke bedekkingen zijn:

- ❖ Een thermoplastisch bedekkingspoeder op basis van ethylene-vinyl alcohol copolymeer (EVOH): biedt een uitstekende chemische weerstand en krasbestendigheid.
- ❖ Een bedekkingslaag van glasvezel verweven met polyester, bekend onder de naam *Corwrap*.

Buiten de bescherming tegen oppervlaktebeschadiging en versplintering beperken deze lagen ook in zekere mate het lekdebiet.

Belangrijk om te weten is dat deze *coatings* geenszins de mechanische (drukbestendigheid) en thermische (temperatuurschokken) eigenschappen verbeteren.

Thermische schokken

Men dient aandacht te hebben voor de maximale temperatuursverschillen die kunnen voorkomen in de installatie. Installaties in open lucht die bij relatief hoge temperaturen worden bedreven, kunnen beter geïsoleerd worden.

Elektrostatische oplading

Glas is een uitstekende elektrische isolator. Wanneer men werkt met ontvlambare stoffen dient het risico van elektrostatische ontladingen bekeken te worden. Een fluïdum met lage conductiviteit (specifieke weerstand $> 10^{10}$ Wcm) kan opgeladen worden door roering, splash vulling of stroming aan hoge snelheid door een pijpleiding. Volgende maatregelen kunnen de elektrostatische oplading beperken:

- ❖ Lage snelheid van roeders
- ❖ Beperking van de stromingssnelheid in leidingen (< 1 m/s).
- ❖ Vermijden van splash vulling en aanwenden van dippijpen.
- ❖ Goede aarding van de installatie. Hierbij dient men zorg te dragen dat metalen flenzen en kleppen tussen glazen pijpleidingen degelijk verbonden zijn met de metalen draagstructuur zodat de installatie op een equipotentiaal is. De actuele aardingsweerstand dient periodiek getest en mag niet meer dan 10^8 Ohm bedragen [4].

Wanddiktevermindering

Wanneer het glas in contact komt met een stof die glas aantast, zal dit een controle op de wanddikte op kritische plaatsen noodwendig maken. De mechanische eigenschappen van glas zijn immers slechts gevrijwaard bij de oorspronkelijke wanddikte van het materiaal.

8. Aanbevelingen

Om samen te vatten geven we hierna enkele aanbevelingen omtrent het gebruik van kijk- en peilglazen in de chemische procesindustrie.

We herinneren eraan dat het de taak is van de exploitant om de risico's in zijn installatie op te sporen en te evalueren². Indien een installatie glazen onderdelen bevat (of zal bevatten) zal de exploitant een risicoanalyse moeten uitvoeren om uit te maken of de specifieke risico's

² Art. 7 en 8 van het KB van 27 maart 1998 betreffende het beleid inzake het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk.

verbonden met deze installatieonderdelen voldoende beheerst zijn. De foutenboom in figuur 1 kan hier als hulpmiddel fungeren.

Indien het risico als te groot wordt geëvalueerd zal de exploitant de nodige maatregelen moeten treffen. De preventiemaatregelen dienen in dalende volgorde van prioriteit genomen te worden³:

1. Risico's voorkomen.
2. Schade voorkomen.
3. Schade beperken.

Bovendien dient men bij het nemen van de nodige maatregelen onder andere volgende preventiebeginselen toe te passen⁴:

- a) Risico's voorkomen.
- b) De evaluatie van risico's die niet kunnen voorkomen worden.
- c) De bestrijding van de risico's bij de bron.
- d) De vervanging van wat gevaarlijk is door dat wat niet gevaarlijk of minder gevaarlijk is.
- e) Zoveel mogelijk de risico's inperken rekening houdend met de ontwikkelingen van de techniek.
- f) De risico's op een ernstig letsel inperken door het nemen van materiële maatregelen met voorrang op iedere andere maatregel.

Bovenstaande principes zijn toe te passen op elke procesinstallatie, of men nu in een installatie geconfronteerd wordt met kijkglazen, peilglazen, andere instrumenten of onderdelen in glas of zelfs een gehele installatie in glas. De specifieke risico's die verbonden zijn met het materiaal glas moeten bekeken worden in een risicoanalyse en hieruit dienen de gepaste maatregelen bepaald te worden.

Voor kijk- en peilglazen kunnen we in dit kader de volgende aanbevelingen geven:

8.1. Kijkglazen

- ❖ Vermijden waar mogelijk.
- ❖ Specifiek naar gebruiksomstandigheden (druk, temperatuur) en fluidum.
 - ✓ Hou rekening met drukpieken en grote temperatuurverschillen.
- ❖ Vermijd spanningsconcentraties:
 - ✓ Vermijd temperatuursschokken tijdens bedrijf.
 - ✓ Monteer volgens instructies van de leverancier door personeel dat hiertoe is opgeleid.
- ❖ Metaalversmolten glazen waarschuwen voor imminente breuk door scheurvorming.
- ❖ Indien mogelijk en waar noodzakelijk een uitstroombegrenzing voorzien.

³ Art. 9 KB

⁴ Art. 5 §1 van de Wet van 4 augustus 1996 betreffende het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk.

8.2. Peilglazen

- ❖ Vervang de lokale uitwendige peilmeting via peilglazen door een andere manier van peilmeting: interne meting of via magnetische peilglazen.
- ❖ Specifieër naar gebruiksomstandigheden (druk, temperatuur) en fluïdum.
 - ✓ Hou rekening met drukpieken en grote temperatuursverschillen.
- ❖ Vermijd spanningsconcentraties:
 - ✓ Vermijd temperatuurschokken tijdens bedrijf.
 - ✓ Monteer op correcte wijze.
- ❖ Beschermd (*armoured*) peilglazen verdienen de voorkeur boven gewone (*tubular*) peilglazen.
- ❖ Waar noodzakelijk dienen peilglazen uitgerust met een systeem dat verhindert dat een massale hoeveelheid fluïdum vrijkomt bij beschadiging of breuk van het peilglas. De functie en werking van deze uitstroombegrenzing dienen duidelijk te zijn en steeds verzekerd te worden.

9. Referenties

- [1]. Critical aspects of safety and loss prevention, Trevor A. Kletz, 1990.
- [2]. Design and Construction of LPG installations, American Petroleum Institute, 1995.
- [3]. Design Considerations for Toxic Chemical and Explosive Facilities, America Chemical Society Symposium Series 345, 1987.
- [4]. DIN/ISO 3586: Apparate, Rohrleitungen und Fittings aus Glas: Allgemeine Grundsätze für Prüfung, Umgang und Gebrauch, Juli 1976.
- [5]. DIN 7079: Runde, metallverschmolzene Schauglasplatten für Druckbeanspruchung, mai 1999
- [6]. DIN 7080: Runde Schauglasplatten aus Borosilicatglas für Druckbeanspruchung ohne Begrenzung im Tieftemperaturbereich, 1996.
- [7]. Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide (seventh edition), The Dow Chemical Company, 1994.
- [8]. Guidelines for Engineering Design for Process Safety, Centre for Chemical Process Safety, 1993.
- [9]. Guidelines for Safe Storage and Handling of High Toxic Hazard Materials, Centre for Chemical Process Safety, 1988.
- [10]. Loss Prevention Bulletin, 134, april 1997.
- [11]. Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, Frank P. Lees, 1996.

- [12]. Norsok Standard: Field Instrumentation, Norwegian Oil Industry Association, December 1997
- [13]. Process Measurement Instrumentation, American Petroleum Institute, 1993.
- [14]. Standard for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases (NFPA 58), National Fire Protection Agency, 1989.
- [15]. Technische Regeln Druckbehälter, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1982.
- [16]. The Accident Database CD-ROM, The Institution of Chemical Engineers, 1991.
- [17]. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, 1997.
- [18]. What went wrong? Case histories of process plants disasters, Trevor A. Kletz, 1986

Internet referentiepagina's:

Encyclopedia Britannica: www.brittanica.com
The Corning Museum of Glass: www.cmog.org
www.glasswebsite.com
news.chemicalonline.com, 12/22/1998.
www.nts.no/norsok
Industrial Risk Insurers: www.industrialrisk.com

Commerciële info:

www.cesari-bonetti.it
www.infernomfg.com
www.nciweb.net
www.papailias.com
www.prelco.qc.ca
www.qvf.co.uk
www.isemagtech.com
archonind.com
www.johnernst.com
www.eep.thomasregister.com
www.yarway.com
www.proprocess.co.uk
www.qvf.co.uk

* * *