

Scenario tankputbrand in relatie met Alcoholen-opslag bij het N.W.B., Amsterdam

Onderwerp : Scenario tankputbrand in relatie met Alcoholen-opslag bij het N.W.B., Amsterdam
Casuïstiek inzake branden in tanks met vaste daken

Opdrachtgever : Noord-Europees Wijnopslag B.V. (het N.W.B.)
Dhr. F. Laumans

Ref.nr. : 1603616538

Opgesteld : J. de Jong

Gecontroleerd : M.F. Kock

Goedgekeurd : J. de Jong

Revisie : C

Datum : 07-10-2016

D&C documentnr. : R.16024



Rev.	Datum	Omschrijving	Opgesteld	Gecontr.	Goedgek.
0	12-06-2016	1 ^e indiening	J. de Jong	M.F. Kock	J. de Jong
A	02-08-2016	2 ^e indiening	J. de Jong	M.F. Kock	J. de Jong
B	07-10-2016	Revisie op basis van inbreng door het N.W.B.	J. de Jong	T.W. Bersma	J. de Jong
C	14-10-2016	Finaal document	J. de Jong	F. Laumans	J. de Jong

Inhoudsopgave

1	Scenario tankputbrand in relatie met Alcoholen-opslag bij het N.W.B., Amsterdam.....	1-1
1.1	Inleiding.....	1-1
1.2	Inhoud van dit rapport.....	1-1
2	Tanks en hun ontwerp- en bouwfilosofie	2-1
2.1	Inleiding.....	2-1
2.2	De ontwerp-, bouw- en testfase van een opslagtankinstallatie.....	2-1
2.2.1	Theoretische achtergronden m.b.t. het ontwerpen en bouwen van opslagtanks	2-1
2.2.2	Verskil in berekenmethodes tussen Europese normen en Amerikaanse richtlijnen.....	2-2
3	Brandveiligheid en PGS 29 [1].....	3-1
3.1	Inleiding.....	3-1
3.2	De PGS 29 [1]ten opzichte van de voorgaande CPR richtlijnen No. 9-2 [16] en 9-3 [15] en de daarin genoemde verwijzingen naar ontwerp- en bouwnormen c.q. instandhoudingsrichtlijnen.....	3-1
3.3	Het “credible” scenario van brand in tanks met vaste daken (zoals de NWB-tanks)	3-2
3.4	Het scheurnaadprincipe	3-3
3.5	Conclusies	3-7
4	Casuïstiek van tankbranden	4-1
4.1	Falen van opslagtanks op basis van onderzochte gebeurtenissen	4-1
4.1.1	Inleiding.....	4-1
4.1.2	BEVI-cijfers en model in Proteus-programma.....	4-1
4.2	Internationale cijfers over tankbranden	4-2
4.3	Het scenario branden in tanks met vaste daken	4-3
4.3.1	Faalkans van tanks met vaste daken	4-3
4.3.2	Scenario brand in tanks met vaste daken en domino-effect.....	4-4
4.4	Evaluatie van casuïstiek van tankputbranden	4-3
5	Conclusies	5-1
6	Referenties.....	6-1
7	Bijlage 1.....	7-1
7.1	Verskil in berekenmethodes tussen Europese normen en Amerikaanse richtlijnen.....	7-1
7.2	Toelaatbare veiligheidsfactor in gebruikstoestand.....	7-3
7.3	Minimale dikte van wandplaten in gebruikstoestand (50% criterium).....	7-3
8	Bijlage 2.....	8-1

1 Scenario tankputbrand in relatie met Alkoholen-opslag bij het N.W.B., Amsterdam

1.1 Inleiding

Het Noord-Europees Wijnopslagbedrijf b.v. te Amsterdam (hierna te noemen het N.W.B.) heeft D&C ENGINEERING (hierna te noemen D&C) de opdracht verstrekt om onderzoek te doen naar de casuïstiek van optreden van tankputbranden. Dit onderzoek wordt nodig geacht om te bezien of de te hanteren voorschriften uit de PGS 29 [1] van toepassing kunnen zijn op een tankterminal waar alleen Alkoholen worden opgeslagen.

Het N.W.B. heeft dit verzoek gericht aan D&C, gebaseerd op de langjarige ervaring die de medewerkers van D&C hebben als het gaat om onderzoeken van calamiteiten die wereldwijd plaatsvinden en nog steeds plaatsvinden. Tevens wordt dit verzoek gedaan uit hoofde van:

1. haar voorzitterschap van de CEN-commissie ¹ die, onder andere, de Euronorm EN 14015 [2] schrijft en beheert waaraan opslagtanks moeten voldoen tijdens de ontwerp-, bouw- en initiële testprocessen – die als enige wordt erkend om toegepast te worden bij nieuwbouw van opslagtanks in de PGS 29 richtlijn [1]

en

2. haar voorzitterschap van de opslagtankcommissie van de EEMUA-organisatie ² die, onder andere, de richtlijn EEMUA 159 [3] voor inspecteren en onderhouden van opslagtanks schrijft en beheert waaraan eenduidig wordt gerefereerd in de PGS 29 [1] m.b.t. geëiste inspectie- en onderhoudstaken aan opslagtanks die ontworpen en gebouwd worden volgens de beschikbare tankontwerp- en -bouwnormen, zoals BS 2654 [4], API 650 [5] en EN 14015 [2] normen

1.2 Inhoud van dit rapport

In dit rapport worden verschillen beschreven in theorieën voor ontwerpen en instandhouden van opslagtanks zoals beschreven in Amerikaanse en Europese normen, richtlijnen en standaarden. Die verschillen leiden tot enorme verschillen in faalmechanismen en faalfrequenties van die opslagtanks. Vooral faalfrequenties die BEVI- hanteert op basis van casuïstiekonderzoek kan en mag men niet over één kam scheren als het om tanks gaat die op basis van Amerikaanse standaarden en richtlijnen worden ontworpen, gebouwd, geopereerd en in stand gehouden t.o.v. die welke op Europese grondslagen worden bedreven.

In hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft D&C al die verschillen en geeft aan wat de consequenties zijn van die verschillen in minimale diktes van tankcomponenten, zowel in

¹ Centrum voor Europese Normalisatie (CEN), Brussel, België.

² Engineering, Equipment and Materials' Users Association (EEMUA), London, Verenigd Koninkrijk.

nieuwbouwsituatie als bij vaststelling van de afkeurlimieten onder “credible” degradatiemechanismen (corrosie en zetting).

Op basis van haar beoordeling van beschikbare databases ter bepaling van faalfrequenties van opslagtanks, beschrijft D&C in hoofdstuk 3 de mogelijkheid of onmogelijkheid van het hebben van een, zo genaamd, scheurnaadprincipe in tanks met vaste daken. Dit is mede gebaseerd op de vele onderzoeken naar calamiteiten met vaste daktanks die zij heeft verricht en waar D&C's invloed geleid heeft tot aanpassingen van rekenregels en aanbevelingen in normen (BS 2654 [4] en EN 14015 [2]), standaarden (API 650 [5]) en richtlijnen (API 653 [10] en EEMUA 159 [3]) – en in haar eigen publicatie die verschenen is als EEMUA 180 [14].

In hoofdstuk 4 gaat D&C in op de – uit vele databases bepaalde – casuïstiek van falen van opslagtanks met vaste daken en welke domino-effecten er op (kunnen) treden. Daar geeft zij de verschillen in het falen en de daarbij optredende domino-effecten weer bij vaste en drijvende daktanks. Omdat de temperatuur van een kokende vloeistof bij normale atmosferische druk nooit hoger kan worden dan de kooktemperatuur van dat product zal de tankwand bij tanks met vaste daken onder het vloeistofniveau in stand blijven en niet kunnen falen.

In hoofdstuk 5 beschrijft D&C dan de conclusies die zij kan trekken gebaseerd op de beoordeelde casuïstiek.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 de referenties aangegeven van de gebruikte normen, standaarden en richtlijnen.

2 Tanks en hun ontwerp- en bouwfilosofie

2.1 Inleiding

Als het om tankbranden gaat dan moeten die onderverdeeld worden in relatie met de verschillende uitvoeringen die opslagtanks kunnen hebben. PGS 29 [1] en de – in hoofdstuk 1 genoemde – ontwerp- en bouwnormen voor opslagtanks, zoals BS 2654 [4], API 650 [5] en EN 14015 [2] gaan over tanks met vlakke bodems die volledig ondersteund worden door hun fundamenteën, met een cilindrische tankwand. Die tanks kunnen op hun beurt onderverdeeld worden in:

1. Tanks met vaste daken (FXT of fixed roof tanks genoemd).
2. Tanks met drijvende daken (EFRT of external floating roof tanks genoemd).
3. Combi-tanks (tanks met een vast dak (kegel- of domevormig), waarin een inwendig drijvend dak is geplaatst.
 - 3.1 Zo'n vast dak kan een stalen dak zijn (dan worden deze tank IFRT of internal floating roof tanks genoemd)
of
 - 3.2 Een geodetische dome die van aluminium is gemaakt (dan worden deze tanks CFRT of covered floating roof tanks genoemd).

In het kader van dit onderzoek wordt alleen ingegaan op het type tank met een vast dak zonder een inwendig drijvend dak (FXT), omdat dit het type tank is waarmee het N.W.B. haar operaties uitvoert.

2.2 De ontwerp-, bouw- en testfase van een opslagtankinstallatie

2.2.1 Theoretische achtergronden m.b.t. het ontwerpen en bouwen van opslagtanks

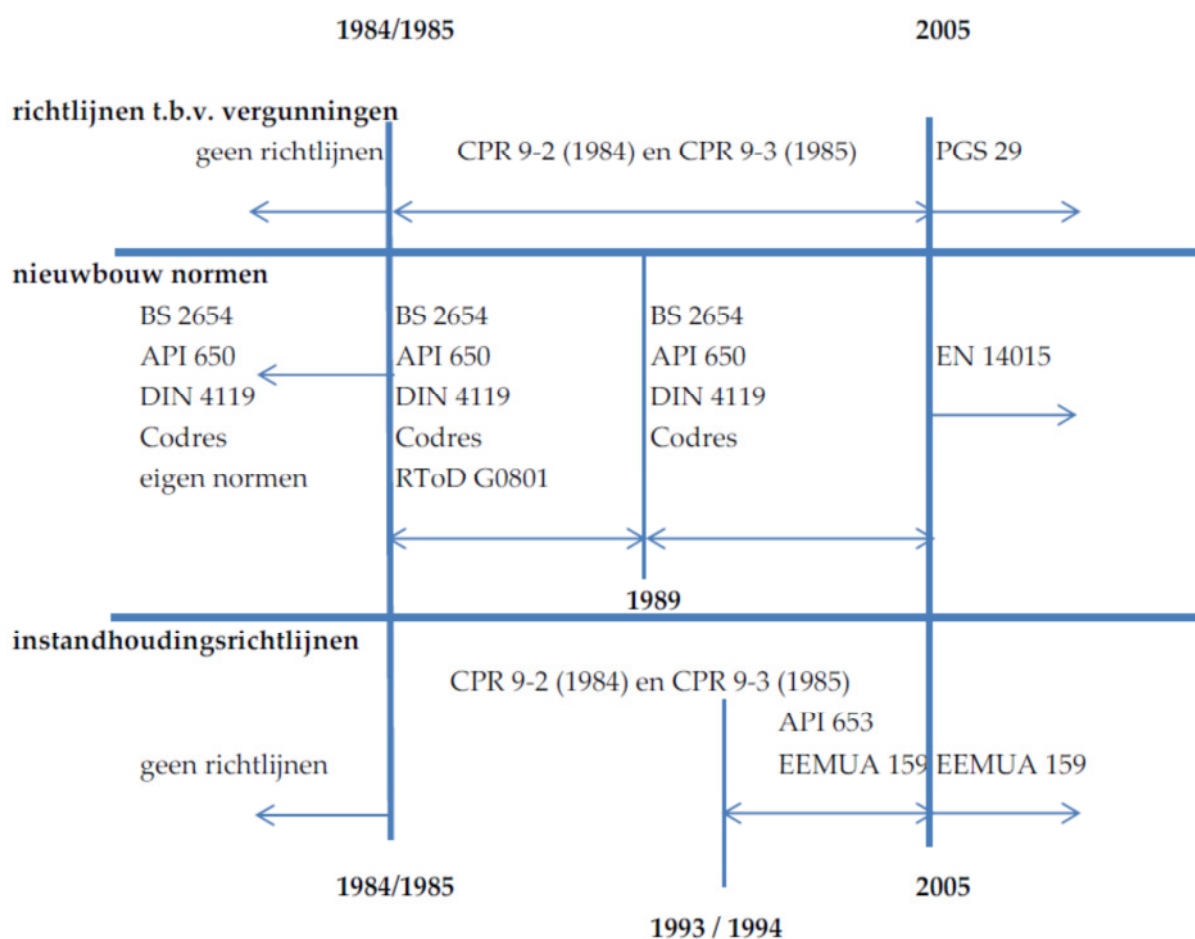
In Nederland is pas vanaf 1984 beleid ingevoerd omtrent welke normen van toepassing zijn bij het ontwerpen, bouwen en testen van opslagtanks en welke eisen er aan tankinstallaties gesteld moeten worden. Voor het ontwerpen, bouwen en testen paste men gewoonlijk buitenlandse normen toe, zoals de Amerikaanse norm API 12C [6], de voorloper van de API 650 [5] en de Britse norm BS 2654 [4], in revisies zoals die geldig waren ten tijde van de initiële bouw. Pas in 1984 verscheen er een Nederlandse tanknorm – opgenomen in de zogenaamde “Stoomwezen-bladen”, Regels voor toestellen onder druk – blad G 0801 [7], die voor het eerst aanvullingen noemde op eisen van de BS 2654 [4], voor zowel het ontwerp en de bouw van, alsmede lasonderzoeken aan, tanks die in Nederland gebouwd werden.

Omdat de internationale normen verder ontwikkelden, er steeds revisies werden uitgegeven en de Stoomwezenregels die niet steeds volgden, werden die regels al snel na eerste publicatie teruggetrokken door het ministerie van sociale zaken en werkgelegenheid (de instantie waaronder Stoomwezen functioneerde). Destijds werden dus gewoon weer opslagtanks ontworpen en gebouwd volgens de BS 2654 [4] en de API 650 [5].

Sinds 2005 zijn deze normen officieel niet meer van toepassing na het verschijnen van de Europese tanknorm EN 14015 [2]. Sinds dat jaar wordt nog alleen toegestaan tanks te ontwerpen en te bouwen volgens de theorie van die Europese norm (zie PGS 29 [1]).

In onderstaand schema (figuur 2.2.1-1) wordt een relatie gelegd tussen (vergunnings)eisen, de daarin genoemde richtlijnen en beschikbare en toegepaste normen verdeeld over jaren waarin die richtlijnen en normen beschikbaar kwamen.

NB: de tanks bij het N.W.B. zijn in het merendeel gerealiseerd voor 1984.



Figuur 2.2.1-1 **Verschijningsdata en beschikbaarheid van richtlijnen en normen door de jaren heen**

2.2.2 Verschil in berekenmethodes tussen Europese normen en Amerikaanse richtlijnen

In Amerika kende men een begrip als het "bouwbesluit" niet en zijn er ook grote verschillen in perceptie over valide belastingen die men mee moet nemen in berekeningen in vergelijking met de regels die gelden in Europa. De Technische Grondslagen Bouwbesluit (de normen EN 1991 [8] en EN 1993 [9] die bekend staan onder de term TGB's) leggen vast

welke belastingen als permanente belasting meegenomen moeten worden en welke belastingen als tijdelijk of niet permanent beoordeeld mogen worden.

Deze (zeer) technische uiteenzetting is nader beschreven in bijlage 1. De conclusies die hieruit zijn te trekken voor de situatie bij het N.W.B zijn als volgt:

Op basis van de verschillende Amerikaanse (API 653 [10]) respectievelijk Europese (EEMUA 159 [3]) normen zouden de verschillen in de tankwandring diktes, v.w.b. afkeurlimieten, op kunnen lopen zoals gespecificeerd in onderstaande tabel. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in PGS 29 [1] herhaald wordt dat afkeurlimieten alleen bepaald mogen worden aan de hand van de EEMUA 159 [3].

Tank diameter [m]	verschil [mm]
$D < 15$	0
$15 \leq D < 30$	0,5
$30 \leq D < 60$	1,5
$60 \leq D < 75$	2,5
$75 \leq D < 100$	3,5
$100 \leq D$	4,5

Tabel: 2.4-1 Verschillen afkeurlimieten tankwandringen tussen EEMUA 159 [3] en API 653 [10] (negatiever).

De grootste tanks van het N.W.B. hebben een diameter van 14,25 m. De grootste hoogte van de tanks is 13,40 m. Gelet op bovenstaande tabel maken verschillen tussen de normen voor het beoordelen van de tanks van het N.W.B. dus niet uit.

3 Brandveiligheid en PGS 29 [1]

3.1 Inleiding

De PGS 29 [1] baseert zich, voor wat betreft brandveiligheid en de toepassing van koel- en blusinstallaties op internationale normen, zoals de IP code 19 [11] (Europese invloeden) en verschillende Nationale Fire Protection Agency codes, waaronder de NFPA 30 [12] en de NFPA 780 [13] (Amerikaanse invloeden). Gelijk aan de verschillen tussen de ontwerp- en de bouwnormen uit die werelddelen kennen ook deze richtlijnen grote verschillen in (veiligheids)perceptie en -beleving. Geen verschillen zijn er v.w.b. de geëiste debieten van bluswater en blusschuim m.b.t. blusscenario's als een tank of een onderdeel daarvan in brand staat.

3.2 De PGS 29 [1] ten opzichte van de voorgaande CPR-richtlijnen No. 9-2 [16] en 9-3 [15] en de daarin genoemde verwijzingen naar ontwerp- en bouwnormen c.q. instandhoudingsrichtlijnen

In het onderhavige geval gaat het bij het N.W.B. om een tankinstallatie die zou passen in de vroeger geldende richtlijn ter voorkoming van rampen CPR 9-3 [15]. Echter, deze richtlijn werd pas ingevoerd in 1984 (zie hoofdstuk 2.2.1). Daarvoor werden alleen maar tanks gebouwd en gebruikt en gold dat er nauwelijks een eenduidig beleid omtrent inspecties en onderhoudseisen in de wereld noch in Nederland van toepassing was. Immers de "hausse" in gebruik van fossiele brandstoffen werd eerst na de tweede oorlog voelbaar, met dieptepunten in de jaren 1973/1974 toen er het zgn. olie-embargo gold uit de OPEC landen. Dat leidde tot het vergroten van de eigen opslagcapaciteit in de westerse landen (strategische opslag) en op haar beurt weer in het vergroten van de individuele tankopslagcapaciteit op basis van vergrote capaciteit van raffinaderijen.

Eerst na grotere ongelukken met opslagtanks werd de behoefte aan richtlijnen voor inspecties en onderhoudseisen voelbaar. Die ongelukken leidden tot het opstellen en publiceren van voorgaande edities van inspectie en onderhoudsrichtlijnen zoals de API 653 [10] en de EEMU 159 [3]. Maar ook nu nog is bv. de API 653 [10] niet geldig in 46 van de 52 staten van de USA omdat men daar de verantwoordelijkheid voor opereren met opslagtanks neerlegt bij de eigenaar en het is aan hem om te bepalen of en hoe hij zijn installatie zal (willen) onderhouden. Alleen bij calamiteiten zullen overheidsinstanties bepalen of er sprake is van (grote) nalatigheid en de daarbij samenhangende "claimcultuur" in de USA noopt bedrijven wel een eigen beleid te implementeren.

Op basis van eigen ervaringen van de auteurs van dit rapport zijn die eigen inspectie en onderhoudsstrategieën in de USA toch wel een zwakke afspiegeling van datgene dat in de API 653 [10] beschreven staat. Maar, zoals ook beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport, staat de API 653 [10] veel lagere limiet- c.q. afkeurgrenzen toe, waardoor tanks die geïnspecteerd en onderhouden worden op basis van de theorie van de API 653 [10] weer een hogere faalfrequentie op ten opzichte van opslagtanks die in stand gehouden worden op basis van de theorie en eisen die genoemd zijn in de EEMUA 159 [3].

Op haar beurt levert het NIET gebruiken van de best beschikbare methodieken voor inspecties en onderhoudstaken en het NIET naleven van eisen – v.w.b. inspectiefrequenties, nauwkeurigheidsbepalingen daarvan en het goed onderhouden van opslagtanks – weer een hogere faalfrequentie op. Ook uitgelegd is in hoofdstuk 2 (respectievelijk bijlage 1) van dit rapport dat de wijze van berekenen van kritieke tankonderdelen sterk verschillen in de genoemde ontwerp- en bouwnormen. Mocht men voor 2005 in Nederland opslagtanks bouwen volgens de API 650 [5] – waarin, zoals aangetoond in hoofdstuk 2 van dit rapport, valide belastingen die geëist werden en worden door de Technische Richtlijnen Bouwbesluit (TGB's) om bv. diktes en afmetingen van tankonderdelen te bepalen, NIET meegenomen werden – dan is dat nu alleen nog maar mogelijk op basis van de EN 14015 [2] en de daarin gerefereerde TGB's en Eurocodes.

Ook kan gesteld worden dat de faalfrequenties die men op basis van databases heeft bepaald en waar incidenten met opslagtanks zijn opgenomen die op basis van zelfs de huidige en voorgaande edities van de API richtlijnen ontworpen, gebouwd (API 650 [5]), geïnspecteerd en onderhouden worden (API 653 [10]), hoger ingeschat zijn t.o.v. tanks die ontworpen en gebouwd worden op basis van Europese normen (BS 2654 [4] EN 14015 [2] en de daarbij gerefereerde TGB's en Eurocodes) en in stand gehouden worden volgens de eisen van de in de PGS 29 [1] gerefereerde EEMUA 159 [3] richtlijn.

Met andere woorden: de faalfrequenties voor opslagtanks en bijbehorend equipment zoals beschreven in de PGS 3 (Het Paarse boek, 1999 [20]) en zoals deze zijn overgenomen in de rekenmodellen Proteus III en Safeti, zijn gebaseerd op de tanks gebouwd volgens de oude richtlijnen.

3.3 Het “credible” scenario van brand in tanks met vaste daken (zoals de N.W.B.-tanks)

Bij tanks met vaste daken gaat de PGS 29 [1] ervan uit dat de inhoud van een tank met een vast dak zal branden als er de volgende condities optreden:

1. Er wordt een chemisch of petrochemisch product opgeslagen in de productklassen 1, 2 of (onverwarmd) 3 – zie voor productklassen, gebaseerd op vlampunthoogtes, de genoemde IP code 19 [11].
2. Er moet een dampmengsel boven het product voorkomen dat zich bevindt tussen de grenzen LEL of LFL (Lower Explosion Level of Lower Flammability Level) en UEL of UFL (Upper Explosion Level of Upper Flammability Level). Daarbij gaat men ervan uit dat in dampfases die onder de LEL of LFL niveaus liggen er een ondermaat van verdampt product in de damp voorkomt waardoor er te weinig koolwaterstoffen in die damp voorkomen die tot ontbranding kunnen komen. Bij dampfases die boven UEL of UFL liggen, is er sprake van een verzadigde damp en een ondermaat van zuurstof dat zich in die damp bevindt. Ook hierdoor kan de damp niet tot ontbranding komen.

3. De tank wordt blootgesteld aan een warmteradiatie uit een nabije brand waardoor de temperatuur in de tank verhoogd wordt en de druk kan oplopen boven het ontwerpniveau van de betreffende tank.

Naast bovengenoemde condities kent de EEMUA 180 [14] nog een aantal andere scenario's die zou kunnen leiden tot een tankbrand. Die scenario's worden in onderstaand hoofdstuk verder uitgewerkt en waar het begrip "frangibility" naar voren komt. In PGS 29 [1] wordt dan gesproken van een "scheurnaadprincipe".

3.4 Het scheurnaadprincipe

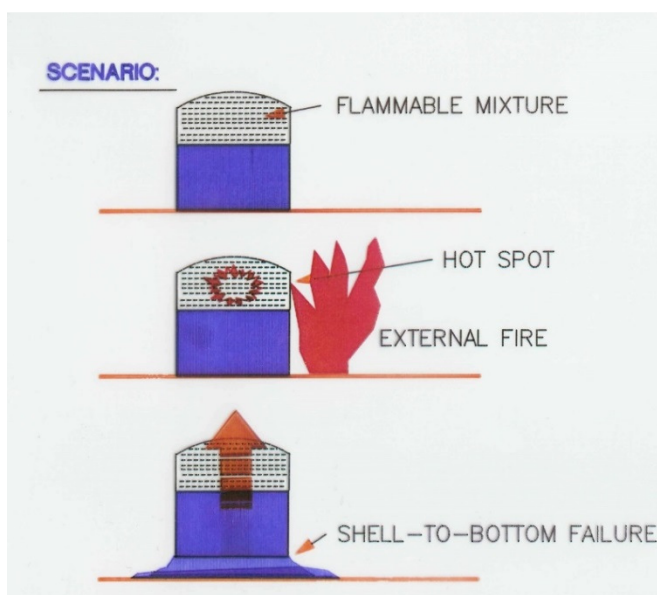
D&C voerde in 1985 onderzoek uit, in opdracht van Shell, na een grote brand in Frankrijk (nabij Lyon) binnen een opslaglocatie.

Die brand leverde het trieste resultaat van enkele doden (veelal brandweermensen) en vele gewonden. Bovendien was die brand vele malen groter dan Buncefield, hoewel hier geen gaswolkexplosie optrad. D&C heeft zich er altijd over verbaasd dat die brand in Frankrijk nooit zoveel aandacht kreeg als Buncefield, waar géén doden en gewonden vielen. De resultaten van het toenmalig onderzoek dat door D&C werd uitgevoerd, leidde tot aanpassing van Appendix F in BS 2654 [4], en aanpassing van Appendix F in API 650 [5], en tot het publiceren van EEMUA 180 [14].

Het resultaat van dat onderzoek leverde de volgende conclusies op:

Het optreden van een interne explosie, waarvoor een scheurnaad bedoeld is om een domino-effect te voorkomen (de tank mag niet scheuren bij de bodem/wandverbinding en een raket worden waardoor de calamiteit escaleert) kan slechts plaatsvinden bij de volgende scenario's:

1. Externe brand waarbij een "hot spot" optreedt in de tankwand door de vlammen van de brand (zie figuur 3.4-2) die een inwendige explosie veroorzaakt. Dan moet er zich dus ook een brandbaar dampmengsel boven het vloeistofoppervlakte bevinden (damp tussen de grenzen LEL en UEL).



Figuur 3.4-2 **Het fenomeen “lanceren van tanks”.**

Let op: zonder een “hot spot” kan dit scenario geen inwendige explosie veroorzaken en wordt het volgende scenario maatgevend.

2. Externe brand waarbij door warmteradiatie uitredende damp uit de tank ontsteekt en vermengd met lucht in brand raakt en waarbij de vlammen terug slaan de tank in. Met andere woorden: er ontstaat onvoldoende snelheid van de ontsnappende damp uit de tank (blijft beneden de vlamvoortplantingssnelheid).

Voor het N.W.B. is deze situatie nader onderzocht.

De vlamvoortplantingssnelheid (laminaire vlamsnelheid) van ethanol is gevonden in onderstaande tabel zoals opgenomen in een doctoraal-proefschrift [26].

Hoofdstuk 9. GEM: Componenten

Eigenschap	Methanol	Ethanol	Benzine (Euro95)
Chem. formule	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	Variabel
Zuurstofinhoud [m%]	50	34.8	0
Massaspecifieke LHV [MJ/kg]	20.09	26.95	42.90
Volumetrische LHV [MJ/l]	15.9	21.3	31.8
AFR _{stoich} [kg/kg]	6.43	8.95	14.4
$\rho_{\text{vloeistof}}$ bij 20°C [kg/l]	0.791	0.789	±.740
ρ_{damp} [kg/m ³]	4.775	1.430	2.056
Δh_{vap} [kJ/kg]	1100	838	180-350
Zelfontstekingstemp. [°C]	465	425	228-460
α (#H/#C in brandstof)	4	3	±2.25
Ratio triatomaire/diatomaire producten	0.532	0.443	0.351
Laminaire vlam snelheid bij $\lambda = 1$ en NTP [cm/s]	42	40	28
Adiabatische vlamtemp. [°C]	1870	1920	2002
Specifieke CO ₂ uitstoot [g/MJ]	68.44	70.99	73.95

Tabel 9.1: Eigenschappen van methanol, ethanol en benzine

Met deze vlamvoortplantingssnelheid is een aantal voorbeeld berekeningen uitgevoerd voor fictieve mogelijkheden. Hierbij is uitgegaan van een dampruimtevolume van 210, 1050 respectievelijk 1890 m³ die in temperatuur stijgt waarbij deze stijging is verondersteld op te treden met 1, 2, 5 of 10 graden Celsius per minuut (ΔT). De uitgewerkte berekeningen zijn te vinden in bijlage 2.

Uit deze voorbeeldberekeningen blijkt dat de uittredende damp bij een temperatuurstijging van 1 graad Celsius bij een dampruimte van 1 m³ al een snelheid heeft van 1,7 m/s die hoger is dan de vlamvoortplantingssnelheid van 0,4 m/s. Vlamterugslag is dan niet mogelijk. Grotere dampruimten leveren ook grotere dampemissies op, die door dezelfde be- en ontluchtingsleiding gaan en dus een hogere snelheid krijgen.

(N.B: al bij een temperatuurstijging van 0,24 graad Celsius in een dampruimte van 1 m³ is de uittredesnelheid van de damp hoger dan de vlamvoortplantingssnelheid).

De uitgetreden damp wordt aangevuld vanuit de vloeistof en betreft pure ethanoldamp. Dan wordt op een gegeven moment de UEL bereikt en is ook op basis daarvan vlamterugslag onmogelijk.

Uit metingen die zijn verricht tijdens het vullen van een tank nabij de uitmonding van de ontvluchtungsleiding is gebleken dat de LEL-waarde (bij opslag van ethanol) op enkele centimeters van deze uitmonding al weer wordt onderschreden. Derhalve is het risico op het ontsteken van uittredende damp met vlamterugslag zeer klein tot nihil.

3. Blikseminslag op dakplaten waar doorbranding plaatsvindt bij dakplaten < 4.8 mm - zie hiervoor de NFPA 780 [13] , Sectie 7 – zie onderstaande tekst.

Sectie 7.1.2.1 van NFPA 780 [13] geeft de volgende tekst weer:

QUOTE

Metallic structures that are electrically continuous tightly sealed to prevent the escape of liquids, vapours and gases and of 4.8 mm thickness or greater, to withstand direct strikes, shall be considered to be inherently self-protecting.

UNQUOTE

Sectie 7.3.2 van NFPA 780 [13] geeft het volgende aan:

QUOTE

Sheet steel (plates) less than 4.8 mm in thickness shall NOT be relied upon as protection from direct lightning strokes.

UNQUOTE

In aanvulling op het bovenstaande geeft sectie 7.4.1 het volgende aan v.w.b. bescherming van brandbare dampmengsels in tanks:

QUOTE

All joints in steel structures containing flammable liquids, vapours or gases shall be considered protected against lightning (inherently self-protecting) if the following requirements are met:

- *All joints between metallic components shall be riveted, bolted or welded.*
- *The minimum thickness of 4.8 mm shall be provided in all metallic plates that are considered to hold the flammable liquids, vapours or gases.*

UNQUOTE

Bovendien noemt EEMUA 180 [14], mede gebaseerd op het door D&C uitgevoerde onderzoek voor Shell, nog een aantal andere scenario's die van toepassing kunnen zijn, maar waarvan de (brand)casuïstiek aangeeft dat die veel minder voorkomen, zoals:

4. Heet werk aan een tank (lassen en branden) terwijl die niet voldoende gasvrij gemaakt is.
5. Overslag vonken uit opbouw van statische elektriciteit bij producten waarvan de geleidbaarheid lager is dan 50 picoSiemens per meter [pS/m].
6. Overslag vonken uit opbouw van statische elektriciteit bij gebruik van een inwendig drijvend dak dat onvoldoende is geaard (let op verschillen in eisen tussen BS 2654 [4] en EN 14015 [2]).
7. "Pyrophoric iron sulphite" sediment in tanks.
8. "Glowing carbonaceous (coke)" sediment in bitumentanks.

Punt 4: geeft alleen een explosie maar geen brand die andere objecten zal aanstralen en kan daarmee het scenario niet initiëren. De punten 5 t/m 8 kunnen zich, op basis van de opgeslagen producten bij het N.W.B. niet voor doen.

Uit wanddiktemetingen bij het N.W.B. is gebleken dat de voor blikseminslag gevoelige tanks (alle hogere tanks) een stalen dak hebben met een dikte van 5 mm. Blikseminslag als oorzaak voor een tankbrand is hiermee een te verwaarlozen risico.

3.5 Conclusies

In voorgaande hoofdstukken is aangegeven dat er verschillen zijn in normen, revisies daarvan en in richtlijnen waarop de WABO-vergunning zich voor de N.W.B.-tanks zal baseren (zie ook figuur 2.2.1-1). In hoofdstuk 2 zijn grote verschillen beschreven tussen de normen die in Amerika beschikbaar zijn en die in Europa gelden. De grootste verschillen liggen in het niet toepassen van valide belastingsgevallen (dampdruk en vacuüm-belastingen) die in de API 650 [5] verwaarloosd mogen worden.

Ook zijn er grote verschillen tussen de instandhoudingsnormen EEMUA 159 [3] en de API 653 [10]. Volgens hoofdstuk 2 (zie ook bijlage 1) mag, in Europa, de veiligheidsfactor in gebruikstoestand niet lager gekozen worden dan $\gamma = 1,25$ en op deze waarde zijn alle te berekenen afkeurlimieten van tankonderdelen te bepalen. De API 653 [10] laat deze factor zelfs afnemen tot $\gamma = 1,11$ voor hogere wandringen dan de laagste twee ringen en voor de onderste 2 wandringen geldt een waarde van $\gamma = 1,136$. Deze waarde is volgens Europese regelgeving (TGB's en EN 1993 [9]) ontoelaatbaar. Bovendien hanteert de API 653 [10] veel lagere afkeurlimieten voor de tankwanden. In tabel 2.4-1 is aangegeven dat de dikteverschillen op kunnen lopen tot wel 4,5 mm!

Voor de tanks bij het N.W.B. blijken deze verschillen echter geen gevolgen te hebben voor deze tanks omdat deze niet groot genoeg zijn daarvoor (diameters van alle tanks < 15m).

Ook de richtlijnen m.b.t. brandscenario's (IP code 19 [11] en NFPA 30 [12]) lopen sterk uiteen, v.w.b. te hanteren veiligheidsafstanden tussen tanks en omliggende infrastructuur en de benodigde (koel)watersuppletie. De PGS 29 [1] heeft specifieke eisen van beide richtlijnen overgenomen en hier kan en mag wel afgeweken worden mits er van een gelijkwaardigheidsprincipe uitgegaan wordt bij de keuze van de genomen of voorgestelde maatregel(en).

De faalfrequenties voor opslagtanks en bijbehorend equipment zoals beschreven in de PGS 3 (Het Paarse boek, 1999 [20]) en zoals deze zijn overgenomen in de rekenmodellen Proteus III en Safeti, zijn gebaseerd op de tanks gebouwd volgens de oude richtlijnen zoals hiervoor benoemd. Hieroor zijn deze faalfrequenties voor de situatie van het N.W.B. goed toepasbaar.

Het risico van vlamterugslag als bron voor het optreden van een tankbrand bij het N.W.B. is uit te sluiten als gevolg van:

- 1 Gemeten lage LEL-waarden bij de uitmonding van ontluchttingsleidingen.

- 2 Bij opwarming door nabije tankbrand een snel optreden van hogere dampemissiesnelheid dan de vlamvoortplantingssnelheid.

Blikseminslag als bron voor een tankbrand bij het N.W.B. is op basis van de NFPA 780 [13] wand/dankdikte norm van minstens 4,8 mm te verwaarlozen omdat de daarvoor gevoelige tanks een materiaaldikte hebben van 5 mm.

4 Casuïstiek van tankbranden

4.1 Falen van opslagtanks op basis van onderzochte gebeurtenissen

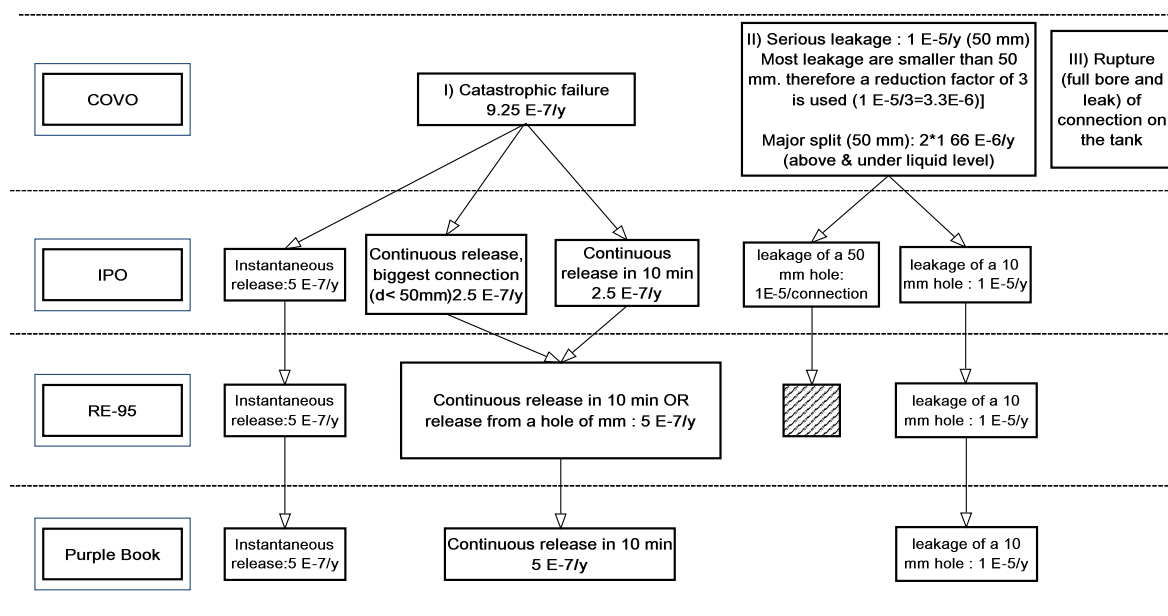
4.1.1 Inleiding

De voor atmosferische opslagtanks gehanteerde faalfrequenties voor milieurisico-analyses zijn veelal gebaseerd op internationale gegevens en databases. Ook de Nederlandse BEVI-richtlijnen [19] baseren zich daarop en de verdere uitwerking daarvan in het zgn. "Paarse" boek [20]. Hierin wordt o.a. aangegeven dat "catastrofaal falen" in de oorspronkelijk COVO-studie [21] niet gebaseerd is op historische data maar op een foutenboom-analyse. De vastgestelde kansen zijn daarom sterk afhankelijk en onderhevig aan niet transparante "expert judgements". De belangrijke conclusie uit het "Paarse" boek [20] is dat het moeilijk is de betrouwbaarheid van thans geldende faalkansen te beoordelen om de volgende redenen:

- Er bestaat geen universele terminologie voor de classificatie van faalmechanismen. De term "catastrofaal falen" wordt in verschillende bronnen verschillend gebruikt.
- Naast werkelijk opgetreden falen wordt veelal ook potentieel falen in de ongevallenstatistieken betrokken.
- Er is of wordt in de beschikbare en genoemde databases geen onderscheid gemaakt of de tank gefaald heeft of een naar de tank toelopende leiding of een van de tank weglopende leiding. De beschikbare databases voor ongevallenstatistiek zijn relatief klein. Bovendien worden de onderliggende uitgangspunten en faalmechanismen niet eenduidig beschreven.
- Er zijn vrij grove aannames gedaan bij de vertaling van data van de ene industrietak (bv. stoomketels) naar een andere industrietak (bv. drukvaten in de petrochemie).

4.1.2 BEVI-cijfers en model in Proteus-programma

Vanuit de historische ontwikkeling van methodieken en richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses in Nederland (vanuit de oorspronkelijke COVO-studie [21] in 1981, via de IPO-richtlijn in 1994 [22], de RE95-1 studie in 1996 [23], naar PGS 3 "het Paarse boek" [20]) heeft men de faalkans van drukvaten vastgesteld op een frequentie van 5×10^{-7} (zie figuur 4.1.2-1)



Figuur 4.1.2-1 Historie van faalfrequenties voor drukvaten in de opeenvolgende QRA-documenten in Nederland.

Voor niet onder druk staande vaten of tanks, die dus niet aan de regels van het “Stoomwezen” hoefden te voldoen, is toen gekozen voor een 10 x hogere faalfrequentie namelijk $5,0 \times 10^{-6}$ per jaar.

4.2 Internationale cijfers over tankbranden

Samen met andere organisaties beheert EEMUA een database van alle mogelijke tankcalamiteiten, waaronder tankbranden en de gevolgen daarvan voor de tankinstallatie of –terminal (domino-effecten). Bij schrijven van dit rapport heeft de auteur gebruik gemaakt van de EEMUA database en van de database van o.a. International Association of Oil & Gas Producers (OGP), met zetel in London.

In haar rapport Risk Assessment Data Directory, ref 434-3 d.d. maart 2010 [24], hanteert de OCP de gegevens die zij verzamelde uit de volgende bronnen:

- Technica 1990, Atmospheric Storage Tank Study, Confidential report for Oil & Petrochemical Industries, Technical and Safety Committee, Singapore, Project No. C1998.
- LASTfire 1997 en ge-update studie resultaten tot 2010. Large Atmospheric Storage Tank Fires, a joint Oil Industry project to review the fire related risks of large open-top floating roof storage tanks (ca. 2000 tankbranden – waaronder rimbranden – sinds 1965).
- API 1998, Interim study, Prevention and suppression of fires in large above-ground atmospheric storage tanks, publication No. 2021A.

Daarbij heeft OGP gebruik gemaakt van de volgende aantallen incidenten:

- Uit a: 122 stuks gevallen van branden in opslagtanks wereldwijd gedurende 1965 tot 1989.
- Uit b: 69 stuks van zulke gevallen uit de periode 1981 tot 1996.
- Uit c: 107 stuks van zulke gevallen uit de periode 1951 tot 1995.

(Totaal dus bijna 300 tankbranden!)

Er wordt in het gerefereerde OGP rapport [24] wel opgemerkt dat in de gehanteerde cijfers van faalfrequenties vele onzekerheden voorkomen en dat die onzekerheden “tend to be the greatest for catastrophic failures due to lack of experience”. Bovendien meldt dat rapport dat “the applicability of the failure modes in the historical events to modern tank designs may also be inappropriate because of improvements in tank design” En dat is ook beschreven in de voorgaande hoofdstukken van dit rapport (zie ook hoofdstuk 2).

De auteur van dit rapport (R.16024) is van mening dat het OGP zich baseert op voornamelijk tankontwerpen gestoeld op de API 650 norm [5] die geïnspecteerd en onderhouden worden volgens de API 653 [10] norm. Gelet op de grote verschillen in inzichten v.w.b. te beoordelen belastingsgevallen – zie hoofdstuk 2 van dit rapport – zullen tanks die ontworpen en gebouwd worden volgens de in Europa geldende Technische Grondslagen Bouwbesluit (TGB's) die alle gerefereerd zijn in de EN 14015 [2] een nog lagere faalfrequentie moeten hebben mede als ze ook nog eens geïnspecteerd en onderhouden worden volgens de in de PGS 29 [1] geëiste EEMUA 159 norm [3].

Bovendien moet opgemerkt worden dat de LASTfire database alleen branden in External en Covered drijvende daktanks beschrijft (EFRT en CFRT tanks). In het kader van dit onderzoek v.w.b. branden in vaste daktanks kan hiervan geen gebruik gemaakt worden. Dan blijven alleen de EEMUA database, de Technica 1990 en de API 1998 studies over om te beoordelen. Exclusief de EEMUA database blijven dan 229 tankbranden over (122 uit de Technica 1990 studie en 107 uit de API 1998 studie).

4.3 Het scenario branden in tanks met vaste daken

4.3.1 Faalkans van tanks met vaste daken

Als de aantallen tanks met vaste daken die een totale calamiteit meemaakten (verlies van opgeslagen product en verlies van de tank) uit de bovengenoemde databases in kaart gebracht worden dan leidt dit tot de volgende tabel – zie tabel 4.3.1-1)

scenario	bezwijken van tank door:	relatieve bijdrage	faalkans per oorzaak vlgs casuïstiek
1	verkeerd ontwerp of niet alle valide belastingen meegenomen in ontwerp	niet bekend	niet bekend
2	overbelasting in materialen	niet bekend	niet bekend
3	overbelasting in lasnaden of door inwendige lasfouten	niet bekend	niet bekend

4	verkeerd ontwerp van of gebruik van verkeerde materialen in en foutieve installatiemethode van fundament	niet bekend	niet bekend
5	corrosie	0,340	1,72 ^{E-07}
6	erosie	0,000	0,00 ^{E+00}
7	externe belastingen	0,690	3,45 ^{E-07}
8	impact	0,000	0,00 ^{E+00}
9	overdruk		
	a - explosieve wolk in tank + ontsteking	0,690	3,45 ^{E-06}
	b - breuk stoomspiraal	0,034	1,72 ^{E-07}
	c - verkeerde stof	0,034	1,72 ^{E-07}
	d - roll-over t.g.v. dichtheid	0,034	1,72 ^{E-07}
	e - roll-over t.g.v. temperatuur	0,034	1,72 ^{E-07}
10	onderdruk	0,000	0,00 ^{E+00}
12-1	hoge temperatuur	0,690	3,45 ^{E-07}
12-2	operator fout	0,000	0,00 ^{E+00}
13	onderhoud	0,000	0,00 ^{E+00}
	totaal		5,00^{E-06}

Tabel 4.3.1-1 Casuïstiek uit 3 databases omtrent falen van opslagtanks met vaste daken

Voor de N.W.B.-tanks kunnen – op basis van de lay-out van de tanks en de bij het N.W.B. toegepaste operaties – alleen de scenario's 9-a en 12-1 van toepassing worden gesteld als het om tankbranden gaat. Vanuit de totale casuïstiek gaat het dan om een faalkans van $3,45^{E-6}$ (scenario 9-a) + $3,45^{E-7}$ (scenario 12) = $3,795^{E-6}$.

4.3.2 Scenario brand in tanks met vaste daken en domino-effect

De tankwand zal bij temperaturen $> 425\text{ °C}$ zijn eigenschappen v.w.b. opname van belastingen verliezen. Maar veel eerder neemt al de toelaatbare spanning af. Voor de 5^e editie van EEMUA 159 [3] en voor de 2^e revisie van de EN 14015 [2], welke beide waarschijnlijk in 2017 worden gepubliceerd, heeft de auteur van dit rapport de temperatuursinvloeden op staal in kaart gebracht, gebaseerd op de formules uit EN 1993 [9].

Hieronder volgt de letterlijke tekst uit die normen:

QUOTE

For tanks storing products at elevated temperature ($\theta_a \geq 100\text{ °C}$) and constructed from carbon, carbon-manganese and low alloy steels, the minimum specified Yield Strength (f_y) and the Young's Modulus (E) of such steels should be reduced in order to take the effect of elevated temperatures into account.

Specific reduction factors $K_{p;\theta}$ (on the minimum specified Yield Strength) and $K_{E;\theta}$ (on the Young's Modulus) can be found in EN 1993-1-2 : 2011⁽²²⁾ – General rules, Structural fire design. In below table these factors have been detailed and the effect of these reductions in the load factor K in stability calculations of tank shells (the value of 95000 – see Section 8.3.2, page 102) as well as in the factor C in the axial stress calculations through tank shells (the value of 12411 – see Section 8.3.3, page 103) is specified as well.

Storage temperature θ_a (degrees C)	Reduction factor ($K_{p;\theta}$) with respect to f_y at θ_a	Reduction factor ($K_{E;\theta}$) with respect to E at θ_a	Allowable stress (S) according to BS 2654 and EN 14015 at elevated temperature θ_a (N/mm ²)	Allowable stress (S) according to EEMUA 159 at elevated temperature θ_a (N/mm ²)	Young's Modulus of general steel types in accordance with EN10025, EN10028 and EN10113 (N/mm ²)	Reduction of factor 95000 in formula of load factor K in stability calculations	Reduction of factor 12411 in formula of allowable axial stress
< 100	1.000	1.000	$0.667 * f_y$	$0.8 * f_y$	210000	95000	12411
≥ 100	1.000	1.000	$0.667 * f_y$	$0.8 * f_y$	210000	95000	12411
≥ 200	0.807	0.900	$0.538 * f_y$	$0.646 * f_y$	189000	85500	11170
≥ 300	0.613	0.800	$0.409 * f_y$	$0.490 * f_y$	168000	76000	9929
≥ 400	0.420	0.700	$0.280 * f_y$	$0.336 * f_y$	147000	66500	8688

Note 1: The applicable reduction factor $K_{p;\theta}$ also can be established by using the formula: $K_{p;\theta} = \left(1 - \frac{T-100}{517.24}\right)$
 Where: T = applicable elevated temperature ≥ 100 C in degrees C.

Note 2 For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

UNQUOTE

Voor de tanks bij het N.W.B., die hoofdzakelijk uit staal S235 zijn gemaakt komt dat neer op het volgende:

Volgens de Europese staalnorm EN 10025 [25] zal staal bij 425 °C zijn opnamevermogen voor optredende belastingen grotendeels verliezen. Gebaseerd op de tekst van de bovenstaande **Quote** uit de nieuwste edities van EN 14015 [2] en EMUA 159 [3] bedraagt de toelaatbare rekenspanning onder nieuwbouwcondities dan nog steeds: $S_{N;425\text{ °C}} = 0.239 * 0.67 * 235 = 37,67 \text{ N/mm}^2$ (dit is ongeveer 30% van de toelaatbare rekenspanning). Dat betekent niet dat de tank volledig bezwijkt (het gaat tenslotte om een rekenspanning gebaseerd op de minimaal gespecificeerde vloeigrens van een materiaal, terwijl de werkelijke vloeigrens meestal een factor 1,1 tot 1,5 hoger zal liggen). De minimum gespecificeerde waarde van de vloeigrens, die normatief is, mag nooit overschreden worden door leveranciers.

Voor wat betreft het opnamevermogen van de belastingen uit het (vaste) dak (eigengewicht dak + normatieve belastingen (nuttige- en vacuümbelasting) neemt die waarde af van $S_N < 100\text{ °C} = 12411 * t/R$ tot $S_{B; 425\text{ °C}} = 8315 * t/R$ (afname van 67%)

Waarin:

t = de dikte van de tankwand in mm.

R = de radius van de tank onder beschouwing in mm.

Tanks met drijvende daken hebben niet de dakbelasting op te nemen en zullen veelal uitbuiken onder de hydrostatische belasting en onder die hoge temperaturen. Als de tankwand niet gekoeld wordt dan verliest zo'n tankwand zijn draagvermogen en de vervorming (naar buiten omkrullen) ziet er meestal uit conform onderstaand figuur 4.3.2-1.



Figuur 4.3.2-1 Meest voorkomend faalgedrag tanks met drijvende daken

In de onderzochte casuïstiek leidt dit meestal tot tankputbranden, omdat de tankwand het begeeft en het brandend product dan over de naar buiten omgekrulde wand heen stroomt.

Bij tanks met vaste daken zal de tankwand niet uitbuiken c.q. omkrullen door de hydrostatische druk, maar instorten door het grote dakgewicht.



Figuur 4.3.2-2 Gebluste brand in een tank met een vastdak

Een identiek geval kan hier herhaald worden van een ethanolbrand in een tank bij Nedalco in Bergen op Zoom in 1998 – zie onderstaande figuur 4.3.2-3.



Figuur 4.2.3-3 Gebluste brand in een ethanol tank bij Nedalco, Bergen op Zoom in 1998

Duidelijk is te zien dat bij branden in tanks met vaste daken de tankwand naar binnen omkrult door het grote dakgewicht. Daardoor toont de casuïstiek aan dat er nauwelijks tankputbranden optreden bij tanks met vaste daken omdat de tankwand de hydrostatische druk wel zal tegenhouden ondanks de hoge temperaturen. Dit vanwege de afkoeling van de tankwand door de vloeistof.

4.4 Evaluatie van casuïstiek van tankputbranden

Zoals hierboven is aangegeven, treden tankputbranden veel minder op bij tanks met vaste daken in vergelijking met tanks met drijvende daken als het om het domino-effect gaat als een tank in brand komt te staan. De in hoofdstuk 4.3.1 genoemde faalfrequentie van $3,795 \times 10^{-6}$ is zelfs te reduceren tot een frequentie van $2,34 \times 10^{-12}$ – als geen rekening gehouden wordt met een bezwijken van de bodem/wandverbinding (m.a.w. het scheurnaadprincipe is hier van toepassing) – gebaseerd op een aantal tankbranden dat onderzocht is (zie ook het D&C rapport R.12021 van november 2012, waarin de faalkans van “instantaan falen” en het scenario “10 minuten leegstromen” van tanks is beoordeeld, gebaseerd op het “proteus-programma” van RWS). Die frequentie bij tanks met drijvende daken ligt veel hoger, maar het exacte getal kan niet weergegeven worden aangezien de gebruikte databases (zie hoofdstuk 4.2, hierboven) niet expliciet aangeven wat het domino-effect is geweest bij die branden.

BEVI hanteert de richtlijn dat de noodzaak om maatregelen te treffen ter beperking van effecten noodzakelijk is als de faalfrequentie kleiner is dan 1×10^{-8} . Dit betekent dat bij tanks waar het scheurnaadprincipe wel aanwezig is en waar de faalfrequentie bepaald is op een factor $2,34 \times 10^{-12}$ die noodzaak niet bestaat.

Geconcludeerd kan dan ook worden dat bij het N.W.B. niet hoeft uitgegaan te worden van:

- Het ontstaan van een putbrand door catastrofaal falen van een tank waarbij de inhoud vrijelijk in de tankput stroomt.
- Het ontstaan van een domino-effect als in een tank – onder het “credible” scenario zoals beschreven in hoofdstuk 3.3 van dit rapport – een inwendige explosie optreedt, omdat:
 - De tanks bij het N.W.B. bewijsbaar uitgevoerd zijn met een scheurnaadprincipe.of
 - Voorzien zijn van een noodontluchtingsklep, bedoeld in BS 2654 [4] , EN 14015 [2], API 650 [5], API 2000 [17] en ISO 28300 [18] als geen scheurnaadprincipe aanwezig is.

Opgemerkt moet worden dat het in EEMUA 180 [14] beschreven 5^e scenario: overslag vonken uit opbouw van statische elektriciteit bij producten waarvan de geleidbaarheid lager is dan 50 picoSiemens per meter [pS/m^1] niet op kan treden bij het verladen van Ethanol, gelet op de geleidbaarheid van deze zuivere stof (volgens Chemiekaarten® kent zuivere ethanol – kaartnummer C-0103, CAS-nummer 64-17-5 – een minimale geleidbaarheid van $1,3 \times 10^5 \text{ pS/m}^1$ en die ligt ver boven de ondergrens van 50 pS/m^1 . Het 5^e scenario van EEMUA 180 [14] kan dan ook, op basis van de beschikbare casuïstiek, als niet relevant beschouwd worden voor de op- en overslag van ethanol bij het N.W.B. omdat de geleidbaarheid van haar producten veel hoger is dan de genoemde limiet van 50 pS/m^1 .

5 Conclusies

Uit de theorieën die in bovenstaande hoofdstukken zijn beschreven, kunnen de volgende conclusies getrokken worden die van toepassing zijn op de op- en overslag van ethanol in de opslagtanks van het N.W.B., Amsterdam.

1. De grote verschillen in te gebruiken rekenregels, belastingen en belastingcombinaties zoals beschreven in Europese normen en richtlijnen t.o.v. die welke voorkomen in Amerikaanse standaarden en richtlijnen – welke laatste vele omissies en dus ook een lager veiligheidsniveau kennen dan die welke verplicht in Europese landen dienen te worden aangehouden en gevolgd i.v.m. de grote bevolkingsdichtheid die wij hier kennen – leiden tot grote verschillen in faalgedragingen en gehanteerde faalfrequenties van opslagtanks.
2. De beoordeelde casuïstiek in verschillende databases leidt tot een conclusie dat tankputbranden veeleer het gevolg zijn van branden in drijvende daktanks omdat de tankwand omkrult naar buiten toe en inzakt, waardoor brandend product over de rand van de tankwand kan stromen. Bij tanks met vaste daken zal het dak en de tankwand naar binnen omkrullen en blijft de tankwand onder het vloeistofniveau intact.
3. Indien tanks met vaste daken ontworpen worden als lage of hoge druktanks (geschikt voor klasse 1 en/of klasse 2 producten) kan het geheel van het samenwerkende gedeelte van de wandplaten, het toprandhoekstaal en de dakplaten nabij de “compression area”, (te) stijf worden uitgevoerd. Hierdoor zal de horizontale component van de geïnitieerde membraankracht in de opbollende dakplaten, het toprandhoekstaal niet naar binnen trekken en zal de lasnaad van de dakplaten aan het toprandhoekstaal niet breken. Dan kan de betreffende tank niet voldoen aan het zogenaamde scheurnaadprincipe en zal, volgens alle beschikbare en erkende internationale normen, richtlijnen en standaarden, uitgevoerd moeten worden met een noodontluchtingsklep. De eis in Nederlandse richtlijnen en vergunningen aan tankopslagbedrijven dat “iedere tank met een vast dak moet voldoen aan het scheurnaadprincipe” kan dan ook noch technisch, noch juridisch afgedwongen worden.
4. Bij de bepaling van de faalfrequentie uit de beschikbare casuïstiek komt naar voren dat die voor tanks met vaste daken lager is ($2,34 \cdot 10^{-12}$) dan de door BEVI vastgestelde grens van $1 \cdot 10^{-8}$, waardoor geen aanvullende eisen aan deze tanks kunnen en hoeven te worden gesteld. Het bovenstaande is van toepassing mits de tanks voldoen aan het scheurnaadprincipe of – indien dit niet het geval is – de tanks voorzien zijn van goedwerkende noodontluchtingskleppen waarvan de capaciteit bepaald is volgens de ISO 28300, onder de restrictie dat de ontwerpdruk van de tank – bij volledig openzijn van de klep (maximale doorstroomcapaciteit) in overeenstemming met EN 1993 [9] – niet overschreden wordt.

6 Referenties

- [1] PGS 29 (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen No. 29): "Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks", 2016, v 1.0.
- [2] EN 14015, "Specification for the design and manufacture or site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above", incorporating Corrigendum No. 1, Centre for European Normalisation, Brussels, Belgium, 2004.
- [3] EEMUA publication No.159, "User's guide to the inspection, maintenance and repair of above ground vertical cylindrical steel storage tanks".
- 1^e edition 1994.
 - 2^e edition 1997.
 - 3^e edition 2003, incorporating Corrigenda and Amendment No. 1, 2004 and No. 2, 2005.
 - 4^e edition 2014, "Above ground flat bottomed storage tanks, A guide to inspection, maintenance and repair", incorporating Corrigenda en Amendment No. 1, 2015, Engineering Equipment and Materials User's Association (EEMUA), London, United Kingdom.
- [4] BS 2654 normen voor opslagtanks:
- BS 2654, "Vertical mild steel welded storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry";
1^e edition, Part 1, Design and fabrication: 1956 en Part 2, Erection: 1961
 - BS 2654, "Vertical mild steel welded storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry";
2^e edition, Part 1, Design and fabrication: 1965
Amendment No. 1: November 1966
Amendment No. 2: May 1967
Amendment No. 3: April 1968
Amendment No. 4: January 1970
Part 3, Higher design stresses: 1967
 - BS 2654: "Specification for vertical steel welded storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry":
3^e edition 1973; Amendment No. 1: August 1975
 - BS 2654, "Specification for manufacture of vertical steel welded non-refrigerated storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry":
4^e edition, 1989; Amendment No. 1: 1997

- [5] API standaarden voor opslagtanks API 650 "Welded tanks for oil storage"
 en
 [6] API 12C, "All welded oil storage tanks"

API Standard 12C All welded oil storage tanks		API Standard 650 Welded tanks for oil storage	
Edition	Date	Edition	Date
First	July 1936	First	December 1961
Second	October 1937	Supplement	1963
Supplement 1	April 1938	Second	April 1964
Supplement 2	September 1938	Third	July 1966
Supplement 3	April 1939	Supplement 1	December 1967
Third	April 1940	Fourth	June 1970
Fourth	March 1941	Supplement 1	April 1971
Fifth	May 1942	Fifth	July 1973
Sixth	August 1944	Supplement 1	October 1973
Seventh	August 1946	Supplement 2	April 1974
Supplement 1	September 1947	Supplement 3	March 1975
Eighth	September 1948	Sixth	April 1977
Supplement 1	December 1949	Revision 1	May 1978
Ninth	October 1950	Revision 2	December 1978
Tenth	September 1951	Revision 3	October 1979
Eleventh	September 1952	Seventh	November 1980
Supplement 1	September 1953	Revision 1	February 1984
Twelvth	October 1954	Eighth	November 1988
Thirteenth	September 1955	Ninth	July 1993
Supplement 1	October 1956	Addendum 1	December 1994
Fourteenth	October 1957	Addendum 2	December 1995
Fifteenth	1958	Addendum 3	December 1996
		Addendum 4	December 1997
		Tenth	November 1998
		Addendum 1	March 2000
		Addendum 2	November 2001
		Addendum 3	August 2003
		Addendum 4	December 2005
		Eleventh	June 2007
		Addendum 1	November 2008
		Addendum 2	November 2009
		Addendum 3	August 2001 includes Errata 1 October 2001
		Twenth	January 2013 includes Errata 1 July 2013

Note: Ordering information for past editions of API 12C and API 650 is available from INC Inc.

- [7] G-801, "Regels voor Toestellen onder Druk, Opslagtanks, ongelegeerd en laaggelegeerd staal, gebaseerd op BS 2654, editie 1973 en Amendment 1, Augustus 1975, met additionele aanvullingen, eisen en uitsluitingen geldig voor Nederland". Uitgegeven door het Ministerie Sociale Zaken, en Werkgelegenheid (SZW) en voor deze de Dienst van het Stoomwezen, 1^e editie 1985, teruggetrokken in 1989, na verschijnen van een nieuwere revisie van BS 2654 [2].
- [8] EN 1991, "Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures", 2003.
- [9] EN 1993, , "Eurocode 3: Design of steel structures", 2003.
- [10] API 653, "Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction", American Petroleum Institute, Washington DC, USA.
- 1^e edition 1991, including supplement 1992.
 - 2^e edition 1992, including Addendum No. 1, 2010, and Addendum No. 2, 2012.
 - 3^e edition 2001, including Addendum No. 1, 2003, Addendum No. 2, 2005, and Errata, 2008.
 - 4^e edition 2009, including Addendum No. 1, 2010, Addendum No. 2, 2012 and Addendum No. 3, 2013.
 - 5^e edition 2014.
- [11] IP Code 19, "Model code of Safe Practice, Fire precautions at petroleum refineries and bulk storage installations,
- 1st edition, 1993.
- 2nd edition, 2007.
- 3rd edition, 2012.
- [12] NFPA 30, "Flammable and combustible liquids code",
- 1st edition, 1913.
- Revised editions of this standard have been published in:
- 1957, including division into 2 separate codes 30 (Storage facilities) and 30A (Automotive and marine service stations)
 - 1984.
 - 1987, including Amendments to Chapters 5, 6, 7 and 8,
 - 1990, including Amendments to Chapter 4 and 5.3,
 - 1993.
 - 1996.
 - 2000, including Amendments in Chapters 1, 3, 5.3.3.1, 5.4, 5.11, 6,
 - 2003, Including Amendments in Chapters 2, 3, 4.2.7, 4.6.1.5, 6, Annex D.5, 7.3, 7.4, 7.13.3.2,

- 2012.,

Currently the 7th edition is published in 2014, effective in 2015.

- [13] NFPA 780, Standard for the installation of lightning protection systems",
1st edition 1994,

Revised editions of this standard have been published in:

- 1905.
- 1906.
- 1925.
- 1932.
- 1937.
- 1947, including Revised Part III.
- 1949.
- 1950.
- 1951.
- 1952.
- 1957.
- 1959.
- 1963.
- 1965.
- 1968.
- 1975.
- 1977.
- 1980.
- 1983.
- 1986.
- 1989.
- 1992, Commencing with the 1992 edition of the Lightning Protection Code, the NFPA numerical designation of the document was changed from NFPA 78 to NFPA 780.
- 1995.
- 1997.
- 2000.
- 2004.
- 2007.

Currently the latest edition is published in 2016, effective in 2017.

- [14] EEMUA 180, "Frangible roof joints for fixed roof storage tanks; A guide for designers and users", Engineering Equipment and Materials User's Association (EEMUA), London, United Kingdom.
1st edition, 1998.
2nd edition, 2007.

-
- [15] CPR 9-3, "Vloeibare aardolieproducten, bovengrondse opslag, grote installaties", opgesteld door de Commissie Preventie van Rampen", ministerie VROM (nu ministerie Infra en Milieu), uitgave 1985.
- [16] CPR 9-2, "Vloeibare aardolieproducten, bovengrondse opslag, kleine installaties", opgesteld door de Commissie Preventie van Rampen", ministerie VROM (nu ministerie Infra en Milieu), uitgave 1984.
- [17] API 2000, Venting atmospheric and low-pressure storage tanks", Publication dates of 1st, 2nd, 3rd and 4th editions are unknown.
5th edition 1998, including Errata 1999.
6th edition 2009.
7th edition, 2014.
- [18] EN-ISO 28300, "Venting of atmospheric and low-pressure storage tanks",
1st edition, 2008.
2nd edition, 2011.
- [19] BEVI-richtlijnen (besluit externe veiligheid inrichtingen), Reference manual BEVI Risk Assessments, version 3.1, January 2009, Centre for External Safety, RIVM.
- [20] PGS 3, "Paarse Boek", "Guidelines for Quantitative Risk Assessment", gelijk aan CPR 18-E, 1st edition, 1999.
- [21] COVO Commission, "Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study, ISBN 90 2771393 6, 1981.
- [22] IPO 1994, "Handleiding voor het opstellen en beoordelen van een extern veiligheidsrapport, Rapport A-73, 1994.
- [23] RE 95-1, "The use of generic Failure frequencies in Quantitative Risk Assessments, The quality and use of failure frequencies and how to bring them up-to-date, Journal of hazardous materials, Beerens H.I et al, RIVM, 2006.
- [24] OGP report 434-3, "Risk Assessment Data Directory, Storage incident frequencies",

March 2010, The International Association of Oil & Gas Producers (OGP).

- [25] EN 10025, "warmgewalste producten van constructiestaal",
Laatste editie, 2011.

- [26] Experimenteel onderzoek naar het gedrag van alcoholen en mengsels met alcoholen
als brandstof voor vonkontstekingsmotoren; Ben Casier, Alexander Coppens;
Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master in de
ingenieurswetenschappen: werktuigkunde-elektrotechniek, Academiejaar 2012-2013,
Universiteit van Gent.

7 Bijlage 1

7.1 Verschil in berekenmethodes tussen Europese normen en Amerikaanse richtlijnen

Natuurlijk kent men in Amerika een begrip als het “bouwbesluit” niet en er zijn ook grote verschillen in perceptie over valide belastingen die men mee moet nemen in berekeningen in vergelijking met de regels die gelden in Europa. De Technische Grondslagen Bouwbesluit (de normen EN 1991 [8] en EN 1993 [9] die bekend staan onder de term TGB's) leggen vast welke belastingen als permanente belasting meegenomen moeten worden en welke belastingen als tijdelijk of niet permanent beoordeeld mogen worden.

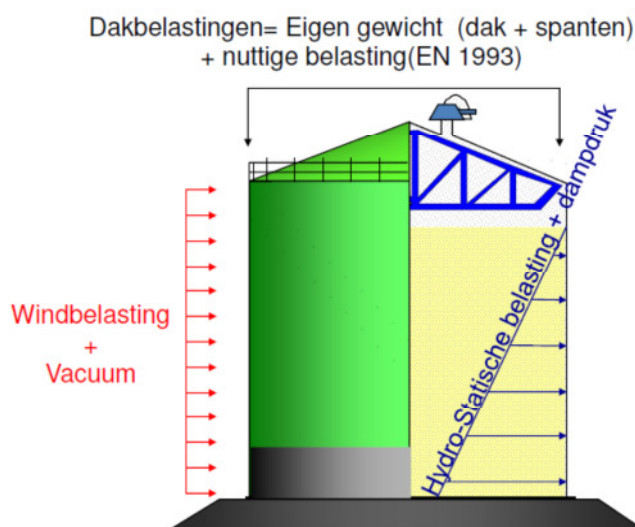
De dampdruk boven het vloeistofpeil in een tank met een vast dak en het optredend vacuüm in een drijvend dak tank wanneer de wind over de tank blaast en bij legen van een tank met een vast dak zijn belastingen die volgens de Amerikaanse richtlijnen niet of slechts gedeeltelijk meegenomen mogen worden. De TGB's, echter, vinden dit permanente belastingen en die behoren dus wel in de rekenwijze opgenomen te worden ter bepaling van de diktes van tankonderdelen e.d.

Binnen Europa moeten de volgende belastingen meegenomen worden ter bepaling van dimensies van tankonderdelen (in dit geval de tankwand – zie ook figuur 2.2.2-1):

Combinatie 1: hydrostatische druk + dampdruk boven het vloeistofpeil.

Combinatie 2: windbelasting + vacuüm.

Combinatie 3: axiale distributie door tankwand van alle dakbelastingen, zoals eigengewicht van het dak, van alle apparatuur en installaties op het dak (nozzles, piping, pijpondersteuning, bordessen, trappen) en de nuttige belasting uit sneeuw en/of vacuüm (geldend voor de betreffende regio).



Figuur 1 Te beoordelen belastingcombinaties bij bepalen plaatdiktes van Tankwandonderdelen (platen, nozzles, windliggers e.d.).

Bij inwendige dampdruk (in onderstaande formule aangegeven door middel van de parameter p_i) wordt volgens de API 650 [6] niet meegenomen en dit druist dan ook tegen de TGB's in. De formule uit de API 650 [5] luidt dan ook:

De originele formule

$$t = \left(\frac{D}{20 * S * E} \right) * \{98 * w * (h - 0,3) + p_i\}$$

Zonder dampdruk p_i wordt deze formule:

$$t = \left(\frac{D}{20 * S * E} \right) * \{98 * w * (h - 0,3)\} \quad \text{of} \quad t = \left(\frac{4,9 * D * w * (h - 0,3)}{S * E} \right)$$

Dit zelfde wordt door de API 650 [5] gedaan met de optredende vacuümbelasting in tanks met drijvende daken en in tanks met vaste daken.

De BS 2654 [4] en de EN 14015 [2] schrijven voor dat de belastingen voor combinatie 2 (wind + vacuüm) beoordeeld moeten worden aan de hand van de belastingsfactor K

Beide normen hanteren daarvoor de formule:

$$K = \frac{95000}{3,653 * V_w^2 + 580 * V_a} \quad (16)$$

Waarin:

K = belastingsfactor uit wind en vacuüm

V_w = maximale windsnelheid voor de betreffende regio waarin de tank staat en afhankelijk van de tankwandhoogte van die tank.

V_a = vacuümbelasting volgens de norm.

De BS 2654 [5] hanteert vaste parameters voor de vacuümbelasting per tanktype. Die zijn als volgt:

Drukloze tank: -2,5 mbar

Lage druktank: -6 mbar

Hoge druktank -6 mbar

Volgens artikel 7.6.3.2.1 moeten deze waarden verhoogd worden met 2,5 mbar ter compensatie van optredende accumulatie. Dus rekentechnisch moet men de volgende waarden hanteren:

Drukloze tank: -5 mbar

Lage druktank: -8,5 mbar

Hoge druktank -8,5 mbar

Voor tanks met externe drijvende daken geldt de vacuümwaarde van 5 mbar.

De laatstgenoemde waarden (inclusief de 2,5 mbar accumulatiewaarde zijn identiek aan die welke gespecificeerd zijn in de EN 14015 [2].

Echter, de Amerikaanse richtlijn API 650 [5] hanteert een vaste waarde voor de belastingsfactor K. Die is gespecificeerd als waarde: $K = 9,47$.

Als deze waarde herleid wordt naar het Europese klimaat dan gelden voor wind- (V_w) en vacuüm- (V_a) belastingen de volgende waarden in de API 650 [5].

$$V_w = 45 \text{ m/s en } V_a = 2,4 \text{ mbar}$$

Volgens de API 650 [5] zijn deze waarden onafhankelijk van de instelwaardes van de druk/vacuümkleppen. Dat wil zeggen dat als de werkelijke vacuümwaarde groter is dan 2,4 mbar, die extra belasting niet meegenomen hoeft te worden in de API 650 [5] berekeningen. Ook dit druist tegen de TGB's in en dus ook tegen het wettelijk kader dat in Europa geldt (het bouwbesluit is wet, dus ook de daarin gerefereerde normen zijn dan in de wet verankerd).

7.2 Toelaatbare veiligheidsfactor in gebruikstoestand

In gebruikstoestand gelden andere – veelal – lagere veiligheidsfactoren voor civiele constructies. In EEMUA 159 [3] is aangegeven dat – in overleg met het parlement van de EU – de veiligheidsfactor in Europa verlaagd mag worden van de originele hoogte van $\gamma = 1,5$ naar $\gamma = 1,25$. De API richtlijn No. 653 [10] gaat veel verder en hanteert voor de onderste wandringen van opslagtanks een laagste waarde van $\gamma = 1,136$ en voor de hogere wandringen van opslagtanks een laagste waarde van $\gamma = 1,111$.

7.3 Minimale dikte van wandplaten in gebruikstoestand (50% criterium)

Onder de genormeerde belastingen zoals gespecificeerd in paragraaf 1 hierboven gelden limietberekeningen per tankonderdeel volgens de berekenwijze van EEMUA 159 [3]. Naast de berekende limiet hanteert EEMUA 159 [3] tevens een afweging voor de werkelijk toe te passen limieten op basis van de volgende vergelijking:

$$t_{\text{limiet}} = \text{MAX} [\text{formule} ; 50\% ; 2,5 \text{ mm}]$$

Waarin:

t_{limiet} = afkeurlimiet dikte van een tankonderdeel.

formule = berekende t_{minimaal} met formule onderaan op bladzijde 2-3 van 6 waarbij een toelaatbare spanning geldt van $S = 1/\gamma * \text{vloeigrens} = 1/1,25 * \text{vloeigrens} = 0,8 * \text{vloeigrens}$ (zie ook hoofdstuk 2.3).

50% = 50% van de dikte die in de betreffende norm als minimale dikte geldt voor een bepaald tankonderdeel in nieuwbouwsituatie.

2,5 mm = de uiterste minimale dikte van een tankonderdeel.

Dus: een afkeurlimiet wordt bepaald door de maximale waarde uit (i) of de berekening, of (ii) de 50% waarde van de originele genormeerde waarde of (iii) 2,5 mm.

De API 653 [10] hanteert een zelfde afweging, maar erkent de 50% regel niet. Daar wordt de formule gehanteerd van:

$$t_{\text{limiet}} = \text{MAX} [\text{formule} ; 2,54 \text{ mm}]$$

Dus: een afkeurlimiet wordt bepaald door de maximale waarde uit (i) of de berekening volgens de formule uit voorgaande paragraaf 1 – zonder dampdruk! – of (ii) 2,54 mm. Omdat de 50% regel, zoals opgenomen in de EEMUA 159 [3] niet geldt, zouden de verschillen in de tankwandringen, v.w.b. afkeurlimieten, op kunnen lopen zoals gespecificeerd in onderstaande tabel.

Tank diameter [m]	verschil [mm]
$D < 15$	0
$15 \leq D < 30$	0,5
$30 \leq D < 60$	1,5
$60 \leq D < 75$	2,5
$75 \leq D < 100$	3,5
$100 \leq D$	4,5

Tabel: 2-1 Verschillen afkeurlimieten tankwandringen tussen EEMUA 159 [3] en API 653 [10] (negatiever).

*NB: Grootste tanks van het N.W.B. hebben diameter 14,25 m. Grootste hoogte = 13,4 m
Verschillen tussen de normen maken dus voor het beoordelen van de tanks van het NWB niet uit.*

Met uitzondering van EEMUA 180 [14] geven geen der genoemde normen (API 650 [5], BS 2654 [4] en – sinds 2005 – EN 14015 [2]) een advies wat gedaan moet worden als – om sterkte-technische redenen – de dak/wandverbinding te stijf moet worden gedimensioneerd en niet naar binnen getrokken kan worden door de membraankracht die optreedt in de dakplaten tijdens het opbollen van die platen bij een inwendige overdruk die boven de ontwerpdruk van een tank ligt. Immers de bepaling van de dwarsdoorsnede (A_{totaal}) van het gehele samenwerkende geheel van dakplaten, wandplaten en het toprandhoekstaal (de compression area) wordt bepaald door de formule:

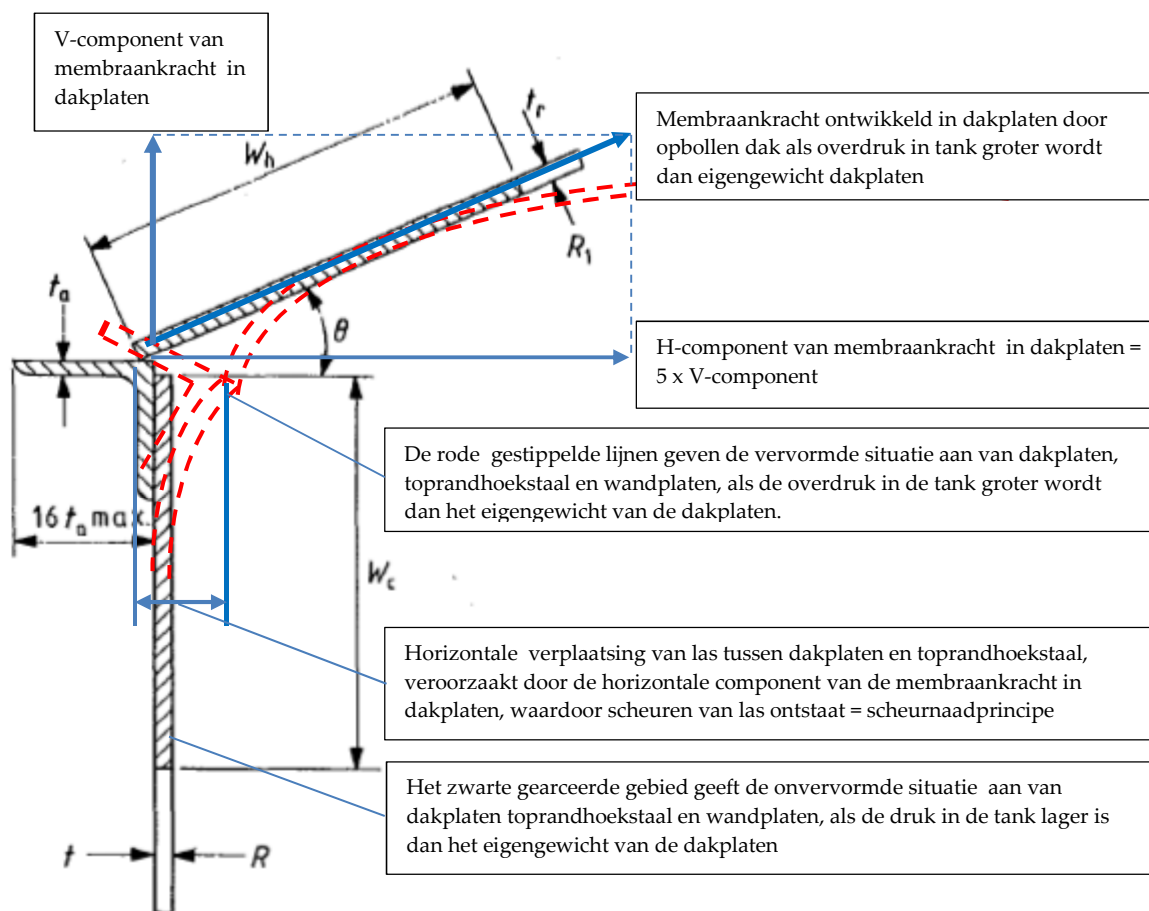
$$A_{\text{totaal}} = \frac{50pR^2}{S_c \tan \theta}$$

Waarin:

- A_{totaal} = totale dwarsdoorsnede van het samenwerkende geheel van dakplaten, wandplaten en het toprandhoekstaal.
- p = inwendige druk in de tank, verminderd met het eigengewicht van de dakplaten.
- R = radius van de tankwand.
- S_c = toelaatbare compressiespanning = 120 N/mm².
- $\tan \theta$ = tangens van de dakhoek (1 : 5 bij BS 2654 [4] en EN 14015 [2] en 1 : 6 bij

API 650 [5]).

Bij een kegelvormig dak met een helling van 1:5 (BS 2654 [4] en EN 14015 [2] eis) of 1:6 (API 650 [5] eis) zal de horizontale component van deze membraankracht, respectievelijk 5 x de verticale component, of 6 x die verticale component, bedragen. Die grote H-component zal het toprandhoekstaal van de tank (de compression area) naar binnen trekken, waardoor de lasnaad van de dakplaten op dat toprandhoekstaal zal scheuren – zie figuur 3-1, hieronder.



Figuur 3-1 Vervorming in "compression area" door opbollen van dakplaten als overdruk in tank groter wordt dan eigengewicht van dakplaten

Als de getoonde vervorming niet op kan treden (door een te stijf toprandhoekstaal, bepaald volgens de formule op voorgaande bladzijde), dan zal ergens anders in de tank een andere lasnaad bezwijken dat tot een domino-effect kan leiden.

Let op dat bij opslag van producten met een lage dampspanning, een hoog vlampunt of producten die geen brandbare dampmengsels creëren boven het vloeistofoppervlakte, de noodzaak tot het hebben van maatregelen, om te voorkomen dat er ergens in de tank onder het vloeistofoppervlakte een scheur kan optreden bij een calamiteit, niet aanwezig is. EEMUA 180 [14] stelt dan voor om een risicoanalyse uit te voeren en dan te bepalen wat de mitigerende acties kunnen zijn.

EEMUA 180 [14] geeft net als de API 2000 [16] een advies om, als de tank niet uitgevoerd kan worden met een scheurnaad, een zogenaamde noodontluchtingsklep te plaatsen op het dak of op een dakmangat. De methode ter bepaling van de capaciteit is gegeven in API 2000 [17] en EN-ISO 28300 [18]. Hier wordt de capaciteit van een noodontluchtingsklep bepaald bij een 20% overdruk boven de ontwerpdruk van zo'n tank. Let op, dat deze normen niet gestoeld zijn op de eisen van de Eurocodes 1 en 3 (EN 1991 [8] en EN 1993 [9] – de wettelijk

aan te houden Technische Grondslagen Bouwbesluit of TGB's, die bepalen dat de ontwerpdruk, ook onder calamiteiten nooit overschreden mag worden. Dat betekent, dat volgens die TGB's de capaciteit van noodontluchtingsklep ontworpen moet worden op basis van ontwerpdruk en niet bij een druk die 20% hoger dan de ontwerpdruk ligt!

EEMUA 159 [3] geeft in sectie 10.3.2 aan wat de insteldrukken van de operationele druk/vacuümkleppen en van die noodontluchtingsklep moeten zijn om interferenties tussen die kleppen te voorkomen en om te voldoen aan die eisen gesteld in de Eurocodes [8] en [9].

Al met al kan gesteld worden dat de eisen opgenomen in richtlijnen waar gesteld wordt dat "elke tank met een vast dak een scheurnaad moet hebben", gewoon onzin is, immers:

De ontwerpdruk van de tank bepaalt de uitvoering van het toprandhoekstaal, gebaseerd op de productklasse:

- een klasse 1 product moet in een hoge druk tank opgeslagen worden om bij opengaan van de drukontlastingsklep voldoende snelheid in de ontsnappende dampen te creëren die boven de vlamvoortplantingssnelheid van klasse 1 producten ligt

en

- klasse 2 producten moeten in lage druktanks opgeslagen worden om datzelfde fenomeen te creëren (vlamvoortplantingssnelheid) voor die producten.

Als dat hoekstaal te stijf moet worden gedimensioneerd om die ontwerpdruk op te kunnen nemen, waardoor de horizontale componenten van de krachten in de dakplaten die optreden bij een inwendige explosie het toprandhoekstaal NIET naar binnen kunnen trekken en de lasnaad tussen de dakplaten en dat hoekstaal daardoor NIET zal (kan) breken, dan kan niet voldaan worden aan die eis en MOET er een goed gedimensioneerde noodontluchtingsklep op de tank voorzien worden.

Maar dan moeten die noodontluchtingskleppen in Europa wel gedimensioneerd worden op de ontwerpdruk van die tanks (om te voldoen aan de TGB's) en niet op een druk die 20% hoger ligt dan die ontwerpdruk (zoals men toepast in de theorie van de API 2000 16].

8 Bijlage 2

Zoals genoemd in hoofdstuk 3.4, paragraaf 2, zijn berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de uittredesnelheid van ethanoldampen uit de ontluuchtingsleidingen van de grootste N.W.B.-tanks, bij dampruimte volumes van 10%, 50%, respectievelijk 90% van de totale inhoud.

Daarbij is bepaald dat deze snelheid uit de ontluuchtingsleidingen boven de vlamvoortplantingssnelheid van ethanol ligt. Een terugslag van de vlam in de tank kan daardoor uitgesloten worden.

Berekening uittredesnelheid

omgevingsdruk = 1,013 bar

omgevingstemperatuur 293 K

gehanteerde formule: $P \cdot V / T = \text{constant}$

doorlaat = buis met diameter 2 inch = 0,00196 m²

vlamvoortplantingssnelheid ethanol = 0,4 m/s

Volume dampruimte tank in m ³	210	1050	1890
--	-----	------	------

dampemissie (m ³) bij ΔT per minuut	1	0,717	3,584	6,451
	2	1,433	7,167	12,901
	5	3,584	17,918	32,253
	10	7,167	35,836	64,505

dampsnelheid (m/s) bij ΔT	1	365,209	1826,047	3286,885
	2	730,419	3652,095	6573,770
	5	1826,047	9130,236	16434,425
	10	3652,095	18260,473	32868,851