

Tebodin B.V.

Laan van Nieuw Oost-Indië 25 • 2593 BJ Den Haag
Postbus 16029 • 2500 BA Den Haag
Telefoon 070 348 09 11 • Fax 070 348 06 45
denhaag@tebodin.nl • www.tebodin.com

Opdrachtgever: **RIVM**

Project: **Faalfrequentiereductie atmosferische opslagtanks**

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Auteur: R.A.J. Bos

Telefoon: 070 348 06 84

Telefax: 070 348 05 91

E-mail: r.bos@tebodin.nl

Datum: 21 juli 2008

Incidentenanalyse atmosferische opslagtanks
Fase 1 - Inventarisatie

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 2 van 27

2	21/07/2008	Definitief	R.A.J. Bos	M. Heijne
1	30/06/2008	Scenario's aangevuld met FACTS data	R.A.J. Bos	M. Heijne
0	03/04/2008	Ter commentaar	R.A.J. Bos	M. Heijne
Wijz.	Datum	Omschrijving	Opsteller	Gecontroleerd

© Copyright Tebodin

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze ook zonder uitdrukkelijke toestemming van de uitgever.

	Inhoudsopgave	Pagina
1	Inleiding	4
2	Informatieverzameling	5
2.1	Gehanteerde bronnen	5
2.1.1	Incidentdatabases	5
2.1.2	Literatuur	6
2.2	Gehanteerde selectiecriteria	7
2.2.1	Major Accidents Reporting System (MARS)	7
2.2.2	JST database en RISCAD database	7
2.2.3	FACTS database	8
2.3	Geselecteerde incidenten	8
3	Resultaten van de analyse	10
3.1	Directe oorzaken	10
3.2	Basisoorzaken	11
3.2.1	Overdruk	12
3.2.2	Onderdruk	13
3.2.3	Corrosie	13
3.2.4	Externe belasting	14
3.2.5	Operatorfout	15
3.2.6	Hoge temperatuur	15
3.2.7	Foute onderdelen / plaatsing	15
3.3	Effecten van de incidenten per basisoorzaak	16
4	Vergelijking van de resultaten met overeenkomstige studie	18
5	Mitigerende maatregelen	19
6	Conclusie	24
7	Referenties	25
	Bijlage 1: Samenvatting van de incidentenanalyse	26
	Bijlage 2: Rapportageformulieren	27

1 Inleiding

Met de introductie van het Besluit externe veiligheid inrichtingen [1] (hierna: Bevi) is de doorwerking geregeld van milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid bij besluiten op het gebied van de ruimtelijke ordening en bij de verlening van een milieuvergunning voor een risicovolle inrichting. In het Bevi zijn de criteria vastgelegd voor de beoordeling van de aanvaardbaarheid van risico's voor een groot aantal categorieën van inrichtingen. Het vaststellen van de risico's van een inrichting op de omgeving vindt plaats aan de hand van een kwantitatieve risicoanalyse (hierna: QRA). Hierbij is het van belang dat de resultaten van een QRA verifieerbaar, reproduceerbaar en vergelijkbaar zijn. Daarom moeten QRA's op basis van dezelfde uitgangspunten, modellen en basisgegevens worden uitgevoerd. Om dit te bewerkstelligen is een rekenmethodiek ontwikkeld voor het uitvoeren van een QRA, bestaande uit het rekenpakket SAFETI-NL [2] en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [3] (hierna: Handleiding). Deze methodiek wordt in artikel 7 van de Regeling externe veiligheid inrichtingen [4] voorgeschreven voor het vaststellen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor de inrichtingen die vallen onder het Bevi.

In de Handleiding zijn scenario's en standaard faalfrequenties beschreven voor de verschillende procesonderdelen die binnen een (risicovolle) inrichting kunnen voorkomen. Uitgangspunt voor het toepassen van de standaard faalfrequenties in een QRA is dat een bedrijf voldoet aan de standaarden van een goede bedrijfsvoering. Dit betekent onder andere dat het veiligheidsbeheerssysteem (VBS) voldoet aan de eisen en er voldoende maatregelen zijn getroffen tegen alle voorziene faalmechanismen.

Het is mogelijk dat op een inrichting technische maatregelen zijn getroffen die de kans op een ongeval reduceren. In dat geval mag een voorstel worden gemaakt voor de toepassing van faalfrequenties die zijn toegespitst op de specifieke situatie. Voorwaarde hierbij is dat het voorstel is voorzien van een onderbouwing in de vorm van bijvoorbeeld casuïstiek of een foutenboomanalyse.

Door het inventariseren van incidenten die in de loop der jaren hebben plaatsgevonden en door per incident te analyseren wat de onderliggende faaloorzaak is, kunnen risicoreducerende maatregelen die een dergelijk incident zouden kunnen voorkomen worden vastgesteld. Aan de hand van deze analyse kan worden onderbouwd dat de standaard faalfrequenties kunnen worden gereduceerd door de implementatie van de vastgestelde risicoreducerende maatregelen.

In voorliggende studie is aan de hand van literatuur en incidentendatabases onderzocht wat de faaloorzaken zijn van incidenten met atmosferische opslagtanks die in het verleden hebben plaatsgevonden. Aan de hand van de resultaten van de incidentenanalyse kunnen risicoreducerende maatregelen worden vastgesteld die toekomstige incidenten kunnen voorkomen. Door toekenning van reductiefactoren aan de risicoreducerende maatregelen is het mogelijk de standaard faalfrequenties die voor atmosferische opslagtanks zijn opgenomen in de Handleiding te verlagen indien een inrichting de betreffende maatregelen implementeert.

De studie richt zich uitsluitend op incidenten die wereldwijd hebben plaatsgevonden met atmosferische opslagtanks. Alle overige incidenten zijn buiten beschouwing gelaten. Incidenten die hebben plaatsgevonden met transportvoertuigen of verbindende apparatuur van een opslagtank - zoals leidingwerk of pompen - zijn eveneens niet in deze studie meegenomen, tenzij deze incidenten het falen van een opslagtank tot gevolg hadden.

2 Informatieverzameling

Ondanks dat incidenten met atmosferische opslagtanks wereldwijd met regelmaat voorkomen, blijkt dat over het algemeen weinig informatie wordt verstrekt over de specifieke achtergrond en de gevolgen van de incidenten. Met name technische informatie over een incident is erg moeilijk te achterhalen. Slechts incidenteel worden uitgebreide onderzoeksrapporten van een incident openbaar gemaakt. Vandaar dat voor het verzamelen van informatie gebruik is gemaakt van zoveel mogelijk bronnen. Desondanks is het mogelijk dat niet alle incidenten in deze rapportage zijn opgenomen of dat van een incident niet voldoende relevante informatie kon worden achterhaald om het incident in de studie mee te kunnen nemen.

2.1 Gehanteerde bronnen

Om te achterhalen welke incidenten er in het verleden hebben plaatsgevonden met atmosferische opslagtanks is gebruik gemaakt van diverse bronnen. Een korte omschrijving van de belangrijkste bronnen is in onderstaande paragrafen gegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen databases en literatuur.

2.1.1 Incidentdatabases

Major Accidents Reporting System (MARS)

Het Major Accidents Reporting System (MARS) is opgezet door het Major Accidents and Hazards Bureau van het EU Joint Research Centre. De database bevat informatie over 'grote ongevallen' die door Lidstaten van de Europese Unie aan de Europese Commissie is verstrekt, overeenkomstig de bepalingen van de 'Seveso Richtlijn'. Momenteel bevat MARS gegevens over meer dan 570 ernstige ongevalgebeurtenissen die sinds de jaren 80 hebben plaatsgevonden. Het merendeel van de gerapporteerde incidenten heeft betrekking op de periode tussen 1995 en 2003.

De database bevat, afhankelijk van het ongeval, de volgende informatie:

- het type ongeval;
- de betrokken stoffen;
- de bron;
- de oorzaak;
- de directe effecten;
- de getroffen veiligheidsmaatregelen;
- de 'lessons learned'.

Relational Information System for Chemical Accidents Database (RISCAD)

Deze database is tot stand gekomen met subsidie van Japan Science and Technology Agency (JST) en is ontwikkeld door het National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) en de Japan Science and Technology Agency (JST). De database bevat informatie over ruim 4.350 incidenten die in de periode tussen 1945 en 2004 hebben plaatsgevonden. De bronnen die zijn gebruikt voor het samenstellen van de database zijn:

- 'The Hazard and Accident Database' (<http://riodb.ibase.aist.go.jp/riohomee.html>) van AIST;
- het boek 'Reaction Hazard – Accident and Analysis' (Tamura, 1995);
- incidentrapporten van gevaarlijke stoffen gerelateerd aan de Japanse 'Fire Service Law' en de Japanse 'Industrial Safety and Health Law';

- nieuwsberichten van incidenten;
- verzamelde incidenten door 'MS seminar'.

Japan Science and Technology Agency Failure Knowledge Database

De Japan Science and Technology Agency (JST) heeft onderzoek gedaan naar incidenten op het gebied van wetenschap en technologie. De lessons learned zijn gebruikt om een kennisdatabase op te stellen. Deze database is publiekelijk en kosteloos toegankelijk en bevat informatie over circa 550 incidenten.

De informatie afkomstig uit deze database is in deze studie gecombineerd met informatie uit bovenstaande RISCAD Database. Dit aangezien de bronnen die zijn gebruikt voor deze database ook zijn meegenomen in de RISCAD database.

FACTS database

De online database FACTS van TNO bevat die informatie over industriële ongevallen waarbij schadelijke materialen betrokken waren die ernstige schade en gevaar (hadden kunnen) veroorzaken. FACTS staat voor 'Failure and Accidents Technical information System'. De database bevat meer dan 22.700 beschrijvingen van ongevallen met schadelijke stoffen die wereldwijd hebben plaatsgevonden in de afgelopen 90 jaar.

2.1.2 Literatuur

Naast incidentendatabases is informatie verkregen uit diverse onderzoeksrapporten, literatuurstudies, etc:

- Lepowski, W. (19 December 1994). "Ten Years Later: Bhopal". Chemical and Engineering News
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI – Registered Installations Inspectorate, ARIA nr. 23866
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI / IMPEL– Registered Installations Inspectorate, ARIA nr. 31312
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI / IMPEL– Registered Installations Inspectorate, ARIA nr. 32829
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI / IMPEL– Registered Installations Inspectorate, ARIA nr. 31227
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI. Feedback seminar IMPEL / ICPE inspectors, Rheims, June 12-13, 2001
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI - Classified Installations Inspectorate ARIA nr. 19979
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI - Classified Installations Inspectorate ARIA nr. 21082
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI - Registered Installations Inspectorate ARIA nr. 22459
- French Ministry of the Environment - DPPR / SEI / BARPI - Registered Installations Inspectorate ARIA nr. 26982
- Federal Public Service Employment, Labour and Social Dialogue, Chemical risks division. Document nr. CRC/ONG/0013-E
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Investigation report Refinery Incident Motiva Enterprises LLC. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Report No. 2001-05-1-DE
- Case study hot work control and safe work practices of oil and gas production wells, Partridge-Raleigh Smith County Oilfield. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Report No. 2006-07-I-MS

- Investigation report, methanol tank explosion and fire, Bethune point wastewater treatment plant. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Report No. 2006-03-I-FL
- Explosie aardgascondensaattank bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij te Warffum d.d. 31 mei 2005, Onderzoeksraad voor Veiligheid. Den Haag, september 2007 (M2005BL0531-03)
- National Transportation Safety Board Washington D.C., Storage Tank Explosion And Fire in Glenpool, Oklahoma April 7, 2003. Pipeline accident report NTSB/PAR-04/02, PB2004-916502 Notation 7666
- The investigation committee's report on the puertollano refinery accident, Press Release September 18, 2003
- Marsh's Risk Consulting Practice, The 100 largest Losses 1972-2001. Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries. 20th edition, February 2003
- Marsh Risk Consulting, Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries – A Thirty-Year Review. 19th edition, February 2001
- Fewtrell, P.; Hirst I.L.. A review of high-cost chemical/petrochemical accidents since Flixborough 1974
- Chang, James I.; Lin, Cheng-Chung. A study of storage tank accidents. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2006) 51-59

2.2 Gehanteerde selectiecriteria

Om uit de gebruikte databases de relevante scenario's te verkrijgen is gebruik gemaakt van diverse filters. In onderstaande paragrafen is per database aangegeven welke selectiecriteria zijn gebruikt om tot een selectie van relevante incidentscenario's te komen. Voor alle databases geldt dat incidenten die zijn veroorzaakt door sabotage of terrorisme buiten beschouwing zijn gelaten.

2.2.1 Major Accidents Reporting System (MARS)

Met betrekking tot de selectie van incidenten uit de MARS database is aangesloten bij de selectie die door het RIVM is uitgevoerd [8]. Binnen de MARS database is gezocht op stofclassificatie en de bron van het incident. In een eerste selectie is gezocht op de stofclassificatie 'flammable' en de bron 'storage'. Daarnaast heeft, los van de eerste selectie, een selectie plaatsgevonden op stofclassificatie 'flammable' en bron 'transfer'. Uit de verkregen resultaten is vervolgens per incident de relevantie van het incident voor onderhavige studie beoordeeld.

2.2.2 JST database en RISCAD database

Voor de JST database en de RISCAD database zijn dezelfde selectiecriteria gebruikt. Voor beide databases is een selectie aan de hand van de sleutelwoorden 'storage' en 'tank'. De scenario's die op basis van deze sleutelwoorden zijn gevonden, zijn vervolgens individueel bekeken, waarbij de relevante scenario's zijn geselecteerd.

2.2.3 FACTS database

Om uit de omvangrijke FACTS database de relevante scenario's te filteren, is een uitgebreide query gemaakt. De invoergegevens van deze query zijn hieronder weergegeven:

Search for accidents

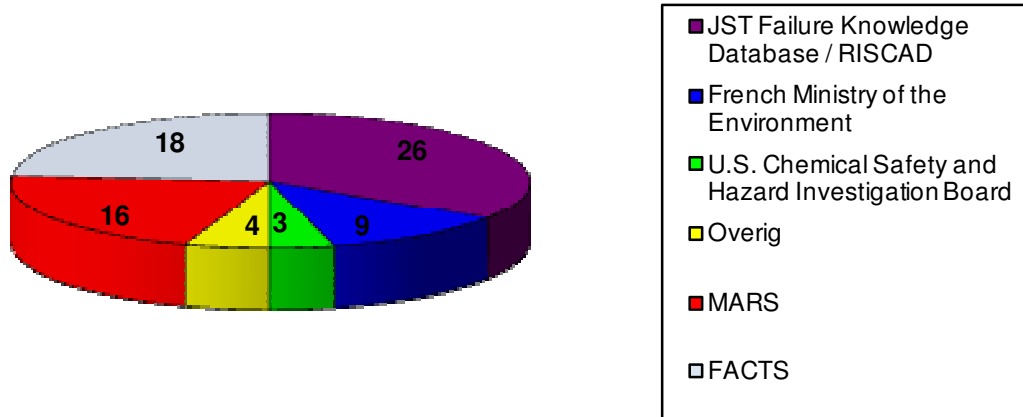
- 'WHERE' 'ACTIV' contains any of the following values 'STORAGE'
- 'AND' 'EQINV' contains any of the following values 'TANK'
- 'AND' 'CLASS' contains any of the following values '***** or ****'
- 'AND' 'CHEM' contains any of the following values 'LIQUID'
- 'ANDNOT' 'CHEM' contains any of the following values 'GAS'
- 'ANDNOT' 'CHEM' contains any of the following values 'SOLID'
- 'ANDNOT' 'CHEM' contains any of the following values 'MOLTEN'
- 'ANDNOT' 'CHEM' contains any of the following values 'POWDER'
- 'AND' 'CAUSE' contains any of the following values 'DOMINO, HUMAN-FAILURE, MANAGEMENT-FAILURE, NATURAL CAUSE, OP/OTHERS-EXT/FAIL, TECHNICAL-FAILURE.

2.3 Geselecteerde incidenten

Aan de hand van een rapportageformulier zijn de incidenten uit de diverse bronnen geïnventariseerd en beknopt omschreven. De belangrijkste onderwerpen die in het formulier zijn opgenomen zijn hieronder weergegeven:

- incidentbeschrijving;
- indirecte en directe oorzaak van het incident;
- beschrijving van de aanwezige voorzorgsmaatregelen;
- beschrijving van maatregelen uit de PGS 29 die het incident hadden kunnen voorkomen;
- hoeveelheden/effecten.

Indien van een incident geen of onvoldoende informatie beschikbaar was over bovenstaande onderwerpen, is geen rapportageformulier ingevuld en is het incident niet in de studie meegenomen. Indien een incident in meerdere bronnen voorkwam, is de relevante informatie uit deze verschillende bronnen gecombineerd. In totaal zijn 76 relevante incidenten waarvoor voldoende informatie beschikbaar was in de analyse meegenomen. Een onderverdeling van de incidenten over de aangesproken bronnen is weergegeven in Figuur 1. De incidenten waarbij informatie uit meerdere bronnen is verzameld, zijn ingedeeld bij de bron waar de meeste informatie uit is gehaald. De rapportageformulieren van de incidenten zijn opgenomen in bijlage 2.



Figuur 1: verdeling van de incidenten over de verschillende bronnen

Uit de figuur blijkt dat voor circa 80 % van de incidenten informatie afkomstig is uit de vier incidentendatabases. De overige 20% is afkomstig uit literatuurbronnen.

Van de geselecteerde incidenten hebben 40 incidenten plaatsgevonden in Europa, 27 incidenten in Azië en 9 incidenten in de Verenigde Staten.

3 Resultaten van de analyse

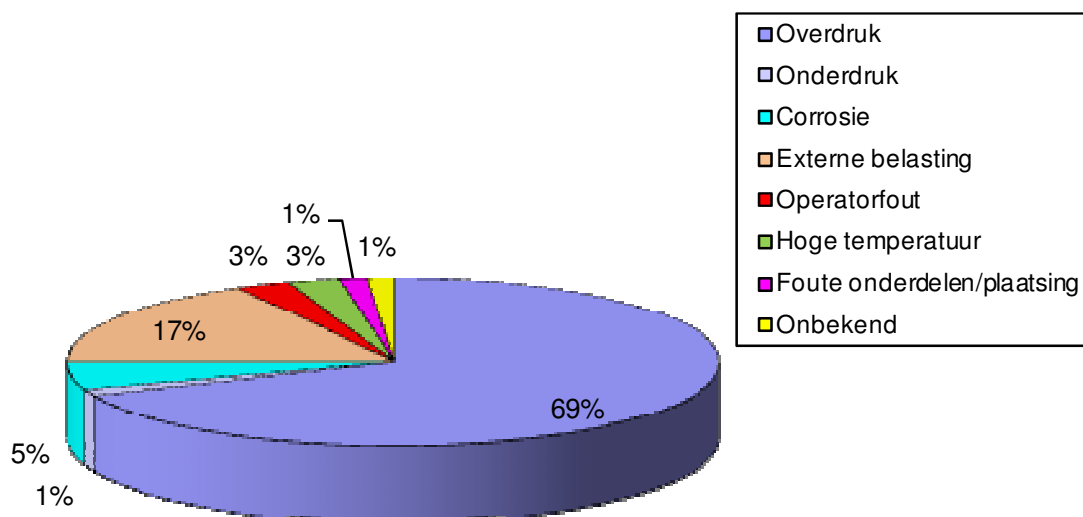
3.1 Directe oorzaken

Van de geselecteerde incidenten is onderzocht wat de oorzaken geweest zijn die direct tot het incident hebben geleid. Hierbij is uitgegaan van de directe oorzaken die zijn opgenomen in bijlage 6 van PGS 6 [5]. Hierin wordt onderscheid gemaakt in de volgende directe oorzaken:

- corrosie;
- erosie;
- externe belasting;
- inslag/botsing/stoten;
- operatorfout;
- overdruk/onderdruk;
- hoge/lage temperatuur;
- trillingen;
- foute onderdelen/plaatsing.

Een aantal incidenten zijn terug te herleiden tot meerdere directe oorzaken. Dit geldt bijvoorbeeld voor het overvullen van een opslagtank. In deze studie is het overvullen van een opslagtank opgenomen onder de directe oorzaak overdruk. Ook de scenario's waarbij een explosie of brand ontstaat tijdens onderhoudswerkzaamheden of door blikseminslag, zijn opgenomen bij overdruk.

De indeling van de incidenten naar directe oorzaak is weergegeven in Figuur 2.

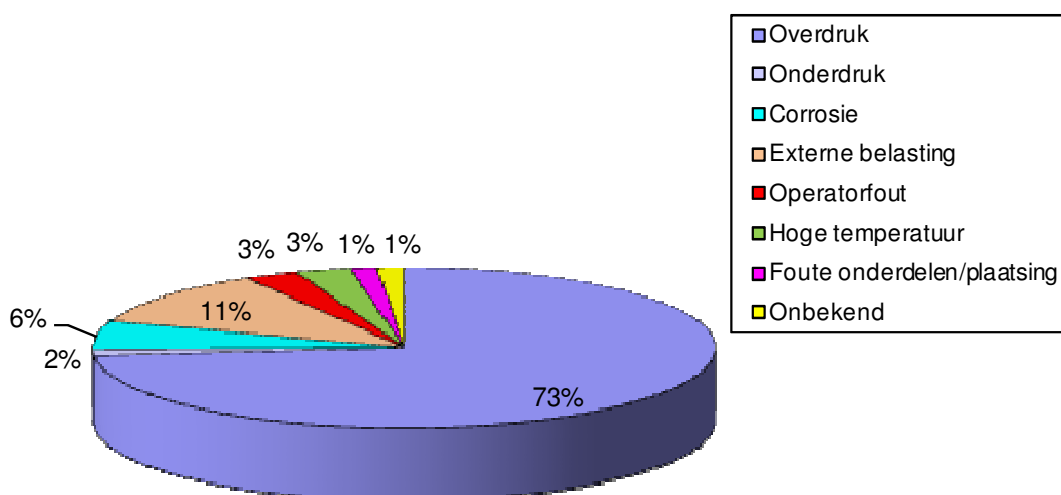


Figuur 2: procentuele indeling van de incidenten naar directe oorzaak

De figuur laat zien dat overdruk, met een bijdrage van 69%, de voornaamste oorzaak is van incidenten die hebben plaatsgevonden met atmosferische opslagtanks.

Daarnaast leveren externe belasting en corrosie, met respectievelijk 17% en 5%, een aanzienlijke bijdrage. Voor externe belasting dient echter een nuancering te worden gemaakt. Van de dertien incidenten met als directe oorzaak externe belasting, geldt namelijk dat voor vijf incidenten de basisoorzaak een aardbeving is. Aangezien deze studie zich richt op mogelijke faalfrequentiereductie voor atmosferische opslagtanks in Nederland, en de kans op en de eventuele effecten van een aardbeving in Nederland relatief klein zijn, zijn deze incidenten niet relevant voor de studie.

Indien de incidenten die zijn veroorzaakt door een aardbeving buiten beschouwing worden gelaten, wordt de verdeling zoals weergegeven in Figuur 3 verkregen.



Figuur 3: gecorrigeerde procentuele indeling van de incidenten naar directe oorzaak

Op basis van de figuur kan worden geconcludeerd dat 73% van de geanalyseerde incidenten is veroorzaakt door overdruk. Ook blijkt dat externe belasting en corrosie in veel gevallen de veroorzakers van een incident met atmosferische opslagtanks zijn. Deze drie directe oorzaken zijn samen verantwoordelijk voor 90% van de geanalyseerde incidenten.

Voor geen van de incidenten is erosie, inslag/botsing/stoten, lage temperatuur of trillingen als directe oorzaak aangewezen. Deze zijn zodoende ook niet in de figuren opgenomen.

3.2 Basisoorzaken

Aan de hand van de foutenbomen die zijn opgenomen in bijlage 8 van de PGS 6 [5] is voor ieder incident per directe oorzaak vastgesteld wat de oorzaak is die aan de basis van het incident staat. Door vervolgens voor de verschillende directe oorzaken uit te zetten welke basisoorzaken aan het incident vooraf gingen, is het overzicht verkregen zoals weergegeven in Tabel 1. Hierbij zijn voor externe belasting als directe oorzaak de scenario's waarbij een aardbeving te directe oorzaak was reeds buiten beschouwing gelaten.

Voor sommige directe oorzaken was de basisoorzaak niet direct vast te stellen, of waren er meerdere mogelijke basisoorzaken te herleiden.

Tabel 1: onderverdeling van incidenten naar basisoorzaken

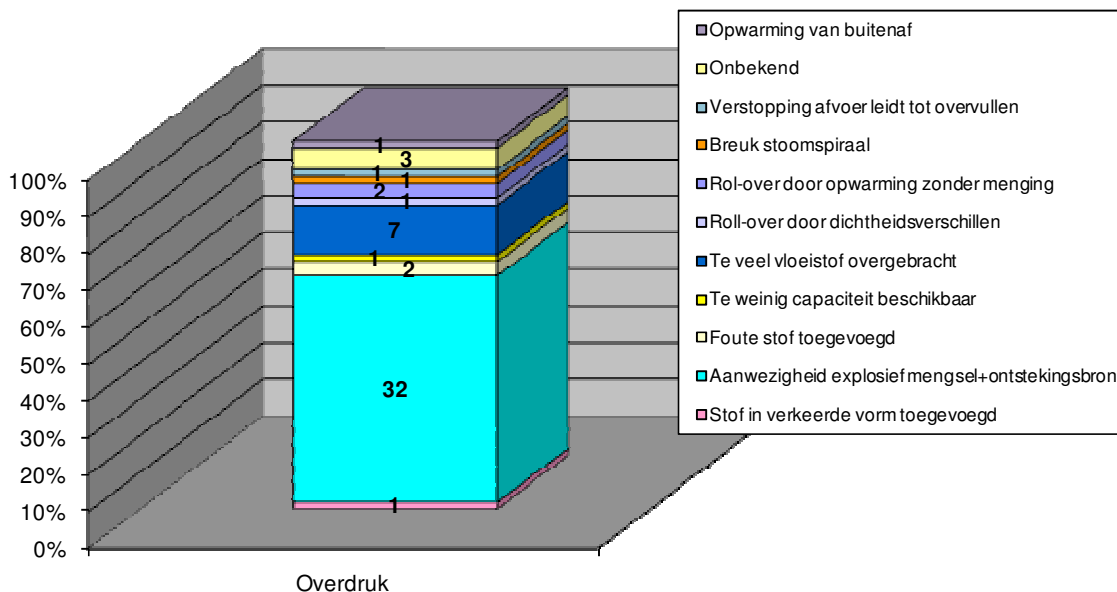
Directe oorzaak	Basisoorzaak	Aantal incidenten
Overdruk	Stof in verkeerde vorm toegevoegd	1
	Verstopping afvoer leidt tot overvullen	1
	Foute stof toegevoegd	2
	Breuk stoomspiraal	1
	Aanwezigheid explosief mengsel+ontstekingsbron	32
	Opwarming van buitenaf	1
	Overvullen: te veel vloeistof overgebracht	7
	Overvullen: te weinig capaciteit beschikbaar	1
	Roll-over door dichtheidsverschillen	1
	Roll-over door opwarming zonder menging	2
	Onbekend	3
	Onderdruk	Gesloten toevoer
Corrosie	Productinvloed	2
	Invloed van water	1
	Onbekend	1
Externe belasting	Regenval/sneeuw	3
	Ondersteuning weg tijdens onderhoud	4
	Ontwerpfout	1
Operatorfout	Lekkage inluitsysteem	1
	In foute toestand gelaten/gezet	1
Hoge temperatuur	Exotherme reactie	2
Foute onderdelen/plaatsing	Niet correct geïnstalleerde onderdelen	1
Onbekend	-	1
TOTAAL		71

In onderstaande paragrafen zijn de resultaten uit bovenstaande tabel per directe oorzaak kort beschreven.

3.2.1 Overdruk

Voor overdruk is de aanwezigheid van een explosieve atmosfeer in combinatie met een ontstekingsbron in 62% van de gevallen aan te wijzen als basisoorzaak. Deze ontsteking van explosieve atmosfeer vindt in 17 van de 32 gevallen plaats tijdens onderhouds- of schoonmaakwerkzaamheden aan de tank of aan naastgelegen installaties. In zes gevallen werd de explosieve atmosfeer ontstoken door blikseminslag en eveneens in zes gevallen door het optreden van statische elektriciteit. In de overige drie gevallen was er sprake van een ontsteking door vonkvorming, gloeiende deeltjes en hoge temperatuur t.g.v. een exotherme reactie.

Overvullen van de opslagtank is de op één na grootste basisoorzaak die verantwoordelijk is voor de overdrukincidenten (8 incidenten). Ook het optreden van een roll-over en het toevoegen van een foutieve stof zijn basisoorzaken die meerdere malen tot incidenten ten gevolge van overdruk hebben geleid. Een grafisch overzicht van de basisoorzaken is weergegeven in Figuur 4.



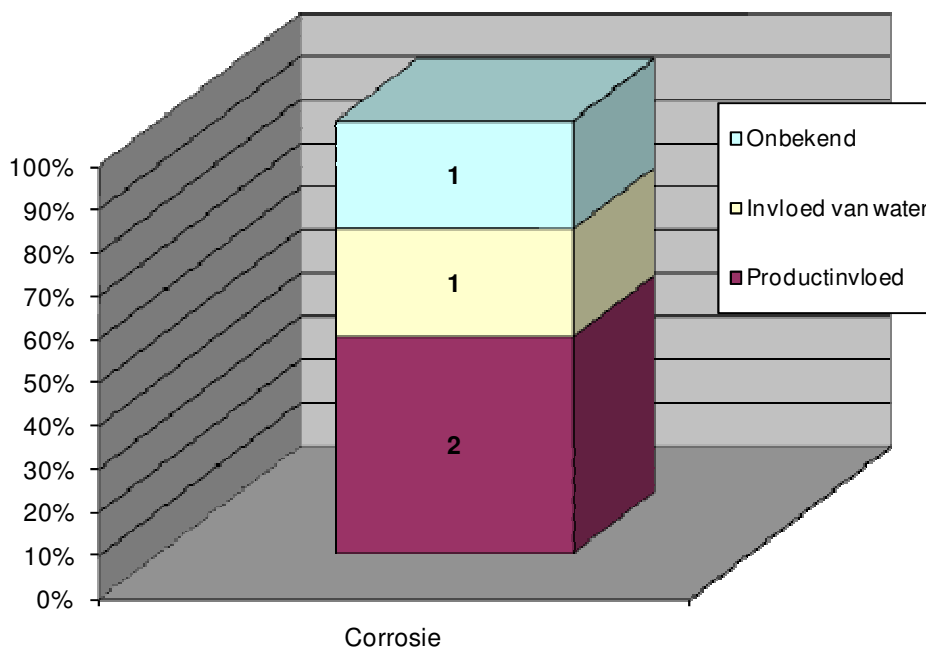
Figuur 4: onderverdeling van incidenten t.g.v overdruk naar basisoorzaken

3.2.2 Onderdruk

Slechts voor één van de incidenten is onderdruk als directe oorzaak aan te wijzen. De basisoorzaak die hieraan vooraf ging, is het gesloten zijn van de beluchtingstoevoer. Tijdens het verpompen van product uit de opslagtank heeft dit geleid tot het ontstaan van onderdruk in de tank, waardoor een lekkage van de tank is ontstaan.

3.2.3 Corrosie

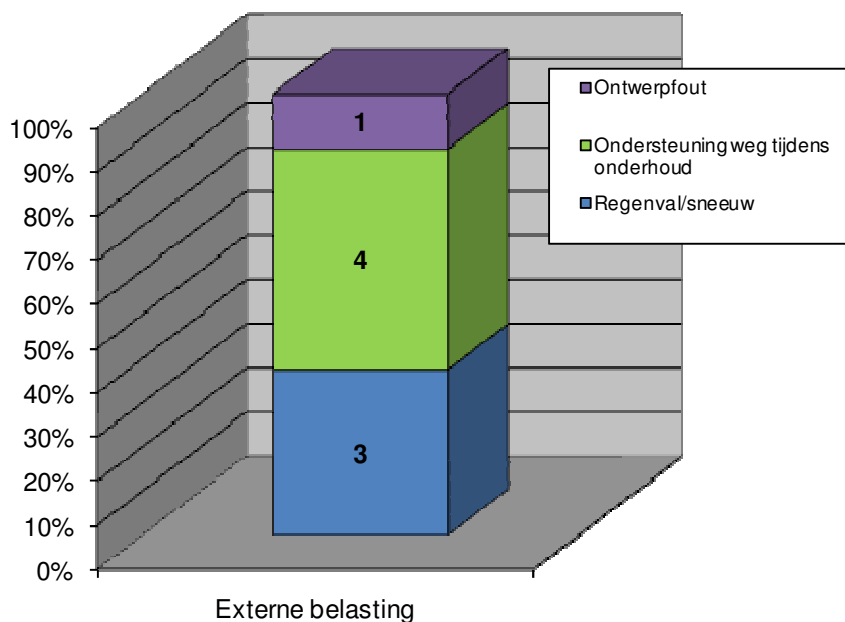
Voor de vier incidenten met als directe oorzaak corrosie zijn twee verschillende basisoorzaken aan te wijzen: de invloed van het opgeslagen product op de tank (2x) en corrosie ten gevolge van de aanwezigheid van stilstaand water in de tank (1x). Voor één incident was het niet mogelijk een basisoorzaak af te leiden. De verschillende basisoorzaken zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: onderverdeling van incidenten t.g.v corrosie naar basisoorzaken

3.2.4 Externe belasting

Indien de incidenten met als basisoorzaak 'aardbeving' buiten beschouwing worden gelaten, zijn er drie basisoorzaken aan te wijzen die hebben geresulteerd in een incident ten gevolge van externe belasting. Uit de analyse blijkt dat vier incidenten hebben kunnen plaatsvinden doordat de ondergrond onder de tank is verzwakt door onderhoudswerkzaamheden of is verzakt door blootstelling aan water of een andere vloeistof. Drie incidenten zijn veroorzaakt door hevige regenval of door sneeuwval. Eén incident is ontstaan door een ontwerpfout van de tank.



Figuur 6: onderverdeling van incidenten t.g.v. externe belasting naar basisoorzaken

3.2.5 Operatorfout

De twee basisoorzaken die hebben geresulteerd in een incident door een operatorfout zijn: het starten van het proces terwijl de verkeerde afsluiters geopend waren en een lekkage van de tank door het falen van een afsluiter tijdens onderhoudswerkzaamheden.

3.2.6 Hoge temperatuur

Van de geanalyseerde incidenten met als directe oorzaak hoge temperatuur blijkt dat een exotherme reactie de basisoorzaak is. In één geval bleek fermentatie van organisch materiaal tot een hoge temperatuur te hebben geleid, terwijl in een tweede geval productontleding heeft geresulteerd in het ontstaan van organische peroxiden die spontaan zijn ontbrand.

3.2.7 Foute onderdelen / plaatsing

De basisoorzaak die heeft geleid tot de lekkage van een opslagtank betreft het foutief lassen van een dakdrain, waardoor product vanuit de tank in de tankput kon vrijkomen.

3.3 Effecten van de incidenten per basisoorzaak

Om vast te stellen of een incident relevant is met betrekking tot de externe veiligheid is voor de verschillende incidenten bekeken of er in de incidentbeschrijvingen informatie is opgenomen over de effecten van het incident. Hierbij zijn de effecten per basisoorzaak gecategoriseerd, waarbij onderscheid is gemaakt in onderstaande categorieën:

- geen letale effecten opgetreden;
- letale effecten uitsluitend binnen de terreingrens opgetreden;
- letale effecten tot buiten de terreingrens opgetreden.

In onderstaande tabel is aangegeven tot welke categorie de verschillende basisoorzaken zijn ingedeeld op basis van de waargenomen effecten. Het getal in de tabel geeft het aantal incidenten aan waarbij het betreffende effect is opgetreden.

Tabel 2: indeling van basisoorzaken op basis van de waargenomen effecten

Directe oorzaak	Basisoorzaak	Geen letale effecten opgetreden	Letale effecten binnen terreingrens	Letale effecten tot buiten terreingrens
Overdruk	Stof in verkeerde vorm toegevoegd	1	-	-
	Verstopping afvoer leidt tot overvullen	1	-	-
	Foute stof toegevoegd	2	-	-
	Breuk stoomspiraal	1	-	-
	Aanwezigheid explosief mengsel+ontstekingsbron	17	15	-
	Opwarming van buitenaf	1	-	-
	Overvullen: te veel vloeistof overgebracht	6	-	1
	Overvullen: te weinig capaciteit beschikbaar	1	-	-
	Roll-over door dichtheidsverschillen	1	-	-
	Roll-over door opwarming zonder menging	1	1	-
	Onbekend	-	3	-
Onderdruk	Gesloten toevoer	1	-	-
Corrosie	Productinvloed	2	-	-
	Invloed van water	1	-	-
	Onbekend	1	-	-
Externe belasting	Regenval/sneeuw	3	-	-
	Ondersteuning weg tijdens onderhoud	4	-	-
	Ontwerpfout	-	1	-
Operatorfout	Lekkage insluitsysteem	1	-	-
	In foute toestand gelaten/gezet	1	-	-
Hoge temperatuur	Exotherme reactie	1	1	-
Foute onderdelen/plaatsing	Niet correct geïnstalleerde onderdelen	1	-	-
Onbekend	-	1	-	-
TOTAAL		49	21	1

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 17 van 27

Uit bovenstaande tabel blijkt dat slecht bij één incident sprake is van dodelijke slachtoffers buiten de terreingrens. In circa 30% van de incidenten zijn er dodelijke slachtoffers binnen de terreingrens gevallen. Dit is voornamelijk het geval bij incidenten waarbij overdruk is ontstaan door de ontsteking van een aanwezige explosieve atmosfeer. Voor het merendeel van de incidenten (circa 70%) geldt echter dat er geen dodelijke slachtoffers zijn gevallen.

Indien er sprake is van letale effecten die zich hebben beperkt tot binnen de terreingrens wil dit niet zeggen dat een dergelijk incident niet had kunnen resulteren in letale effecten tot buiten de terreingrens. Dit is namelijk o.a. afhankelijk van de afstand van de installatie tot de terreingrens en de populatiedichtheid in de omgeving van de inrichting. Of een incident relevant is met betrekking tot de externe veiligheid is dus mede afhankelijk van de locatie.

4 Vergelijking van de resultaten met overeenkomstige studie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze studie vergeleken met de resultaten van een studie die in 2004 door Chang & Lin [7] is uitgevoerd. In die studie zijn 242 ongelukken geïncidentariseerd die gedurende een periode van 40 jaar met opslagtanks hebben plaatsgevonden. Het betreft hier zowel atmosferische tanks als druktanks. Hierbij is onder andere gekeken naar de oorzaken die hebben geleid tot het incident. In onderstaande tabel zijn deze oorzaken en het aantal bijbehorende incidenten weergegeven.

Tabel 3: oorzaken van tankincidenten conform Chang & Lin [7]

Oorzaak	Aantal	Procentuele bijdrage
Blikseminslag	80	33,1%
Onderhoud/heet-werk	32	13,2%
Operatorfout (o.a. overvullen)	29	12,0%
Falen van equipment	19	7,9%
Sabotage	18	7,4%
Scheur/breuk	17	7,0%
Lekkage en leidingbreuk	15	6,2%
Statische elektriciteit	12	5,0%
Open vuur	8	3,3%
Natuurramp	7	2,9%
Runaway reactie	5	2,1%
Totaal	242	100%

Aangezien de indeling van oorzaken door Chang & Lin [7] niet overeenkomt met de indeling die in onderhavige studie is toegepast en het zowel incidenten met atmosferische tanks als druktanks betreft, is het niet mogelijk de resultaten van beide studies een-op-een te vergelijken. Wel is het mogelijk een globale vergelijking te maken tussen beide studies. Zo blijkt dat voor beide studies overdruk (waaronder blikseminslag, onderhoud/heet-werk, overvullen, statische elektriciteit en open vuur) voor meer dan de helft van de incidenten de directe oorzaak is. De overige oorzaken laten zich minder gemakkelijk classificeren, waardoor verdere vergelijking van de resultaten niet mogelijk is.

5 Mitigerende maatregelen





Aan de hand van de verschillende directe oorzaken en basisoorzaken is het mogelijk mitigerende maatregelen op te stellen die de kans op een incident hadden kunnen verkleinen of het incident hadden kunnen voorkomen. In deze studie zijn voor de verschillende incidenten mitigerende maatregelen afgeleid aan de hand van de vereiste voorzieningen en beheersmaatregelen die in PGS 29 [6] zijn opgenomen. Met andere woorden: voor de verschillende incidenten is vastgesteld welke in PGS 29 [6] opgenomen voorzieningen en beheersmaatregelen aanwezig waren of geïmplementeerd hadden kunnen worden om de kans op het optreden van het incident te verkleinen. Tevens is hierbij aangegeven of er eventuele maatregelen geïmplementeerd waren of zouden kunnen worden die niet door PGS 29 worden voorgeschreven, maar de kans op het optreden van het incident wel (hadden) kunnen verkleinen.

In Tabel 5 is het overzicht van de mitigerende maatregelen per incident weergegeven, waarbij voor de verschillende maatregelen verwezen is naar de paragraafnummers van PGS 29. Ter verduidelijking is in onderstaande tabel een overzicht gegeven van de betreffende maatregelen met bijbehorende paragraafnummers. Maatregelen die voor een incident niet relevant zijn, zijn niet opgenomen in de tabel.

Tabel 4: overzicht van mitigerende maatregelen in relatie tot PGS 29

Hoofdstuktitel in PGS 29	Maatregel	Paragraaf in PGS 29
4. Tankopslag, activiteiten en inrichting	Aarding	4.5.2
	Maatregelen tegen statische elektriciteit	4.5.3
	Gevarenzone-indeling	4.6
6. Opslagtanks	Beluchting van een tank met een drijvend dak	6.3.2
	Seal-materialen wn werkbare bereiken van seals	6.3.3
	Hoogniveau-alarmering en beveiliging	6.3.6
7. Overige voorzieningen	Algemene eisen aan overslag	7.3.1
	Overslag bij schepen (steigers)	7.3.3
10. Brandpreventie en veiligheid	Vermijden van ontstekingsbronnen	10
11. Bedrijfsvoering en beheer	Operationeel toezicht en inspectie	11.1
	(Heet-)werkvergunningen	11.2
	Periodieke inspectie en onderhoud	11.3
	Inspectie van tanks	11.3.2
12. Beheer van wijzigingen	Beheer van wijzigingen	12
Bijlage A: Aanvullende aanbevelingen voor tankputfunderingen	Aanvullende aanbevelingen voor tankfunderingen	Bijlage A

Tevens is gebruik gemaakt van kleurcoderingen om de status van de maatregel voor het betreffende incident aan te geven, waarbij onderscheid is gemaakt in onderstaande coderingen:

	= De maatregel was geïmplementeerd en heeft gefunctioneerd
	= De maatregel was geïmplementeerd maar heeft niet/onvoldoende gefunctioneerd
	= De maatregel was niet aanwezig
	= De status van de maatregel is onbekend voor het betreffende incident

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 21 van 27

Incident no.	Direct cause	Root cause	Repressive LoDs mentioned in PGS 29											Appendix	(Nitrogen) inerting	Pressure indicators/ protection	Additional LoDs			
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Temperature indicators/ protection				Flame arrestor	Source		
34	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)																		9
35	High temperature	Exothermal reaction (cause 8.4)																		10
36	Overpressure	Transfer of too much liquid (cause 7.26)			6.3.6	7.3.1						11.1								11
37	Corrosion	Corrosion due to stagnant water (cause 1.10)										11.3								12
38	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								13
39	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								14
40	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								15
41	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								16
42	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.3																	17
44	Overpressure	-	4.6																	18
45	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.2																	19
46	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.3																	19
47	Overpressure	Transfer of too much liquid (cause 7.26)			6.3.6	7.3.1						11.1								19
48	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								19
49	Overpressure	When the original report was prepared, the causes of the accident were still under investigation																		19
50	Overpressure	Roll-over caused by the addition of a residue with a wrong density (cause 7.8)																		19
51	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								19
52	-	-																		19
53	External load	Sinking of floating roof because of snow load (cause 4.3)	4.5.3																	19
			4.6																	
54	Operator failure	Valves had been left open (cause 6.9)																		19
55	Overpressure	Too much fluid transferred (cause 7.26)			6.3.6															19
56	Wrong equipment	Incorrect installation (cause 11.1)																		19
57	Corrosion	-										11.3								19
58	Possible corrosion	Corrosion due to crude (cause 1.11)										11.3								19
59	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								19
60	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.2																	20
61	External load	External load caused by rainfall (cause: 4.3)																		20
62	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6								10	11.2								20

Tebodin B.V.
 Ordernummer: 38537
 Documentnummer: 3800762
 Revisie: 2
 Datum: 21 juli 2008
 Pagina: 22 van 27

Incident no.	Direct cause	Root cause	Repressive LoDs mentioned in PGS 29													Additional LoDs			
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Appendix	(Nitrogen) inerting	Pressure indicators/ protection	Temperature indicators/ protection	Flame arrestor	Source	
63	Overpressure	External heating (7.11-7.13)	4.6							10	11.2								20
64	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6							10									20
65	Overpressure	No mixing within the tank while heating (cause 7.9)			6.3.6						11.3.2								20
66	Overpressure	Too much fluid transferred (cause 7.26)			6.3.6	7.2.1					11.1								20
67	Overpressure	Overfilling of tank due to transfer of too much liquid (cause 7.26)			6.3.6						11.1								20
68	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.2								11.3.2								20
69	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6							10	11.2								20
70	Overpressure	No mixing within the tank (cause 7.9)									12								20
71	External load	Lack of support during maintenance (cause 4.12)									11.1			A					20
72	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.6							10	11.2								20
73	External load	Design failure (cause 4.7)																	20
74	Operator failure	Leakage of storage tank (cause 6.14)									11.2			A					20
75	Overpressure	Explosive atmosphere and ignition source (cause 7.21)	4.5.2																20
76	External load	Lack of support during maintenance (cause 4.12)									11.2			A					20

Wanneer de resultaten uit bovenstaande tabel worden samengevat wordt het resultaat verkregen zoals weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: overzicht van in PGS 29 opgenomen mitigerende maatregelen

Maatregel	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal	Totaal
Aarding	0	3	0	3	6
Maatregelen tegen statische elektriciteit	0	3	3	0	6
Gevarenzone-indeling	0	5	0	19	24
Beluchting van een tank met een drijvend dak	0	1	0	0	1
Seal-materialen en werkbare bereiken van seals	0	1	0	0	1
Hoogniveau-alarmering en beveiliging	0	4	2	3	11
Algemene eisen aan overslag	0	6	0	1	7
Overslag bij schepen (steigers)	0	1	0	1	2
Vermijden van ontstekingsbronnen	0	15	0	3	18
Operationeel toezicht en inspectie	0	8	1	1	10
(Heet-)werkvergunningen	0	16	0	3	19
Periodieke inspectie en onderhoud	0	3	0	1	7
Inspectie van tanks	0	4	0	4	10
Beheer van wijzigingen	0	3	0	0	3
Aanvullende aanbevelingen voor tankfunderingen	0	5	0	0	5
Totaal	0	78	6	39	130

Uit de tabel blijkt dat met name de procedure betreffende van (heet-)werkvergunningen, het vermijden van ontstekingsbronnen en operationeel toezicht en inspectie mitigerende maatregelen zijn die in veel gevallen onvoldoende zijn geïmplementeerd. Dit zijn allemaal organisatorische maatregelen. Voor wat betreft de technische maatregelen blijkt dat voornamelijk het ontbreken of niet functioneren van hoogniveau-alarmering en beveiliging, gebrekkige tankfundering en het ontbreken van goede aarding van de tanks hebben geleid tot het ontstaan van een incident. Door deze organisatorische en technische maatregelen beter door te voeren kan de kans op een incident worden verkleind.

Naast de mitigerende maatregelen die zijn benoemd in PGS 29 zijn er ook aanvullende maatregelen denkbaar die het incident hadden kunnen voorkomen. In onderstaande tabel is weergegeven welke maatregelen dit zijn. Deze maatregelen zijn afgeleid uit de 'lessons learned' van de verschillende incidentbeschrijvingen.

Tabel 7: overzicht van aanvullende mitigerende maatregelen

Maatregel	Aantal	Aantal	Aantal	Aantal	Totaal
Inertisering (met stikstof)	0	2	5	0	6
Bescherming tegen over/onderdruk	1	0	1	0	2
Bescherming tegen hoge/lage temperatuur	0	0	2	0	2
Installatie van flame arrestor	0	2	3	0	5
Totaal	1	4	10	0	15

Uit de tabel blijkt dat inertisering van de tank en de installatie van flame arrestors technische maatregelen zijn die de kans op een incident door ontsteking van een explosieve atmosfeer kunnen verkleinen.

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 24 van 27

6 Conclusie

Uit de analyse van de verschillende incidenten en basisoorzaken blijkt dat voor vrijwel alle incidenten de kans van optreden had kunnen worden verkleind door het implementeren of wijzigen van organisatorische of technische maatregelen. Veelal betreffen dit maatregelen die conform PGS 29 geïmplementeerd zouden moeten zijn, maar in de praktijk onvoldoende of zelfs niet aanwezig zijn. Tevens blijkt dat er naast de in de PGS 29 genoemde maatregelen aanvullende maatregelen zijn die de kans op het optreden van een incident kunnen verkleinen. Deze maatregelen hebben voornamelijk betrekking op incidenten waarbij een explosieve atmosfeer wordt ontstoken door een aanwezige ontstekingsbron.

7 Referenties

- [1] Besluit van 27 mei 2004, houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen milieubeheer (Besluit externe veiligheid inrichtingen), Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2004, nummer 250
- [2] SAFETI-NL versie 6.53.1, RIVM/CEV; www.rivm.nl/milieuportaal/bibliotheek/modellen/safeti-nl.jsp
- [3] Handleiding Risicoberekeningen BEVI, versie 3.0, RIVM/CEV, 1 januari 2008
- [4] Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen
- [5] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 6, Aanwijzingen voor implementatie van BRZO 1999, Ministerie van VROM, 22 augustus 2006
- [6] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 29, Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks, Ministerie van VROM, maart 2005
- [7] Chang J.I., Lin C.C.; *A study of storage tank accidents*. Journal of loss prevention in the process industries 19 (2006), 51-59
- [8] E.S. Kooi, M.B. Spoelstra, P.A.M. Uijt de Haag; *Beschouwing QRA modellering in relatie tot het Buncefield incident*. RIVM, briefrapport, 2008.

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 26 van 27

Bijlage 1: Samenvatting van de incidentenanalyse

Tebodin B.V.

Ordernummer: 38537

Documentnummer: 3800762

Revisie: 2

Datum: 21 juli 2008

Pagina: 27 van 27

Bijlage 2: Rapportageformulieren