

In de avond van 3 juni brak er brand uit na een explosie bij een vestiging van Shell in Moerdijk, waarbij twee mensen lichtgewond zijn geraakt maar geen ernstige slachtoffers zijn gevallen. Op het moment van schrijven van dit voorwoord was nog weinig bekend over de oorzaken van de brand. Het Openbaar Ministerie en de Onderzoeksraad voor Veiligheid hebben inmiddels aangekondigd een onderzoek te starten.

Gezien deze recente gebeurtenis heeft de redactie van het Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap (TtA) besloten de invulling van het huidige nummer aan te passen en het geaccepteerde wetenschappelijke artikel van René van Dort, '50 jaar gasexplosies in de Nederlandse industrie', naar voren te halen en in dit nummer te plaatsen. Informatie uit dit artikel over vergelijkbare gebeurtenissen in Nederland vanaf 1963 kan namelijk relevant zijn voor de analyse van de huidige brand en de preventie van toekomstige industriële gasbranden en -explosies.

Full paper

50 jaar gasexplosies in de Nederlandse industrie

René van Dort¹

Trefwoorden: gasexplosie, ontstekingsbron, gevaarlijke stoffen, explosieveiligheid, Nederland

Samenvatting

Gasexplosies door ontsteking van gevaarlijke stoffen hebben in de Nederlandse industrie veel slachtoffers geëist. Over de periode 1963 - 2013 zijn industriële gasexplosies geanalyseerd. In deze onderzoeksperiode zijn 107 werknemers omgekomen en 319 gewond geraakt bij in totaal 43 gasexplosies. Schoonmaak-, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden, veelal uitgevoerd door contractors, waren vaak de ontstekingsbron waarmee de explosieve atmosfeer ontstoken werd. Deze werknemers waren vaak op niet meer dan een armlengte verwijderd van de gasexplosie, dit maakte dat er verhoudingsgewijs veel doden te betreuren waren en relatief gezien minder gewonden. Met name het voor en tijdens de werkzaamheden vaststellen van de gasconcentratie, binnen en buiten de installatie, had veel slachtoffers kunnen voorkomen. Scheepstanks en opslagtanks zijn de installaties waar veelvuldig deze gasexplosies optraden. Externe veiligheidseffecten zijn door gelukkige omstandigheden, zoals het zich voordoen in avond en nacht, beperkt gebleven.

Inleiding

In de afgelopen 50 jaar zijn in de Nederlandse industrie 107 werknemers omgekomen en 319 gewond geraakt bij in totaal 43 gasexplosies met gevaarlijke stoffen. Verzamelen en analyseren van deze explosies is dus op zijn plaats. Onderzocht zijn gasexplosies die slachtoffers eisten in een industriële omgeving in Nederland van 1963 tot medio 2013, een periode van 50 jaar.

Een gasexplosie is een chemische explosie met een snelle verbranding. Door de snelle verbranding ontstaat er een grote hoeveelheid (verbrandings)gas die door de snelheid en door een afgesloten ruimte een drukgolf kan geven. De drukgolf is, eventueel in combinatie met brand, levensgevaarlijk voor personen. Het vermijden van een

Summary

Gas explosions caused by ignition of hazardous substances in Dutch industry claimed many victims. Over the period 1963 - 2013 industrial gas explosions were analysed. In this period, 107 workers were killed and 319 were injured in a total of 43 gas explosions. Cleaning-, maintenance- and repair work, carried out by contractors, were often the ignition source by which the explosive atmosphere was ignited. These workers were often at an arm's length distance from the explosion, this caused many deaths and relatively less were injured. Before start up and whilst performing these activities determining the gas concentration, inside and outside the installation, would have prevented many casualties. Ship tanks and storage tanks are the installations where frequent gas explosions have occurred. External safety effects have been limited by fortunate circumstances, such as occurrence in the evening and night.

brand of explosie is mogelijk door één van de voorwaarden, brandbare stof - zuurstof - ontstekingsbron, weg te nemen. Voor de situaties waar gevaar voor explosie aanwezig is wordt vaak gekozen voor het wegnemen van de ontstekingsbron. Voorbeelden van ontstekingsbronnen zijn open vuur, een vonk of een heet oppervlak. De brandbare stof en zuurstof zijn namelijk vaak een gegeven en niet eenvoudig vervangbaar door een niet brandbaar - of inert materiaal. Dit onderzoek spitst zich dan ook toe op de oorzaken van de ontsteking en hoe deze ontsteking had kunnen voorkomen worden.

Naast de in de Arbeidsomstandighedenwet omschreven algemene zorgplicht, waarin gesteld wordt dat de werk-

¹ René van Dort is inspecteur bij de directie Major Hazard Control van de Inspectie SZW. De auteur heeft dit artikel op persoonlijke titel geschreven.

gever zorgt voor de veiligheid en de gezondheid van de werknemers, zijn al sinds lange tijd ook specifieke artikelen opgenomen in relatie tot (gas)explosies.

De Europese Commissie heeft bijvoorbeeld, vanwege de aan gas- en stofexplosies verbonden gevaren, regels opgesteld om veilig te kunnen werken op werkplekken waar een kans op explosie is. Deze regelgeving is vastgelegd in de ATEX 137 richtlijn. ATEX is een afkorting van 'Atmosphères Explosibles'. In Nederland is de ATEX 137-richtlijn geïmplementeerd in hoofdstuk 3 van het Arbeidsomstandighedenbesluit "paragraaf 2a Explosieve atmosferen". Sinds 1 juli 2006 (vanaf 1 juli 2003 voor nieuwe arbeidsplaatsen) moeten arbeidsplaatsen volledig voldoen aan de ATEX 137 richtlijn.

Voor 2003 waren ook verwijzingen naar explosieveiligheid opgenomen in de Arbeidsomstandighedenwetgeving, zoals artikel 24 met daarin: "het voorkomen, beperken en bestrijden van brand of ontploffing en de beveiliging tegen deze gevaren". Voor implementatie van de in 1983 uitgebrachte Arbeidsomstandighedenwet was er het "Veiligheidsbesluit voor fabrieken of werkplaatsen 1938" met daarin artikel 18 met de tekst: "Werktuigen, toestellen of voorwerpen die aanleiding tot vonkvorming kunnen geven of die een zo hoge oppervlaktetemperatuur hebben dat daardoor gevaar voor ontsteking van ontplofbare of brandbare mengsels of stoffen kan ontstaan, mogen in bedoeld lokaal niet aanwezig zijn, tenzij zij zodanig zijn opgesteld of ingericht, dat zulk een ontsteking uitgesloten moet worden geacht".

In die zin was de wetgever zich al geruime tijd bewust van de gevaren van gasexplosies. De vraag is in hoeverre werkgevers in de periode van 50 jaar deze voorschriften hebben nageleefd.

De geschetste probleemstelling heeft geleid tot de onderzoeksvraag;

Welke conclusies kunnen worden opgemaakt uit 50 jaar gasexplosies in de Nederlandse industrie?

En de volgende deelvragen;

1. *Welke gasexplosies met slachtoffers hebben zich afgelopen 50 jaar in Nederland voorgedaan?*
2. *Welke verdeling is te maken in oorzaken van ontsteking?*
3. *Bij welke installaties komen gasexplosies vaak voor?*
4. *Zijn gasexplosies ook een issue ten aanzien van externe veiligheid?*

Methode

Informatieverzameling

Diverse bronnen zijn gebruikt voor het opsporen en analyseren van gasexplosies, informatie van maandblad "Brand"², Nationaal Brandweer Documentatie Centrum³

, de website www.zwaailichten.org⁴, de database van de Inspectie-SZW (vanaf 1994), de incidentenrapportages van de directie Major Hazard Control van Inspectie-SZW (vanaf 2002), rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid, digitale kranten⁵ en informatie van onderzoekers van gasexplosies.

Criteria voor selectie van explosies in dit onderzoek

Onderzocht zijn gasexplosies in de Nederlandse industrie, vanaf 12 augustus 1963 tot 12 augustus 2013. Het jaar 1963 is gekozen omdat daarmee een tijdspanne van 50 jaar wordt onderzocht. Een andere reden voor deze tijdspanne is dat betrouwbaarheid en de naspeurbaarheid van gegevens van gasexplosies die zich voor 1963 hebben voorgedaan te beperkt is.

Enkel gasexplosies zijn geselecteerd waarbij doden of gewonden zijn gevallen en alle gerapporteerde slachtoffers zijn gevallen als gevolg van werkzaamheden op een arbeidsplaats. De verwachting is dat gasexplosies zonder slachtoffers in onvoldoende mate op te sporen zijn aangezien deze gasexplosies minder publiciteit verkregen hebben en minder grondig onderzocht zullen zijn. Daarnaast kunnen de oorzaken van ontsteking van een andere aard zijn dan gasexplosies met slachtoffers waardoor conclusies minder zuiver kunnen worden. De focus is oorzaken van gasexplosies met slachtoffers vast te stellen.

Geselecteerd zijn gasexplosies die optraden in een industriële omgeving met als kenmerk de (potentiële) aanwezigheid van grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen, in hoeveelheden met wat na 1999 de criteria zijn geworden voor de zogenaamde Brzo bedrijven⁶.

Een gasexplosie is een chemische explosie met een snelle verbranding die mogelijk is als de volgende voorwaarden, brandbaar gas - zuurstof - ontstekingsbron, gelijktijdig aanwezig zijn. Het brandbare gas kan voortkomen uit een brandbare vloeistof als deze voldoende damp afgeeft om tot ontsteking te komen.

Niet elke explosie is een gasexplosie. Zo zijn vuurwerkexplosies, chemische reacties die leiden tot een "run away" en fysische explosies als gevolg van openbarsten van de omhulling niet geselecteerd in dit onderzoek. Het zijn overigens geen van alle explosies die vallen onder de strekking van de ATEX 137 richtlijn. Voorbeelden zijn de vuurwerkexplosie te Enschede (13 mei 2000), de explosie als gevolg van een run away bij Cindu Uithoorn (8 juli 1992) en de explosie van een stoomleiding bij Electrabel in Nijmegen (8 november 2012).

Stofexplosies zoals bij een houtvezelverwerkingsbedrijf in Langerak (18 september 1993) met 3 doden en 14 gewonden zijn niet meegenomen aangezien een stofexplosie een geheel andere problematiek betreft.

² 1 Maandblad "Brand", alfabetisch trefwoordenregister van de jaren 1963 tot en met 1975.

³ Nationaal Brandweer Documentatie Centrum, http://www.nbdc.nl/cms/show_geraadpleegd op 16 februari 2013.

⁴ http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, overzicht van rampen.

⁵ <http://www.delpher.nl>, Krantenzoekmachine ontwikkeld door de Koninklijke Bibliotheek.

⁶ Besluit risico's zware ongevallen 1999, Bijlage I, www.wetten.nl.

Verdeling in locatie en oorzaken van de ontsteking

Een onderverdeling is te maken door het uitsplitsen in ontsteking van explosieve atmosferen in de installatie of ontsteking buiten de installatie. Dit is een belangrijk gegeven, de Nederlandse Praktijk Richtlijn 9710-1⁷ en hiervoor Praktijkblad 182⁸ en daarvoor de Leidraad voor gevarenzone-indeling⁹ uit 1979 richt(t)en zich met name op uit de installatie tredende explosieve atmosferen en minder op intern aanwezige explosieve atmosferen. De vraag is of er voldoende aandacht is geweest voor explosiepreventie van intern aanwezige explosieve atmosferen en of dit te herleiden is naar het aantal slachtoffers.

Een verdere verdeling is mogelijk door het onderscheiden van ontstekingsbronnen gegenereerd door een werknemer of als oorzaak van een ontstekingsbron in of verbonden aan de installatie. De vraag is in hoeverre werknemers een directe rol hebben gespeeld bij het ontsteken van een explosieve atmosfeer en ook hier of dit tot uiting komt in het aantal slachtoffers. Als blijkt dat werknemers veelal de ontstekingsbron veroorzaken zal duidelijk zijn dat vanuit het veiligheidsmanagementsysteem hier meer focus voor moet zijn.

De volgende 4 variabelen om de gasexplosies te labelen zijn mogelijk. De explosieve atmosfeer is ontstoken:

- binnen de installatie door een werknemer met een ontstekingsbron (label Bi-W)
- binnen de installatie door een ontstekingsbron in die installatie (label Bi-Inst)
- buiten de installatie door een werknemer met een ontstekingsbron (label Bu-W)
- buiten de installatie door een ontstekingsbron van een installatie-onderdeel buiten die installatie (label Bu-Inst)

Met "binnen de installatie" wordt bedoeld in een reactor, in een opslagtank, in een leiding, etc.

Met "buiten de installatie" wordt bedoeld naast de reactor, op de opslagtank, naast een leiding, etc.

Bij ontstekingen veroorzaakt door de werknemer is de ontstekingsbron (bijvoorbeeld een haakse slijptol) nodig bij de werkzaamheden die op dat moment worden verricht en is deze werknemer, vaak op maximaal een armlengte afstand, aanwezig bij die ontsteking. De werknemer brengt de ontstekingsbron namelijk in contact met de explosieve atmosfeer waarna een explosie volgt. De oorzaak van de ontsteking is over het algemeen eenvoudig vast te stellen aangezien getuigen op de hoogte waren van de aard van de werkzaamheden. Voorbeelden van werkzaamheden die tot ontsteking van een explosieve atmosfeer leiden: laswerkzaamheden, slijpen, schoonmaken.

Bij ontstekingen veroorzaakt door de installatie, veroor-

zaakt binnen de installatie of buiten die installatie, is de werknemer niet de oorzaak van de ontsteking en vervolgens explosie. Een werknemer is in dit geval dan ook niet noodzakelijkerwijs aanwezig op de locatie van een dergelijke ontsteking, de ontstekingsbron kan al jaren sluimerend aanwezig zijn. Indien een explosie wordt veroorzaakt door een ontsteking door een installatie (binnen of daar buiten) is die oorzaak vaak niet meer te achterhalen. Uit ongevalsonderzoeken blijkt nog al eens dat bewijsmateriaal tijdens de brand of explosie vernietigd is. Voorbeelden van ontstekingen waarbij de installatie als ontstekingsbron heeft gediend: hete oppervlakken, open vuur in een fornuis, een vonk uit een elektromotor van een koelwaterpomp, het heet worden van lagers van een roerwerk van een reactor.

Resultaten

Het overzicht van gasexplosies met slachtoffers van de afgelopen 50 jaar in Nederland

In de tabel in de bijlage een overzicht van 43 verzamelde gasexplosies in de geselecteerde periode. In totaal zijn er 107 doden te betreuren en 319 gewonden. In 30 van de gasexplosies betrof het zowel dodelijke en gewonde slachtoffers, bij de overige 13 gasexplosies zijn enkel gewonde slachtoffers gevallen. De ernst van de verwonding en de hier op volgende behandelingswijze, ziekenhuisopname, poliklinische opname of EHBO behandeling was over het algemeen niet vast te stellen vanwege ontbrekende gegevens. Bij 5 gasexplosies was de oorzaak van ontsteking of locatie van de gasexplosie niet vast te stellen. Bij 7 andere gasexplosies was de locatie of oorzaak met onvoldoende zekerheid vast te stellen, niet duidelijk werd of de ontsteking binnen of buiten de installatie plaatsvond of niet duidelijk werd of de ontsteking veroorzaakt werd door de werknemer of installatie. Van de overige 31 gasexplosies was wel voldoende informatie beschikbaar.

Schoonmaak-, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden, veelal uitgevoerd door contractors, waren bij 25 van de voorvallen de ontstekingsbron waarmee de explosieve atmosfeer ontstoken werd, deze hebben 54 dodelijke slachtoffers geëist.

Trends in de afname van het aantal slachtoffers

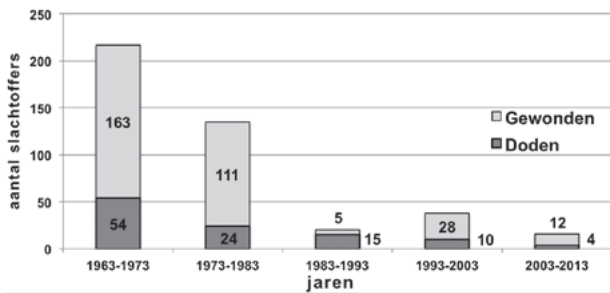
Uit grafiek 1 valt op te maken dat in aantal slachtoffers, met name het aantal dodelijke slachtoffers, gestaag afneemt gedurende de onderzoeksperiode.

Uit grafiek 2 blijkt dat na een gestage afname van het aantal gasexplosies er na 1993 weer een toename ontstaat. De gemiddelde verhouding van het aantal doden per gasexplosie neemt na 1993 snel af.

⁷ Nederlandse praktijkrichtlijn, NPR 7910-1 (nl), Gevarenzone-indeling met betrekking tot explosiegevaar - Deel Gasexplosiegevaar, gebaseerd op NEN-EN-IEC 60079-10-1:2009

⁸ Gevarenzone-indeling met betrekking tot gasontploffingsgevaar, P182, 1992.

⁹ Leidraad voor gevarenzone-indeling met betrekking tot gasontploffingsgevaar en elektrische installaties en -materieel, Rapport van het Directoraat-Generaal van de Arbeid, eerste druk 1979.



Grafiek 1 Een overzicht van de afname van het aantal slachtoffers in perioden van 10 jaar

Bij welke installaties komen gasexplosies vaak voor?

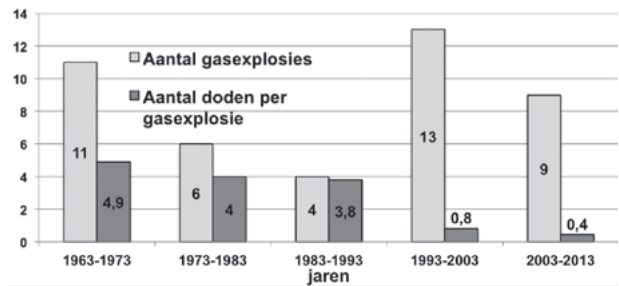
In de periode van 1965 tot en met 1990 hebben zich tijdens schoonmaak- en reparatiewerkzaamheden aan boord van tankschepen 4 ernstige gasexplosies voorgedaan waarbij in totaal 32 doden gevallen.

In de onderzoeksperiode bleek in 11 gevallen een gasexplosie op te treden met een opslagtank (geen scheepstank) met in totaal 20 dodelijke slachtoffers. Bij 6 voorvallen vonden de werkzaamheden, die de explosie veroorzaakten, plaats op het tankdak waardoor de kans op overleven gering was. Het tankdak is namelijk vaak zodanig geconstrueerd dat deze openklapt tijdens een explosie in de tank.

De verdeling in oorzaken van ontsteking

Tabel 1 beschrijft 31 gasexplosies en geen 43. Dit omdat bij 12 voorvallen onvoldoende informatie beschikbaar was om de toedracht vast te stellen, bij 7 van deze kon gedeeltelijk de toedracht worden vastgesteld. Een voorbeeld van een dergelijke gasexplosie is die van 10 augustus 1971 in de productiehal na een butadiëenlekage bij Marbon te Amsterdam (9 doden en 22 gewonden). Tijdens de repressieve activiteiten trad de explosie op. Niet vast te stellen was of de ontsteking werd veroorzaakt door de repressieve activiteiten of omdat de explosieve gaswolk een sluimerende ontstekingsbron buiten de installatie vond.

De verdeling van gasexplosies binnen en buiten de installatie is ongeveer gelijk, beide situaties treden respectievelijk 16 en 15 keer op. Het aantal gasexplosies waarbij de werknemer de veroorzaker is van de ontstekingsbron is met 23 keer bijna 3 maal hoger dan voorvallen waarbij



Grafiek 2 Een overzicht van de aantallen gasexplosies en het aantal dodelijke slachtoffers per gasexplosie

de ontstekingsbron uit de installatie moet zijn voortgekomen, ook het cumulatief aantal dodelijke slachtoffers is 2 maal hoger bij ontstekingsbronnen veroorzaakt door werknemers, 48 versus 24.

Als ook de 4 voorvallen uit categorie Bi-W of Bu-W uit de tabel in de bijlage worden meegeteld (nrs. 8, 11, 24 en 39), komt het door werkzaamheden veroorzaakte ontstekingen op 27. Daar waar de werknemer oorzaak is van de ontsteking blijkt in 25 van die 27 voorvallen dat schoonmaak-, onderhouds- of reparatiewerkzaamheden werden uitgevoerd, dit betrof veelal van derden ingeleende werknemers en vergde 54 doden.

Ook blijkt uit tabel 1 dat 4 gasexplosies werden veroorzaakt door een ontstekingsbron binnen de installatie (code BI-Inst). Dit betrof in 3 van de 4 voorvallen een ontsteking in een fornuis. In een fornuis zijn hete oppervlakken en open vuur aanwezig. In 4 gevallen vond de ontsteking van de explosieve atmosfeer plaats buiten de installatie in combinatie met een ontsteking door een installatie-onderdeel (code Bu-Inst).

Zijn gasexplosies ook een issue ten aanzien van externe veiligheid?

Bij 9 van de 43 gasexplosies leidde dit tot externe veiligheidseffecten, zie tabel 2. Ingeval van externe veiligheidseffecten zijn er slachtoffers gevallen buiten de terreingrenzen van het bedrijf waar de explosie heeft plaatsgevonden. In geen van de voorvallen was er sprake van dodelijke slachtoffers onder de burgerbevolking of onder werknemers op nabijgelegen bedrijfsterreinen. Een gelukkige omstandigheid was dat het merendeel van deze gasexplosies optrad in de avond- of nachtelijke uren. De explosie van een explosieve gaswolk uit een slobstank

Tabel 1 Overzicht van locatie van de ontsteking en de oorzaak van de ontstekingsbron

locatie van ontsteking explosieve atmosfeer	aantal gasexplosies	aantal doden	oorzaak ontstekingsbron			
			de werknemer		de installatie	
			aantal gasexplosies	aantal doden	aantal gasexplosies	aantal doden
binnen de installatie	16	36	12	29	4	7
buiten de installatie	15	36	11	19	4	17
totalen	31	72	23	48	8	24

Tabel 2 Overzicht van locatie van de ontsteking en de oorzaak van de ontstekingsbron

nr.	Datum	Gebeurtenis	Externe effecten buiten eigen inrichting	Omstandigheid
1	15-06-65	Schip Ronastar, Rotterdam.	Glasschade bij omliggende bedrijven.	avond, ± 23:30 uur
2	20-01-68	Slobstank Shell, Rotterdam.	Glasschade in verre omtrek + omwonenden met snijwonden.	winter, nacht, 04:23 uur
3	12-07-68	Schip Aqua Clara, Rotterdam.	Glasschade in omgeving.	nacht, ± 05:00 uur
4	20-08-71	Lijm- en Gelatinefabriek, Delft.	Tot in verre omtrek glasschade.	avond, ± 20:00 uur
5	27-06-74	Sud Chemie, Geertruidenberg	Glasschade in Geertruidenberg.	avond, ± 22.00 uur
6	05-09-75	Overvullen opslagtank, Broermann, Roosendaal.	Scherfwerking door metaal + schade aan gebouwen + glasschade + diverse mensen met snijwonden.	avond, ± 20:00 uur
7	07-11-75	DSM NAK II, Geleen.	Reactordelen op 2 km + glasschade + 3 gewonden buiten het hek.	geen leswissel
8	24-06-81	Schip Agios Ioannis, R'dam.	Diverse stukken staal en een lastrafo vliegen tot 400 m weg.	Middag, ± 14:00 uur
9	04-07-02	Vergistingstanks, Putten.	Daken van de vergistingstanks vliegen over de spoorbaan.	Middag, ± 15:00 uur

bij Shell Pernis Rotterdam (20 januari 1968) leidde tot ruitbreuken in de omliggende gemeenten, Pernis, Hoogvliet en Spijkenisse. Als gevolg van het vroege tijdstip vielen er weinig slachtoffers, bewoners lagen onder de winterdekens te slapen. Desondanks raakten burgers gewond door glasscherven.

Op 7 november 1975 was er omstreeks 10:00 uur in de ochtend een explosie op het DSM terrein in Geleen. Ook hier werden ruitbreuken buiten het bedrijfsterrein gemeld. Er zijn geen meldingen over dodelijke burger-slachtoffers. Op 1,5 km afstand van het centrum van de explosie was een school gelegen. Het schoolgebouw heeft glasschade opgelopen. Er vielen geen slachtoffers. Als de explosie was opgetreden tijdens het wisselen van de les, waren er wel veel slachtoffers gevallen, aangezien de verbindingroute tussen de klassen voorzien was van volledig glazen puien.

Discussie

Ontbrekende ongevalsrapportages

Met de in dit artikel opgenomen gasexplosies zal niet de gehele populatie aan gasexplosies mét slachtoffers vanaf 1963 tot en met 2013 geselecteerd zijn. Met name de voorvallen met slechts één of enkele gewonden hebben in de eerste 30 jaar van de onderzoeksperiode mogelijk onvoldoende publiciteit verkregen en zijn niet naspeurbaar, deze aanname wordt ondersteund door Lees¹⁰. Dit verklaart mogelijk de toename van gasexplosies na 1993, zoals blijkt uit grafiek 2. Niet uitgesloten is dat het aantal doden en gewonden in de eerste 30 jaar een nog hoger aantal betreft. Indien in deze eerste 30 jaar

voorvallen met één of enkele slachtoffers ontbreken resulteert dit ontbreken in een hoog aantal slachtoffers per gasexplosie.

De kwaliteit van de ongevalsrapportages neemt toe bij het verstrijken van de onderzoeksperiode, van 5 gasexplosies uit de eerste 11 jaar is bijvoorbeeld de toedracht niet eens vastgelegd.

Voorkomen van explosies als gevolg van schoonmaak-, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden

Schoonmaak-, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden waren 25 keer de ontstekingsbron waarmee de explosieve atmosfeer ontstoken werd, zie de tabel in de bijlage. De inventarisatie van maatregelen om de risico's van deze werkzaamheden aanvaardbaar te maken (met veilig-werkvergunningen en taak-risico-analyses), het correct uitvoeren van de vastgestelde maatregelen, coördinatie en toezicht op deze werkzaamheden verdienen zeer waarschijnlijk meer aandacht. Dit is namelijk de huidige stand der techniek om dergelijke werkzaamheden veilig uit te voeren.

Met name het voor en tijdens de werkzaamheden met kennis en ervaring de gasconcentratie meten had veel slachtoffers kunnen voorkomen. Een goede gasmeting kan alleen worden uitgevoerd door ervaren werknemers. Als niet op de juiste locaties gemeten wordt kan een ontstekingsbron als nog een explosie geven.

Daarnaast zijn ook andere (vaak meer adequaat dan alleen gasmeten) maatregelen denkbaar zoals het ventileren of inertiseren van een leiding of installatie of het gasdicht afsluiten van een leiding of installatie, juiste

¹⁰ Lees, F.P. (1996), *Loss Prevention in the Process Industries*, Butterworth-Heinemann, Second Edition, London, volume 3, appendix 1/5.

communicatie zodat verwisseling wordt voorkomen. Hiervoor is goede kennis van de gevaren van een installatie noodzakelijk. En beseffen dat er gevaar voor brand of explosie is indien in de concentratie van brandbare gassen of dampen hoger is dan 10 volumeprocent van de onderste explosiegrens (10% LEL), zoals omschreven in arbobesluit artikel 3.5g derde lid!

Opslagtanks

Opslagtanks hebben een behoorlijk aandeel in het aantal gasexplosies, van de 43 geselecteerde gasexplosies vallen er 11 in deze categorie. Een van de redenen kan zijn het enorme aantal opslagtanks met gevaarlijke stoffen in Nederland. De zogenaamde PGS 29 tanks¹¹. Geschat wordt dat dit er circa 10.000 zijn.

Het gevaar van een dreigende gasexplosies bij een lekkage

Bij een lekkage van een ontvlambare vloeistof of gas kan zich in korte tijd een explosieve atmosfeer vormen. Afstand nemen tot buiten het effectgebied van de explosie is dan het parool.

Voorbeelden van dit soort calamiteiten waarbij het mis is gegaan zijn onder andere butadiëenlekkage in de productiehal van Marbon in Amsterdam (10 augustus 1971) en de gasexplosie bij Eurofill in Zaandam (8 april 1994).

Uit de verkenning van de brandweer bleek dat in de zogenaamde latex-afdeling van Marbon een van de reactoren lekte. Er stroomde butadiëen uit, in de vorm van een borrelend schuim dat inmiddels al tot een hoogte van een halve meter reikte op de vloer van de verder afgesloten ruimte. Boven het schuim zinderde een laagje gas. Desondanks werd besloten om met water een weg vrij te spuiten door het schuim, zodat mensen van de technische dienst van Marbon bij het lek konden komen om het te repareren. Niet veel later volgde een hevige explosie, negen brandweerlieden en werknemers van Marbon overleden en er waren 22 gewonden.

Zo ook de gasexplosie bij Eurofill in Zaandam. De betrokken gevaarlijke stof was een "remreiniger" met circa 20% pentaan, 20% isopropylalcohol en 60% kookpuntsbenzine. Normaal gesproken werd dit in spuitbussen van 500 ml afgevuurd vanuit een stalen box van 1000 liter. Een klant wilde de remreiniger afgeleverd hebben in jerrycans. De stalen box was voorzien van een slang met aftap en werd met een vorkheftruck op een aantal houten pallets geplaatst worden zodat de jerrycans er in afgetapt konden worden. De lepels waren eigenlijk te kort, alleen met de lepels schuin naar achter ging het net goed. Dit keer moest hoger dan gebruikelijk getild worden. Destalenboxmet1000literremreinigervielvandelepelsaf. De 1000 liter remreiniger stroomde op de vloer overal naar toe er was geen vloeistofopvang. De plas remreiniger werd opgeruimd door 13 werknemers "als of het water was" met dweilen en trekkers, ze stonden in de plas met remreiniger. Op enig moment stond de diesel heftruck in

de weg, bij starten volgde de explosie. Een werknemer kon zich zelf niet uit de vlammenzee redden. De overigen hebben brandwonden opgelopen waarvan sommigen tot een paar maanden in Rode kruis ziekenhuis in Beverwijk zijn verpleegd.



Impressie van een explosie en daarop volgende brand van één van de 43 beschreven gasexplosies.

Gasexplosies tijdens opstart van productie

Op het fabrieksterrein van DSM vielen bij de explosie van 7 november 1975 met name veel doden (14) en gewonden (104) omdat er relatief veel mensen aanwezig waren vanwege de opstart van het productieproces na een revisie van de installatie. Een medewerker van de toenmalige Posterijen, Telegrafie en Telefonie (PTT) werd dodelijk verwond tijdens het verplaatsen van een telefoonaansluiting. Dit leidde bij DSM tot de regel het aantal personen bij opstart van de productie te beperken. Helaas vielen op het DSM terrein op 1 april 2003 toch weer 3 doden bij opstart van een zoutoven. De slachtoffers waren aanwezig in de onmiddellijke nabijheid van de zoutoven. De ervaring uit 1975 bleek onvoldoende ingebed.

¹¹ Publicatiereeks *Gevaarlijke Stoffen 29, Richtlijn voor bovengrondse opslag van brandbare vloeistoffen in verticale cilindrische tanks.*

Oorzaken voor de afname van het aantal gasexplosies met slachtoffers

De stand der techniek ter voorkoming van gasexplosies is uiteraard toegenomen in de onderzoeksperiode. De introductie van veiligheidsmanagementsystemen en aandacht voor veiligheidscultuur hebben waarschijnlijk ook een bijdrage geleverd aan deze afname. Daarnaast verschijnen in landelijke dagbladen^{12,13,14} verontrustende artikelen met overzichten van industriële branden en explosies met veel slachtoffers die optraden in de periode van 1968 tot en met 1971. Deze media aandacht zal waarschijnlijk de druk hebben opgevoerd om maatregelen te treffen.

Ook zijn bepaalde explosiegevaarlijke werkzaamheden gestopt. Het reinigen van sloopstanks van resten ruwe aardolie wordt in Nederland niet meer uitgevoerd. Zowel de Agios Ioannis (1981) als de Century Dawn (1991) waren zogenaamde oil-bulk-ore schepen. Dit zijn schepen die voor diverse ladingen konden worden ingezet. Bij wisselen van "oil" naar "bulk" of "ore" dienden uiteraard de tanks te worden gereinigd. Reinigen was eveneens noodzakelijk vooraf aan het uitvoeren van werkzaamheden aan de tanks. Schoonmaken werd bemoeilijkt door de aanwezigheid van verstevigingsbalken over de gehele lengte van het schip. Hierdoor bleef ruwe aardolie in alle hoeken en gaten achter. Dit leidde tot inzet van veel mensen in een sloopstank met dito veel slachtoffers op het moment dat het mis ging. Ruwe aardolie heeft de nare eigenschap om na beroering of opwarming alsnog lichte componenten zoals propaan, butaan, benzeen en dergelijke uit te stoten. Hierdoor kan een ogenschijnlijk veilige werkomgeving na verloop van tijd zich wijzigingen in een explosie gevaarlijke omgeving. Aangezien de huidige tankschepen dubbelwandig zijn uitgevoerd is het mogelijk om de tanks van binnen vrij van obstakels, zoals verstevigingsbalken op te leveren en kunnen ze gereinigd worden met een zogenaamde "crude oil washing" installatie. Ruwe aardolie wordt rondgepompt en met kracht tegen de tankwand gesproeid om zodoende residuen ruwe aardolie te verwijderen. "Gladde" tanks in combinatie met "crude oil washing" dringen het handmatig reinigen van sloopstanks terug en creëren een veiliger werkomgeving tijdens reparatie doordat sloopstanks eenvoudiger van (kleverige) resten ruwe aardolie zijn te ontdoen¹⁵.

Een verklaring voor het hoge aantal doden versus gewonden

De verhouding tussen het cumulatief aantal doden versus gewonden van de 43 geselecteerde gasexplosies is ongeveer 1 op 3. Ter vergelijking, in Nederland overleden in 2011, 80¹⁶ werknemers als gevolg van een arbeidsongeval en er werden 7.900 werknemers na een arbeidsongeval

opgenomen in het ziekenhuis. Een verhouding van bijna 1 op 100 en dus van een geheel andere orde dan de 1 op 3 hierboven genoemd in relatie tot gasexplosies. Een hypothese voor het groter aantal dodelijke slachtoffers ten opzichte van gewonden kan zijn dat de gevolgen van een explosie zodanig zijn dat deze vaak letaal zijn voor werknemers in het effectgebied. Werknemers die slachtoffer worden van een gasexplosie zijn vaak op korte afstand van de explosie aanwezig, vaak is de ontstekingsbron in handen van deze werknemer (lassen, slijpen, etc.) en is de afstand tot de explosie niet meer dan een armlengte. Twee van de gasexplosies (Shell 20 januari 1968 en DSM 1975) veroorzaakten juist veel gewonden onder werknemers. Dit kan veroorzaakt zijn doordat de ontsnappende gaswolk gedurende geruime tijd een groot effectgebied kon creëren met daarin een dodelijke explosiekracht maar ook ruime contouren met een explosiekracht voldoende om veel werknemers (gelukkig slechts) te verwonden. Mogelijk ook werden werknemers verwond als gevolg van wegslingerende stukken staal en puin.

Externe veiligheidseffecten van gasexplosies

De gasexplosies hebben niet geleid tot doden onder de burgerbevolking. Dit onderstreept nogmaals dat werknemers aan hogere risico's worden blootgesteld dan de bewoners gehuisvest in de omgeving buiten de terreingrenzen. Vanuit dit gegeven is het dan ook verklaarbaar dat Inspectie SZW, de toezichthouder voor interne veiligheid, andere eisen stelt aan door bedrijven te nemen maatregelen dan de toezichthouders voor externe veiligheid (Wabo bevoegd gezag). Desondanks blijkt dat vooral door gelukkig toeval het aantal gewonden onder omwonenden beperkt bleef. De gasexplosies met externe effecten traden namelijk met name op in de avond en nacht hierdoor waren omwonenden beperkt aanwezig op straat en beschermd tegen glasscherven door lakens en dekens.

Nieuwe ontwikkelingen vragen blijvende alertheid

De industrie is veilig werken steeds meer tot standaard aan het verheffen. Diverse nieuwe ontwikkelingen sluiten toekomstige gasexplosies niet uit. Denk aan de opkomende biovergistinginstallaties, het transport, opslag en gebruik van "liquid natural gas" (LNG) en de concurrentie met industrieën in opkomende landen in het Midden-Oosten, India en China die ook een beslag kunnen leggen op het beschikbare veiligheidsbudget.

Leren van incidenten

In Nederland hebben we pas sinds medio 2002 met de incidentenrapportages opgesteld door de directie Major Hazard Control van de Inspectie-SZW een traditie van vastleggen en beschrijven van voorvallen van zware on-

¹² Rampjaar 1968, *Het Vrije Volk*, 30 december 1968.

¹³ Rampenlijst 1968 - 1971, *De Waarheid*, 11 augustus 1971.

¹⁴ Overzicht explosies, *Het Vrije Volk*, 5 augustus 1972.

¹⁵ Nesse B. Ch., inspecteur Arbeidsinspectie, persoonlijke communicatie op 11 en 20 februari 2013.

¹⁶ Consument & Veiligheid. Arbeidsongevallen; Ongevalscijfers. <http://www.veiligheid.nl/>

gevallen met gevaarlijke stoffen. Naar verwachting zijn dan ook niet alle gasexplosies met slachtoffers die zich in de onderzoeksperiode hebben voorgedaan getraceerd. De toedracht van 12 gasexplosies is niet (geheel) duidelijk geworden. Dit terwijl de veiligheidsmaatregelen die we nu kennen veelal zijn ontstaan na de pijnlijke ervaringen uit het verleden. Het leren van incidenten blijft nodig om zware ongevallen met gevaarlijke stoffen te voorkomen.

Conclusies

- Over een periode van 50 jaar (1963 - 2013) zijn in Nederland 107 werknemers omgekomen en 319 gewond geraakt als gevolg van gasexplosies met gevaarlijke stoffen. In totaal 43 gasexplosies werden opgespoord. Niet uit te sluiten valt dat er gasexplosies, waarbij slachtoffers gevallen zijn, door een gebrekkige registratie onopgemerkt zijn gebleven, vooral in de eerste 30 jaar van de onderzoeksperiode.
- Schoonmaak-, onderhouds- en reparatiewerkzaamheden, veelal uitgevoerd door contractors, waren in meer dan de helft van de voorvallen (25 keer) de ontstekingsbron waarmee de explosieve atmosfeer ontstoken werd, deze hebben veel slachtoffers geëist (54 doden). De werknemers waren vaak op niet meer dan een armlengte verwijderd waren van de gasexplosie. Tezamen met het hevige effect van een gasexplosie leidde dit ertoe dat er verhoudingsgewijs veel doden vielen en relatief weinig gewonden namelijk gemiddeld 1 dode op de 3 gewonden.
- De verdeling van gasexplosies die binnen of buiten de installatie ontstoken werden was ongeveer gelijk, beide locaties traden respectievelijk 16 en 15 keer op. Beide type locaties vragen dus aandacht ten aanzien van explosieveilgheid. Ontstekingen buiten de installatie werden slechts in een beperkt aantal gevallen (4 keer) veroorzaakt door vast opgesteld equipment.
- Drie gasexplosies zijn opgetreden als gevolg van het reinigen van tankschepen van resten aardolie (classificeren genoemd). Deze hebben verhoudingsgewijs veel (26) doden geëist. Het gevaarlijke classificeren wordt niet meer uitgevoerd doordat in situ reiniging mogelijk is geworden. Mogelijkerwijs door de in Nederland aanwezige grote hoeveelheid opslagtanks met gevaarlijke stoffen zijn er 11 gasexplosies opgetreden met opslagtanks.
- Gasexplosies zijn in 9 voorvallen krachtig genoeg geweest om ook buiten het bedrijf effect te hebben. Door gelukkige omstandigheden, zoals het zich voordoen in avond en nacht zijn geen omwonenden dodelijk verwond en bleef het aantal gewonden beperkt bij gasexplosies met externe effecten.
- Er is een tendens gaande in de laatste 20 jaar van de onderzoeksperiode (1993 – 2013) die er op duidt dat er minder doden en gewonden vallen als gevolg van gasexplosies (grafiek 1). Het aantal geregistreerde gasexplosies is in deze periode wel toegenomen. Op 11 juli 2009 vond bij CP Kelco te Nijmegen de laatste gasexplosie plaats met een dodelijk slachtoffer, inmiddels zo'n 5 jaar geleden. Zware ongevallen met gevaarlijke stoffen kennen echter een lage en onregelmatige frequentie. Afnemen van de aandacht in de preventie van gasexplosies is dus niet opportuun.
- In dit onderzoek is geen aandacht besteed aan de achterliggende oorzaken (basisrisicofactoren). Dit belangrijke aspect verdient vervolgonderzoek. Wellicht levert dat verrassende inzichten op over veel voorkomende achterliggende oorzaken zoals bijvoorbeeld onvoldoende kennis van explosieveilgheid, onvoldoende kennis van de installatie, onderschatting van de gevaren en de risico's, veiligheidscultuur.

Bijlage: een overzicht van de verzamelde gasexplosies en de bronvermelding

nr	Datum	Gebeurtenis	Oorzaak van ontsteking	†	×	#SOR	*Oorzaak/ Locatie Bi-W/Bi-Inst Bu-W/Bu-Inst
1	12-08-63	Explosie van een tank met 2400 m3 kraakgas, gasdistributiestation, Zeist.	?	1	0	?	?
2	15-06-65	Explosie van het schip Ronastar, Rotterdam.	Schoonmaken restanten aardolie in scheeptanks.	16	26	Ja	Bi-W
3	03-01-66	Ontploffing op de peroxide afdeling, Chefaro, Dordrecht.	?	1	6	?	?
4	20-01-68	Tijdens opwarmen ontwijken explosiegevaarlijke stoffen uit een slobstank bij Shell, Rotterdam.	Gaswolk ontsnapt uit slobstank en vindt in de nacht een ontstekingsbron. Ontstekingsbronnen: elektrische apparatuur uit laboratorium of controlekamer, statische elektriciteit, oven	2	85	Nee	Bu-Inst

nr	Datum	Gebeurtenis	Oorzaak van ontsteking	†	×	#SOR	*Oorzaak/ Locatie Bi-W/Bi-Inst Bu-W/Bu-Inst
5	28-02-68	Een CO boiler explodeert nadat deze weer werd opgestart na de fabrieksstop als gevolg van de explosie van de slobstank op 20-01-68, Shell, Rotterdam.	Explosief mengsel in de vuurhaard van de CO boiler (fornuis) wordt ontstoken tijdens het opstarten.	2	0	Nee	Bi-Inst
6	12-07-68	Explosie van het schip Aqua Clara, Rotterdam.	Schoonmaken restanten aardolie in scheeptanks.	6	12	Ja	Bi-W
7	12-12-68	Explosie van het schip Diana waarschijnlijk na breken van laadverbinding tussen schip en wal, Amsterdam.	?	13	2	?	?
8	20-11-69	Na werkzaamheden op het tankdak volgt een explosie van een opslagtank met benzine, Comos, Amsterdam.	Mogelijk statische elektriciteit tijdens onderhoud of opmeten tankniveau.	0	1	?	Bi-W of Bu-W
9	10-08-71	Explosie in productiehhal na een butadiëenlekkage, Marbon, Amsterdam.	Ontsteking tijdens repressieve activiteiten van werknemers en brandweer.	9	22	Nee	Bu-W of Bu-Inst
10	19-08-71	Explosie van benzine in ontvettingshal, Lijm- en Gelatinefabriek, Delft.	Een dampafsluiter is abusievelijk gesloten, na openen van ketel vinden benzinedampen een ontstekingsbron.	3	8	?	Bu-W of Bu-Inst
11	10-01-72	Explosie van een opslagtank tijdens laswerkzaamheden, Dow Chemical, Terneuzen.	Laswerkzaamheden aan de tank.	1	1	Ja	Bi-W of Bu-W
12	27-06-74	Explosie bij Sud Chemie, Geertruidenberg.	?	1	0	?	?
13	05-09-75	Explosie na overvullen van opslagtank met benzine, Broermann, Roosendaal.	Benzinedampen vinden in de avond een ontstekingsbron.	1	1	Nee	Bu-Inst
14	07-11-75	Na afbreken van een leiding geeft de ontstane gaswolk een explosie, naftakraker NAK II, DSM, Geleen.	De explosieve gaswolk wordt ontstoken door een verder op gelegen oven.	14	104	Nee	Bu-Inst
15	12-09-79	Etheenexplosie in het carter van de compressor waardoor 3 carterdeksels zijn verbrijzeld DSM, Geleen.	Tijdens snijbrander werkzaamheden aan de tandkrans krukas heeft zich een explosie voorgedaan in het carter van de compressor.	1	3	Ja	Bi-W
16	24-06-81	Explosie van het schip Agios Ioannis. Ontwijken van explosieve dampen uit slobstank tijdens reparatiewerkzaamheden, Rotterdam.	De knevels van mangaten van de slobstank waren niet aangedraaid, hierdoor kon damp ontwijken. Op het dek werden gasbranders en sigarettenpeuken aangetroffen.	6	3	Ja	Bu-W
17	13-06-83	Explosie na lekkage van ethyleen uit een meetleiding, Akzo Botlek, Rotterdam.	Bij werkzaamheden ter afdichting van een ethyleenlekkage ontstond een explosie. De explosie leidde tot verdere schade aan appendages.	1	0	Ja	Bu-W

nr	Datum	Gebeurtenis	Oorzaak van ontsteking	†	×	#SOR	*Oorzaak/ Locatie Bi-W/Bi-Inst Bu-W/Bu-Inst
18	17-10-89	Explosie van een Acrylnitril opslagtank Paktank, Rotterdam.	Dampen uit het overdrukventiel van de tank worden ontstoken door werkzaamheden op het tankdak met een slijpschijf.	3	2	Ja	Bu-W
19	23-01-90	Explosie van het schip Century Dawn, Rotterdam.	Schoonmaken restanten aardolie in scheeptanks.	4	0	Ja	Bi-W
20	14-05-90	De bij coatingwerkzaamheden ontstane dampen exploderen in een drum, Esso, Rotterdam.	Bij inwendige coating werkzaamheden ontstaat een ontstekingsbron, waarschijnlijk de looplamp.	1	0	Ja	Bi-W
21	13-12-91	Explosie van tot 140 gr. C opgewarmde benzoëzuur in opslagtank, DSM, Rotterdam.	Bij montage van een loopbrug op het tankdak wordt benzoëzuurdamp ontstoken door een boormachine.	7	3	Ja	Bu-W
22	08-04-94	Een open vat met 1000 liter licht ontvlambare vloeistof valt van een vorkheftruck en raakt in brand, Eurofill, Zaandam.	Tijdens de opruimwerkzaamheden van de plas met licht ontvlambare vloeistof wordt de vorkheftruck verplaatst, bij starten volgt een explosie.	1	12	Ja	Bu-W
23	16-06-94	Caligen Europe, Breda.	?	0	1	?	?
24	26-07-95	Explosie van een ketel, Quest, Naarden.	Explosieve dampen ontploffen door het lassen aan een ketel.	0	1	Ja	Bi-W of Bu-W
25	08-10-96	De mangaten van een lege, niet gereinigde benzinetank staan open er volgt een explosie in de tankput, Twents Oliecentrum, Enschede.	Tijdens montagewerkzaamheden met o.a. een elektrische slagmoersleutel aan de buitenzijde van een opslagtank voor benzine volgt een explosie.	0	2	Ja	Bu-W
26	03-06-98	Explosie tijdens reinigen MTBE opslagtank, Shell, Rotterdam.	Tijdens reinigingswerkzaamheden (butterwashen) is als gevolg van statische elektriciteit een explosie ontstaan van MTBE.	1	1	Ja	Bi-W
27	13-09-00	Explosie van tank gevuld met biogas, Trobas, Dongen.	Tijdens werkzaamheden met een haakse slijptol aan een met biogas gevulde verbindingleiding ontstond een explosie.	1	2	Ja	Bi-W
28	19-09-01	Explosie van benzinedampen uit een benzineleiding, BP Amsterdam, Terminal	Als gevolg van een onvoldoende afgesloten benzineleiding wordt tijdens laswerkzaamheden de vrijkomende benzinedamp ontstoken.	0	1	Ja	Bu-W
29	15-10-01	Explosie als gevolg van werkzaamheden aan een cokesleiding met waterstofgas en methaan, Hoogovens, Velsen.	Tijdens openen van een cokeleiding blijkt deze niet druk loos. Tijdens sluiten van de flensverbinding is een ontstekingsbron ontstaan waardoor het vrijkomende cokesgas tot ontsteking kwam.	0	2	Ja	Bu-W

nr	Datum	Gebeurtenis	Oorzaak van ontsteking	†	×	#SOR	*Oorzaak/ Locatie Bi-W/Bi-Inst Bu-W/Bu-Inst
30	07-05-02	Reinigen van een verfspuitpistool met thinner geeft een explosie, El-O-Matic, Hengelo.	Tijdens het reinigen van een spuitpistool is een explosie ontstaan als gevolg van statische elektriciteit.	1	0	Ja	Bu-W
31	04-07-02	Explosie van 2 met elkaar verbonden vergistingstanks, Putten.	Tijdens boren van een gat in de bovenzijde van de silo is explosieve damp aanwezig in de tank ontstoken.	2	0	Ja	Bi-W
32	07-11-02	Explosie in crude destillatie toren, Total, Vlissingen.	Als gevolg van onvoldoende afsluiting van een balg is explosieve damp ontstoken als gevolg van werkzaamheden.	0	3	Ja	Bi-W
33	12-12-02	Explosie in fornuis, KPE, Rotterdam.	Tijdens de visuele controle van een kleine lekkage van de procesleiding in het fornuis barst deze leiding open. Er ontstaat een vuurzee binnen en buiten het fornuis.	1	1	Nee	Bi-Inst
34	01-04-03	Explosie in zoutoven, DSM, Geleen.	In de zoutoven aanwezig stookgas vindt bij opstart een ontstekingsbron.	3	2	Nee	Bi-Inst
35	04-05-04	Explosie tijdens het injecteren van "compound" in een afdichtingsklem rond een flensverbinding, Total, Vlissingen.	Tijdens het injecteren kwam waterstofgas vrij dat spontaan tot zelfontsteking kwam.	0	3	Ja	Bi-W
36	15-03-05	Explosie na overdosering natriumboorhydride met als gevolg vrijkomen van waterstofgas, Perkin Elmer Groningen.	Het vrijgekomen waterstofgas heeft een ontstekingsbron gevonden.	1	1	Nee	Bu-W of Bu-Inst
37	31-05-05	Explosie van gascondensaat in een opslagtank, NAM, Warffum.	Tijdens laswerkzaamheden op het tankdak aan een met brandbaar gas gevulde tankleiding ontstond een explosie.	2	1	Ja	Bi-W
38	23-06-05	Explosie na ongewenste vorming van zwavelkoolstof (CS ₂) uit zwavelzuur en eindproduct, Cerexagri, Rotterdam.	Het ontstane licht ontvlambare CS ₂ gas heeft een ontstekingsbron gevonden, mogelijk de lift. Er werden geen (schoonmaak)werkzaamheden uitgevoerd op het moment van de explosie	0	2	Nee	Bu-Inst
39	25-11-08	Explosie van nafta- en benzinedampen uit een afgesloten riool, Vopak Europort, Rotterdam	Explosieve dampen uit een riool dat is afgedekt met een putdeksel worden door op 1,5 m afstand uitgevoerde laswerkzaamheden ontstoken.	0	2	Ja	Bi-W of Bu-W
40	08-03-06	Explosie uit een leiding, Nerefco, Rotterdam.	Als gevolg van een onvoldoende afgesloten lasplug worden tijdens slijpen de uit de leiding vrijkomende explosieve dampen ontstoken.	0	1	Ja	Bu-W
41	11-07-09	Explosie tijdens de productie van cellulose, CP-Kelco, Nijmegen.	Bij opstart was de atmosfeer onverwacht explosiegevaarlijk. In de installatie waren ontstekingsbronnen aanwezig.	1	0	Nee	Bi-Inst

nr	Datum	Gebeurtenis	Oorzaak van ontsteking	†	×	#SOR	*Oorzaak/ Locatie Bi-W/Bi-Inst Bu-W/Bu-Inst
42	15-09-11	Explosie van methylethylketon (MEK) tijdens het storten van waskorrels in het mangat van een mengketel, Byk-Cera, Deventer	Als gevolg van het storten van waskorrels vond vermoedelijk elektrostatische ontlading plaats tussen de polyethyleenzak en de ketel waardoor het zeer licht ontvlambare MEK explodeerde.	0	1	Nee	Bi-W
43	06-06-12	Tijdens het overgieten van een pygas-slurry uit een filter ontstond een steekvlam, Rubis Terminal, Rotterdam	Tijdens overgieten van zeer licht ontvlambaar pygas van een kunststof emmer naar een kunststof vat is door vermoedelijk elektrostatische ontlading een explosie ontstaan.	0	1	Ja	Bu-W
totalen				107	319	25 x Ja	

† = Aantal doden

× = Aantal gewonden

#SOR = Schoonmaak-, onderhouds- of reparatiewerkzaamheden zijn oorzaak van ontsteking

* Oorzaak/Locatie Bi-W / Bi-INST / Bu-W / Bu-Inst:

De explosieve atmosfeer is ontstoken:

Bi-W = binnen de installatie door een werknemer met een ontstekingsbron

Bi-Inst = binnen de installatie door een ontstekingsbron in die installatie

Bu-W = buiten de installatie door een werknemer met een ontstekingsbron

Bu-Inst = buiten de installatie door een ontstekingsbron van een installatie-onderdeel buiten die installatie

Bi-W of = De explosieve atmosfeer is ontstoken door een werknemer, binnen of buiten de installatie

Bu-W of = Explosieve atmosfeer ontstoken buiten de installatie door werknemer of door installatie-onderdeel buiten die installatie

? = Onvoldoende informatie beschikbaar

Hieronder de bronnen gebruikt bij de in de tabel in deze bijlage opgesomde gasexplosies.

De nummers verwijzen naar de nummers gebruikt in deze tabel.

- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.
Tank met kraakgas in Zeist ontploft, Leeuwarder Courant, 13 augustus 1962.
- http://www.zero-meridean.nl/c_botlek_150665.html, geraadpleegd op 16 februari 2013.
Explosie en helse brand op de Ronastar, Het Vrije Volk, 16 juni 1965.
- Afdeling chemische fabriek explodeerde, Utrechts Nieuwsblad, 1 maart 1966
Explosie Chefaro, Bedieningsfout oorzaak explosie Chefaro, De Tijd, 15 januari 1966.
Onvoldoende veiligheidsmaatregelen, De Waarheid, 15 januari 1966.
- Rapport betreffende een onderzoek naar de oorzaak van de explosie op 20 januari 1968 op het terrein van Shell Nederland Raffinaderij N.V. te Pernis, Arbeidsinspectie, 26 maart 1968.
Schade Shell-Pernis loopt in miljoenen, Nieuwsblad van het Noorden, 22 januari 1968
- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.

2 mannen gedood bij Shell Explosie, Nederlands Dagblad, 29 februari 1968.

- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.
Aqau Clara werd op zee gewassen, 12 juli 1968, Het Vrije Volk
6 mensen vermist bij scheepsexplosie, 12 juli 1968, De Tijd
- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.
De Waarheid, Helse vuurzee aan pier Mobil Oil, 13 december 1968, De Waarheid.
Weer slachtoffer Diana geborgen, 7 januari 1969, De Telegraaf.
- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.
Spektakel in het havengebied: brandende tank bij Comos!, De Oud-Amsterdammer, 27 november 2012
Vuurgloed boven Amsterdamse Haven, De Tijd, 21 november 1969.
- http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 16 februari 2013.
Interim-rapport commissie ad hoc inzake Marbon Europe n.v. De Commissie ad hoc inzake Marbon, 6 april 1972.
<http://geschiedenis.vpro.nl/programmas/2899536/aflleveringen/3315370/>, Dossier "Andere Tijden".

10. http://www.wikidelft.nl/index.php?title=Lijm-_en_Gelatinefabriek, geraadpleegd op 17 februari 2013. Menigte bemoeilijkt snelle hulpverlening, Het Vrije Volk, 20 augustus 1971. Explosie Delftse fabriek eiste derde slachtoffer, Nieuwsblad van het Noorden, 23 augustus 1971. Defecte afsluiter veroorzaakte explosie Delft, De Telegraaf, 29 september 1971.
11. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 17 februari 2013. Ontploffing bij Dow Chemical, De Waarheid, 11 januari 1972.
12. Ploegbaas gedood bij explosie in fabriek, Het Vrije Volk, 28 juni 1974. Arbeider gedood, De Waarheid, 28 juni 1974. Chemiefabriek in as, De Telegraaf, 29 juni 1974.
13. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 17 februari 2013. IJzerloo M.A. van, Districtsinspecteur voor het Brandweerwezen, Voorlopig verslag explosie te Roosendaal dd. 5 september 1975. Oliebrand Roosendaal, Het Vrije Volk, 6 september 1975.
14. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 17 februari 2013. Dijk W.J.M., Rapport van de explosie en brand bij DSM te Beek op 7 t/m 12 november 1975, Inspectie voor het Brandweerwezen. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 18 februari 2013. Bruning F., medelid onderzoekscommissie Nak 2, persoonlijke communicatie op 1 maart 2013.
15. Veiligheidsrapport DSM, versie geldig op 21 maart 2013.
16. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Keijzer C. de, Salto Mortale in de Europoort, Mainport Magazine, april 2009. Nesse B. Ch., inspecteur Arbeidsinspectie, onderzoeker ongeval Agios Ioannis, persoonlijke communicatie op 11 en 20 februari 2013. Explosie aan boord- Griek zes man dood, Het Vrije Volk, 25 juni 1981.
17. Akzo brandt: groot alarm in Rijnmond, Het Vrije Volk, 14 juni 1983. Schade bij Akzo zout-chemie nog veel groter, De Telegraaf, 17 juni 1983. Leeuwen van C., bevelvoerder van de bedrijfsbrandweer, persoonlijke communicatie op 3 mei 2013.
18. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. 3 doden bij Paktank-ramp, Het Vrije Volk, 1 oktober 1989-10-18. Terstegge A.J.J., inspecteur Arbeidsinspectie, onderzoeker ongeval explosie Acrylnitril opslagtank Paktank, persoonlijke communicatie op 13 maart 2013.
19. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Nesse B. Ch., inspecteur Arbeidsinspectie, onderzoeker ongeval Century Dawn, persoonlijke communicatie op 11 en 20 februari 2013. 4 doden bij explosie op tanker, Het Vrije Volk, 24 januari 1990.
20. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Wientjes O.P., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval bij Esso, persoonlijke communicatie op 6 maart 2013.
21. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Wientjes O.P., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval bij DSM, persoonlijke communicatie op 6 maart 2013.
22. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Vooren J., inspecteur Arbeidsinspectie, onderzoeker ongeval Eurofills Aerosols te Zaandam, 2006, persoonlijke communicatie op 1 maart 2013.
23. Database Inspectie-SZW.
24. Database Inspectie-SZW.
25. Database Inspectie-SZW. Twee zwaargewonden bij explosie in benzinetank, Trouw, 9 oktober 1996.
26. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Bodegom J.H.R. van en Pul S. van, beiden inspecteur Inspectie-SZW, onderzoekers ongeval bij Shell, persoonlijke communicatie op 19 en 25 februari 2013. Onderzoeksraad Voor Veiligheid, Explosie aardgascondenstank bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij te Warffum, bijlagen bladzijde 76, september 2007.
27. Database Inspectie-SZW.
28. Database Inspectie-SZW.
29. Database Inspectie-SZW.
30. Wolters G.H.W., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval bij El-O-matic, persoonlijke communicatie op 19 maart 2013.
31. Database Inspectie-SZW. Leenstra J.H., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval, persoonlijke communicatie op 18 maart 2013.
32. Database Inspectie-SZW. Poel W.M. van der, Beknopte analyse van incidenten in Brzo-plichtige bedrijven in de voormalige regio Zuidwest van de Arbeidsinspectie over de periode 2002 tot voorjaar 2003, 24 juni 2003.
33. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013. Poel W.M. van der, Beknopte analyse van incidenten in Brzo-plichtige bedrijven in de voormalige regio Zuidwest van de Arbeidsinspectie over de periode 2002 tot voorjaar 2003, 24 juni 2003.

34. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013.
Arbeidsinspectie/Directie MHC, MHC incidentenrapportage 2, periode 1 april 2003 tot en met 30 september 2004.
35. Arbeidsinspectie/Directie MHC, MHC incidentenrapportage 2, periode 1 april 2003 - 30 september 2004.
36. Database Inspectie-SZW.
37. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013.
Onderzoeksraad Voor Veiligheid, Explosie aardgascondensatank bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij te Warffum, september 2007.
Arbeidsinspectie/Directie MHC, MHC incidentenrapportage 3, periode 1 oktober 2004 tot en met 31 december 2005.
38. Database Inspectie-SZW.
Nesse B. Ch., inspecteur Arbeidsinspectie, onderzoeker ongeval Cerexagri, persoonlijke communicatie op 20 februari 2013.
39. Database Inspectie-SZW.
Wientjes O.P., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval bij Vopak, persoonlijke communicatie op 14 januari 2014.
40. Database Inspectie-SZW.
41. http://www.zero-meridean.nl/overzicht_inc_chemie.php, geraadpleegd op 21 februari 2013.
Impel, Explosion in a carboxymethyl cellulose production plant 11 July 2009 Nijmegen (Gelderland), The Netherlands, No. 40097, update juli 2011.
42. Database Inspectie-SZW.
Wolters G.H.W., inspecteur Inspectie-SZW, onderzoeker ongeval bij Byk-Cera, persoonlijke communicatie op 19 maart 2013.
43. Database Inspectie-SZW